СНАУ
Університет,
що вивчає життя

АГРОНОМІЯ

Підручник

За загальною редакцією
А.В. Мельника, Ю.І. Данька

На допомогу аспіранту

ОЛДІ ПЛЮС

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Серія «На допомогу аспіранту»

АГРОНОМІЯ

Підручник

За загальною редакцією
А. В. Мельника, Ю. І. Данька

Одеса • 2025 • Олді+

УДК 631/635(075.8)
А26

Серія започаткована у 2022 році

Авторський колектив:

д. с.-г. н. **Мельник А. В.** (вступ, 1, 6, 19 роз.); д. е. н. **Данько Ю. І.** (1 роз.); д. с.-г. н. **Міщенко Ю. Г.** (2, 17, 18 роз.); д. с.-г. н. **Троценко В. І.** (3 роз.); к. с.-г. н. **Оничко В. І.** (4 роз.); д. с.-г. н. **Кожушко Н. С.** (4 роз.); к. с.-г. н. **Коваленко В. М.** (5 роз.); д. б. н. **Коваленко І. М.** (6, 20 роз.); к. б. н. **Мельник Т. І.** (6 роз.); к. с.-г. н. **Верещагін І. В.** (7 роз.); к. с.-г. н. **Собран І. В.** (8 роз.); к. с.-г. н. **Сахошко М. М.** (8 роз.); к. с.-г. н. **Бердін С. І.** (9 роз.); д. с.-г. н. **Подгаєцький А. А.** (10, 11 роз.); д. с.-г. н. **Кравченко Н. В.** (10, 11 роз.); к. с.-г. н. **Радченко М. В.** (12 роз.); к. с.-г. н. **Бутенко А. О.** (13 роз.); к. с.-г. н. **Жатова Г. О.** (14 роз.); к. с.-г. н. **Захарченко Е. А.** (15, 16 роз.); д. ф. **Романько Ю. О.** (19 роз.); к. с.-г. н. **Бакуменко О. М.** (20 роз.)

Рецензенти:

Каленська С. М. – доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри рослинництва НУБІП, академік НААН України;

Маренич М. М. – доктор сільськогосподарських наук, професор, директор Навчально-наукового інституту агротехнологій, селекції та екології Полтавського державного аграрного університету;

Кабанець В. М. – доктор сільськогосподарських наук, с. н. с., професор, директор Інституту сільського господарства Північного сходу НААН України

Рекомендовано до друку Вченою радою
Сумського національного аграрного університету
(протокол № 4 від 29.09.2025 р.)

А26 **Агрономія** : підручник для третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти за спеціальністю Н1 «Агрономія» / А. В. Мельник, Ю. І. Данько, Ю. Г. Міщенко та ін. ; за заг. ред. А. В. Мельника, Ю. І. Данька. – Одеса : Олді+, 2025. – 550 с. – (Серія «На допомогу аспіранту»).

ISBN 978-617-8559-53-3

Висвітлено теоретичні основи методології проведення наукових досліджень, сучасні аспекти землеробства та світові агротехнології. Наведено селекційно-насінницькі, біотехнологічні дослідження, складові стабільності та стійкості агроценозів. Для розвитку індивідуальної траєкторії здобувачів подано великий блок дисциплін на вибір, зокрема: рослина в досліді, охорона прав на сорти рослин, фізика ґрунту, інноваційні тенденції застосування добрив, відновлювальне землеробство та органічне кормовиробництво, світовий досвід зберігання продукції та методів аналізу якості насіння.

УДК 631/635(075.8)

© Сумський національний аграрний університет, 2025
© Олді+, 2025

ISBN 978-617-8559-53-3

ЗМІСТ

ВСТУП ... **11**

РОЗДІЛ 1
МЕТОДОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ... **12**
1.1. Теоретичні основи наукового дослідження ... **12**
1.1.1. Наукова діяльність та організаційні структури для виконання наукової роботи в Україні ... **12**
1.1.2. Основні складники та поняття наукових досліджень ... **17**
1.2. Інноваційний процес та гігієна розумової праці ... **19**
1.2.1. Поняття автоматизованої системи збору та обробки інформації (далі – АС) ... **19**
1.2.2. Гігієна розумової праці ... **25**
1.3. Особливості організації наукових досліджень в агрономії ... **27**
1.3.1. Методи та техніка наукових досліджень в агрономії ... **27**
1.3.2. Етапи експериментальних досліджень в агрономії ... **36**
1.4. Інформаційне забезпечення баз даних та їх оброблення ... **40**
1.4.1. Види та способи отримання наукової інформації ... **40**
1.4.2. Формування бази експериментальних даних ... **41**
1.4.3. Статистичний аналіз результатів досліджень ... **43**
1.4.4. Сучасні комп'ютерні програми для проведення статистичного аналізу даних в агрономії ... **49**
1.5. Робота над науковими працями здобувача третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти за спеціальністю Агрономія (кваліфікація доктор філософії (PhD)) ... **50**
1.5.1. Види та сутність наукових публікацій ... **50**
1.5.2. Зміст і структура кваліфікаційної роботи здобувача третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти за спеціальністю Агрономія ... **54**
Завдання та питання для самостійної роботи ... **55**
Перелік джерел до розділу 1 ... **56**

РОЗДІЛ 2
СУЧАСНІ АСПЕКТИ ЗЕМЛЕРОБСТВА ... **58**
2.1. Сучасні напрями розвитку землеробства ... **58**
2.2. Роль кліматичних умов розвитку землеробства ... **63**
2.3. Перспективи боротьби з бур'янами в сучасному землеробстві ... **69**
2.4. Особливості сівозмін у сучасному землеробстві ... **75**
2.5. Перспективи обробітку ґрунту в землеробстві ... **78**
2.6. Захист ґрунтів за різних систем землеробства ... **84**
Завдання та питання для самостійної роботи ... **88**
Перелік джерел до розділу 2 ... **89**

РОЗДІЛ 3
СУЧАСНІ СВІТОВІ АГРОТЕХНОЛОГІЇ ... **91**
3.1. Основи формування агротехнологій ... **91**
3.1.1. Історія та етапи розвитку ... **91**

3.1.2. Фактори формування врожайності ... **91**
3.1.3. Посів як засіб виробництва ... **92**
3.1.4. Особливості вегетації основних культур. Шкали онтогенезу рослин ... **92**
3.2. Ресурси та потенціал технологій ... **100**
3.2.1. Земельні ресурси ... **100**
3.2.2. Трудові ресурси ... **102**
3.2.3. Матеріальні ресурси технологій ... **103**
3.3. Динаміка світового виробництва основних сільськогосподарських культур ... **107**
3.3.1. Пшениця ... **107**
3.3.2. Кукурудза ... **109**
3.3.3. Соя ... **111**
3.3.4. Соняшник ... **112**
Завдання та питання для самостійної роботи ... **114**
Перелік джерел до розділу 3 ... **115**

РОЗДІЛ 4
СЕЛЕКЦІЙНО-НАСІННИЦЬКІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ В АГРОНОМІЇ ... **117**
4.1. Теоретичні основи селекції і насінництва ... **117**
4.1.1. Селекція і насінництво як наука ... **117**
4.1.2. Основні напрями селекції польових культур ... **119**
4.2. Вихідний матеріал у селекції рослин. Сорти, їх класифікація ... **123**
4.2.1. Вихідний матеріал у селекції ... **123**
4.2.2. Інтродукція рослин: значення та основні аспекти ... **124**
4.2.3. Поняття про сорт. Класифікація сортів ... **125**
4.3. Використання методу гібридизації в селекції рослин ... **127**
4.3.1. Поняття про гібридизацію. Методи схрещування ... **127**
4.3.2. Основні види схрещувань ... **128**
4.3.3. Віддалена гібридизація ... **130**
4.3.4. Типи несумісності та методи їх подолання ... **130**
4.4. Використання методів мутагенезу й поліплоїдії в селекції ... **131**
4.4.1. Поняття мутагенезу та мутації ... **131**
4.4.2. Штучний мутагенез. Методи отримання мутацій ... **132**
4.4.3. Поліплоїдія як метод селекції ... **133**
4.4.4. Застосування методу гаплоїдії в селекції рослин ... **135**
4.4.5. Використання анеуплоїдії в селекції рослин ... **135**
4.5. Гетерозис як метод селекції ... **136**
4.5.1. Поняття і класифікація гетерозису ... **136**
4.5.2. Використання інцухту в селекції на гетерозис ... **137**
4.5.3. Проблема закріплення гетерозису ... **138**
4.6. Добір як основний метод аналітичної селекції ... **140**
4.6.1. Роль добору в селекції ... **140**
4.6.2. Особливості використання масового добору ... **140**
4.6.3. Індивідуальний добір ... **141**
4.6.4. Клоновий добір ... **143**

4.7. Методи оцінювання селекційного матеріалу ... **143**
4.7.1. Принципи оцінювання селекційного матеріалу ... **143**
4.7.2. Основні методи оцінювання селекційного матеріалу ... **144**
4.8. Теоретичні основи насінництва ... **147**
4.8.1. Організація насінництва в Україні ... **147**
4.8.2. Різноякісність насіння ... **148**
4.8.3. Причини зниження якості насіння ... **150**
4.9. Основні методи насінництва ... **151**
4.9.1. Метод індивідуально-родинного добору ... **151**
4.9.2. Метод масового добору й метод половинок ... **153**
4.9.3. Метод контрольованого пересіву й генетичних (білкових) маркерів ... **154**
Завдання та питання для самостійної роботи ... **155**
Перелік джерел до розділу 4 ... **155**

РОЗДІЛ 5
СУЧАСНА БІОТЕХНОЛОГІЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ... **157**
Завдання та питання для самостійної роботи ... **176**
Перелік джерел до розділу 5 ... **177**

РОЗДІЛ 6
СТАБІЛЬНІСТЬ ТА СТІЙКІСТЬ АГРОЦЕНОЗІВ ... **178**
6.1. Сучасні тенденції за використання агросистем ... **178**
6.2. Основні типи екосистем. Агросистема – структура, зв'язки між елементами, їх взаємодія та взаємовплив ... **180**
6.3. Біорізноманіття та продуктивність агроценозів залежно від моно- та багатокомпонентності ... **190**
6.4. Теоретичні засади підвищення стійкості агроценозів. Адаптація рослин. Агрономічний аудит ... **194**
Завдання та питання для самостійної роботи ... **200**
Перелік джерел до розділу 6 ... **201**

РОЗДІЛ 7
ОРГАНІЗАЦІЯ І ТЕХНІКА СЕЛЕКЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ... **203**
7.1. Організація селекційного процесу ... **203**
7.2. Селекційні посіви та їхнє призначення ... **205**
7.3. Схема селекційної роботи з перехреснозапильними культурами ... **208**
7.4. Схема селекційної роботи з рослинами, що вегетативно розмножуються ... **209**
7.5. Механізація і техніка робіт у селекційному процесі ... **211**
7.6. Спостереження за рослинами та їх вибраковування ... **212**
7.7. Молекулярні методи як важливий елемент селекційного процесу ... **213**
7.8. Молекулярні маркери в генетичних дослідженнях і в селекції ... **215**
7.9. Рідкофазні методи. Класичні методи виділення ... **217**
7.10. Твердофазні методи: основні принципи ... **218**
7.11. Твердофазні методи: метод на основі магнітної сепарації ... **219**

7.12. Використання методу полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР) у селекційному процесі ... **220**
Завдання та питання для самостійної роботи ... **222**
Перелік джерел до розділу 7 ... **222**

РОЗДІЛ 8
ОХОРОНА ПРАВ НА СОРТИ РОСЛИН В УКРАЇНІ ... **223**
8.1. Науково-правова основа Державної системи охорони прав на сорти рослин ... **223**
8.2. Об'єкти правової охорони ... **226**
8.3. Суб'єкти права інтелектуальної власності на сорт рослин ... **228**
8.4. Зміст права інтелектуальної власності на сорт рослин ... **230**
8.5. Умови надання правової охорони сорту рослин ... **234**
8.6. Набуття права інтелектуальної власності на сорт рослин ... **236**
8.7. Припинення чинності майнових прав інтелектуальної власності на сорт рослин ... **239**
8.8. Порушення прав на сорт рослин ... **242**
8.9. Захист прав на сорт рослин ... **244**
8.10. Умови збору за підтримання чинності майнових прав інтелектуальної власності на сорт рослин або на його поширення ... **247**
Завдання та питання для самостійної роботи ... **251**
Перелік джерел до розділу 8 ... **252**

РОЗДІЛ 9
ОРГАНІЗАЦІЯ ВЕДЕННЯ НАСІННИЦТВА ... **253**
9.1. Правові засади організації насінництва в Україні ... **253**
9.2. Організаційно-економічні аспекти ... **254**
9.3. Техніко-технологічні аспекти ... **257**
9.4. Інформаційно-консультаційні аспекти ... **259**
9.5. Інноваційні методи досліджень у насінництві ... **260**
Завдання та питання для самостійної роботи ... **266**
Перелік джерел до розділу 9 ... **267**

РОЗДІЛ 10
ГІБРИДИЗАЦІЯ, МУТАГЕНЕЗ, ПОЛІПЛОЇДІЯ, ГАПЛОЇДІЯ В РОСЛИННИЦТВІ ... **269**
10.1. Поняття «генна інженерія», «генетична інженерія» ... **269**
10.2. Вектори для переносу рекомбінантної ДНК ... **277**
10.3. Поліплоїдія та гаплоїдія ... **281**
10.4. Мінливість спадковості у процесі онтогенезу й еволюції. Модифікації та норма реакції ... **285**
Завдання та питання для самостійної роботи ... **288**
Перелік джерел до розділу 10 ... **288**

РОЗДІЛ 11
РОСЛИНА В ДОСЛІДІ **290**
11.1. Основні положення системного підходу за вивчення рослинних організмів **290**
11.2. Взаємозв'язок між рослинами, ґрунтом, метеорологічними умовами, антропологічними чинниками **293**
11.3. Сучасні концептуальні засади експериментального забезпечення експериментів з рослинами **294**
11.4. Екологічний підхід визначення основних факторів впливу на рослини. Зональність виконання досліджень **300**
11.5. Типи адаптивної реакції в рослин **304**
Завдання та питання для самостійної роботи **309**
Перелік джерел до розділу 11 ..... **310**

РОЗДІЛ 12
СВІТОВИЙ ДОСВІД ЗБЕРІГАННЯ ТА ПЕРЕРОБКИ ВРОЖАЮ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР **312**
12.1. Умови зберігання і переробки зернових культур **312**
12.2. Умови зберігання і переробки зерна гречки та проса **320**
12.3. Умови зберігання і переробки зернобобових культур **323**
12.4. Умови зберігання і переробки олійних культур **327**
Завдання та питання для самостійної роботи **331**
Перелік джерел до розділу 12 ..... **331**

РОЗДІЛ 13
ОРГАНІЧНЕ КОРМОВИРОБНИЦТВО **333**
13.1. Управління та методи органічного вирощування кормових рослин **334**
13.2. Світовий досвід вирощування органічних кормових культур **337**
13.2.1. Насіння, підготовка посівного ложа та посів в органічному вирощуванні кормових культур **337**
13.2.2. Удобрення під час вирощування органічних кормових культур **338**
13.2.3. Ефективність вирощування органічних кормових культур у сівозміні **343**
13.2.4. Переваги кормосумішок для задоволення потреб у поживних речовинах **343**
13.2.5. Зрошення під час вирощування органічних кормів **344**
13.2.6. Захист рослин під час вирощування органічних кормів **344**
13.2.7. Збір урожаю в органічному вирощуванні кормів **347**
13.3. Наукові та технологічні основи органічного луківництва в Україні **347**
13.4. Зелений (сировинний) конвеєр в органічному кормовиробництві **350**
Завдання та питання для самостійної роботи **356**
Перелік джерел до розділу 13 ..... **356**

РОЗДІЛ 14
МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ НАСІННЯ **359**
14.1. Загальні положення про якість насіння **359**
14.2. Методи аналізування заселеності насіння шкідниками та зараження хворобами **360**
14.3. Визначення якісних показників насіння **363**
14.4. Визначення сортової та генетичної чистоти насіннєвого матеріалу **377**
14.5. Молекулярно-генетичний аналіз **377**
14.6. Визначення показників якості зерна за допомогою аналізатора “Infratec 1225” **381**
Завдання та питання для самостійної роботи **382**
Перелік джерел до розділу 14 ..... **383**

РОЗДІЛ 15
АГРОХІМІЯ ТА СУЧАСНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ДОБРИВ, ЇХ ЕФЕКТИВНІСТЬ **386**
15.1. Основи сучасних агрохімічних знань **386**
15.2. Актуальні питання щодо оптимізації живлення рослин мінеральними добривами **390**
15.2.1. Регулювання азотного режиму ґрунтів **390**
15.2.2. Актуальні питання щодо оптимізації фосфорного та калійного режимів і ефективності добрив **394**
15.2.3. Регулювання кальцієвого та магнієвого живлення рослин **400**
15.2.4. Значущість сірки для рослин та основні сірковмісні добрива **403**
15.2.5. Ефективне використання добрив з мікроелементами й органічними речовинами **405**
15.2.6. Комплексні добрива **407**
15.3. Сучасні тенденції щодо використання органічних добрив **409**
15.3.1. Органічні добрива **409**
15.3.2. Біодобрива **411**
15.3.3. Удобрювальні продукти з гуміновими та фульватними кислотами **413**
Завдання та питання для самостійної роботи **414**
Перелік джерел до розділу 15 ..... **415**

РОЗДІЛ 16
ФІЗИКА ҐРУНТУ **416**
16.1. Структурно-агрегатний склад ґрунту **416**
16.2. Фізичні показники **419**
16.3. Фізико-механічні властивості **424**
16.4. Основні водні показники та їх визначення **426**
16.5. Теплові та повітряні характеристики ґрунту **432**
Завдання та питання для самостійної роботи **435**
Перелік джерел до розділу 16 ..... **435**

РОЗДІЛ 17
ВІДНОВЛЮВАЛЬНЕ ЗЕМЛЕРОБСТВО **437**
17.1. Поняття та передумови виникнення **437**
17.2. Розпушування та аерація ґрунту **440**
17.3. Роль зеленого добрива у відновлювальному землеробстві **446**
17.4. Розклад органічної маси **450**
17.5. 7 кроків до відновлюваного землеробства **453**
Завдання та питання для самостійної роботи **454**
Перелік джерел до розділу 17 ..... **455**

РОЗДІЛ 18
ОСОБЛИВОСТІ ЖИВЛЕННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ В БІОЛОГІЧНОМУ ЗЕМЛЕРОБСТВІ **456**
18.1. Особливості живлення біологічного відновлювального землеробства **456**
18.2. Роль ґрунту в живленні рослин **461**
18.3. Мережа живлення ґрунту **465**
18.4. Вплив живлення на стан рослин **473**
Завдання та питання для самостійної роботи **476**
Перелік джерел до розділу 18 ..... **477**

РОЗДІЛ 19
СУЧАСНІ СВІТОВІ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ **479**
19.1. Основні етапи підготовки та закладення дослідів із вивчення гербіцидів, фунгіцидів та інсектицидів **479**
19.2. Вегетаційні індекси: принципи побудови **494**
19.3. Проведення досліджень та доповнення об'єктивних даних **501**
19.4. Практичне використання спектрофотометрії в польових обстеженнях **505**
Завдання та питання для самостійної роботи **509**
Перелік джерел до розділу 19 ..... **510**

РОЗДІЛ 20
ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ **512**
20.1. Вступ **512**
20.1.1. Інструментальні методи дослідження біологічних об'єктів. Практичні завдання дисципліни **512**
20.1.2. Оптичні, електрохімічні, хроматографічні та радіобіологічні методи аналізу, їхнє значення в сучасній біотехнології **515**
20.1.3. Сфери застосування інструментальних методів досліджень **522**
20.2. Потенціометрія і електрометрія **522**
20.2.1. Потенціометричні методи досліджень **522**
20.2.2. Типи електродів: скляні іоноселективні, рідинні іонообмінні й тверді електроди **523**
20.2.3. Потенціометричне титрування **524**
20.2.4. Полярографічна хвиля. Рівняння полярографічної хвилі **525**
20.2.5. Метод стандартних розчинів **528**

20.3. Електрофорез ... **533**
20.3.1. Електроміграційні методи ... **533**
20.3.2. Зонний електрофорез на папері ... **534**
20.3.3. Гель-електрофорез ... **535**
20.3.4. Методи забарвлення зразків після електрофоретичного розділення ... **536**
20.4. Хроматографія ... **536**
20.4.1. Теоретичні основи методів хроматографії ... **536**
20.4.2. Газова хроматографія ... **536**
20.4.3. Високоефективна рідинна хроматографія та її методичні основи ... **538**
20.4.4. Площинна хроматографія ... **539**
20.4.5. Тонкошарова хроматографія ... **539**
20.4.6. Афінна (споріднена) хроматографія ... **539**
20.5. Спектроскопія ... **540**
20.5.1. Основні закони поглинання світла. Закон Ламберта – Бера ... **540**
20.5.2. Спектрофотометрія ... **541**
20.5.3. Якісний і кількісний спектрофотометричний аналізи ... **541**
20.5.4. Інфрачервона спектрофотометрія ... **542**
20.6. Світлова мікроскопія ... **542**
20.6.1. Будова світлового мікроскопа. Типи й класи світлових мікроскопів. Оптичні системи мікроскопа та їхні характеристики. Процедури настроювання і обслуговування мікроскопів ... **542**
20.6.2. Фіксація та мікротомія біологічного матеріалу. Типи мікротомів. Методи фарбування тканин. Гістохімічні барвники для фарбування базо- й оксифільних структур. Фіксація та мікротомія біологічного матеріалу ... **543**
20.6.3. Спеціальні методи мікроскопії ... **544**
20.6.4. Інші інструментальні методи візуального аналізу біологічних об'єктів ... **545**
Завдання та питання для самостійної роботи ... **546**
Перелік джерел до розділу 20 ... **547**

ВСТУП

Наука є найвищим рівнем інтелектуального розвитку людини, ключовим і унікальним досягненням людської культури. Вона проникає в усі сфери діяльності людини, охоплює як матеріальний, так і духовний аспект життя. У процес створення наукових знань залучені значні людські ресурси, численні наукові колективи та значні матеріальні ресурси.

У сучасних умовах, за стрімкого зростання обсягів наукової та науково-технічної інформації, швидких змін і оновлення знань, постає нагальна потреба в якісній теоретичній підготовці висококваліфікованих фахівців. Вони мають бути здатними до самостійної творчої діяльності, упровадження інноваційних технологій у виробництво й адаптації до сучасних викликів. Важливу роль у підготовці та підвищенні кваліфікації наукових кадрів відіграють заклади вищої освіти. У багатьох із них створені наукові школи, діють спеціалізовані вчені ради для захисту дисертацій, а також функціонують докторантура й аспірантура.

Метою підручника є висвітлення теоретичних основ методології проведення наукових досліджень, сучасних аспектів землеробства та світових агротехнологій. Наведено значну частину селекційно-насінницьких досліджень та сучасної біотехнології. Для розвитку індивідуальної траєкторії здобувачів в освітньому процесі подано великий блок дисциплін на вибір, зокрема: рослина в досліді, стабільність та стійкість агроценозів, охорона прав на сорти рослин, організація проведення насінництва та гібридизації, фізика ґрунту. Важливим складником навчання здобувачів є обізнаність у сучасних тенденціях застосування добрив, органічного й відновлювального землеробства. За євроінтеграції вітчизняного агропромислового комплексу, де головним аспектом є відповідність продукції чинним стандартам, вивчення світового досвіду зберігання та застосування сучасних методів аналізу якості насіння є першорядним. У посібнику розглянуто такий невід'ємний складник підготовки доктора філософії, як педагогічна практика, що передбачена програмою.

Автори висловлюють щиру подяку рецензентам доктору сільськогосподарських наук, професору, академіку НААН України Каленській С. М., доктору сільськогосподарських наук, професору, директору Навчально-наукового інституту агротехнологій, селекції та екології Полтавського державного аграрного університету Мареничу М. М. та доктору сільськогосподарських наук, професору, директору Інституту сільського господарства Північного сходу НААН України Кабанцю В. М. за цінні зауваження та слушні поради, які допомогли під час роботи над рукописом.

Заздалегідь дякуємо за відгуки, зауваження та пропозиції. Будемо раді можливості співпраці й обміну досвідом.

Розділ 1

МЕТОДОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Теоретичні основи наукового дослідження

1.1.1. Наукова діяльність та організаційні структури для виконання наукової роботи в Україні

Наука – це сукупність історично накопичених, поглиблюваних знань про навколишню дійсність, що постійно зростають, які ґрунтуються на систематично зібраних фактах і теоретичних узагальненнях, перевірених і підтверджених суспільною практикою.

За більш спрощеним визначенням, наука – це система знань про об'єктивні закони природи, суспільства та мислення, що виражається через точні категорії та має складну внутрішню структуру.

Основу поняття «система» становить ідея про взаємозв'язок і взаємодію всіх предметів, процесів і явищ у світі. Тож науку як систему розглядають у двох формах:

— як складник суспільної свідомості, що відображає сенс людського існування та охоплює природничі, соціальні та гуманітарні науки;

— як елемент суспільної практики, що охоплює методологію, теоретичні концепції, інформаційні ресурси та наукові структури.

Наукові дисципліни, що формують систему наук загалом, умовно поділяють на три великі групи: природничі, соціальні та технічні. Ці підсистеми розрізняються за своїми об'єктами дослідження та методами, хоча між ними немає чітких меж. Існують науки, що мають проміжне положення, наприклад:

— технічна естетика – на межі технічних і соціальних наук;

— біоніка – на стику природничих і технічних наук;

— економічна географія – між природничими та соціальними науками.

Постановою Кабінету Міністрів України від 30 серпня 2024 р. № 1021 затверджено основні галузі наук (табл. 1.1, див. 13).

В Україні функціонує державна система організації та управління науковими дослідженнями, що забезпечує концентрацію наукового потенціалу на вирішенні найважливіших завдань, згідно із соціально-економічними потребами країни.

Основна мета державної системи управління наукою – розроблення стратегічних і тактичних рішень для реалізації фундаментальних і прикладних досліджень, підвищення їхньої ефективності, визначення пріоритетних наукових

напрямів, забезпечення інформаційної підтримки дослідницької діяльності та створення механізмів економічного стимулювання науки.

Таблиця 1.1 – Шифр і перелік галузей знань, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищого, третього освітньо-наукового рівня (доктор філософії)

Шифр	Найменування галузі знань	Шифр	Найменування галузі знань
A	Освіта	G	Інженерія, виробництво та будівництво
B	Культура, мистецтво та гуманітарні науки	H	Сільське, лісове, рибне господарство та ветеринарна медицина (**H1 – Агрономія**)
C	Соціальні науки, журналістика й інформація	I	Охорона здоров'я та соціальне забезпечення
E	Природничі науки, математика та статистика	J	Транспорт і послуги
F	Інформаційні технології	K	Безпека й оборона

Законодавчу базу для організації наукової діяльності формує Верховна Рада України. Виконання державної політики у сфері науки здійснює Кабінет Міністрів України, якому підпорядковані органи, що безпосередньо керують науковою діяльністю: Міністерство освіти і науки України, Національне агентство із забезпечення якості вищої освіти, Національна академія наук України, а також галузеві та міжгалузеві міністерства, комітети й відомства.

Наукова діяльність в Україні організована в чотирьох основних секторах.

Академічний сектор – зосереджений на проведенні фундаментальних досліджень, спрямованих на отримання нових знань, ідей і наукових теорій.

Університетський сектор – охоплює як фундаментальні, так і прикладні дослідження, результатом яких є не лише нові знання, а й розробки, що мають практичне застосування.

Галузевий сектор – спеціалізується на проведенні прикладних досліджень, розробленні інновацій та їх упровадженні в різних галузях.

Виробничий сектор – забезпечує впровадження науково-технічних досягнень, удосконалення технологій і технічних процесів, що сприяє появі нових винаходів, обладнання й продукції.

Безпосередньо наукову діяльність в Україні здійснюють:

— науково-дослідні й проєктні установи та центри Національної академії наук;

— науково-дослідні установи системи галузевих академій наук;

— науково-дослідні підрозділи та кафедри вищих закладів освіти (інститутів, академій, університетів);

— науково-дослідні, проєктні, конструкторські, технологічні й інші установи міністерств і відомств;

— науково-дослідні, проєктні установи й центри при промислових підприємствах і об'єднаннях різних форм власності.

Уся сукупність наукових установ і організацій утворює організаційну систему науки в державі. Ієрархічну структуру цієї системи очолює ***Міністерство освіти і науки України***.

У системі державної організації науки важливе місце належить ***Департаменту атестації кадрів вищої кваліфікації*** (при МОН України). Одним з основних завдань Департаменту є забезпечення систематизованої підготовки й атестації науково-педагогічних і наукових кадрів; формування рішень учених (науково-технічних) рад щодо присвоєння вчених звань і присудження наукових ступенів.

Національне агентство із забезпечення якості вищої освіти – здійснює акредитацію освітніх програм, підтримку інформаційної системи про подання повідомлень, утворення разових спеціалізованих учених рад та їх супровід (у системі svr.naqa.gov.ua).

Національна академія наук – головна державна наукова установа країни, що опікується проблемами в галузі математики, ядерної фізики, кібернетики, хімії, економіки, біофізики. Окрім того, охоплює комплекс питань у матеріалознавстві, радіоастрономії, біохімії живих організмів, історії, українській мові та літературі тощо. Ця установа здійснює фундаментальні та прикладні наукові дослідження, координує їх організацію та проведення в наукових установах України.

Згідно із чинним Статутом, до складу Національної академії наук входять видатні науковці України, зокрема дійсні члени (академіки), члени-кореспонденти, працівники наукових установ, що перебувають у її віданні. Членів академії обирають на загальних зборах.

До наукових установ Національної академії наук України належать:

— Центральний науково-природничий музей;
— Центральна бібліотека імені В. І. Вернадського;
— Центральний ботанічний сад імені М. М. Гришка.

Також діють наукові центри Національної академії наук і Міністерства освіти і науки України. Вони створені з метою зміцнення зв'язків науки й посилення координації наукової роботи. Такі центри об'єднують за територіальним принципом усі наукові установи Академії наук, а саме: Донецький, Північно-Східний (м. Харків), Західний (м. Львів), Північно-Західний (м. Київ), Південний (м. Одеса), Придніпровський (м. Дніпро).

Водночас в Україні діють і галузеві академії наук, що являють собою наукову асоціацію, до складу якої входять обрані нею члени академії. Галузеві академії наук – це юридична особа, що має фінансову й господарчу самостійність. У сільськогосподарському напрямі діє Національна аграрна академія наук України (далі – НААНУ). До її складу входять шість відділень, зокрема: аграрної економіки та продовольства, ветеринарної медицини, землеробства, меліорації та механізації, зоотехнії, наукового забезпечення інноваційного розвитку, рослинництва [15].

Наукові дослідження в різних сферах знань здійснюють фахівці, яких називають науковими працівниками. До цієї категорії належать фахівці з вищою освітою, які займаються науково-дослідною діяльністю в наукових установах або науково-педагогічною роботою в закладах вищої освіти.

Сучасна кваліфікація науковців визначається науковими ступенями та вченими званнями. Присудження наукових ступенів і присвоєння вчених звань

відбувається відповідно до встановленого державного порядку. Питання про присудження наукових ступенів вирішують спеціалізовані вчені ради, що діють при закладах вищої освіти, наукових установах і організаціях.

Процедура присудження наукових ступенів регламентується низкою нормативно-правових документів, зокрема: постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1197, наказом МОН України № 1220 від 23 вересня 2019 р. «Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук».

В Україні є два наукові ступені: кандидат наук і доктор наук.

Кандидат наук (від лат. *candidatus* – «одягнений у біле») – це перший науковий ступінь. Його можуть здобути особи з вищою освітою, які успішно склали кандидатські іспити (з філософії, іноземної мови та спеціальності) та публічно захистили кандидатську дисертацію. Згідно з новими положеннями, із 2014 р. науковий ступінь кандидата наук було прирівняно до ступеня доктора філософії (PhD) як першого наукового ступеня. Отже, науковці, які успішно виконали та захистили дисертаційне дослідження, отримують ступінь доктора філософії за визначеною спеціальністю (табл. 1.1).

Доктор наук (від лат. *doctor* – «учитель, наставник») – це вищий науковий ступінь. Для його здобуття необхідно вже мати ступінь кандидата наук і захистити докторську дисертацію. Водночас, згідно із чинним законодавством України, докторську дисертацію може захищати й здобувач без попереднього ступеня кандидата наук (але таких випадків не зафіксовано).

Наукові ступені присуджуються в Україні з таких галузей наук: фізико-математичних (математика, механіка, астрономія, фізика, інформатика та кібернетика), хімічних, біологічних, геологічних, технічних, сільськогосподарських, історичних, економічних, філософських, філологічних, географічних, юридичних, педагогічних, медичних, фармацевтичних, ветеринарних, психологічних, соціологічних, політичні, а також із мистецтвознавства, архітектури, фізичного виховання і спорту (табл. 1.1).

Ученими званнями в Україні є:

— ***старший дослідник*** (старший науковий співробітник) – це почесне звання, що присвоюють науковцям за їхні значні наукові досягнення. Це звання відображає високий рівень професіоналізму, компетентності та суттєвий внесок у розвиток науки. Зазвичай старші дослідники мають багаторічний досвід, наукові ступені та публікації у престижних наукових журналах. Їхня праця сприяє розвитку наукових галузей і прогресу суспільства загалом. Таке звання зазвичай надають співробітникам науково-дослідних установ національних і галузевих академій наук;

— ***доцент*** (від лат. *docens* – «той, хто навчає») – це вчене звання, що присвоюють викладачам вищих закладів освіти, які виконують функції лекторів. Це звання надається кандидатам і докторам наук, які мають не менш ніж три роки педагогічного досвіду у вищих навчальних закладах і публікації наукових або навчально-методичних робіт, що застосовуються в педагогічній практиці;

— ***професор*** (від лат. *professor* – «викладач, учитель») – це вчене звання, яке присвоюється особам, що працюють у наукових установах або вищих закладах

освіти, мають ступінь доктора наук і значний досвід науково-педагогічної діяльності. Для отримання цього звання необхідно мати не менш ніж 10 років наукової та науково-педагогічної роботи й відповідні наукові праці.

Наукове дослідження є основною формою існування та розвитку науки. Його мета – визначити конкретний об'єкт для всебічного та достовірного вивчення його структури, характеристик, зв'язків, за допомогою наукових принципів і методів пізнання, а також отримати корисні результати для людської діяльності, що можуть бути впроваджені у виробництво. Оцінка результатів наукових досліджень залежить від науковості зроблених висновків та їхньої ефективності. Результати мають стати основою для нових наукових розробок. Одна з головних вимог до наукового дослідження – це наукове узагальнення, що дозволяє виявити залежності між досліджуваними явищами та процесами і сформулювати наукові висновки. Що глибші ці висновки, то вищий рівень дослідження.

За джерелом фінансування розрізняють наукові дослідження: бюджетні, госпдоговірні, ґрантові, а також нефінансовані.

Бюджетні дослідження проводяться коштом бюджету України. Такі дослідження фінансуються з бюджетів Кабінету Міністрів України, Верховної Ради України, Міністерства освіти і науки України, Міністерства аграрної політики та продовольства й інших.

Госпдоговірні дослідження фінансуються організаціями – замовниками з господарських договорів. Це можуть бути юридичні та фізичні особи із власним капіталом. Зокрема, агропромислові підприємства, холдинги, фірми з виробництва та реалізації посівного матеріалу, засобів захисту рослин, сільськогосподарської та переробної техніки й інші.

Ґрантові дослідження фінансуються завдяки отримання ґранту. Ґрант – це фінансова підтримка, що надається на безповоротній основі некомерційним організаціям чи фізичним особам для реалізації соціальних проєктів, благодійних ініціатив, проведення досліджень, навчання або інших суспільно корисних заходів. Усі ґрантові кошти використовують з обов'язковим поданням звіту про їх використання та досягнуті результати. Ґранти надаються на конкурсній основі. Участь у конкурсі можуть брати як зареєстровані громадські організації, так і муніципальні або державні структури (наприклад, наукові установи та вищі навчальні заклади), а також фізичні особи, відповідно до вимог конкретного конкурсу.

Нефінансовані дослідження можуть виконуватися з ініціативи окремих науковців, за індивідуальним планом викладача. Переважна частина цих досліджень зареєстрована в Українському інституті науково-технічної експертизи та інформації (далі – УкрІНТЕІ). Це державна установа, яку відносять до сфери управління Міністерства науки і освіти України. Завдання УкрІНТЕІ полягає в підтриманні наукового, науково-технічного, інноваційного розвитку за допомогою інформаційної, консалтингової та експертної підтримки.

Наукові дослідження можна класифікувати за тривалістю на ***довгострокові***, ***короткострокові*** й ***експрес-дослідження***. У науці також розрізняють емпіричний і теоретичний рівні досліджень і організації знання. Теоретичний рівень передбачає створення абстрактних об'єктів і теоретичних законів,

які використовуються для ідеалізованого опису та пояснення реальних явищ, з метою пізнання їхньої сутності. Такий рівень науки спрямований на розширення знань і глибше розуміння законів природи. Результати теоретичних досліджень часто є основою для подальших теоретичних розробок, які можуть бути довгостроковими або бюджетними.

Емпіричне знання ґрунтується на фактах, отриманих через спостереження та експерименти, і характеризує як якісні, так і кількісні аспекти об'єктів і явищ. Повторюваність і взаємозв'язки між емпіричними характеристиками виражаються через емпіричні закони, які часто мають імовірнісну природу.

1.1.2. Основні складники та поняття наукових досліджень

Структуру теорії утворюють поняття, судження, закони, наукові положення, навчання, ідеї та інші елементи.

Поняття – це думка, що відображає суттєві та необхідні ознаки окремої групи предметів або явищ.

Категорія – це загальне, фундаментальне поняття, що відображає основні властивості та взаємозв'язки між предметами і явищами.

Науковий термін – це слово або сполучення слів, що позначає поняття, яке використовується в науці. Сукупність термінів, що застосовуються в науці, утворює її понятійний апарат.

Судження – це думка, у якій стверджується або заперечується якась істина чи факт.

Принцип – це основне положення або основа окремої галузі науки. Принципи є початковою формою систематизації знань (наприклад, аксіоми евклідової геометрії чи постулат Бора у квантовій механіці).

Аксіома – це початкове, недоказове положення, яке беруть за основу і з якого виводяться інші твердження згідно з установленими правилами. Логічними аксіомами є, наприклад, закон тотожності, закон суперечності, закон виключення третього.

Закон – це загальне положення, яке виражає перебіг подій у якійсь сфері та показує, як щось відбувається або має відбуватися з необхідністю. Закони є об'єктивними й відображають основні, стабільні, причинно зумовлені зв'язки та відношення між явищами та процесами.

Положення – це наукове твердження або сформульована думка.

Вчення – це сукупність теоретичних положень щодо певної сфери явищ реальності.

Концепція – це система теоретичних поглядів, об'єднаних науковою ідеєю або ідеями, що визначають основну думку чи підхід до наукової проблеми.

У науково-дослідних розробках розрізняють наукові напрями, проблеми та теми.

Науковий напрям – це сфера наукових досліджень, до якої входять значні фундаментальні або прикладні завдання, на вирішення яких спрямовані дослідження наукового колективу.

Проблема – це складне наукове завдання, яке охоплює велику сферу дослідження та має перспективне значення.

Тема – це конкретне наукове завдання, яке охоплює частину дослідження в межах більшої наукової проблеми.

Наукове питання – це більш конкретне наукове завдання, що входить до колективної теми наукового дослідження.

Наукові дослідження поділяють на фундаментальні та прикладні.

Фундаментальні наукові дослідження – це дослідження, спрямовані на вивчення нових законів і явищ природи, а також розширення наукових знань суспільства. Результатом таких досліджень є формування нової наукової інформації.

Прикладні наукові дослідження – це дослідження, спрямовані на використання відомих законів природи на практиці для вирішення конкретних завдань.

Кожна діяльність людини передбачає використання окремих прийомів, способів і операцій для досягнення мети. Наука як форма діяльності людини також використовує специфічні методи. Сукупність таких прийомів позначають поняттям «метод».

Метод (із грецької – шлях пізнання) – це спосіб досягнення мети, розв'язання конкретного завдання; сукупність прийомів (операцій) практичного впливу чи теоретичного освоєння об'єктивної дійсності для її пізнання.

Методика дослідження – це система правил для використання методів, прийомів і способів під час проведення дослідження. Свідоме й науково обґрунтоване застосування методів є необхідною умовою для отримання нових знань. Дослідник, який добре володіє методами дослідження, витрачає менше зусиль і досягає кращих результатів, ніж той, хто покладається лише на інтуїцію чи принцип спроб і помилок.

Методологія – це концептуальне уявлення мети, змісту та методів дослідження, що забезпечують отримання максимально об'єктивної, точної та систематизованої інформації про процеси та явища.

У методології наукових досліджень розрізняють два рівні пізнання.

Теоретичний рівень – висунення та розвиток наукових гіпотез і теорій, формулювання законів, виведення з них логічних наслідків, порівняння різних гіпотез і теорій.

Емпіричний рівень – спостереження і дослідження конкретних явищ, експеримент, групування, класифікація та опис результатів дослідження.

Експерименти є найважливішим складником наукових досліджень і одним з основних способів отримання нових наукових знань. Більше двох третин усіх трудових ресурсів науки витрачаються на проведення експериментів. В основу експериментального дослідження покладено експеримент, що являє собою науково організоване спостереження явища в точно визначених умовах, що дозволяють контролювати розвиток явища, відтворювати його в разі повторення умов. Експеримент відрізняється від звичайного, пасивного спостереження тим, що дослідник активно впливає на явище.

Є різні типи експериментів:

— ***природні експерименти*** – проводять, наприклад, під час вивчення соціальних явищ (соціальний експеримент), в умовах виробництва, побуту тощо;

— ***штучні експерименти*** – застосовують у багатьох загальнонаукових дослідженнях, де явища ізолюються до необхідного ступеня, щоб оцінити їхні кількісні та якісні характеристики.

Іноді постає потреба в пошукових експериментальних дослідженнях, коли важко класифікувати всі чинники, що впливають на досліджуване явище через брак попередніх даних. Пошукові експерименти допомагають зібрати необхідну інформацію, на основі якої будується програма подальших досліджень.

1.2. Інноваційний процес та гігієна розумової праці

1.2.1. Поняття автоматизованої системи збору та обробки інформації (далі – АС)

За інтенсивного розвитку науки та техніки, а також за впровадження різноманітних нових технологій у народному господарстві поняття інформації додатково набуло сенсу, безпосередньо пов'язаного з керуванням (управлінням) тими або іншими об'єктами чи процесами. Щоб зрозуміти цей сенс, з'ясуємо те, як формуються рішення щодо організації керувального впливу на будь-який об'єкт на основі первинної інформації про негайний стан відповідного об'єкта. Водночас варто зауважити, що керування (управління) буває *автоматизованим* і *автоматичним*, відмінність полягає в тому, що в першому – керувальні, або організаційні, впливи здійснюються за участю людини, а у другому – без її безпосередньої участі.

Класичний підхід. Структурну схему процесу формування керувального впливу на об'єкт керування відповідно до причинно-наслідкових зв'язків, згідно із класичним уявленням, наведено на рисунку нижче.

Принцип, наведений на рисунку 1.1 (див. с. 20), можна поширити й на управлінські (організаційні) системи, але термін «керування» для коректності замінюють терміном «управління».

Сутність інформаційних процесів [2], які проілюстровано на структурній схемі, наведеній вище, можна описати так: ***стан об'єкта керування*** характеризується деяким набором фізичних параметрів (температура, вологість, тиск, концентрація та/або інше), їхні фактичні значення можна виміряти через відповідні *давачі* (давач температури повітря у приміщенні, давач температури вологості ґрунту, давач атмосферного тиску повітря та інші) та ***через зворотний зв'язок*** за допомогою відповідної лінії зв'язку передати до ***регулятора***.

У регуляторі отримані через зворотний зв'язок значення стану об'єкта керування порівнюються з ***необхідними (бажаними) значеннями***. Це дає можливість на основі цього порівняння ***сформувати керувальний вплив*** такого значення та знака, щоб максимально швидко вивести об'єкт у такий стан, який



Рисунок 1.1 – Структурна схема організації інформаційно-керувальних взаємодій в автоматизованій або автоматичній системі керування у класичному уявленні

відповідатиме ***початковій меті*** відповідного керувального процесу. Інколи (якщо можливо) регулятор може оснащуватись засобами контролю ***зовнішніх впливів*** на об'єкт керування. Метою цього є структурна компенсація відповідних зовнішніх впливів ще на етапі регулювання (формування керувального впливу) та запобігання їхньому негайному негативному впливу безпосередньо на параметри об'єкта керування.

Принцип адаптації. Вищеописаний підхід тривалий час був єдиним в управлінні, керуванні та/або регулюванні з кінця дев'ятнадцятого століття аж до появи нового підходу, пов'язаного із працями Вінера (50-ті роки XX століття). Це ознаменувало появу нового принципу керування – *принципу адаптації* (пристосування) та нової науки – *кібернетики*.

Принцип адаптації полягає в тому, що до системи керування (управління), побудованої в межах її класичного (канонічного) уявлення, можна долучити додатковий ***зовнішній пристрій-аналізатор-обчислювач***, основним призначенням якого буде збір у реальному часі інформації про значення максимальної кількості ключових сигналів системи керування (управління) для подальшого її зберігання, опрацювання та формування додаткового (коригувального) сигналу регулятора. Це необхідно для забезпечення додаткового пришвидшення процесу виходу об'єкта керування на рівень бажаного стану відповідно до початкової мети (рис. 1.2, див. с. 21) завдяки своєчасному відстеженню зміни параметрів самого об'єкта керування під дією впливів зовнішнього середовища.

Комп'ютеризовані системи управління. До кінця XX століття повноцінна реалізація в межах принципу адаптації значно обмежувалась наявністю технічних засобів, здатних накопичувати в собі велику кількість інформації (баз даних) та проводити високоефективні аналітичні обчислення на основі отриманої інформації.

Наприкінці XX століття, завдяки низці проривних технологій, з'явилась можливість використання як зовнішніх пристроїв-обчислювачів персональних комп'ютерів, що ознаменувало появу комп'ютеризованих систем керування для потреб технічного, технологічного й організаційного управління. Стало

можливим використання більш складних алгоритмів організації ухвалення рішень для потреб керування як за участю людини, так і без її безпосереднього втручання в цей процес. Комп'ютеризовані системи керування (управління) почали впевнено запроваджуватись у всіх сферах народного господарства, промисловості та в побуті людей. Особливо цей процес інтенсифікувався з появою загальнодоступних мікроконтролерних і мікропроцесорних засобів. Масово почали розроблятись і використовуватись системи дистанційного контролю та диспетчеризації (SCADA-системи).

Додатковим новим викликом стала необхідність створення більш ефективних ліній, засобів зв'язку, інтерфейсів і протоколів для організації міжмашинної взаємодії. Для прискорення, а також оптимізації процесу обміну й оброблення інформації все частіше стали використовувати локальні обчислювальні мережі, сукупна експлуатація яких започаткувала глобальне керування (управління). З'являється можливість організації більш складних зворотних зв'язків і більш ефективних засобів телеметрії.

Інтернет речей. Інтернет речей (Internet of Things – IoT) – революційний тренд у техніці початку двадцять першого століття, який стрімко розвивається та поширюється. Він інтенсивно захоплює промисловість, заходить у побут (домашня автоматизація), медицину й інші сфери життя і діяльності людини. Його популярність зумовлена насамперед можливістю поєднувати велику кількість засобів автоматизації (датчиків, виконавчих пристроїв, обчислювачів та іншого), незважаючи на відстань та географічне розташування.



Рисунок 1.2 – Структурна схема організації інформаційно-керувальних взаємодій в автоматизованій або автоматичній системі керування, побудованій за принципом адаптації

Варто зазначити, що вся потужність інтернету, з усіма його хмарними технологіями обчислень, може легко та гнучко інтегруватись із системами керування на рівні зовнішнього пристрою-аналізатора-обчислювача з метою суттєвого підсилення інтелектуальності керувальних впливів, з огляду на те, які гігантські обсяги інформації може в собі зберігати Глобальна мережа.

Актуальності набувають завдання енерго- та ресурсозбережного керування (управління) завдяки спрощенню можливості використання інформації із хмарних аналітично-обчислювальних ресурсів за наявності високоефективних ліній зв'язку та забезпечення швидкісної глобальної міжмашинної взаємодії (у реальному часі) [2]. Бюджетним стає прогнозоване керування, наприклад, стає можливим використання інформації прогнозів із хмарних погодно-аналітичних сервісів за організації планового (сезонного) проведення експерименту, керування режимами зволоження, освітлення і живлення в польових і штучних умовах.

Штучний інтелект. Після того як колосальні обсяги інформації стали досяжні через Глобальну мережу (Internet), з'явилась потреба ефективної сегрегації, оброблення та систематизації відповідної інформації. Так з'явились інформаційно-пошукові системи (машини), системи допомоги ухвалення рішень тощо. В основу роботи таких систем покладено алгоритми пошуку, сортування, оброблення та виведення інформації, що працюють за принципом, подібним до інтелектуального генерування рішень людиною.

З огляду на те, що той обсяг інформації, який накопичено або постійно накопичується у процесі життєдіяльності людей, підлягає за запитом не лише ефективному пошуковому обробленню, а і якісній сегрегації, детальному аналізу, а інколи й творчому опрацюванню, що дотепер було суто прерогативою людини, з'являються інтелектуальні системи керування та ухвалення рішень. В основу ключових алгоритмів роботи таких систем покладено широкий спектр методів із математичної оптимізації, дослідження операцій, теорії штучних нейронних мереж тощо, які узагальнено називають терміном ***«штучний інтелект»*** (*AI* – англ. *artificial intelligence*).

Деякі з найбільш відомих програм штучного інтелекту містять передові пошукові системи (наприклад, Google Search), рекомендаційні системи (YouTube, Amazon, Netflix та інші), взаємодію за допомогою людської мови (наприклад, Google Assistant, Siri й Alexa), керування автономними транспортними засобами (наприклад, Waymo), генеративні та творчі інструменти (наприклад, ChatGPT, Apple Intelligence і мистецтво штучного інтелекту) тощо.

Сучасні науково-технічні тренди в агрономії. За сучасних тенденцій цілком очевидні перспективи використання автоматизованих технологій в аграрній науці та виробництві (рис. 1.3, див. с. 23).

Додатково варто зазначити закономірне суттєве зниження впливу негативного людського чинника на чистоту реалізації відповідних технологій. Також поєднання комп'ютеризації з автоматизацією спрощує реалізацію специфічних технологій вирощування рослин, як-от гідропоніка, аеропоніка, вертикальні міські ферми тощо.

Поєднання мережевих технологій з комп'ютеризованим керуванням дозволяє централізувати та спростити процес ухвалення рішень щодо одночасного

керування (управління) великою кількістю агрономічних об'єктів, без уваги до географічної відстані, що є вкрай важливим на фоні постійного зростання попиту на сільськогосподарську продукцію. Відповідно, залучення до управління хмарних обчислень науковців відкриває перспективи повноцінного використання інтелектуальних технологій і залучення штучного інтелекту для ухвалення інноваційних рішень у сільському господарстві.

Застосування електронних систем точного землеробства та супутникової навігації для вирішення наукових і виробничих питань у сільському господарстві. У сучасному сільському господарстві точне землеробство стає невід'ємною частиною ефективного управління ресурсами та підвищення врожайності. Зростання ролі цифрових технологій дозволяє оптимізувати виробничі процеси та зменшити витрати, що відкриває нові можливості для українських фермерів на міжнародному ринку.

На сучасному ринку з'являється все більше електронних систем точного землеробства, зокрема: FieldView, Trimble, John Deere Operations Center та інші. Кожна із цих платформ пропонує різні підходи до збору наукової інформації та управління сільськогосподарськими процесами.

FieldView. FieldView відзначається високою інтеграцією з різними типами техніки та сенсорів, що дозволяє отримувати дані в режимі реального часу й оперативно ухвалювати рішення щодо ефективності внесення добрив,

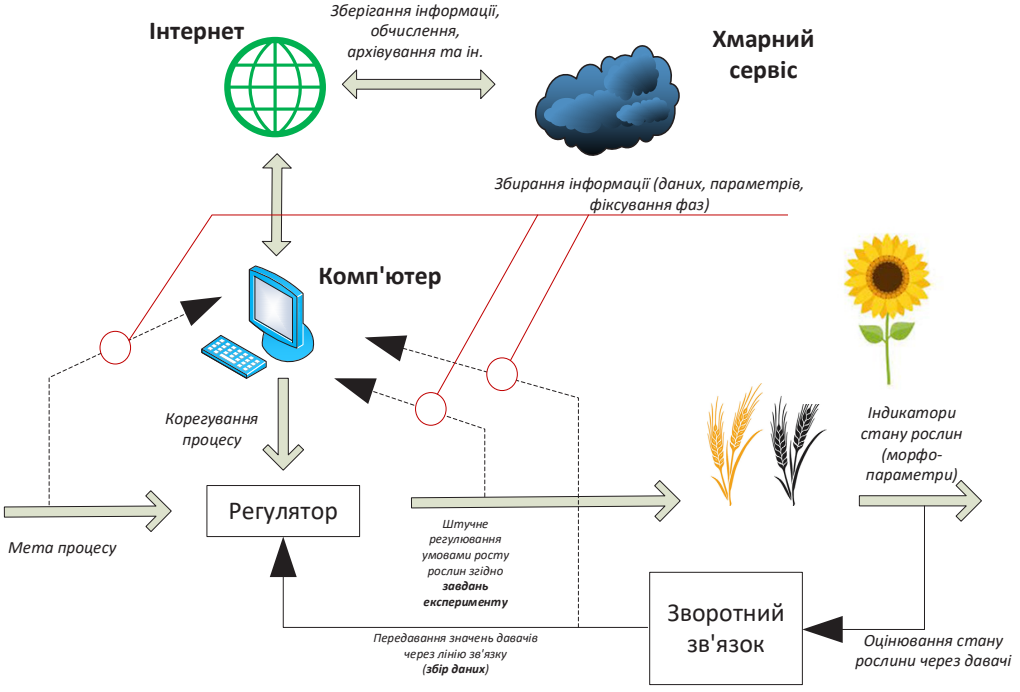


Рисунок 1.3 – Структурна схема керування процесом отримання даних і оптимізації умов вирощування рослин

захисту рослин і формування продуктивності рослині. За даними Climate Corporation, використання FieldView дозволяє підвищити врожайність на 10–15 % завдяки точному аналізу даних і оптимізації процесів [11]. У середньому фермери, що використовують FieldView, зменшують витрати на добрива на 7–10 %, що підтверджується даними аграрних досліджень у США за останні п'ять років [12].

Trimble Agriculture. Trimble Agriculture забезпечує розширений набір інструментів для точного управління полями, зокрема й навігацію, картографування, аналіз ґрунтів і управління водними ресурсами. Згідно зі звітом компанії "Trimble", упровадження їхніх рішень дозволяє збільшити продуктивність на 8–12 % і зменшити витрати на паливо та ресурси на 10–15 % [16]. Дослідження, проведене в Австралії, показало, що фермери, які використовують технології Trimble, отримують на 20 % вищий дохід завдяки точнішому управлінню ресурсами.

John Deere Operations Center. John Deere Operations Center є однією з найбільш інтегрованих систем, що дозволяє не тільки керувати технікою та процесами в полі, а й аналізувати дані на основі штучного інтелекту. Дослідження, проведене компанією "John Deere", показало, що використання Operations Center дозволяє зменшити витрати на виробництво на 12 % та підвищити врожайність на 8–10 %. Наприклад, фермери в Німеччині, які використовують цю систему, відзначають економію палива на 15 % і збільшення загального прибутку на 18 % [15].



Рисунок 1.4 – Моніторинг збору врожаю з полів у реальному часі за допомогою застосунку "Field View Cab"

Порівняльний аналіз показує, що всі розглянуті платформи мають значний потенціал для інноваційного використання в науковій діяльності [4]. Електронні системи точного землеробства є ключовим елементом сучасного розвитку сільського господарства.

1.2.2. Гігієна розумової праці

Розумова діяльність людини – це складний процес, що поєднує творчі, психічні й інші аспекти вищої нервової діяльності, спрямовані на ефективну адаптацію до навколишнього середовища. Її визначальним складником є робота центральної нервової системи (далі – ЦНС), зокрема умовно-рефлекторна діяльність, а також функціонування органів чуття. Однак для пояснення механізмів мислення замало лише концепції умовних рефлексів. Важливими є й інші теорії, як-от метод навчання через спроби та помилки Е. Торндайка, концепція поведінки, керованої образом, І. С. Бериташвілі, а також теорія екстраполяційної діяльності Л. В. Крушинського.

Під час інтелектуальної активності відбуваються деякі фізіологічні зміни: частота серцевих скорочень і дихання знижується, підвищується артеріальний тиск, сповільнюються обмінні процеси. Водночас спостерігається компенсаторний перерозподіл кровотоку: мозок отримує в 10 разів більше крові, тоді як кровопостачання ніг і органів черевної порожнини значно зменшується.

На відміну від фізичної праці, що спричиняє м'язову втому як природний захисний механізм, інтелектуальна діяльність не має чітких біологічних регуляторів перевантаження. Розумова перевтома не призводить до автоматичного припинення роботи, а навпаки, може спричинити надмірне нервове напруження, підвищену збудливість, невротичні розлади та погіршення загального стану здоров'я.

Кожен дослідник повинен дотримуватись принципів гігієни розумової праці. Ефективна організація роботи, заснована на самоорганізації, є ключовою передумовою успіху. Висока працездатність науковця значною мірою залежить від правильного поєднання інтелектуального навантаження з періодами відпочинку, фізичною активністю та зміною видів розумової діяльності.

Стомлена увага веде до неуважності. Відомий фізіолог М. Є. Введенський слушно зауважив, що люди втомлюються не від тривалої роботи, а від неправильного підходу до неї. Він визначив п'ять основних умов, що сприяють збереженню високої працездатності:

— поступовий вхід у робочий процес;
— ритмічність і розміреність діяльності;
— систематичність і послідовність у роботі;
— чергування праці з відпочинком і зміна видів розумової діяльності (активний відпочинок);
— позитивне ставлення суспільства до розумової праці.

Наукові дослідження показують, що центральна нервова система людини не може миттєво адаптуватися до нового виду діяльності, оскільки деякий

час залишається під впливом попередньої роботи. Щоб полегшити початок інтелектуальної праці, варто розпочинати її щодня в той самий час у комфортних умовах. Це активізує умовно-рефлекторні механізми, що сприяють енергозбереженню та підвищенню продуктивності. Спочатку доцільно виконувати нескладні завдання, поступово переходячи до більш творчих. Важливо також мінімізувати зовнішні подразники, вимкнути телевізор, радіо чи інші джерела відволікання.

Що інтенсивніша розумова праця, то частіше треба робити перерви: 5–10 хв після кожних 1,0–1,5 год роботи. Надто тривала пауза може призвести до втрати концентрації та виходу з робочого ритму. Оптимальне чергування роботи та відпочинку забезпечує плавний перехід між різними станами організму.

Виконувати ту саму роботу протягом усього дня складно, тому її варто урізноманітнювати: змінювати види діяльності, переходячи, наприклад, від писання до читання, від аналізу матеріалу до його систематизації тощо. Згідно з концепцією активного відпочинку І. М. Сєченова, продуктивність праці підвищується, коли людина періодично змінює тип діяльності. Наприклад, Д. І. Менделєєв у вільний час виготовляв фігурки з картону, І. П. Павлов доглядав за рослинами й катався на велосипеді, А. Ейнштейн грав на скрипці.

Для відновлення інтелектуальної працездатності ефективними є фізичні вправи просто неба, прогулянки, плавання, танці, а також культурний відпочинок, як-от відвідування театру чи кіно.

Робоче місце повинно бути належним чином освітлене. Під час опрацювання нового матеріалу корисно робити нотатки та працювати з олівцем у руці. Щоб не втрачати важливі ідеї, варто завжди мати при собі записник. Наприкінці кожного робочого дня або тижня доцільно підбивати підсумки виконаної роботи та складати план на наступний період.

Творча діяльність не передбачає тривалих перерв, оскільки вони знижують її ефективність. Важливо дотримуватися ритмічності в роботі, підтримувати чіткий розпорядок дня, що передбачає час для відпочинку та регулярних занять фізичною активністю.

Щоденні фізичні вправи за визначеною схемою є потужним засобом покращання обміну речовин, нормалізації дихання та кровообігу, зміцнення імунної системи та загальної фізіологічної стійкості організму.

Вплив сучасних стресових чинників на ментальне здоров'я науковців. Сучасні умови, що склалися в Україні із 2022 р., характеризуються зростанням негативного впливу на здоров'я загалом і його ментальний складник. Доведено, що на фоні несприятливих екологічних і соціально-економічних умов суттєвого значення набуває головний стресовий чинник – війна. Саме такі тривожні та небезпечні умови, як безпосередня участь у бойових діях, проживання у прифронтовій зоні чи на окупованих територіях, постійні ракетні й артилерійські обстріли, спричиняють погіршення психічного стану здоров'я людей, психічні розлади. Серед найпоширеніших розладів варто назвати депресію, тривожність, посттравматичні стресові розлади (далі – ПТСР). Науковці, як і всі громадяни, також перебувають у постійному стресовому стані, що, безумовно, впливає

на робочі процеси та розумові здібності. Війна створює надзвичайні стресові умови, що підвищують ризик розвитку гострих реакцій на стрес, надмірної тривоги та депресії. За оцінками експертів, 40–50 % населення потребують психологічної допомоги [17]. Молодь, яка перебуває на етапі формування психоемоційної стабільності, є особливо вразливою до таких впливів.

Науковцями доведено, що люди по-різному реагують на травматичну подію. Водночас аргументовано, що людина, яка пережила травматичні події і опрацювала ці переживання, особистісно зростає. Виникає більша впевненість у собі, міцніші стосунки, переосмислення духовних переконань, більше цінується життя, переосмислюються пріоритети тощо.

1.3. Особливості організації наукових досліджень в агрономії

1.3.1. Методи та техніка наукових досліджень в агрономії

Загальновідомо, що сучасна система методів науки досить різноманітна. Так, усі наукові методи залежно від сфери застосування (вужчої чи ширшої) поділяють на три групи: загальнонаукові, загальнофілософські та конкретно-наукові (спеціальні) методи.

Важливим складником наукових досліджень є проведення експериментів. Кожна тема дослідження потребує відповідних експериментів. Зазвичай для того, щоб підтвердити робочу гіпотезу, досить провести лабораторний експеримент. Проте іноді необхідно здійснити попередній (пошуковий), лабораторний і полігонний експерименти. Така серія експериментів потрібна тоді, коли мета й завдання експерименту обґрунтовані нечітко.

Отже, експериментальним дослідженням має передувати робота щодо розроблення методології експерименту.

На рисунку 1.5 (див. с. 28) наведена класифікація методів дослідження, яку використовують на різних етапах дослідження, зокрема емпіричному (метод аналогій, статистичний метод) і теоретичному (метод абстрагування, аксіоматико-дедуктивний метод); а також коли переходять від одного масштабу досліджень до іншого (наприклад, від картографічного методу до методу генералізації).

Буває, наприклад, коли метод польових досліджень і метод моделювання послідовно застосовують в тому самому дослідженні. У такому разі науковець передусім отримує відповідні експериментальні дані, а потім створює моделі за допомогою математичного оброблення даних. Часто одні методи реалізуються через інші, як-от математичний (метод формалізації) або картографічний (форма методу моделювання).

Водночас у літературних джерелах методи наукових досліджень розрізняють за рівнем методологічного аналізу, за способом проведення досліджень і за характером пізнання. Класифікацію методів наукових досліджень за рівнем методологічного аналізу наведено на рисунку 1.6 (див. с. 28).

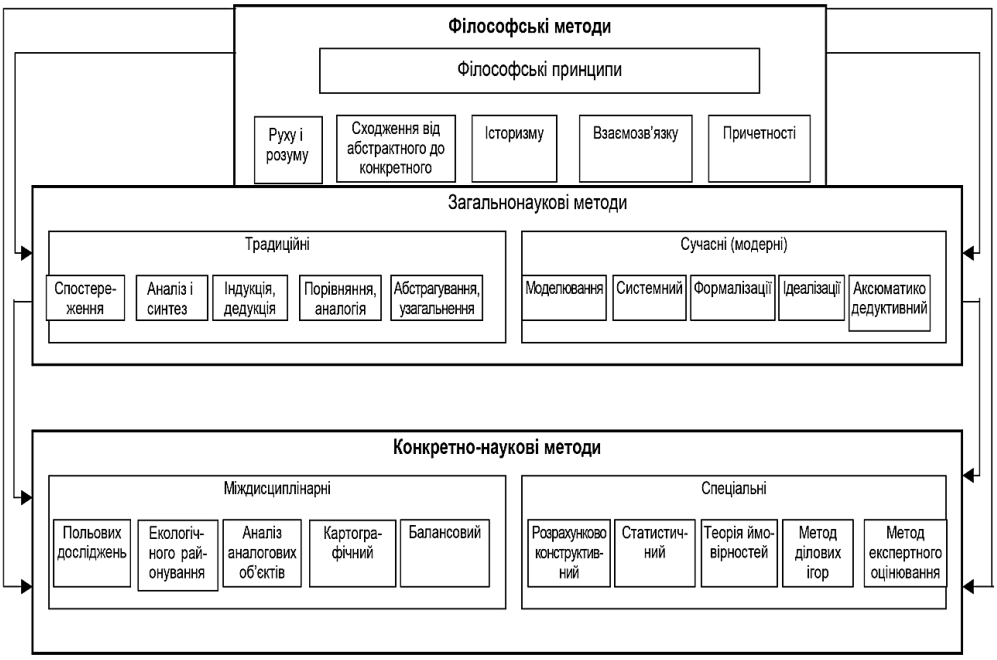


Рисунок 1.5 – Класифікація методів досліджень

Джерело: за ідеєю О. І. Шаблія

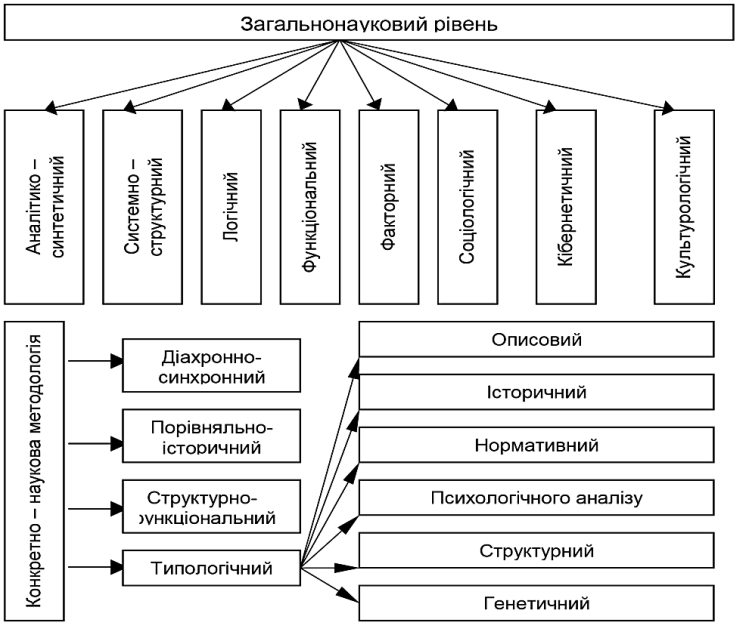


Рисунок 1.6 – Класифікація методів наукового дослідження за рівнем методологічного аналізу

Методи наукового дослідження мають не тільки відповідати конкретним завданням досліджень, а й відображати особливість досліджуваних явищ і процесів. На рисунках 1.7 та 1.8 наведено класифікацію методів залежно від характеру пізнавальної діяльності та способу організації досліджень.

Розглянемо особливості методів, що розрізняються за способом організації дослідження. Так, комплексний метод дослідження вивчає структурно-функціональні зв'язки складного об'єкта, системи чи процесу. Завданням методу кількісного оброблення є отримання числових характеристик різних об'єктів (систем) і визначення зв'язків між ними, тоді як завданням методу якісного оброблення емпіричних даних є визначення різних підходів до класифікації, диференціації, категоризації об'єктів за заданими критеріями. Під методом емпіричних досліджень розуміють спосіб отримання наукових фактів у процесі спостережень, діагностування, експерименту. Теоретичні методи дослідження полягають у виявленні зв'язків залежності між явищами, що вивчають.

У науковій агрономії використовують спеціальні методи досліджень, зокрема лабораторний, вегетаційний, польовий і лізиметричний. Їхнім завданням є визначення кращих елементів агротехніки, технологій, ґрунтів і сортів.

Лабораторний метод – застосовують для аналізу рослин або їхнього середовища (ґрунт) у лабораторних умовах з метою вивчення обміну речовин

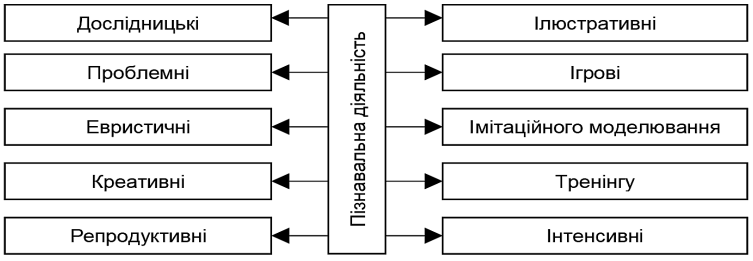


Рисунок 1.7 – Класифікація методів за характером пізнавальної діяльності

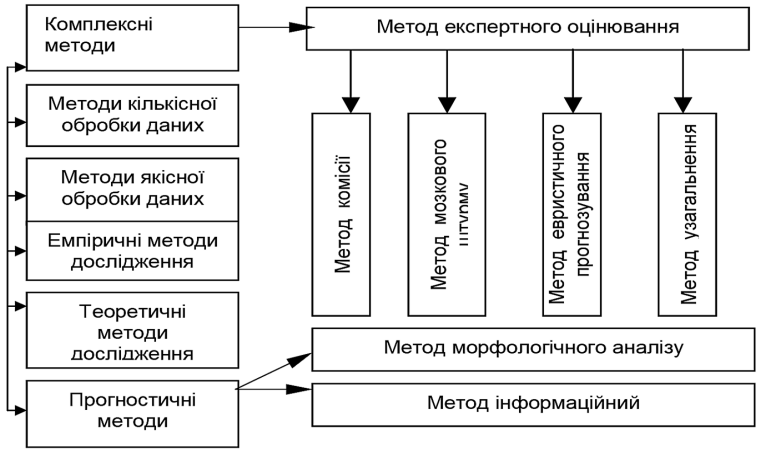


Рисунок 1.8 – Класифікація методів за способом організації дослідження

у рослинах, ґрунті й оцінювання показників якості врожаю (вмісту білка, крохмалю, олії та інших параметрів). Без лабораторного методу не можна проводити більшу частину вегетаційних і польових досліджень. Застосування високотехнологічного лабораторного обладнання є обов'язковим складником сучасної аграрної науки.

Вегетаційний метод – це дослідження рослин, які вирощують у кліматичних камерах і спеціальних посудинах за контрольованих умов зовнішнього середовища (волога, світло, живлення та інше). Мета вегетаційного методу – вивчення значення окремих чинників життя рослин, суть процесів, що відбуваються в системі «ґрунт – зовнішні чинники – рослина». Цей метод ефективний для визначення закономірностей метаболізму рослин. Створення штучних умов, зокрема стресових, дозволяє розробити заходи щодо підвищення толерантності рослинних організмів і збереження їх продуктивності [14]. Сучасні кліматичні камери дозволяють істотно підвищити ефективність роботи науковців і скоротити час проведення експерименту (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – Проведення вегетаційного досліду у кліматичній камері
Джерело: ХІСТ, Китай, 2020 р. Фото А. В. Мельник

Лізиметричний метод – це метод, який здійснюють у стаціонарних дослідах за допомогою лізиметрів, що установлені у ґрунті в полі для вивчення балансу вологи й елементів живлення. Через отвір, розташований на дні лізиметра, збирають промивні води для агрохімічного аналізу. Висота ґрунту в них коливається від 25 см до 2 м.

Польовий метод дослідження є основним науковим методом в агрономії. За його допомогою теоретичні дослідження реалізують на практиці, на підставі його даних створюють рекомендації агрозаходів, технологій

вирощування і сортів для с.-г. виробництва. Польовий метод допомагає вирішити багато наукових питань в агрономічній науці, зокрема дослідити глибину, строки й способи обробітку ґрунту, технології вирощування культур, кращі попередники, способи й норми зрощення, структуру площ для сівби, заходи боротьби з водною та вітровою ерозією ґрунтів, норми органічних і мінеральних добрив, способи їх внесення, заходи щодо меліорації ґрунтів, поповнення новими сортами рослин. Завдання польових дослідів – оцінити економічну ефективність варіантів і впровадити найкращі з них у виробництво. Зазначимо, що польовий метод необхідно поєднувати з іншими методами дослідження.

Виділяють такі **основні елементи методики польового досліду**: кількість варіантів у схемі досліду, форму та площу дослідних ділянок, методи розміщення варіантів у досліді та їх повторність, методику спостережень і обліків, методику та методи оброблення даних.

Кількість варіантів у досліді. Під варіантом розуміють конкретні умови вирощування сільськогосподарських культур (елементи технологій вирощування або самі технології, різні ґрунти, гібриди чи сорти). Обов'язковою умовою є наявність серед сортів одного або декількох контрольних варіантів для порівняння результатів досліджень. Контрольний варіант – це агротехнічні умови, що рекомендовані науковими установами чи використовувані в господарстві на час проведення досліду. У деяких випадках за контроль беруть варіант без наявності умови. Наприклад:

N (азот) P (фосфор) K (калій) – 30, 45, 60, 75, 90 кг/га – у господарстві на початку закладки досліду застосовували дозу 45 кг/га, її необхідно взяти за виробничий контроль, також беруть за абсолютний контроль варіант без внесення добрив.

Варіанти досліду можуть бути кількісними (густота стояння рослин, дози добрив, ширина міжрядь, термін сівби чи збирання, глибина обробітку ґрунту) і якісними (різні сорти, гібриди, типи ґрунтів, способи обробітку ґрунту, форми та способи добрив чи регуляторів (стимуляторів) росту).

Кількість варіантів має бути не менше ніж п'ять, щоб за вирощеними врожаями можна було побудувати криву, форма якої буде близькою до параболи. Важливо, щоб серед варіантів досліду були такі градації дослідного чинника, які б забезпечували відхилення врожаїв від оптимального в обидва боки. У дослідах із якісними варіантами (сорти) їхня кількість залежить від наявності районованих і перспективних сортів (10 і більше).

Велика кількість варіантів може збільшувати похибку досліду через строкатість родючості ґрунту від показника U.

Схема досліду. У схемі дослідів може бути кілька контролів. Під час вивчення сортів контроль – районований (найбільш відомий у регіоні) і перспективний сорт чи гібрид.

З добривами (фон) – варіант без добрив, або ті дози органічних чи мінеральних добрив, на основі яких досліджують ефективність доз окремих елементів тощо. Щоб дослід був точним, кількість повторень у досліді беруть більшою порівняно з повтореннями інших варіантів. Якщо в досліді варіантів багато, то кожні 8–10 варіантів визначають свій контроль, а якщо строкатість

родючості ґрунту підвищена, то на кожні 2–3 варіанти має бути свій контрольний варіант.

На дослідних ділянках (у межах експериментальних одиниць) вивчають агротехнічні заходи, окремі технології та сорти. Розмір ділянок залежить від теми досліджень, виду досліду, культури, що досліджується, рівня механізації, повторності досліду, форми ділянки, кількості варіантів, варіювання родючості ґрунту. ***У мікродослідах площа ділянок менша, 1 м², у дрібноділянкових – 1–10 м², лабораторно-польових – 11–50 м², польових – 50–200 м².***

Існує багато різноманітних досліджень з обробітку ґрунту. Їх можна об'єднати в окремі групи з урахуванням того, під які культури (ярі чи озимі) планується обробіток, який це обробіток – основний, передпосівний чи обробіток під час догляду за посівами. Окрім того, кожна з названих груп досліджень поділяється на три підгрупи залежно від строків, глибини та способів обробітку ґрунту.

Насамперед на розмір ділянки значно впливає тема досліду. У разі вивчення норм і способів сівби ділянка може бути 100 м², а в разі вивчення способів обробітку ґрунту – у 2–3 рази більшою, що залежить від потужності техніки. Також на розмір ділянки впливає площа рослини. Якщо вивчають трави, льон, зернові колосові, круп'яні, зернобобові, то площа ділянки може бути 20–30 м², тоді як у дослідах із просапними культурами – 75–150 м².

Оптимальна форма ділянки: прямокутні співвідношення сторін 2:10, квадратні 1:1.

Під час дослідження застосування засобів захисту рослин ділянки мають бути або квадратними, або близькими до квадратних. Ширину ділянки визначають шириною захвату сівалки або збиральної техніки (для зернових – 3,6; 2,1; для картоплі – 2,4; 2,8; 4,2; для соняшнику – 4,2; для цукрового буряка – 2,7; для кормових культур – 11,6; для обприскувачів – 3,0; 6,0; 10,5; 12,8; 16,2).

Важливою умовою є зорієнтування ділянок. Наприклад, довший бік ділянки орієнтують уздовж основного напрямку варіювання родючості ґрунту, тобто в напрямку схилу. Закладати дослідні ділянки необхідно коротким боком до лісосмуг, ґрунтових доріг і парканів, а до вітрів, що домінують, ділянки треба орієнтувати боком (від доріг – 50–100 м, від лісосмуг – 100–200 м).

У дослідних ділянках виділяють облікову частину, яка розміщується посередині, та захисну, яка її обмежує. Саме на обліковій частині проводять усі обліки. Захисні смуги виділяють для розмежування варіантів досліду. Їхня ширина становить 1,0–1,5 м. Для розвороту агрегатів використовують поперечні захисні смуги, що становлять 3,5 м. Для всього досліду має бути захисна смуга 5–10 м, для захисту його від шкідливих впливів.

Так, у дослідах із добривами ширина захисних смуг становить 50–100 см, а в разі заорювання органічних добрив – 1,5 м. Водночас обприскування має становити 2,0 м, зрошення 2–3 м, глибина обробітку ґрунту – ширина захисної смуги повинна відповідати захвату 1–2 корпусів плуга. Норми висіву та способи сівби – 2–3 рядки, 30–45 см. Гібриди та сорти – 30–45 см. Доцільно захисні смуги замінити доріжками.

Повторність є обов'язковою умовою польових досліджень, щоб результати були методично достовірними й точними, їх повторюють у просторі

й часі – це кількість короткотермінових дослідів у штучних умовах упродовж кількох років (3–5).

Повторність визначають за допомогою варіювання родючості ґрунту. Щоб визначити варіювання ґрунту, здійснюють рекогносцирувальну сівбу культури на зелену масу суцільним способом на площі, на якій планують закласти дослід. За результатами цього посіву визначають урожайність на ділянках рекогносцирувального посіву, обчислюють коефіцієнт варіації родючості ґрунту та розраховують повторність.

Розміщення варіантів у досліді має бути методично обґрунтованим і відповідати вирішенню поставлених завдань. Основні способи розміщення варіантів: *систематичний*, *стандартний*, *рандомізований (випадковий)*.

За систематичного методу варіанти розміщують у такій послідовності, як вони записані у схемі досліду. Тому цей метод іноді ще називають послідовним. Різновиди систематичного: *одноярусне* і *багатоярусне* (рис. 1.10).

У разі застосування випадкового методу, або рандомізації, місце варіантів визначають за таблицею випадкових чисел або за жеребками. Випадковий метод має кілька різновидів, або субметодів (рандомізовані повторення, повна рандомізація, латинський квадрат, латинський прямокутник, розщеплені ділянки, метод змішування). Різновиди випадкового: *рандомізовані повторення*, *повна рандомізації*, *латинський квадрат* і *латинський прямокутник*, *розщеплені ділянки*, *метод змішування*.

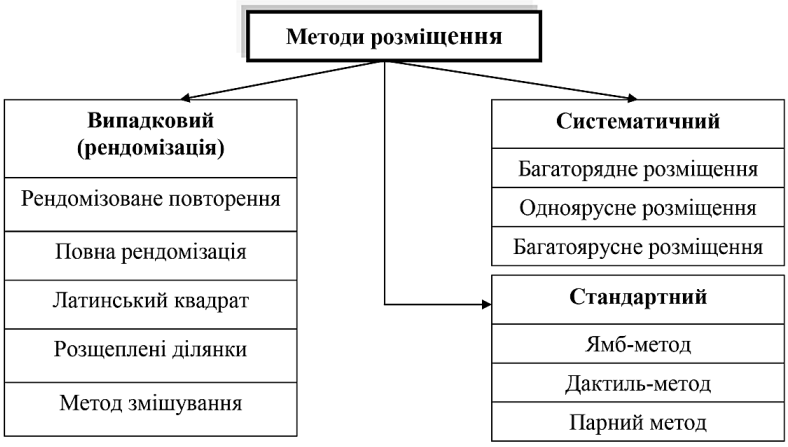


Рисунок 1.10 – Класифікація методів за способом організації дослідження

Стандартний метод полягає в розміщенні поряд із кожним варіантом контрольного варіанту або стандарту (районованого сорту). Коли стандарт розміщують через ділянку – ямб-метод, через дві ділянки – дактиль-метод, а коли дослідні ділянки поділяють на маленькі діляночки, тобто парцели, – це парний метод П. Н. Константинова. Як зазначалося вище, розрізняють випадкове та закономірне варіювання родючості ґрунту. Ці зміни варто враховувати під час розміщення варіантів, інакше деякі з них будуть розміщуватися

у кращих умовах, а деякі – у гірших. І тоді, як наслідок, буде порушено правило єдиної логічної різниці, цей дослід доведеться забракувати. Різновиди стандартного: *ямб-метод*, *дактиль-метод*.

Важливим складником польового експерименту є систематичне проведення спостереження за умовами, у яких вирощують сільськогосподарські культури. Вони поділяються на:

— метеорологічні (погодно-кліматичні);

— визначення фізичних і агрохімічних показників ґрунту;

— установлення проходження фаз розвитку за міжнародними шкалами (ВВСН та інші);

— облік забур'яненості та фітосанітарного стану посіву.

Метод спостереження є обов'язковим під час проведення експерименту для виявлення причинності явищ. Такі методи мають бути точними, типовими (репрезентативними) та цілеспрямованими. Важливим є визначення кількості зразків, яка під час дослідження надавала б об'єктивну інформацію за всіма варіантами досліду. З огляду на це важливо точно згідно з методиками брати не лише кількість зразків, а і їхню масу, щоб був рівномірний відбір з усієї площі. Більшу частину спостережень проводять декілька разів за вегетаційний період за фазами розвитку рослин. Обов'язковим складником польового досліду є ***метеорологічні спостереження***, оскільки вони допомагають пояснити результати дії окремих варіантів.

Важливим чинником є фіксація тих погодних умов, що можуть спричинити різні зміни росту й розвитку рослин (посуха, морози, спека, ураган, злива). Річні метеорологічні спостереження порівнюють із багаторічними середніми показниками щодо виявлення типовості погодних умов року. Місцем проведення метеорологічних спостережень є переважно метеопости та метеостанції. Оперативними показниками з метеостанцій доцільно користуватись, якщо вони розташовані на відстані не більш ніж 10 км. Нині існує велика кількість мобільних автоматизованих метеостанцій, що фіксують і передають показники безпосередньо з поля, де проводять дослідження. Основні елементи погоди, які найчастіше використовують під час проведення дослідів, такі: кількість опадів та їхня інтенсивність (спостереження за сніговим покривом); температура повітря; сонячна інсоляція, визначення напрямку та швидкості вітру; визначення вологості повітря, температури ґрунту, глибини його промерзання.

Для більш детального аналізу поточних погодних умов порівняно із середніми багаторічними показниками проводять розрахунки основних критеріїв, зокрема коефіцієнта суттєвості (істотності) відхилень (*Кс*) і гідротермічного коефіцієнта зволоження (далі – ГТК) Г. Т. Селянінова.

Визначають (*Кс*) за формулою:

$$Kc = \frac{(Xi - \bar{X})}{\sigma},$$

де *Кс* – коефіцієнт суттєвості відхилень;
Xi – елементи поточної погоди;
$\bar{X}$ – середня багаторічна величина;
σ – середнє квадратичне відхилення.

Рівень коефіцієнтів суттєвості відхилень відповідає градації:

Кс=0–1 – умови, близькі до звичайних;

Кс=1–2 – умови, що дуже відрізняються від середніх багаторічних;

Кс=>2 – умови, наближені до рідких.

Гідротермічний коефіцієнт зволоження (*ГТК*) Г. Т. Селянінова – показник зволоженості території. Визначають за формулою:

$$ГТК = \frac{\sum K}{\sum T} \times 10 \ ,$$

де $\sum K$ – суми опадів, мм, за період із середньодобовими температурами повітря вище 10 °С;

$\sum T$ – суми температур, °С, за період із середньодобовими температурами повітря вище 10 °С.

Якщо ГТК до 0,4 – гостро посушливий; 041–0,70 – дуже посушливий; 0,71–1,00 – посушливий; 1,01–1,30 – слабко посушливий; 1,31–1,60 – оптимальний; >1,6 – перезволожений.

Визначення фізичних показників ґрунту проводять за такими показниками його фізичного стану, як: об'ємна маса, вологість, будова орного шару, щільність, структурність тощо. Термостатно-ваговим методом визначають вологість, методом насичення водою в патронах визначають об'ємну масу, методом Савінова розраховують агрегатний стан ґрунту, а методом Андріянова – стійкість ґрунтових агрегатів проти розпадання у воді.

За допомогою агрохімічних показників описують репрезентативність ґрунту. Відбирають ґрунт за діагоналлю ділянки за допомогою агрохімічного бура на глибину орного шару ґрунту в 17–20 точках. Водночас із такого змішаного зразка беруть середню пробу, що становить 400–500 г. Для цього ґрунт треба підсушити, потім довести до повітряно-сухого стану, подрібнити до стану борошна. Зберігати необхідно такий ґрунт у закритому скляному посуді, щоб далі проводити аналіз на сучасному високоточному лабораторному обладнанні. Ґрунтове середовище характеризують низкою показників: сумою ввібраних основ (визначають за методом Каппена – Гільковиця); реакцією ґрунтового середовища (визначають потенціометричним методом); гідролітичною кислотністю (насиченням оцтовокислим натрієм); умістом нітратного азоту за допомогою іоноселективного електрода; умістом лужногідролізованого азоту (за методом Корнфілда); умістом рухомих форм фосфору й обмінного калію (за методом Чирікова); умістом гумусу (за методом Тюріна).

Облік забур'яненості посівів і засміченості ґрунту насінням і вегетативними органами розмноження бур'янів. Для дослідження застосовують три найважливіші методи обліку забур'яненості посівів: окомірний метод; кількісний метод; кількісно-ваговий метод. У процесі окомірного обліку забур'яненість оцінюють за чотирибальною шкалою: 1 бал – у разі поодиноких бур'янів, 4 бали – коли бур'янів більше порівняно з культурними рослинами. Після цього виводять середній бал. За допомогою кількісного методу обліку бур'янів можна визначити їх кількісний і видовий склад. Для цього в п'яти місцях

за діагоналлю поля або ділянки на однаковій відстані закладають рамки площею 0,25 або 1 м^2, де обчислюють загальну кількість бур'янів та їх види. Кількісно-ваговий метод обліку бур'янів дозволяє підраховувати їх кількість, видовий склад, масу в межах рамок. На підставі цих обстежень складають карти забур'яненості посівів і окреслюють методи боротьби з ними. Щоб визначити засміченість ґрунту насінням бур'янів беруть проби ґрунту на глибині 0–5 см, 4–10 см, за допомогою бура Калентьєва в 10–20-ти разових повтореннях за діагоналлю поля чи ділянки через однакові відстані. Після цього з таких проб готують середню пробу масою 100 г. Потім її промивають через сито з отворами 0,25 мм і підраховують потенційну засміченість насінням бур'янів ґрунту в мільйон штук на гектар.

Фітосанітарний стан – стан агроценозу на конкретній території в конкретно визначений строк за складом шкідливих організмів, їх кількістю, інтенсивністю розвитку та потенційної загрози. Моніторинг фітосанітарного стану (або фітосанітарний моніторинг за ДСТУ 4756) – це система спостереження та контролювання кількості, поширеності й інтенсивності розвитку шкідливих організмів.

1.3.2. Етапи експериментальних досліджень в агрономії

Для ефективного проведення наукових досліджень треба чітко його організувати та спланувати всі етапи. Послідовність залежить від предмета, об'єкта та цілей (завдань) наукового дослідження.

Наукове дослідження складається з таких етапів: організаційного; дослідного; узагальнення; апробації; упровадження результатів дослідження.

Організаційний етап. Організація наукового дослідження полягає у вивченні стану об'єкта дослідження, у конкретизації місця наукової теми в науковому дослідженні загалом, у формулюванні об'єкта дослідження.

Цей етап передбачає попереднє визначення теоретичної бази (теоретичні дані, що є базою для наукового дослідження, вивчення та оцінювання сучасного стану проблем, збирання інформації про об'єкт, висування та обґрунтування гіпотез).

Організаційно-методична підготовка наукового дослідження полягає у складанні плану дослідження та методики дослідження, зокрема переліку методів і прийомів, використовуваного лабораторного обладнання, висування та узагальнення гіпотез; робочого плану відповідно до програми та плану наукового дослідження із зазначенням календарних строків, етапів робіт тощо.

Під час проведення дослідження з агрономії особливу увагу необхідно звернути на формування проблеми (завдання) і теми досліджень. Виділяють такі різновиди тем: теми, що розвивають проблеми, які досліджує науковий колектив (наукова школа); теми на замовлення (ініціативні). З огляду на те, що ключовими критеріями теми є її актуальність, перспективність, новизна, теоретична база, можливість отримання не тільки соціального, а й економічного ефекту, перевагу у виборі теми доцільно віддавати першій групі. У такому разі

будемо мати гарантовану відповідність теми роботи основним критеріям, перевіреним часом.

Під час визначення актуальної теми для досліджень в агрономії доцільно звернути увагу на:

— вивчення тематики наукових досліджень провідних закладів вищої освіти, програм досліджень наукового колективу (школи), де виконується робота, а також програм, що мають сучасне значення для аграрного сектору;

— перегляд захищених дисертацій за останні 10 років;

— установлення науковців, які вивчали подібну тематику (можливість їх залучення до роботи спеціалізованої ради із захисту дисертації);

— детальний аналіз наукових рішень за спорідненими темами.

Після вибору теми дослідник формулює назву (7 слів). Назва має відображати тему (предмет) досліджень та їх завершеність, зону проведення досліджень. Наприклад, «Оптимізація системи живлення сої в умовах Лівобережного Лісостепу України». Тема досліджень потребує затвердження на засіданні кафедри, факультету та вченій раді закладу вищої освіти. Вибір теми досліджень з агрономії завершують розробленням робочої програми, що є розгорнутим планом наукової роботи. Остаточна назва наукової роботи (теми) формулюється наприкінці роботи над нею. Можливе незначне коригування теми під час її виконання, яке також має пройти процедуру затвердження на засіданні кафедри, факультету та вченої ради університету.

Робоча програма відтворює основний зміст її частин, а саме: актуальність теми, мету й завдання досліджень, структуру. На наступному етапі здобувач складає індивідуальний план, за яким будуть здійснюватися підготовка та щорічна звітність (на засіданні кафедри й у відділі аспірантури).

Дослідний етап передбачає:

— створення нової інформації (оглядова та зібрана в польових і лабораторних умовах);

— перетворення інформації на ПЕОМ (ділові, професійні);

— теоретичні й конкретно-наукові (емпіричні) методи.

На цьому етапі проводять спостереження, обстеження, вибирають критерії оцінювання, здійснюють збирання і групування інформації за допомогою сучасних інформаційних технологій.

Власне виконання дослідження передбачає доведення гіпотез, формулювання висновків і пропозицій, науковий експеримент, коригування попередніх результатів, оприлюднення проміжних результатів – на конференціях, у статтях, доповідях.

Створення нової інформації полягає у проведенні спостережень і виборі оціночних критеріїв, досліджуваних предметів (сорти, елементи технології тощо), а також збереженні та групуванні інформації. Передбачається детальне вивчення технології вирощування культури, що досліджується, застосування сучасних засобів виробництва (гібриди, добрива, засоби захисту рослин, сільськогосподарської техніки та знарядь), упровадження новітніх методів і технічних засобів (електронних систем точного землеробства, зокрема, FieldView, Trimble, John Deere Operations Center) у плануванні, обліку й контролі виробничої діяльності агропідприємств.

Найважливішим етапом наукового дослідження в галузі агрономії є отримання і проведення аналізу первинної і вторинної інформації з вибраної теми.

Первинна інформація – вихідна інформація, результат безпосередніх агрономічних (польових і лабораторних) досліджень.

Вторинна інформація – результат аналітико-синтетичного опрацювання (джерел інформації, статистичного оброблення, аналізування отриманих даних), переосмислення первинної інформації.

Саме ці види інформації є основою написання щорічних звітів, наукових праць, дисертаційних робіт. Водночас первинна і вторинна інформація є доказовою базою для обґрунтованості отриманих наукових положень, їхньої новизни та достовірності.

Логічна схема процесу збирання та проведення аналізу наукової інформації показана на рисунку 1.11.

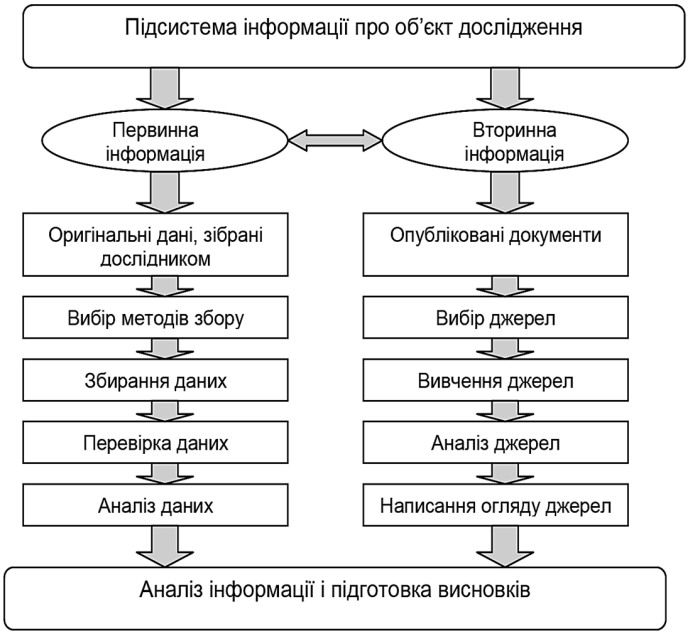


Рисунок 1.11 – Загальна схема процесу збирання та проведення аналізу наукової інформації

Процес накопичення і оброблення інформації передбачає такі складники:

— ***визначення проблеми*** – формування об'єкта (предмета дослідження). Необхідно провести попереднє оброблення, зокрема чітко визначити тему, за допомогою неформального аналізу. Після цього провести підсумкове дослідження, тобто структурований збір даних і аналіз для вирішення конкретного завдання;

— ***аналіз вторинної інформації*** (оприлюдненої інформації з теми наукового дослідження);

— ***отримання первинної інформації*** (лише дані, що отримані для вирішення конкретного завдання);

— ***висновки й рекомендації*** (отримані на основі результатів проведеного аналізу літературних джерел і зібраних даних);

— ***використання результатів*** (можливість застосування результатів як нині, так і надалі).

Завершальним етапом роботи є узагальнення, апробація та реалізація результатів дослідження. Він передбачає:

— узагальнення результатів дослідження;

— апробацію результатів дослідження;

— реалізацію результатів дослідження.

Узагальнення результатів дослідження передбачає літературне подання результатів дослідження, що оформлюється як звіт про виконану науково-дослідну роботу (далі – НДР), студентська науково-дослідна робота, дисертація тощо. Необхідно визначити призначення і напрями використання продукту інтелектуальної праці. Якість проведеного дослідження визначають за допомогою апробації.

Апробація – це один із видів наукової діяльності, полягає в колективному обговоренні на засіданнях кафедри, факультету та закладу вищої освіти проведеного наукового дослідження; рецензуванні й експертизі роботи; оприлюдненні висновків у наукових журналах, збірниках тощо; у виступах і презентації результатів дослідження в межах науково-практичних конференцій, семінарів, симпозіумів.

Необхідно наголосити на зовнішньому опонуванні роботи науковцями, які не є штатними працівниками закладу, де працює здобувач.

Реалізація результатів дослідження здійснюється практичним упровадженням одного або декількох елементів (варіантів) дослідження у практику за участю здобувача. В агрономії переважно це впровадження в агропромислове виробництво на землях пілотних господарств. Після проведення впровадження оформлюється Акт упровадження, який укладають замовник (в особі керівника господарства) та виконавець (в особі проректора з наукової роботи ЗВО). У такому акті зазначають адресу й основні показники за результатами впровадження. Цей акт додають до дисертаційної роботи в додатках, він є підтвердженням практичної цінності роботи.

Дослідна й завершальна стадії науково-дослідного процесу – це взаємозумовлена низка інтелектуальної діяльності в галузі науки та стимул до розвитку людства.

Отже, наукове дослідження потребує багато часу та зусиль. Цей процес починається з виникнення ідеї, а закінчується підтвердженням правильності гіпотези й суджень. Важливим етапом наукових робіт з агрономії є розроблення пропозицій і рекомендацій виробництву.

1.4. Інформаційне забезпечення баз даних та їх оброблення

1.4.1. Види та способи отримання наукової інформації

Під інформацією розуміють сукупність повідомлень, що визначає ступінь знань про ті чи інші явища, події, факти, їхній взаємозв'язок. Є низка критеріїв, які визначають якість наукової інформації. Найважливішими серед них уважають цільове призначення, надійність, достовірність, дієвість, цінність, повноту (достатність), періодичність, безперервність, форму та спосіб подання.

Натепер доступність до інформації очевидна. Зберігся та поповнюється класичний фонд бібліотек, суттєво зросла частка інформації в електронних ресурсах. Варто зауважити, що є приклади успішного поєднання (синергізму) бібліотечного фонду та сучасних засобів отримання інформації завдяки створенню інформаційно-пошукових систем *Google Scholar*, *Science Tehnology*, *AGRIS*, *AGROPROM.RU*, *Math Search*, *БД CABI*, *Agro Web*, *AGRICOLA*, *AGROS*.

Головним джерелом наукової інформації є різні форми наукових документів. Різновидом матеріального носія із закріпленою за ним науковою інформацією є ***науковий документ***. Для наукової інформації характерна логічна завершеність, вона передається в часі та просторі, використовується в суспільній практиці.

Науково-технічна література – це сукупність наукових документів. Носіями наукової інформації можуть бути різні наукові документи та форми доступу до них (друковані, електронні, інтернет-ресурси):

— книжки (монографії, підручники та навчальні посібники);
— періодичні видання (журнали, збірники наукових праць);
— рукописи дисертацій і авторефератів;
— нормативні документи (стандарти, технічні умови та норми, інструкції, вказівки тощо);
— каталоги (сортів, засобів захисту, с.-г. техніки й обладнання);
— патентна документація (патенти й авторські свідоцтва);
— звіти про науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи;
— інформаційні видання (збірники науково-технічної інформації, аналітичні огляди, інформаційні листи, реферати та реферативні огляди тощо).

Наукова інформація і наукові документи бувають двох груп: первинні та вторинні.

Первинними є ті наукові документи, що містять безпосередні результати науково-дослідних чи експериментальних робіт (статті, дисертації, брошури, монографії, посібники, підручники, книги). ***Вторинними*** є ті, що містять результати аналітично-синтетичного та логічного перероблення первинної наукової інформації (інформаційні видання, каталоги, картотеки, бібліографічні видання, довідкова література).

1.4.2. Формування бази експериментальних даних

Збір статистичних даних експериментальних досліджень. Найвідповідальнішим етапом наукового дослідження в агрономії є отримання і проведення аналізу експериментальних даних.

Для фіксації та збору наукових даних здобувач (доктор філософії з ОП Агрономія) обов'язково повинен мати щоденник, або польовий журнал. Протягом вегетаційних періодів усього терміну навчання (3–4 роки) до польового журналу заносять детальну інформацію про перебіг проведення експерименту. Цей документ має містити інформацію про: місце розташування, схему та площу проведення польового досліду. У польовому журналі треба зазначити умови проведення досліджень (метеорологічні, ґрунтові, технологічні). Особливу увагу варто приділити наявності таблиць для фіксації фенологічних спостережень (фази за ВВСН) та досліджуваних показників (морфометричні параметри, елементи структури врожаю та інше). Польовий журнал має на меті формування первинної інформації для подальшого оброблення, зокрема статистичними методами. Обов'язковими після оформлення польового журналу є прошивання та реєстрація (у деканаті чи загальному відділі).

Особливу увагу в методиці необхідно приділити ***математичним методам*** оброблення та проведення аналізу отриманих даних, наприклад, установленню емпіричних залежностей, апроксимацій зв'язків між характеристиками (параметрами), що змінюються, установленню критеріїв і довірчих інтервалів тощо. Діапазон чутливості (нечутливості) має бути стабілізованим.

Результати експериментів мають відповідати трьом статистичним вимогам:

— вимозі ***ефективності оцінювання***, тобто мінімальність дисперсії відхилення щодо невідомого параметра;

— вимозі ***стабільності оцінювання*** – у разі необхідності збільшення кількості спостережень оцінка параметра має наближатися до його дійсного значення;

— вимозі ***незміщеності оцінювання*** – відсутність регулярних помилок під час розрахунку параметрів. Статистичні методи оцінювання вимірювань уважають значущим інструментом будь-якого експерименту. Усі експериментатори мають бути обізнаними із закономірностями процесів вимірювання, зокрема: уміти правильно вимірювати величини (параметри), що досліджуються; оцінювати похибки під час вимірювання; обчислювати з необхідною точністю значення величин та їх мінімальну кількість; визначати найкращі умови вимірювань, за яких помилки будуть найменшими; проводити загальний аналіз результатів вимірювань.

Вимірювання – знаходження фізичних величин за допомогою спеціальних технічних способів вимірювання; порівняння фізичних величин із відповідною одиницею (еталоном).

Похибка вимірювання – алгебраїчна різниця між дійсним значенням вимірюваної величини *хд* і одержаним під час вимірювання *хв*; $E = хд - хв$. Значення E називають абсолютною похибкою вимірювання.

Відносна похибка вимірювання, %, $\delta = \pm E / x \times 100$ %.

Точність вимірювання – це ступінь наближення вимірювання до дійсного значення величини.

Достовірність вимірювання – показує ступінь довіри до результатів вимірювання, тобто вірогідність відхилень від дійсних значень. Для підвищення точності та достовірності вимірювань потрібно зменшити похибки. Такі похибки під час проведення вимірювань можливі з низки причин: неретельного проведення дослідження; недосконалості методів і засобів вимірювань; впливів різних зовнішніх чинників під час проведення дослідження; суб'єктивності експериментатора тощо. Похибки поділяють на два види: систематичні й випадкові.

Систематичні похибки – це такі похибки вимірювань, які залишаються постійними (або змінюються за відомим законом) у разі повторних експериментів.

Випадкові похибки – це такі похибки, що виникають лише випадковим чином у разі повторного вимірювання. Такі вимірювання не можуть бути виключені як систематичні. Водночас у разі багаторазових повторень за допомогою статистичних методів можна виключити випадкові вимірювання, які мають найбільше відхилення. Сумарна похибка вимірювання: $\varepsilon=\varepsilon1+\varepsilon2$, де $\varepsilon1$ і $\varepsilon2$ – систематичні та випадкові похибки вимірювань. Основним завданням вимірювання є одержання результатів вимірювань з якомога меншими похибками. Зупинимося на основних принципах і методах усунення систематичних і випадкових похибок. Систематичні похибки поділяють на такі групи:

— інструментальні похибки (тертя, люфти, неточності градуйованої шкали, старіння і зношення вузлів і деталей засобів вимірювання);

— похибки через неправильне встановлення засобів вимірювань;

— похибки внаслідок впливу чинників зовнішнього середовища (магнітних і електричних полів, високих температур, атмосферного тиску й вологості, вібрації та коливань);

— суб'єктивні похибки – через індивідуально-фізіологічні, психофізіологічні й антропометричні особливості людини;

— похибки методу – через необґрунтований метод вимірювань (у разі відсутності теоретичних обґрунтувань методу вимірювання, спрощення схем або функціональних залежностей, малої кількості повторень).

Систематичні похибки можна виправити за допомогою таких методів: регулювання або ремонтування засобів вимірювання; усунення небажаних впливів чинників зовнішнього середовища; ретельної перевірки засобів вимірювання; методу заміщення.

У процесі вимірювання замість досліджуваного об'єкта встановлюють еталонний, що заздалегідь виміряний з високою точністю. Похибку вимірювального засобу дозволяє знайти різниця у вимірюваннях. Під час проведення експериментів з однаковою ретельністю результати вимірювань тієї самої величини (навіть беручи до уваги відомий закон систематичних похибок) здебільшого відрізняються один від одного. Це вказує на наявність випадкових похибок. Випадковими похибками є також промахи та грубі похибки. Найтиповішими причинами промахів є помилки у спостереженнях: помилки в разі записування результатів вимірювань; неправильний відлік за шкалою вимірювальних

приладів; різні маніпуляції із приладами або їхніми окремими вузлами (замінювання блоків, їх перестановка, перевірка тощо). Грубими похибками вважають ті, що є наслідком несправності приладів і умов експерименту, що раптово змінилися. На теорії випадкових похибок базується аналіз випадкових похибок. Саме ця теорія дозволяє з деякою гарантією обрахувати дійсне значення та оцінити можливі похибки, на основі яких судять про дійсне значення величини. Основа теорії випадкових похибок ґрунтується на припущенні про те, що:

— за великої кількості вимірювань випадкові похибки, що однакові за величиною, але різні за знаком, виявляються однаково часто;

— великі похибки бувають рідше порівняно з малими (вірогідність їх виникнення зменшується зі збільшенням величини);

— за дуже великої кількості вимірювань дійсне значення вимірюваної величини дорівнює середньоарифметичному значенню всіх результатів вимірювань, а появу того чи іншого результату вимірювання як випадкової події описують нормальним законом розподілу.

1.4.3. Статистичний аналіз результатів досліджень

Розрізняють генеральну й вибіркову сукупність вимірювань. Генеральна сукупність – це безліч можливих значень вимірювань *xi* або можливих значень похибок Δ*xi*. Так, для вибіркової сукупності вимірювань *n* обмежено. Прийнято вважати, що якщо $n>30$, то середнє значення цієї сукупності вимірювань *x* буде достатньо наближатися до його дійсного значення. За теорією випадкових похибок можна вирішити такі завдання: оцінити надійність і точність вимірювання в разі заданої кількості вимірювань; визначити мінімальну кількість вимірювань, які гарантують необхідну (задану) точність і надійність вимірювань; виключити неприпустимі помилки ряду; визначити достовірність отриманих даних. Для вибірок кількісної мінливості першочергово обчислюють такі основні статистичні характеристики: середню арифметичну (x) і стандартне відхилення (S), а до таблиці у звіт заносять інтервал $\bar{x}\pm S$.

Під час проведення повного аналізу кількісної мінливості розраховують ряд похідних показників. Окрім названих вище середньої арифметичної (x) і стандартного відхилення (S), розраховують: дисперсію (S^2); похибку середньої арифметичної (Sx), коефіцієнт варіації (V); відносну похибку, або точність досліду ($Sx\%$), довірчий інтервал на визначеному рівні значущості (скажімо, 5 %-му $\bar{x}\pm t_{05}S_x$).

Першим і найпростішим кроком аналізу є визначення середнього арифметичного. Адже середнє арифметичне є основною статистичною характеристикою кожного варіаційного ряду. Усі інші лише всебічно характеризують середнє арифметичне.

Середнє арифметичне (x) обчислюють за формулою:

$$\bar{x} = \frac{\sum X}{n}.$$

Стандартне (середнє квадратичне) відхилення (*s*) є показником, що характеризує можливі кількісні коливання в межах середнього арифметичного. Стандартне відхилення розраховують за формулою:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{x})^2}{n-1}}.$$

Коефіцієнт варіації (*V*) – це відношення стандартного відхилення до середнього арифметичного, яке виражають у процентах і обчислюють за формулою:

$$V = \frac{s}{\bar{x}} \times 100.$$

Якщо *V* = до 10 %, показники у виборці вирівняні, *V*=10–20 % – їхня строкатість середня, за *V*>20 % дані дуже строкаті.

Похибка вибіркової середньої ($s_{\bar{x}}$) – кількісна різниця між вибірковою і генеральною середньою сукупностями. Ці похибки характерні лише для вибіркового методу досліджень, їх чисельне значення залежить від ступеня мінливості досліджуваних ознак і обсягу вибірки. Її обчислюють за формулою:

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}.$$

Відносна похибка вибіркової середньої, або точність досліду ($s_{x\%}$), – це відношення похибки вибіркової середньої до її середнього арифметичного, яке виражають у процентах. Визначають відносну похибку за формулою:

$$s_{\bar{x}\%} = \frac{s_{\bar{x}}}{\bar{x}} \times 100.$$

Точність досліду вважають відмінною, якщо $s_{\bar{x}\%}$ =1–2 %; гарною – $s_{\bar{x}\%}$ =2–5 %; задовільною – $s_{\bar{x}\%}$ =5–8 %, незадовільною – $s_{\bar{x}\%}$ >8 %.

Великі вибірки (*n*>30). Статистичні характеристики великих вибірок обчислюють за способом добутків. Якщо дані містять багатозначні числа, застосовують спосіб умовної середньої (довільного початку (*A*), що за значенням є числом, яке наближається до середнього арифметичного (для зручності можна взяти цілим)). Експериментальні дані розміщують у порядку збільшення або зменшення показників, групують їх за визначеним інтервалом (*i*), у межах якого визначають частоту (*f*), тобто кількість членів варіаційного ряду, що містить кожна група. Таким способом утворюється *варіаційний ряд*, що містить значення ознак, які варіюють (*x*), і відповідні їм частоти (*f*).

У такому разі визначення середнього арифметичного проводять за формулою:

$$\bar{x} = A + \frac{\left[\sum f(X_v - A)\right] i}{n}.$$

Решту статистичних показників визначають подібно до невеликих вибірок (*n*<30).

Основні методи статистичного аналізу. Нині існує безліч статистичних методів, що дозволяють повноцінно визначити силу, напрям і закономірності впливу чинників на результат у вибірковій і генеральній сукупностях.

Дисперсійний аналіз. Найбільш поширеним із них є ***дисперсійний аналіз*** (метод), який у зарубіжній літературі називають ANOVA – Analisis of variance. Цей метод необхідний для визначення впливу окремих чинників на результати експерименту, а також для подальшого планування аналогічних експериментів.

Уперше дисперсійний аналіз був запропонований англійським математиком Рональдом Фішером у 1912 р. для оброблення результатів агрономічних досліджень з виявлення умов, за яких вирощуваний сорт рослин формує максимальну врожайність. Він відкрив закон розподілення відношення середніх квадратів (дисперсій):

$$\frac{S_1^2}{S_2^2} = F_ф,$$

де S_1^2 – середній квадрат вибіркових середніх;
S_2^2 – середній квадрат об'єктів;
$F_ф$ – фактичний критерій Фішера.

Суть дисперсійного аналізу полягає в розкладанні загальної суми квадратів (C_y) та загального ступеня вільності на складники, що відповідають структурі експерименту; визначенні середніх квадратів (дисперсій S_2), відношення їх до дисперсії залишку ($F_ф = S_v^2 / S_z^2$); порівнянні фактичного та теоретичного відношення дисперсій ($F_ф$ і F_{05}). Достовірність різниці між варіантами оцінюється шляхом її порівняння з найменшою істотною різницею (HIP_{05}).

В основу дисперсійного аналізу покладено припущення про те, що одна частина змінних може розглядатися як причини (чинники, незалежні змінні), а інша – як наслідки (залежні змінні). Незалежні (факторні) змінні іноді називають регулювальними чинниками саме тому, що в експерименті дослідник має змогу управляти ними й аналізувати отриманий результат.

Факторними (варіативними) називають ті ознаки, які впливають на досліджуване явище, ***результативними*** – ознаки, які змінюються під впливом факторних показників.

Таблиця 1.2 – Результати дисперсійного аналізу показника маси 1000 шт. насінин сортів гірчиці ярої

Дисперсія	Сума квадратів	Ступінь вільності, $n-1$	Середній квадрат, S_2(*	$F_ф$(**	F_{05}(***
Загальна C_y	30,34	50			
Повторень C_p	0,70	2			
Варіантів C_v	28,30	16	1,77	42,22	1,97
Залишку C_z	1,3	32	0,04		

(* s_2 – середній квадрат; $s_2 = 283/16 = 1{,}77$;
(** $F_ф$ – відношення дисперсій; $F_ф = [C_v/(l-1)]/[C_z/(n-1)(l-1)] = 1{,}77/0{,}04 = 42{,}22$;
(*** F_{05} – теоретичне відношення дисперсій Фішера за розробленими таблицями: у горизонтальному рядку – кількість ступенів вільності варіантів 16, у вертикальній колонці – залишку 32, $F_{05} = 1{,}97$.

Важливим етапом є підбиття підсумків дисперсійного аналізу.

Якщо позначити відношення сум квадратів (C_v/C_y) через показник η^2_v (η – грецька літера «ета»), то за результатами дисперсійного аналізу можна встановити частку впливу:

— фактору, що вивчається: $\eta^2_v=C_v/C_y=28{,}3/30{,}34=0{,}93$, або 93,0 %;

— строкатості зовнішніх факторів: $\eta^2_p=C_p/C_y=0{,}7/30{,}34=0{,}02$, або 2,0 %;

— інших, випадкових факторів: $\eta^2_z=C_z/C_y=1{,}34/30{,}34=0{,}04$, або 4 %.

Вирішальним складником є формування загального висновку: у разі $F_ф>F_{05}$ відхилення між досліджуваними варіантами істотні. Тобто доцільно продовжити оброблення і розраховувати величину істотної різниці між варіантами (HIP_{05}).

Критерій $HIP=t_{sd}$ показує мінімальну похибку для різниці двох вибіркових середніх. Якщо фактична різниця $d \geq HIP$, то вона істотна, а якщо $d<HIP$ – неістотна.

В іншому разі, де $F_ф<F_{05}$, відмінності між варіантами несуттєві (неістотні) і перебувають у межах похибки. Отже, подальші розрахунки недоцільні.

Основним є розрахунок ***найменшої істотної різниці (НІР$_{05}$)*** за формулою:

$$\text{НІР}_{05} = t_{05}\sqrt{2s^2 / n},$$

де t_{05} – критерій Стьюдента на 5 %-му рівні значущості за ступеня вільності залишку $(n-1)(l-1)=32$, $t_{05}=2{,}04$;

s^2 – дисперсія залишку, 0,04.

$$\text{НІР}_{05} = t_{05}\sqrt{2s^2 / n} = 2{,}04 \times \sqrt{16} = 0{,}34 \text{ г.}$$

Фінішний етап – це порівняння достовірності абсолютних і відносних різниць між варіантами та контролем (стандартом).

Висновок формулюють виходячи з різниці між варіантами та стандартом. Якщо різниця перевищує HIP_{05}, то вона істотна. У разі варіювання (+/–) у межах HIP_{05}, вплив фактору несуттєвий.

Багатофакторні польові досліди

Двофакторний дисперсній аналіз. У сучасних схемах агрономічних досліджень частіше передбачається вивчення впливу водночас декількох факторів, а також їх взаємодії. Наприклад, вивчення способів і норми внесення добрив, строків сівби для різних гібридів, ширини міжрядь та норм висіву насіння. У такому разі науковці використовують двофакторний дисперсійний аналіз. Результати цього аналізу передбачають розрахунки *НІР* як для кожного фактору окремо, так і для взаємодії всіх факторів, а також можливість визначення частки впливу факторів на досліджуваний показник (рис. 1.12, див. с. 47).

Подальше збільшення кількості факторів робить комплексним дослідження, але водночас зростає обсяг роботи здобувача. Адже поряд зі збільшенням варіантів збільшується кількість повторень, що геометрично збільшує площу під дослідженнями. Зазвичай для молодих науковців (здобувачів ступеня доктора філософії з агрономії) досить проведення двофакторного досліду або двохтрьох однофакторних досліджень.

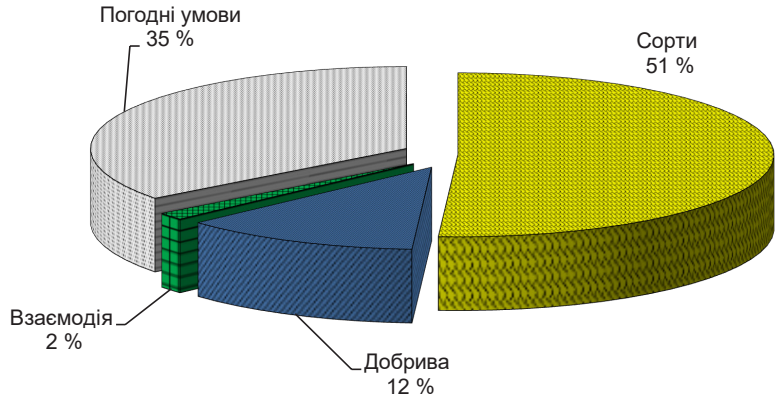


Рисунок 1.12 – Частка впливу факторів на формування вмісту білка в зерні нуту залежно від сорту та рівня живлення, %

Кореляція і регресія. Під час проведення досліджень з виявлення та обґрунтування явищ науковці визначають залежність між деякими параметрами. ***Кореляційною залежністю називають явище***, за якого зі збільшенням середньої величини однієї ознаки збільшується середня величина іншої, або, навпаки, зі збільшенням середньої величини першої ознаки друга зменшується. Отже, у першому випадку кореляція пряма, або позитивна, а у другому – обернено пропорційна, або від'ємна (зі знаком «–»).

У науці прийнято називати ***парною кореляцією***, якщо досліджується зв'язок між двома ознаками (факторіальними) й однією (результативною) ознакою.

Парна лінійна кореляція між ознаками *x* та у позначається коефіцієнтом (*r*) і розраховується за формулою:

$$r = \frac{\sum (x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum (x-\bar{x})^2 \sum (y-\bar{y})^2}} = \frac{\sum xy - \sum x \sum y / n}{\sqrt{\left[\sum x^2 - \left(\sum x\right)^2 / n\right]\left[\sum y^2 - \left(\sum y\right)^2 / n\right]}}.$$

Розраховане значення ***коефіцієнта кореляції*** варіює в межах від +1,0 до –1,0. Уважають, що за $r<\pm 0{,}3$ кореляційна залежність між ознаками слабка, $r=\pm 0{,}3–0{,}7$ – середня, $r>\pm 0{,}7$ – сильна.

Квадрат коефіцієнта кореляції **(r^2)** називається коефіцієнтом детермінації і позначається d_{yx}. Він показує частку або відсоток тих вимірювань, які в такому явищі залежать від досліджуваного фактору.

Критерій істотності коефіцієнта кореляції розраховують за формулою:

$$tr = r / Sr.$$

Якщо $t_r > t_ф$, то кореляційний зв'язок істотний, а якщо $t_r < t_ф$ – неістотний. Теоретичне значення критерію *t* знаходять за довідковою таблицею за ступеня вільності $n-2$.

Регресія показує кількісну зміну на одиницю вимірювання результативної (залежної) ознаки (*функції У*) у разі зміни факторіальної ознаки

(*аргументу X*). Вона також є простою, якщо функція досліджується залежно від одного аргументу ($y=f(x)$), і множинною – від двох чи більше аргументів ($y=f(k, z, v)$).

Залежність функції від аргументу за лінійної регресії виражається коефіцієнтом регресії (b_{yx} або b_{xy}), який показує, у якому напрямі та на яку величину змінюється одна ознака за зміни іншої на одиницю вимірювання:

$$b_{yx}=r\sigma_y/\sigma_x \quad \text{або} \quad b_{xy}=r\sigma_x/\sigma_y.$$

Коефіцієнт регресії має знак коефіцієнта кореляції. Добуток коефіцієнтів регресії дорівнює квадрату коефіцієнтів кореляції (коефіцієнту детермінації):

$$b_{yx}\, b_{xy}=r^2.$$

Кореляція може бути зображена графічно як лінія регресії (рис. 1.13).

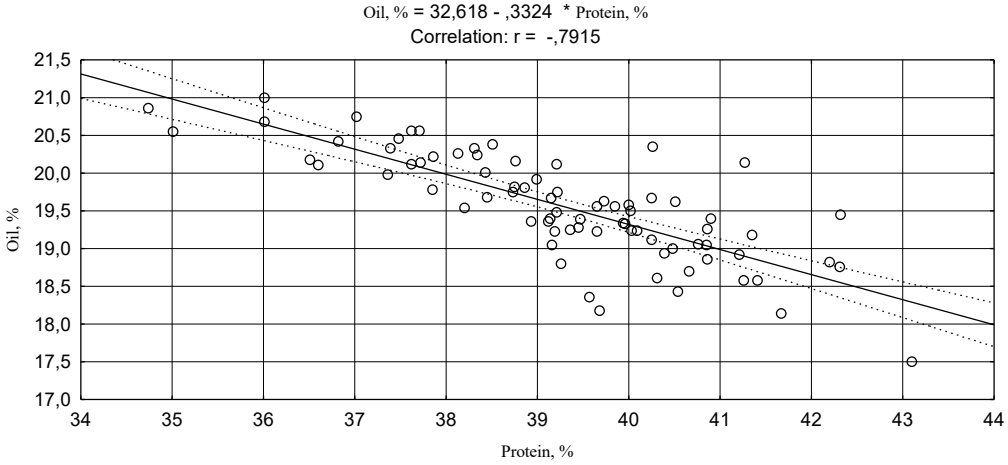


Рисунок 1.13 – Обернено пропорційна залежність вмісту білка та жиру в насінні сої, %

Для побудови графіка за віссю абсцис відкладають значення ознаки *x*, а на осі ординат – значення ознаки *y*; кожне спостереження над двома змінними відмічають точкою з координатами (*x*, *y*).

Коефіцієнт спадковості. У селекційній роботі часто вирішують питання про генетичну мінливість у загальній варіабельності якоїсь ознаки, наприклад, яка частка олійності (чи вмісту білка для кондитерського напряму) успадковується гібридом соняшнику від батьківської лінії, а яка від материнської. Для використання в перспективі цих ліній застосовують коефіцієнт успадкування. На практиці цей коефіцієнт можна розрахувати беручи за основу первині значення як із кореляційного, так і дисперсійного аналізу.

За використання кореляційного аналізу найкоротший шлях до коефіцієнта спадковості (h^2) через коефіцієнт регресії (b_{yx}) визначають за формулою:

$$h^2=2b_{yx}.$$

У разі наявних результатів розрахунку основних вихідних для дисперсійного аналізу коефіцієнт спадковості (h^2) визначають за формулою:

$$h^2 = \frac{S_г^2}{S_ф^2} = \frac{\left(S_v^2 - S^2\right)/n}{\left(S_v^2 - S^2\right)/n + S^2},$$

де $S_г^2$ – дисперсія генотипічна;
$S_ф^2$ – дисперсія фенотипічна;
S_v^2 – середній квадрат варіантів;
S^2 – середній квадрат залишку.

1.4.4. Сучасні комп'ютерні програми для проведення статистичного аналізу даних в агрономії

За сучасного розвитку науки та її світової інтеграції збільшилась кількість інших критеріїв (показників), які розраховуються комп'ютерними програмами для доведення достовірності статистичних висновків. Серед наявних програм вітчизняні науковці часто використовують такі: STATISTICA, STATA, SPSS, STAT GRAPHICS, SAS, MATLAB, MINITAB та інші. Деякі науковці досить ефективно застосовують MICROSOFT EXCEL (використовують модуль створення формул і розрахунків). Варто відзначити, що наявність численних графіків, їхня сумісність із MICROSOFT WORLD робить цю програму функціональною та універсальною.

Більш вивченою і адаптованою до досліджень у біології та агрономії є STATISTICA [6]. Насамперед STATISTICA вирізняється зручністю інтерфейсу й оригінальними опціями налаштування. Поетапний процес аналізу здійснюють в інтерактивному режимі, що супроводжується покроковим відкриванням вікон (блоків). Наявність понад 10 тис. графіків зробить презентабельним будь-які агрономічні рішення. Ще одним позитивним моментом є оперативність і швидкість проведення обчислень. У розпорядженні науковця доступні модулі, зокрема: основні статистичні таблиці (Basic Statistics/Tables), множинні регресія та кореляція (Multiple Regression/Correlation), одно- та багатофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA/MANOVA), кластерний аналіз (Cluster Analysis) та інші інструменти для оброблення даних.

Варто зазначити, що отримані результати розрахунків STATISTICA мають деякі відмінності та потребують додаткової інтерпретації для вітчизняної аграрної науки й адаптації до більш класичних величин. Наприклад, за результатами дисперсійного аналізу класично розраховуємо *HIP* (найменшу істотну різницю), водночас пакет *статистика* пропонує більш точні інструменти HSD-test, Scheffe test або Duncan test.

У пакеті є можливість розрахувати критичний поріг Тьюкі – Ньюмана ***HSD*** (***Honest significant difference***), який є своєрідною аналогією *HIP*. Якщо різниця між варіантами (d) більша від показника *HSD*, то варіанти істотно відрізняються один від одного, якщо ж $HSD \geq d$, то варіанти не відрізняються один

від одного. Це свідчить про те, що показник *HSD* є більш надійною основою для оцінювання середніх показників за варіантами, оскільки він не тільки базується на кількості ступенів вільності дисперсії залишку (похибок), а й ураховує кількість варіантів у досліді.

Наступним критерієм, що застосовують в агрономії, є Шеффе-тест (***Scheffe test***). Його досить ефективно використовують для чисельних порівнянь і окремих середніх різної повторності та їх груп із різною чисельністю на основі контрастів. Критерій Шеффе забезпечує досить точну оцінку істотної різниці між середніми показниками за варіантами.

Ранговий критерій Дункана (***Duncan test***) застосовується для оцінювання середніх показників за варіантами, тобто залежно від значущості розподіляє їх за варіантами на різні класи (групи) і є своєрідною поправкою, яка нівелює фактор поступового викривлення оцінки порівняння середніх показників за варіантами зі збільшенням різниці між ними. Якщо різниця між середніми за варіантами удвічі перевищує HIP_{05}, то оцінювання цієї різниці та розподіл показників на рангові групи доцільно проводити з використанням рангового критерію Дункана. Зі збільшенням числа ступенів вільності дисперсії похибок і показника рангу критерій Дункана поступово зростає.

1.5. Робота над науковими працями здобувача третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти за спеціальністю Агрономія (кваліфікація доктор філософії (PhD))

1.5.1. Види та сутність наукових публікацій

Основні види подання наукової інформації: доповідь, теза, стаття та дисертація (рукопис).

Наукова доповідь – це письмовий виклад усного виступу, який узгоджується з тезами (конференції), проте не підлягає публікації. Її основне завдання – більш розгорнена презентація дослідження перед науковою спільнотою для подальшого обговорення та дискусії.

Структура наукової доповіді

Доповідь складається із трьох основних частин:

1. ***Вступу*** – короткий опис актуальності проблеми та її значущості.
2. ***Основної частини*** – розкриття головної ідеї, її теоретичне та практичне обґрунтування, а також авторське бачення проблеми.
3. ***Висновків і рекомендацій*** – підсумкові твердження та пропозиції щодо подальшого розвитку дослідження.

Доповідь зазвичай обсягом 6–8 сторінок і розрахована на виступ тривалістю 15–20 хв.

Вимоги до доповіді

Доповідь повинна містити:

— короткий виклад основних наукових положень;

— практичну значущість дослідження;

— чіткі висновки та рекомендації.

Тривалість виступу – 10–20 хв, тому аргументація має бути лаконічною та структурованою. Важливо чітко виділити основну ідею, не заглиблюючись у деталі.

Особливості виголошення доповіді

Доповідачу рекомендується не читати текст дослівно, а лише використовувати його для довідок чи цитування; має бути лаконічне наведення основних положень та логічних висновків.

Важливими чинниками успішного виступу є емоційність, упевненість і здатність до дискусії, що сприяє залученню аудиторії.

Виразність мовлення залежить від темпу, інтонації та гучності голосу.

Під час доповіді здобувач (доповідач) має бути обличчям до аудиторії та подавати основний матеріал (таблиці та рисунки) з використанням указки.

Відповіді на запитання повинні бути короткими, змістовними, а реакція на критику – стриманою та коректною.

Підготовка до наукової доповіді

Процес підготовки доповіді передбачає кілька етапів:

1. Вибір теми, яка має бути актуальною та цікавою для аудиторії.

2. Визначення мети доповіді (інформування про дослідження, висновки, нові методики чи технології).

3. Формулювання назви, яка має бути лаконічною та відповідати змісту (не більш ніж 5–7 слів).

Головна мета доповіді – публічне представлення наукового дослідження, етапів його проходження або результатів, з подальшим обговоренням у професійній спільноті.

Поняття та основна мета тез. Тези – це чітко та послідовно сформульовані основні ідеї, висновки чи положення, що відображають суть наукової доповіді, статті або іншої наукової праці.

Головна мета тез – лаконічно подати ключові результати дослідження у формі короткого конспективного викладу.

Тези доповіді публікують перед початком наукової конференції, вони містять стислий виклад її основних аспектів. Їхній обсяг зазвичай становить 2–3 сторінки машинописного тексту з міжрядковим інтервалом 1,0–1,5. Конкретні вимоги до оформлення тез наводять в інформаційному листі, який готує організаційний комітет конференції.

Основні вимоги до оформлення тез

1. У лівому верхньому куті зазначають **УДК** (універсальний десятинний код), по центру записують **прізвище автора**, ініціали, а також додаткові відомості про нього (**установа, науковий ступінь тощо**).

2. Назва тез повинна **коротко передавати основну ідею дослідження** (2–5 слів).

3. Послідовність викладу зазвичай охоплює:

— актуальність та проблематику дослідження;

— аналіз стану розроблення теми в науці та на практиці;

— формулювання основної ідеї та ключових висновків;

— узагальнення отриманих результатів та їхнє практичне значення.

4. У тезах **не використовують цитати чи цифровий матеріал**.

5. Кожна теза починається з нового рядка та виражає **самостійну думку**, сформульовану в одному або кількох реченнях.

Тези доповіді є зручним форматом для попереднього ознайомлення з основними положеннями наукової роботи. Вони містять стисле наукове повідомлення переважно обсягом від 1 до 3 сторінок машинописного тексту.

Наукова стаття: поняття, структура й основні вимоги до оформлення. ***Наукова стаття*** – це один із ключових видів наукових публікацій, що містить проміжні або остаточні результати дослідження. У ній висвітлено окреме питання, пов'язане з темою дисертації, закріплено науковий пріоритет автора, доступно подано матеріал для фахівців у відповідній галузі.

Наукова стаття в періодичному виданні (***журналі***, ***бюлетені***, ***збірнику праць***) є найавторитетнішим способом подання результатів дисертаційного дослідження. Вона має суворо обмежений обсяг (8–10 сторінок машинописного тексту), тому кожен параграф структурований так, щоб відразу передавати основну інформацію. У тексті статті розкривається одна наукова ідея чи концепція.

Структура та вимоги до оформлення наукової статті. Наукова стаття надсилається до редакції в завершеному вигляді відповідно до вимог, які оприлюднені у спеціальних пам'ятках для авторів.

Оптимальний обсяг статті – до **12 сторінок друкованого тексту** (0,5 авторського аркуша, 1,5 міжрядковий інтервал, 14 шрифт).

Обов'язкові структурні елементи наукової статті:

— повна назва роботи;

— прізвище й ініціали автора (авторів);

— анотація (викладається на окремій сторінці);

— основний текст статті;

— список використаних джерел.

Дотримання встановлених вимог до написання та оформлення наукової статті сприяє успішній публікації та ефективному оприлюдненню результатів дослідження в науковому середовищі.

Кожен науковець прагне донести результати своєї роботи до читача. Процес підготовки публікації є індивідуальним: одні дослідники лаконічно описують процес дослідження та детально висвітлюють його результати, тоді як інші поступово вводять читача у свою наукову лабораторію, крок за кроком розкривають методи й етапи роботи.

Висвітлюючи дослідницький процес від початкової ідеї до підсумкових висновків і рекомендацій, науковець демонструє складність своїх творчих

пошуків. Перший варіант викладу, орієнтований на вузьке коло спеціалістів, найчастіше використовують під час написання монографій і статей. Другий, більш розгорнутий варіант застосовують у дисертаційних дослідженнях, оскільки він дозволяє краще оцінити самостійність науковця, глибину його знань і ерудицію.

Важливу роль у підготовці наукових публікацій відіграє володіння автором методичними прийомами викладу матеріалу. Виділяють три основні методи написання наукового тексту:

1. Послідовний – текст створюють у логічному порядку – від початку до кінця.

2. Цілісний – спочатку викладають увесь текст, а потім доопрацьовують окремі частини.

3. Вибірковий – окремі розділи чи частини пишуть у довільній послідовності.

Вибраний метод викладу впливає на темп роботи та кінцевий результат наукового дослідження.

Послідовний виклад матеріалу визначає структуру підготовки наукової публікації, яка містить такі етапи: формулювання основної ідеї та складання попереднього плану, добір і підготовку матеріалів, їх групування та редагування рукопису. Основною перевагою цього методу є логічна цілісність подачі інформації, що дозволяє уникнути повторів і пропусків. Однак недоліком є неефективне використання часу, оскільки автор не може перейти до наступного розділу, доки цілком не завершить попередній.

Цілісний метод передбачає створення чорнового варіанту всієї роботи, після чого відбувається детальне опрацювання окремих частин, внесення змін і доповнень. Такий підхід дозволяє значно скоротити час на підготовку остаточного варіанту тексту. Однак є ризик порушення логічної послідовності викладу.

Вибірковий метод є одним із найпоширеніших серед дослідників. Роботу над окремими розділами здійснюють у довільному порядку залежно від готовності матеріалу. Важливо доводити кожен розділ до фінального стану, щоб у підсумку всі частини були майже готові до публікації.

Функції та значення наукових публікацій

Наукові публікації виконують низку важливих функцій, як-от:

— оприлюднення результатів дослідження;

— закріплення пріоритету автора в разі появи аналогічних робіт;

— демонстрація особистого внеску дослідника у вирішення наукової проблеми;

— підтвердження достовірності отриманих результатів, їхньої наукової новизни та значущості;

— фіксація факту апробації та впровадження результатів дослідження;

— відображення змісту, рівня та унікальності наукової роботи;

— надання суспільству первинної наукової інформації та передача нових знань у загальне користування.

Кількість і обсяг наукових публікацій відіграють ключову роль у процесі виконання кваліфікаційних досліджень, оскільки вони є показником професійної діяльності дослідника та його внеску в науку.

Більшість наукових статей публікується у спеціалізованих (фахових) журналах, а статті, що є частиною дисертаційного дослідження, повинні бути опубліковані у виданнях, затверджених Міністерством освіти і науки України. За умов глобалізації науки високо цінуються наукові праці (статті) у міжнародних журналах, проіндексованих у базах даних ***Scopus/Web of Science***. Основні нормативно-правові положення та вимоги щодо підготовки й опублікування наукових праць наведені в наказі № 1220 Міністерства освіти і науки України від 23 вересня 2019 р. [17]. Зокрема зазначено, що основні наукові результати дисертації на здобуття ступеня доктора філософії (PhD) мають бути висвітлені не менше ніж у трьох наукових публікаціях, які розкривають основний зміст дисертації. До таких наукових публікацій належать статті в наукових виданнях, що входять до переліку наукових фахових видань України категорії «В» (замість однієї статті можуть бути зараховані авторське свідоцтво, монографія або розділ монографії, опублікованої у співавторстві). Також варто зазначити, що наукова публікація у виданні, віднесеному до першого–третього квартилів (Q1–Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports, прирівнюється до двох публікацій.

1.5.2. Зміст і структура кваліфікаційної роботи здобувача третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти за спеціальністю Агрономія

Дисертаційна робота (кваліфікаційна робота) є завершальним етапом наукової роботи ОС «доктор філософії, (PhD)». Це плід наполегливої роботи багатьох років, що об'єднує всі складники наукової активності здобувача. У дисертації має бути наведено всі етапи роботи, починаючи з актуальності, стану вивчення питання іншими науковцями, методології, виконання (проведення польового експерименту) і закінчуючи аналізом і висновками.

Вимоги до оформлення дисертації затверджено в наказі № 40 Міністерством освіти і науки України від 12 січня 2017 р., зі змінами, внесеними згідно з наказом Міністерства освіти і науки № 759 від 31 травня 2019 р.

Загальні положення. Структура дисертації

Обсяг дисертаційної роботи на здобуття ступеня доктора філософії має становити не менш ніж 150 тис. знаків (3,75 авторських аркушів) з урахуванням цифр, розділових знаків, проміжків між словами (список використаної літератури та/або список використаних інформаційних джерел, ілюстративний матеріал, зокрема, малюнки, фотографії, таблиці, тексти програм, додатки на повну сторінку, не враховують в обсяг дисертації). Вимоги щодо максимального обсягу роботи можуть визначатися освітньо-науковою програмою закладу відповідно до специфіки відповідної галузі знань та/або спеціальності. Водночас

вимоги щодо оформлення дисертації на здобуття ступеня доктора філософії затверджує МОН за поданням Національного агентства.

Основними структурними елементами дисертаційної роботи є:

— титульний аркуш;
— анотація;
— зміст;
— перелік умовних позначень (за необхідності);
— основна частина;
— список використаних джерел;
— додатки.

Кожен елемент роботи, розділи основної частини та додатки слід починати з нової сторінки.

Анотація має становити 0,2–0,3 авторського аркуша.

Основна частина дисертації повинна містити такі елементи:

— вступ;
— розділи дисертації;
— висновки.

Обсяг основного тексту дисертаційної роботи вираховують авторськими аркушами.

Дисертаційна робота як обов'язковий додаток має містити список публікацій здобувача за темою роботи та відомості про апробацію результатів дисертації (із зазначенням назви конференції, конгресу, семінару, школи, місця та дати проведення, форми участі).

Бібліографічний опис списку використаних джерел у дисертації може оформлятися здобувачем наукового ступеня за його вибором з урахуванням Національного стандарту України ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання».

Загальний порядок присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії регулюється постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р.

Завдання та питання для самостійної роботи

1. *Історія наукових досліджень з агрономії в Лівобережному Лісостепу України.*
2. *Сучасні тенденції підготовки науковців в Україні та світі (наукові установи, статистична інформація, заробітна плата).*
3. *Гігієна розумової праці та її значення за сучасного воєнного стану.*
4. *Навести зміст і структуру планованої дисертаційної роботи.*
5. *Навести мету, схему та варіанти проведення досліджень.*
6. *Назвати об'єкт, предмет і основні параметри досліджень.*
7. *Довести доцільність застосовуваних статистичних методів оброблення отриманих даних.*

8. *Використання штучного інтелекту в науковій діяльності вчених: за і проти.*
9. *Підготувати тезу за результатами вивчення наявної інформації за вибраною темою в досліджуваному регіоні.*
10. *Навести основні ризики за виконання досліджень за вибраною темою.*

Перелік джерел до розділу 1

1. Методика наукових досліджень в агрономії : навчальний посібник / Е. Р. Ермантраут та ін. ; Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва. Харків, 2012. 180 с.
2. Теорія автоматичного керування : навчальний посібник / П. В. Леонтьєв та ін. Суми : СумДУ, 2024. 296 с.
3. Медвідь В. Ю., Данько Ю. І., Коблянська І. І. Методологія та організація наукових досліджень (у структурно-логічних схемах і таблицях) : навчальний посібник. Суми : Університетська книга, 2020. 219 с.
4. Мельник А. В., Россолов В. В., Рекленко В. М., Забродський Р. С. Сучасні електронні системи точного землеробства в агропромисловому комплексі України : матеріали І міжнародної науково-практичної конференції, м. Мюнхен, Німеччина, 26–28 серпня 2024 р. С. 10–15.
5. Методика наукових досліджень в агрономії : навчальний посібник / Е. Р. Ермантраут та ін. Суми : СНАУ, 2009. 86 с.
6. Комп'ютерні методи в сільському господарстві та біології : навчальний посібник / О. М. Царенко та ін. Суми : Університетська книга, 2000. 203 с.
7. Методологія та організація наукових досліджень (в екології) : підручник / М. О. Клименко. Херсон : ПП «Олді-Плюс», 2019. 474 с.
8. Клименюк О. В. Виклад та оформлення результатів наукового дослідження : авторський підручник. Ніжин : Аспект-Поліграф, 2007. 398 с.
9. Основи наукових досліджень в агрономії : підручник / В. О. Єщенко та ін. ; за ред. В. О. Єщенка. Київ : Дія, 2005. 288 с.
10. Дослідна справа в агрономії : навчальний посібник : у 2 кн. Кн. 2 : Статистична обробка результатів агрономічних досліджень / А. О. Рожков та ін. Харків : Майдан, 2016. 342 с.
11. Field View Performance Report / Climate Corporation. 2023. URL: https://www.climate.com (дата звернення: 15.08.2024).
12. Digital Farming: Strategies for the Future / European Commission. 2023. URL: https://ec.europa.eu (дата звернення: 15.08.2024).
13. Sustainable Agriculture and Digital Tools: A Global Perspective / FAO. FAO Publications, 2022. 272 p.
14. Peipei Jia, Melnyk Andrii, Lijie Li, Xiangjun Kong, Haifang Dai, Zhiyong Zhang, Butenko Sergey. Effects of drought and rehydration on the growth and physiological characteristics of mustard seedlings. *Journal of Central European Agriculture*. 2021. № 22 (4). P. 836–847.
15. Digital Agriculture: Trends and Opportunities / World Bank. World Bank Report, 2023. 144 p.

16. Державний стандарт вищої освіти зі спеціальності 201 Агрономія для третього (освітньо-наукового) рівня : наказ МОН № 1458 від 29.12.2021.
17. Офіційний сайт Міністерства освіти і науки України. URL: https://mon.gov.ua/
18. Офіційний сайт Національного агентства із забезпечення якості вищої освіти. URL: https://naqa.gov.ua/
19. Офіційний сайт Національної бібліотеки України імені В. І. Вернадського. URL: http://www.nbuv.gov.ua/

Розділ 2
СУЧАСНІ АСПЕКТИ ЗЕМЛЕРОБСТВА

2.1. Сучасні напрями розвитку землеробства

Особливості сучасних систем землеробства

Нині системами землеробства називають комплексний підхід, який поєднує високу продуктивність з екологічною стійкістю. Це виробництво має бути ґрунтозахисним, енергоощадним, екологічно чистим і економічно вигідним, щоб забезпечувати не тільки зростання обсягів якісної продукції, а й розширене відтворення родючості ґрунту.

Державний стандарт [1] визначає систему землеробства як сукупність технологічних, меліоративних, організаційно-економічних заходів. Їхня мета – ефективно використовувати агрокліматичні ресурси та відтворювати родючість ґрунтів для отримання стабільно високих урожаїв. Однак це визначення не уточнює, наскільки глибоким є відтворення родючості (чи є воно простим, неповним або розширеним). Водночас «організаційно-економічні заходи» охоплюють такі показники, як загальні виробничі витрати, вартість продукції та чистий прибуток.

Науково обґрунтована система землеробства має забезпечувати максимальну кількість високоякісної продукції за мінімальних витрат енергії та коштів на одиницю. Вона також мусить ефективно захищати ґрунт і навколишнє середовище від ерозії (водної та вітрової) та хімічного забруднення.

Інтенсивність сучасних систем землеробства залежить від структури посівних площ і методів відновлення родючості ґрунту. Чим більша частка просапних культур у сівозміні, тим зазвичай інтенсивніша система. Інтенсивність також зростає за включення проміжних сидеральних культур, що дозволяє зменшити використання дорогих мінеральних добрив для відновлення родючості. У лісостеповій зоні добре зарекомендували себе післяукісні або озимі проміжні посіви, а на поливних землях – навіть післяжнивні культури на зелене добриво.

Адаптованість до місцевих умов є ключовою вимогою для сучасних систем землеробства [2; 3]. Тільки за таких умов можна досягти високої продуктивності сільськогосподарських культур.

Важливо зазначити, що на сучасному етапі розвитку системи землеробства не завжди мусять бути винятково інтенсивними. Альтернативою їм можуть бути ґрунтозахисні системи, що пропонуються для ерозійно небезпечних земель, а також біологічні системи землеробства. Останні цілковито виключають використання штучних хімічних агрохімікатів і спрямовані на виробництво здорових харчів для людей і безпечних кормів для тварин. Усі інші варіанти систем можуть розглядатися як перехідні від інтенсивної до ґрунтозахисної чи біологічної моделі землеробства.

Основні переваги та недоліки альтернативних систем землеробства

Органічне землеробство

Останнім часом біологічна, або органічна, система землеробства набуває все більшої популярності. Її суть полягає у виключенні або значному скороченні використання мінеральних добрив і синтетичних пестицидів. Основними перевагами такого підходу є висока якість сільськогосподарської продукції, зменшення забруднення довкілля, а також збереження та навіть підвищення родючості ґрунту. Біологічне господарювання орієнтоване на максимальне використання природних, біологічних і агрохімічних методів виробництва [3].

На відміну від традиційного промислового сільського господарства, що зосереджене на короткостроковій економічній вигоді, органічне господарство є більш стабільним, оскільки його основою є збереження та відновлення родючості ґрунту. Цей альтернативний вид виробництва активно розвивається протягом останніх двох десятиліть.

Визначення та ключові принципи органічного землеробства

Органічне землеробство – це цілісна система управління та сільськогосподарського виробництва, яка поєднує високий рівень біорозмаїття із природоохоронними практиками, що зберігають природні ресурси, а також має суворі стандарти щодо добробуту тварин. Воно є відповіддю на зростання споживчого попиту на натуральні продукти та сприяє збереженню довкілля в контексті сталого розвитку сільських територій.

Серед найважливіших принципів органічного землеробства можна виділити:

— заборону використання синтетичних хімічних речовин (добрив, пестицидів), а також деяких «природних» аналогів, якщо вони можуть завдати шкоди;
— цілковиту відсутність генетично модифікованих організмів (далі – ГМО);
— переробку всіх органічних відходів для створення цінних добрив;
— використання сівозміни для покращення регенерації ґрунту;
— біологічні методи боротьби зі шкідниками;
— застосування лише тих препаратів, які не шкодять довкіллю;
— повагу до природи та збереження біорозмаїття.

З офіційного погляду органічне землеробство – це виробництво екологічно чистої сільгосппродукції без застосування агрохімікатів і ГМО, що передбачає мінімальний обробіток ґрунту без перевертання пласта. До характерних практик також належать поверхневий обробіток ґрунту (4–12 см), використання ефективних мікроорганізмів (далі – ЕМ), компостування органічних відходів (соломи, бур'янів, трави, листя), створення «живого», родючого шару ґрунту, відмова від синтетичних агрохімікатів, мульчування та застосування екологічно безпечних енергоощадних технологій переробки й зберігання продукції.

Переваги та недоліки органічного землеробства

Органічне землеробство має чимало переваг для споживачів, оскільки його суворі стандарти зобов'язують виробників дотримуватися конкретних критеріїв якості. Загальні переваги органічного землеробства такі:

— збереження енергії та зменшення викидів CO_2;
— підвищення родючості ґрунту;

— заборону використання пестицидів і ГМО;
— чисту воду та збереження біорозмаїття;
— виробництво здорової їжі;
— можливість обробки приватних ділянок без перевтоми.

Водночас є недоліки. Урожайність в органічному землеробстві зазвичай нижча, ніж у традиційному. Це призводить до вищих експлуатаційних витрат, отже, більш високих цін на органічну продукцію для кінцевого споживача. Хоча ціни на деякі продукти (особливо ті, що легко вирощуються без пестицидів) можуть не надто різнитися, такі продукти, як м'ясо та молочні вироби, значно дорожчі в органічному секторі через більшу трудомісткість і вимоги до виробництва.

Система землеробства No-till

Для успішного переходу до технології No-till (нульового обробітку ґрунту) необхідна чітко розроблена стратегія [3]. Її оптимізація полягає в такому:

1. Створення мульчуючого шару. Залишають стерню та рівномірно розподіляють подрібнені незернові частини врожаю по поверхні поля, чим створюємо мульчу. Вона допомагає зберігати та накопичувати вологу у ґрунті.

2. Збільшення вмісту гумусу. Розкладаючись, рослинні залишки та коренева система культур збагачують ґрунт гумусом, покращують його родючість.

3. Зменшення ущільнення ґрунту. Завдяки значному скороченню кількості проходів техніки по полю ущільнення ґрунту мінімізується.

4. Економія пального. Об'єднання та скорочення технологічних операцій дозволяють суттєво зменшити витрати паливно-мастильних матеріалів.

5. Підвищення продуктивності праці. Використання потужних тракторів і широкозахватних посівних комплексів збільшує продуктивність і дає змогу скоротити чисельність працівників.

6. Зниження собівартості. Усі ці заходи ведуть до здешевлення виробництва одиниці продукції та, як наслідок, до підвищення її конкурентоспроможності на ринку.

Технологія нульового обробітку ґрунту (No-till) пропонує численні зміни в сільськогосподарському виробництві, впливає як на економіку, так і на екологію.

Позитивні аспекти No-till

1. Значне зростання продуктивності праці. Продуктивність може зрости у 3–5 разів.

2. Своєчасна сівба. Посів польових культур можна проводити в оптимальні агротехнічні терміни.

3. Економія ресурсів. Витрати на оплату праці скорочуються в 1,6 раза, на придбання техніки – в 1,5 раза, а на пальне – у 2,2 раза.

4. Захист водойм. Обмежується потрапляння елементів, що спричиняють цвітіння водоростей, таким чином знижується рівень евтрофікації водойм.

5. Запобігання ерозії. Ґрунти надійно захищені від водної та вітрової ерозії, а також від антропогенного переущільнення.

6. Збільшення органічної речовини. Значно підвищується вміст органічної речовини та гумусу у ґрунті.

7. Ефективне використання поживних речовин. За належного зволоження покращується засвоєння рослинами поживних елементів з мінеральних добрив (особливо фосфору, за помірних доз) завдяки їх локалізації в біологічно активному поверхневому шарі, де зосереджена коренева система.

8. Збереження ґрунтової вологи. Зменшуються втрати вологи на фізичне випаровування.

9. Зниження викидів CO_2. Скорочення витрат пального протягом року приводить до зменшення викидів вуглекислого газу в атмосферу.

10. Збагачення ґрунтової фауни. Збільшується кількість мікро- та мезофауни, зокрема дощових черв'яків, які відіграють ключову роль у формуванні родючості ґрунтів.

11. Секвестрація вуглецю. Технологія дозволяє вилучати сотні мільйонів тонн CO_2 з атмосфери та закріплювати його як органічну речовину ґрунту.

12. Потенційне зростання врожайності та рентабельності. За визначених умов можливі підвищення врожайності польових культур і зниження собівартості продукції рослинництва.

13. Покращення умов праці. Вирівнювання поверхні полів покращує умови для механізаторів, знижує вібраційні навантаження на людину та техніку.

Застереження щодо впровадження No-till

1. Зниження температури ґрунту навесні. Наявність пожнивних решток, особливо після кукурудзи, може знизити температуру ґрунту на 2,8…5,0 °С, що затримує етапи органогенезу культур і потребує посилення фосфорного живлення та зміни строків сівби ярих.

2. Ризик перезволоження. На ґрунтах з поганим дренажем можливі перезволоження орного шару та зниження біологічної активності, що компенсується підвищенням дози азоту на 25–30 кг.

3. Погіршення роботи дренажних систем. На осушуваних землях дія дренажних систем може погіршитися.

4. Прояви мікропонижень. Зменшення глибини обробітку підсилює негативний вплив мікропонижень (блюдець), особливо за утворення притертої льодової кірки на озимих.

5. Зниження польової схожості. Насичення посівного шару пожнивними рештками може знизити схожість насіння, потребуватиме підвищення норм висіву на 15–25 %.

6. Ускладнений і дорожчий контроль бур'янів. Боротьба з бур'янами є складнішою і дорожчою на 15–100 % порівняно із традиційним обробітком.

7. Погіршення дії ґрунтових гербіцидів. Частина препаратів може затримуватися на пожнивних рештках, а діючі речовини швидше детоксифікуються в біологічно активному поверхневому шарі.

8. Ризик резистентності бур'янів. Інтенсивний захист від бур'янів збільшує ризик появи популяцій, стійких до гербіцидів.

9. Ускладнення боротьби із гризунами. Боротьба з мишовидними гризунами стає складнішою.

10. Фітосанітарні виклики. Наявність рослинних решток на поверхні ґрунту створює сприятливі умови для збереження джерел інфекцій, приваблює

шкідників та сприяє їхньому виживанню взимку, що ускладнює підтримку сприятливого фітосанітарного стану посівів.

11. Недобір урожаю за посухи. За посушливих умов можливі недобір урожаю та зниження якості зерна озимої пшениці через збіднення нижньої частини орного шару поживними речовинами та їхню недоступність унаслідок пересихання верхніх 10 см.

12. Низька ефективність розкидного внесення азоту. На фонах з великою кількістю решток знижується ефективність розкидних підживлень азотом; за потрапляння карбаміду на рештки втрачається до 1/3 азоту.

13. Підтримка фізико-хімічних параметрів ґрунту. Тривале агрохімічне навантаження на поверхневий шар ускладнює підтримку оптимальних фізико-хімічних параметрів родючості ґрунту. Корекція, наприклад, вапнуванням, потребує менших доз, але вдвічі частіше, ніж за традиційного обробітку.

14. Сезонна цементація. На виснажених ґрунтах середнього та важкого гранулометричного складу в перші роки впровадження No-till може спостерігатися сезонна цементація ґрунту, що призводить до значного ущільнення та різкого зниження продуктивності. Відновлення триває 3–4 роки.

15. Висока вартість обладнання. Сівалки безпосередньої сівби – основний технічний засіб для No-till – є дорогими, їхня ціна коливається від 30 до 300 тис. у. о.

16. Вищі вимоги до кваліфікації персоналу. Упровадження технологій No-till потребує значно вищої кваліфікації агрономічного та технічного персоналу.

Точне землеробство

Технології точного землеробства роблять значний внесок у підвищення врожайності основних культур. Вони дозволяють ефективніше використовувати найважливіші ресурси – землю, воду, пальне, добрива та пестициди, тим самим підвищують стійкість сільськогосподарського виробництва. Фермери, які інвестують в обладнання для точного землеробства, зрештою витрачають менше, щоб виростити більше [4].

Ці технології не тільки забезпечують економічну вигоду для господарств, але й покращують охорону навколишнього середовища.

Серед ключових переваг точного землеробства такі:

— оптимізація ресурсів. Можливість значно ефективніше використовувати добрива, воду й інші ресурси, що знижує загальні витрати;

— зростання врожайності. Індивідуальне управління окремими ділянками поля допомагає підвищити врожайність саме там, де це необхідно;

— екологічна безпека. Мінімізація застосування добрив і хімікатів сприяє більш екологічному обробітку земель;

— покращення якості ґрунтів. Цілеспрямовані дії допомагають підвищити якість ґрунтового покриву;

— ефективне планування. Використання даних дозволяє фермерам точніше планувати та прогнозувати результати;

— оптимізація трудовитрат. Раціональне використання ресурсів і автоматизація процесів зменшують потребу в ручній праці.

Незважаючи на численні переваги, точне землеробство має недоліки:

— значні стартові інвестиції. Упровадження технологій потребує великих фінансових вкладень в обладнання та програмне забезпечення;

— складність освоєння. Необхідне спеціалізоване навчання персоналу, що може бути викликом;

— технічні проблеми. Будь-які збої в роботі обладнання чи програмного забезпечення можуть призвести до простоїв і зниження продуктивності.

2.2. Роль кліматичних умов розвитку землеробства

Тенденції змін клімату

Останні 4–5 років чітко демонструють ***тенденцію глобального потепління***. За цей період середньорічна температура зросла з 8,0 до 9,1 °С, тобто ***потепління становить 1,1 градуса всього за п'ять років*** (див. табл. 2.1) [5]. Лише 2021 р. виявився близьким до кліматичної норми.

Таблиця 2.1 – Основні гідрометеорологічні характеристики погоди 2018–2022 рр.

Рік	Температура, °С	Відхилення від норми, °С	Опади, мм	Відхилення від норми, %
2018	9,7	+0,6 (1,7)	579	98
2019	10,5	+1,4 (2,5)	488	83
2020	10,7	+1,6 (2,7)	541	92
2021	9,1	0,0 (1,1)	656	112
2022	9,9	+0,8 (1,9)	597	102
Норма	9,1 (8,0)	+0,9 (2,0)	587	97

За останні п'ять років середньорічний рівень опадів становив приблизно 97 % від норми. Однак, попри цю незначну на перший погляд різницю, фактичний недобір вологи виявився дуже суттєвим у перерахунку на тонни на гектар. Як наслідок, кожен із цих років характеризувався ґрунтовою посухою, що проявлялася з різною періодичністю, інтенсивністю та масштабом (рис. 2.1, 2.2, див. с. 64).

Останні десятиліття відзначаються значними змінами у кліматі, що безпосередньо впливають на сільськогосподарське виробництво.

Аномальні явища, пов'язані з вимерзанням озимих культур, спостерігаються вже із 2012 р. Якщо раніше вимерзання зазвичай відбувалося у грудні або на початку січня, коли рослини ще не встигли досить загартуватися, то тепер ми стикаємося з вимерзанням наприкінці лютого – на початку березня. Це раніше було нехарактерно й пов'язано із замалим сніговим покривом та дуже низькими температурами в пізньозимовий період.

Що стосується весняних заморозків, то вони й надалі прогнозуються у квітні, травні й навіть червні. Щоб мінімізувати їхні негативні наслідки,

треба відтягувати терміни посівів. Також у роки з достатньою кількістю ґрунтової вологи немає потреби поспішати із сівбою, щоб упіймати момент вологого ґрунту.

Ситуація, що склалася за останні 30 років – відсутність стійкої зими, мінімальне промерзання ґрунту та ранні весняні процеси, що починаються на місяць раніше, створює сприятливі умови для перезимівлі та розмноження шкідників і фітопатогенів. Існує також висока ймовірність значного розмноження саранчових.

Однак є і позитивні аспекти цих кліматичних змін, особливо в контексті достигання культур. Якщо раніше деякі культури могли достигати лише на півдні України, то завдяки потеплінню вони тепер успішно висіваються і достигають навіть на півночі країни, де клімат стає дедалі спекотнішим (рис. 2.3, 2.4, див. с. 65).

Проєкції змін клімату свідчать про подальше підвищення температури повітря біля земної поверхні впродовж усіх сезонів (рис. 2.5 (див. с. 65), 2.6 (див. с. 66)).

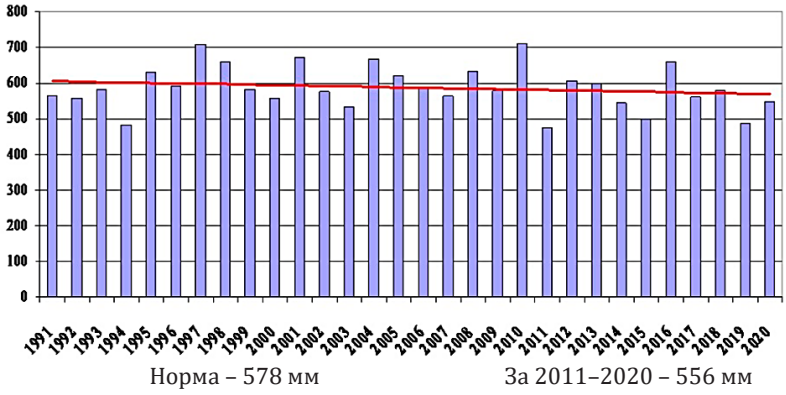
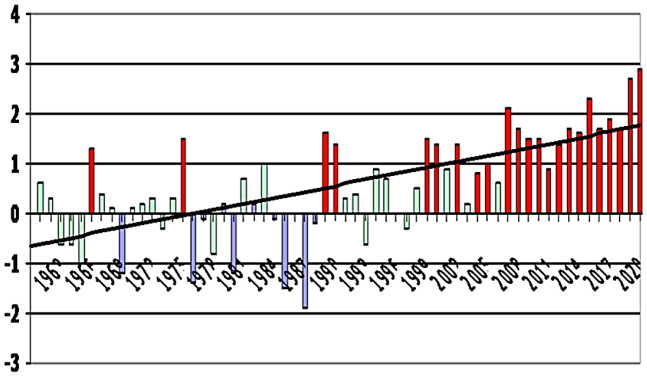


Рисунок 2.1 – Річна кількість опадів в Україні (мм) та лінія тренду за 1991–2020 рр.



Норма (1961–1990) +7,8°, Середня (1991–2020) +8,8°, Середня (2011–2020) +9,4°
2020 +10,7°

Рисунок 2.2 – Відхилення від норми середньої річної температури в Україні, °С

Заходи, що сприяють поглинанню та скороченню парникових газів

Щоб запобігти поширенню негативних наслідків зміни клімату, необхідно насамперед переходити на природні джерела енергії: вітер, сонце, біомасу, біогаз і малі гідроелектростанції.

Водночас у сільському господарстві варто застосовувати енергозберігальні технології та впроваджувати такі практики:

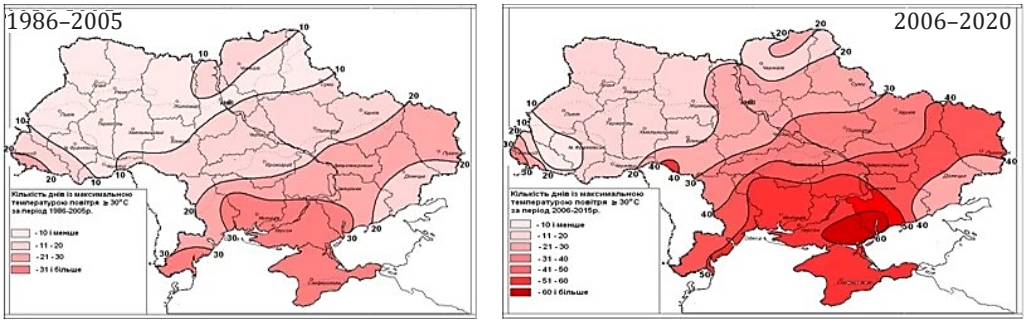


Рисунок 2.3 – Кількість днів з температурою повітря вище +30 °С

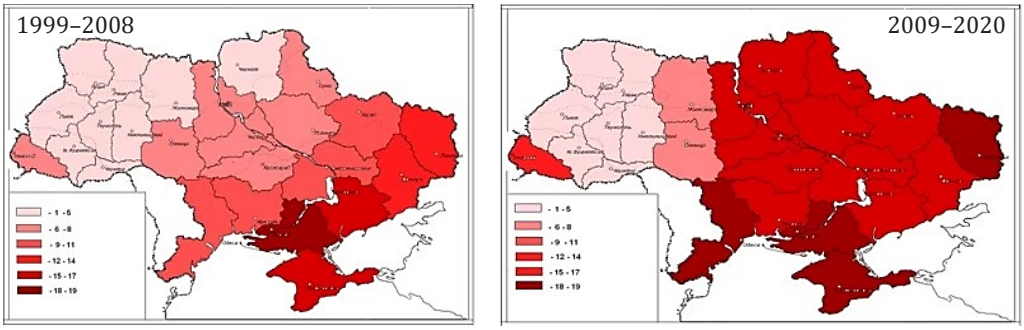


Рисунок 2.4 – Кількість днів з температурою повітря вище +35 °С

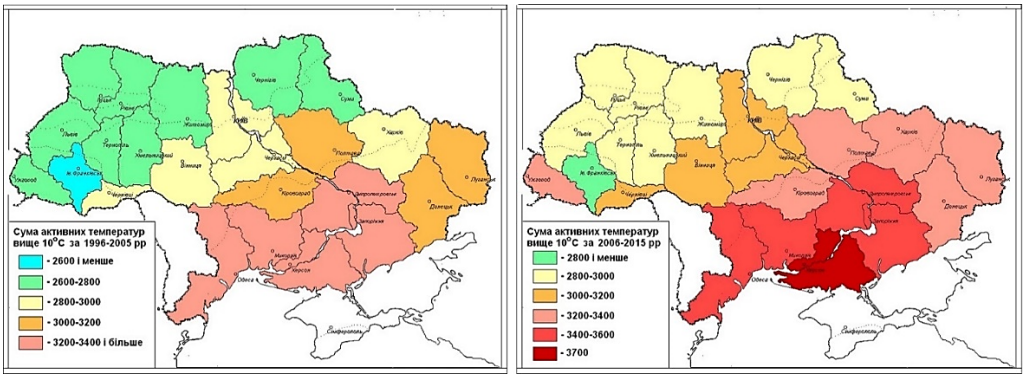


Рисунок 2.5 – Зміна теплових ресурсів.
Суми активних (позитивних) температур вище +10 °С

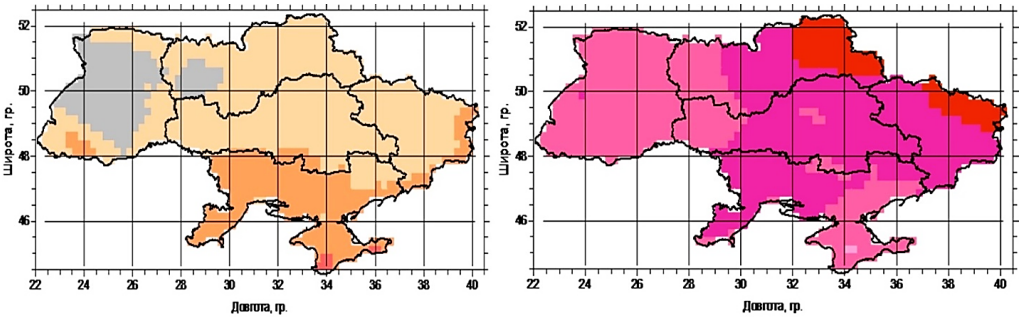


Рисунок 2.6 – Прогноз зміни температури повітря до 2030 р. щодо 1991–2010 рр.

— вирощування низькорослих рослин і тих, що затримують біогенні елементи;
— включення багаторічних трав у сівозміну;
— збереження природних боліт;
— висадка протиерозійних насаджень;
— використання бобових сидератів, а також злакових сидератів, які збагачують ґрунт біогенами, пригнічують бур'яни, структурують і розпушують ґрунт;
— вирощування важливих ґрунтопокривних культур (наприклад, редьки, гірчиці), які очищають ґрунт від нематод і запобігають ерозії під час сильних дощів і повеней;
— застосування системи No-till та інших відновлювальних агропрактик;
— підтримка та створення агролісомеліоративних насаджень;
— упровадження краплинного зрошення.

Вплив змін клімату на вирощування сільськогосподарських культур

Зміни клімату вже нині відчутно впливають на вирощування сільськогосподарських культур в Україні. Для ефективної адаптації рослинництва вкрай важливими є контроль та реалізація розробленої стратегії. Це передбачає постійне використання сівозмін, застосування правильних методів обробітку ґрунту, ретельний підбір культур відповідно до зон вирощування, а також перевагу біологічному захисту, що сприяє збереженню корисної мікрофлори ґрунту.

За прогнозами Всесвітньої метеорологічної організації (далі – ВМО), тенденції зміни температури й опадів, зафіксовані в останнє десятиліття, можуть слугувати індикатором середніх погодних умов майбутнього десятиліття [5].

Ключові кліматичні зміни в Україні

Зростання «теплових хвиль». У всіх областях України вдвічі зросла кількість днів з температурою повітря вище +30 °С. Ці «теплові хвилі» можуть призводити до передчасного дозрівання ярих культур і зниження їхньої врожайності.

Продовження вегетаційного періоду. Тривалість активної вегетації в Україні вже збільшилася в середньому на 10 днів. Очікується, що до 2030 р. період росту теплолюбних культур може подовжитися ще на 10 днів.

Регіональні особливості потепління. Зони Полісся та Лісостепу теплішають швидше, ніж степові регіони. Прогнозується, що кліматичні умови Південного Степу набудуть рис сухих субтропіків.

Зміни в зимовий період. Температура взимку підвищилася на 1,5…2 °С, а глибина промерзання ґрунту зменшилася до 20–70 см. Це позитивно впливає на засвоєння ґрунтом зимових опадів і формування достатнього зволоження навесні. Однак ризики вимерзання та загибелі посівів від тривалого залягання притертої льодяної кірки залишаються.

Опади та посухи. Спостерігається чітка тенденція до зменшення опадів взимку (на 3–17 %), тоді як улітку та навесні їхня кількість залишається майже без змін. Це призводить до збільшення посушливих площ та підвищення частоти посух. Кількість літніх і осінніх посух до 2030 р. може зрости на 15–30 %.

Аномальні явища. Фіксуються суховії в північних і східних регіонах України, що є нетиповим для цих зон. Також спостерігається випадіння граду в нехарактерні весняні й осінні місяці, що може спричиняти вимерзання посівів.

Ґрунти відіграють подвійну роль у контексті зміни клімату. З одного боку, вони активно поглинають парникові гази, сприяють зменшенню викидів. З іншого – неправильне управління та деградація ґрунтів, поряд з використанням викопних джерел енергії, спричиняють емісію парникових газів, тим самим сприяють зміні клімату.

Отже, ґрунти та рослинництво одночасно допомагають боротися зі зміною клімату, іноді сприяють її виникненню, а головне – самі страждають від її наслідків, тому потребують адаптації. Це підкреслює необхідність інтегрованого та сталого підходу до землеробства.

Вплив змін клімату на рослинництво

Кліматичні зміни суттєво вплинуть на аграрний сектор України до 2030 р., змінюватимуть ареали вирощування та потенційну врожайність різних культур.

Зернові й олійні культури:

— озима пшениця збереже свої лідерські позиції, прогнозується зростання врожайності на 20–30 %;

— для ріпаку очікуються сприятливі кліматичні умови в більшості областей Полісся, тоді як у Південному Степу вони стануть менш придатними;

— ярий ячмінь може показати зростання врожайності в середньому на 15–20 %. Однак у південних і південно-східних областях його врожайність, імовірно, знизиться на 15–25 %;

— кукурудза зіткнеться з максимальним ризиком недобору врожаю (до 20–30 %) у Південному Степу, а також у Харківській, Луганській, Донецькій і Дніпропетровській областях;

— соняшник до 2030 р. зможе повноцінно визрівати навіть у північному Поліссі, де очікується висока врожайність. Водночас у Степу можливе стійке зниження врожайності через погіршення зволоження ґрунту (рекомендується посів під зиму);

— соя збереже сприятливі умови для вирощування в усіх ґрунтово-кліматичних зонах, окрім північних і західних районів Полісся. У Степу ризик недобору врожаю може становити 20–30 %.

Плодоовочеві культури:

— ареал промислового вирощування плодів і ягід поступово розширюватиметься на північ і захід, з отриманням удосталь тепла для визрівання.

Проте до 2030 р. є ризик зниження врожайності через стрес рослин від перепадів температур, збільшення частоти пошкоджень заморозками, градом і зливами;

— у структурі посівних площ овочевих культур очікуються зміни: імовірний перехід до більш урожайних пізньостиглих сортів традиційних овочів. Зростання дефіциту вологи негативно вплине на врожаї картоплі та цукрового буряка, особливо у Степу. Водночас очікується розширення зон, сприятливих для вирощування баклажанів, солодкого перцю та томатів.

Шкідники та хвороби:

— прогнозується поширення ареалів шкідників, збудників хвороб і карантинних об'єктів, а також збільшення їхньої чисельності та кількості генерацій, що створюватиме додаткові виклики для аграріїв.

Заходи, що сприяють поглинанню та скороченню парникових газів

Раціоналізувати внесення добрив, що допоможе зменшити викиди N_2O.

Запроваджувати прогресивні агротехнології, орієнтовані на збереження та підвищення родючості ґрунту. Це передбачає безвідвальний обробіток і розумну сівозміну, які сприяють утриманню вуглецю у ґрунті через зниження механічного навантаження.

Зменшувати залежність від викопного палива, активно розвивати та використовувати відновлювані джерела енергії.

Заходи з адаптації рослинництва до зміни клімату

Диверсифікація рослинництва. Важливо враховувати сучасне агрокліматичне районування територій, щоб вирощувати культури, найбільш придатні для конкретних умов.

Селекція нових сортів. Варто зосередитися на виведенні та впровадженні посухостійких сортів і гібридів сільськогосподарських культур, які водночас демонструють високу продуктивність.

Розширення посівних площ під коротковегетаційні культури. Збільшення частки культур з коротким періодом вегетації дасть змогу отримувати по два-три врожаї на рік.

Підвищення біорізноманіття культур. Збільшення різноманітності культурних рослин у сівозмінах зміцнює стійкість агроекосистем до різних зовнішніх стресів.

Упровадження та відновлення систем зрошення. Необхідно активно використовувати та модернізувати ефективні зрошувальні системи, особливо краплинне зрошення.

Створення полезахисних лісових смуг. Відновлення та створення нових агролісомеліоративних насаджень (полезахисних смуг) покращує мікроклімат і захищає ґрунти.

Коригування термінів сівби. Зміщення строків сівби ярих зернових на більш ранні, а озимих – на більш пізні дати забезпечить ефективніше використання посівами запасів ґрунтової вологи.

Удосконалення моніторингу. Постійне покращення систем спостереження та прогнозування розвитку хвороб і шкідників допоможе оперативно реагувати на загрози.

Розвиток страхування в рослинництві. Удосконалення ефективної системи страхування в рослинництві допоможе мінімізувати фінансові ризики для аграріїв від несприятливих погодних умов.

2.3. Перспективи боротьби з бур'янами в сучасному землеробстві

Сучасна стратегія контролювання поширення бур'янів

Традиційно агрономи розглядають бур'яни як серйозну загрозу, прагнучи цілком очистити від них поля. Проте варто поглянути на їхню присутність під іншим кутом, особливо в разі застосування технології No-till [6]. Таке переосмислення може значно підвищити ефективність землеробства.

Ґрунт не відпочиває, коли порожній; він живиться, коли вкритий рослинністю, яка його захищає та відновлює. Коли культурні рослини відсутні, наявність бур'янів навіть бажана, головне – навчитися ефективно їх контролювати. Бур'яни є природним індикатором, що вказує на невикористані ресурси ґрунту (до 30 %). Вони заповнюють порожні ділянки, відновлюючи зелену масу там, де її бракує.

Розуміння життєвого циклу бур'янів дозволяє краще управляти ними.

Післязбиральний період. Це час від збирання попередньої культури до кінця вегетаційного сезону. У цей період створюються ідеальні умови для розвитку так званих пожнивних бур'янів. Наприклад, пожнивна лобода, якщо зійде в червні, не виросте вищою за 40–50 см, оскільки її ріст залежить від календаря, а не від інтенсивного визрівання.

Допосівний період. Від початку вегетаційного сезону до сівби основної культури. За місяць до посіву кукурудзи, соняшнику чи буряка проростає до 60 % усіх річних бур'янів. Саме в цей час традиційне землеробство вимагає інтенсивного хімічного контролю.

Культурний період. Від сівби до збирання культурної рослини. Це період, коли бур'яни ростуть разом з основною культурою, саме з ними аграрії зазвичай борються. Проте боротися з бур'янами варто лише в гербакритичний період – фазу, коли бур'яни чинять найбільшу шкоду.

Взаємодія бур'янів з культурами та важливість гербакритичного періоду

Бур'яни вирізняються унікальною, інколи дивовижною поведінкою. Наприклад, вовчок, що є жахом для соняшнику, може лежати у ґрунті до шести років і проростає лише тоді, коли соняшник повертається на це поле.

Проблеми постають тоді, коли бур'яни з'являються під час розквіту основної культури, що змушує їх «ділити територію». Навіть якщо рослинам некомфортно разом, вони змушені конкурувати, і ця конкуренція часто негативно позначається на врожаї.

Якщо гербіцид застосували під час гербакритичного періоду, і невеликий бур'ян залишився, боротися з ним надалі немає сенсу. Його шкодочинність

закладається тоді, коли формуються генеративні органи культурної рослини – довжина качана, довжина колоса. Якщо в цей критичний момент присутні бур'яни або додаткова рослинність, вони призведуть до зниження врожаю, потім це вже буде незворотно. Тому поява бінарної культури (спільного посіву) актуальна лише після сходів основної культури та завершення гербакритичного періоду (або 2–4-го етапу органогенезу будь-якої рослини).

Ключ контролю популяції однорічних бур'янів

Традиційно бур'яни вважаються головним ворогом аграрія, якого необхідно цілковито знищити, залишаючи поля чистими. Проте, особливо в контексті технології No-till [6], варто змінити погляд на їхню присутність. Бур'яни не завжди є проблемою; їх розуміння та контроль можуть значно підвищити ефективність землеробства.

Ґрунт не відпочиває, коли пустує; він відновлюється тоді, коли вкритий живими рослинами, які його захищають і збагачують. Коли культурні рослини відсутні, присутність бур'янів навіть бажана. Головне – навчитися ефективно їх контролювати. Бур'яни – це природний індикатор невикористаних ресурсів (до 30 % потенціалу ґрунту) і рослинний «загін», що заповнює порожні ділянки, відновлюючи зелену масу.

Ключові завдання в управлінні бур'янами: контроль їхньої насіннєвої репродуктивності та зменшення запасу життєздатного насіння у ґрунті. Намагатися цілком очистити поле від однорічних бур'янів нераціонально, оскільки вони обов'язково з'являться – це їхня природна ніша.

У літньо-осінній період, після збирання врожаю, присутність однорічних (пожнивних) бур'янів є прийнятною і навіть бажаною. Вони не завдають шкоди основній культурі, що вже зібрана, і навіть можуть бути корисними. Наприклад, пожнивна лобода, яка зійшла у червні, не виросте вищою за 40–50 см, оскільки її розвиток залежить від календарних термінів.

З багаторічними бур'янами ситуація інша. Вони є ознакою наступного етапу зміни рослинності й становлять значну конкуренцію для культурних рослин. Хоча остаточно вивести їх з поля швидко не вдасться (це потребує 2–3 років цілеспрямованої та послідовної роботи), але це можливо.

Залишати поле абсолютно голим, особливо в умовах активної деградації ґрунтів [7], є неправильним рішенням. Якщо перед збиранням урожаю на полі цілковито відсутня рослинність, це свідчить про надмірне використання гербіцидів. Наслідки цього такі:

— надмірні витрати на гербіциди;

— залишки хімічних речовин на поверхні ґрунту, що перешкоджають проростанню проміжних культур.

Природа прагне вкрити ґрунт: коли кукурудза відцвітає, мають з'являтися пожнивні бур'яни, які є безпечними для неї. Якщо ж їх знищити, це унеможливить висів проміжної культури і призведе до проблем із ґрунтом уже навесні, попри чистоту полів восени. Наявність пожнивних бур'янів є показником оптимальності хімічного захисту – якщо він правильний, бур'яни знайдуть сили прорости навіть за умов дефіциту вологи.

Бразильський і аргентинський досвід застосування No-till базується на постійному килимі з рослинних решток на полях. Однак в українських чорноземах це не завжди можливо через активну роботу мікроорганізмів, які швидко перетворюють рештки на органічну речовину. Тому для українських умов, щоб підлаштувати технологію No-till, може знадобитися невеликий поверхневий обробіток (наприклад, вертикальним культиватором). Глибини 5 см більш ніж досить для розпушення ґрунту й інтеграції рослинних залишків, під які потім можна сіяти майбутню культуру.

Не всі бур'яни є «напастю». Однорічні бур'яни можуть бути «друзями» у період після збирання врожаю і до завершення вегетації. Наприклад, та ж амброзія в цей період може виступати як корисна й ефективна проміжна культура. Вона створює зелену масу без додаткових витрат для аграрія. Важливо лише не допустити її цвітіння, а якщо це сталося, зробити все можливе, щоб запобігти утворенню життєздатного насіння, яке може прорости навесні.

Для ефективного використання бур'янів як проміжних культур необхідно сприяти формуванню бажаних бур'янових співвідношень. Можливим є застосування препаратів, які запобігають цвітінню, плодоутворенню або формуванню життєздатного насіння в однорічних бур'янів.

Традиційне прагнення до цілковитого знищення бур'янів може мати непередбачувані негативні наслідки для біосфери. Культурні рослини нині нездатні цілком замінити біосферні функції, які виконують бур'яни. Замість того, щоб спостерігати за «чистими чорними» полями, важливо навчитися керувати рослинністю, яка може приносити користь. До 30 % часу на рік можна без додаткових витрат і робіт забезпечувати поля поживними елементами завдяки бур'янам. Користь від бур'янів полягає в такому:

1. Природне зелене добриво. За відсутності культурних рослин на полі сходи бур'янів можуть виступати як безкоштовне, несіяне зелене добриво.

2. Зменшення вимивання поживних речовин. Присутність бур'янів на полі, коли основна культура відсутня, значно скорочує вимивання поживних елементів ґрунтовими водами з кореневмісного шару.

3. Захист від ерозії та покращення ґрунту. У посівах просапних культур бур'яни різко знижують ерозію, можуть створювати сприятливий алелопатичний режим ґрунту та підвищувати активність ґрунтової мікрофлори.

4. Культура – приманка для шкідників. Деякі види бур'янів можна використовувати як «приманки» для шкідників сільськогосподарських культур, відволікати їх від основних посівів.

5. Медичне та ветеринарне застосування. Серед бур'янів є багато видів, що активно використовуються в народній медицині та ветеринарії.

6. Зниження пожежонебезпеки. У післязбиральний період бур'яни знижують імовірність пожеж на полях, створюють вологий покрив.

У боротьбі з бур'янами критично важливим є питання резистентності. Оскільки революційно нових діючих речовин гербіцидів з'являється небагато, часте повторне внесення тих самих препаратів призводить до швидкої адаптації бур'янів і шкідливих організмів, формує резистентність.

Це змушує збільшувати дози або кратність обробок, що посилює навантаження на довкілля. Тому єдиним ефективним рішенням є перехід до інтегрованого захисту рослин.

Інтегрований захист рослин – це комплексний підхід, що поєднує різні методи контролю шкідливих організмів. Жоден окремий засіб чи метод не може забезпечити якісний захист самостійно, але їх поєднання гарантує кращий результат.

Такий підхід дозволяє:

— підвищити ефективність захисту за зменшення водночас пестицидного навантаження;

— зменшити стресові фактори для рослин;

— зрештою, підвищити врожайність та якість сільськогосподарської продукції.

Особливу увагу варто приділяти дотриманню сівозміни, яка є невід'ємною частиною інтегрованого захисту.

Також доцільно використовувати біологічні препарати, що посилюють стійкість рослин до стресових умов. Це покращує розвиток культур і знижує побічну дію хімічних препаратів. Внесення антистресових препаратів допомагає рослинам краще переносити застосування хімікатів, а бур'яни, навпаки, активніше поглинають гербіцид. Це дає можливість зменшити норму внесення гербіциду та кількість обробок.

Альтернативні методи контролю забур'яненості

Традиційно бур'яни розглядаються як накопичувачі шкідливих фітофагів. Історично відомі численні випадки, коли шкідники спочатку концентрувалися на бур'янах, а потім переходили на посіви сільськогосподарських культур. Це особливо характерно для багатоїдних шкідників, як-от совки (капустяна, озима, бавовникова тощо), лучний метелик, а також більшість ґрунтоживучих шкідників. Бур'яни слугують джерелом корму для фітофагів у періоди, коли культурні рослини ще не зійшли або вже зібрані, забезпечують постійний розвиток великої кількості шкідливих комах. Наприклад, дикі злаки можуть бути резервуаром для вівсяної нематоди, шведської мухи, злакової попелиці, цикадових та інших фітофагів, а також збудників низки інфекційних хвороб рослин. Бур'яни також є джерелом додаткового живлення для дорослих стадій багатьох комах, зокрема лускокрилих, твердокрилих і двокрилих.

Серед бур'янів існують адвентивні види – ті, що були занесені з інших регіонів, де вони стають особливо шкідливими через відсутність природних ворогів і сприятливі екологічні умови. Такі види швидко поширюються. У боротьбі з ними може бути ефективною інтродукція фітофагів (природних ворогів) з їхньої батьківщини, що є однією зі стратегій біологічного захисту.

Найпоширенішим методом боротьби з бур'янами залишається агротехнічний, що передбачає фізичне знищення шкодочинних рослин шляхом прополювання, культивації та боронування ґрунту. Однак біологічний метод також довів свою ефективність [8].

Біологічний метод полягає у використанні природних ворогів бур'янів, переважно гербіфагів (комах, що харчуються рослинами). Кожна рослина має своїх

природних ворогів, які тією чи іншою мірою шкодять їй, сповільнюють розмноження та поширення, а інколи й цілковито знищують. Основна мета полягає в пошуку найбільш ефективних біологічних засобів і їх цілеспрямованому застосуванні проти конкретних видів або груп бур'янів.

Бур'яни не завжди є абсолютно небажаними елементами агроценозу. Деякі з них слугують резервуарами для хижаків і паразитів шкідників сільськогосподарських культур. Наприклад, деякі квітучі бур'яни приваблюють на поля корисних паразитів, як-от трихограма. Тому цілковите знищення бур'янів може завдати шкоди корисній фауні. Біологічний захист рослин від бур'янів спрямований не на їх остаточне винищення, а на зменшення їхньої кількості та шкодочинності, а також на збереження корисної ентомофауни.

Перспективні гербіфаги

Біологічні методи боротьби з бур'янами стають усе більш важливими, пропонують екологічно безпечні й економічно вигідні рішення. Ці підходи використовують природних ворогів бур'янів, відомих як гербіфаги, для контролю їхніх популяцій.

1. Муха фітоміза вовчкова (*Phytomyza orobanchia*). Ця муха є природним ворогом вовчків – квіткових паразитів, що шкодять багатьом технічним, овочевим і кормовим культурам. Фітоміза уражає вовчок на всіх стадіях розвитку, більшість свого життєвого циклу проводить усередині рослини.

2. Амброзієві листоїди. Останніми роками успішно інтродуковано амброзієвого смугастого листоїда (*Zygogramma suturalis* F.) і амброзієвого переривчастого листоїда (*Zygogramma disrupta*). Ці фітофаги надзвичайно специфічні у своєму харчуванні – вони живляться суто амброзією полинолистою та багаторічною. Листоїди ефективно розселяються в агроценозах і стійкі до агротехнічних заходів (оранка, культивація, збирання врожаю). У разі значної їх кількості амброзія на ділянці може бути цілком знищена.

3. Осотова щитоноска (*Cassida rubiginosa*). Ця комаха є найпоширенішим шкідником будяка щетинистого. В окремі роки вона може значно зменшити кількість рослин будяка на посівах, а в деяких випадках спостерігається цілковите знищення надземної частини рослини.

4. Міль (*Noctuellia floralis*). Американські фахівці визнали цю міль перспективною для біологічного захисту, оскільки вона живиться кореневищами берізки польової.

5. Галова муха (*Cystiphora sonchi*). У Канаді розробляють біологічний метод боротьби з багаторічним осотом, злісним бур'яном європейсько-азійського походження. Проти осоту успішно акліматизовано галову муху, яка відіграє значну роль у зниженні його щільності.

Використання гербіфагів для захисту культурних рослин від бур'янів є екологічно безпечним і економічно вигідним. Початкові витрати на впровадження гербіфагів можуть бути значними, проте успішна акліматизація забезпечує довготривалий ефект, що зрештою окупає інвестиції. Окрім того, у деяких ситуаціях (наприклад, для боротьби з бур'янами у водоймах чи парках) біологічний метод може бути єдиним можливим рішенням.

В органічному сільському господарстві широко застосовуються механічні міжрядні методи боротьби з бур'янами, що допомагають значно зменшити їхню засміченість. Ефективність цих методів залежить від своєчасності й інтенсивності застосування. Також використовуються методи теплотехніки, де джерело тепла створює високотемпературне середовище, що знищує рослини.

Підсівні культури, також відомі як «жива мульча», є ефективною альтернативою механічному контролю бур'янів. Вони пригнічують їхній розвиток і водночас покращують родючість ґрунту. Для живої мульчі можна використовувати конюшину, люцерну хмелевидну, білу гірчицю або злакові трави. Проте важливо враховувати, що жива мульча може конкурувати з основною культурою за ресурси.

Боротьба зі злісними бур'янами

До числа найбільш проблематичних бур'янів на українських сільськогосподарських угіддях належать багаторічні види. Вони характеризуються здатністю до вегетативного та насіннєвого розмноження, утворюють потужну кореневу систему та значну надземну масу. Це створює серйозну конкуренцію культурним посівам і потребує значних зусиль для їх знищення. До особливо злісних бур'янів відносять осот рожевий, берізку польову, пирій повзучий, ваточник сирійський та інші.

В основному для боротьби зі злісними бур'янами використовуються лише два підходи: механічний та хімічний.

Боротьба з ваточником сирійським

Ваточник сирійський – це яскравий приклад бур'яну, який має подвійну репутацію. Він дуже цінується бджолярами за свої медоносні властивості, але водночас є справжнім лихом для фермерів, які прагнуть його знищити (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Ваточник сирійський (*Asclepias syriaca*)

Колись ваточник сирійський вирощували як кормову культуру. Однак його поширення на нові поля часто стається ненавмисно – наприклад, через залишки рослин на колесах сільськогосподарської техніки після роботи на сусідніх ділянках.

Ваточник сирійський є досить стійким бур'яном: за підрізання він активно утворює нові пагони зі сплячих бруньок, а його коренева система може сягати глибини до 5 м.

Найкращі результати в боротьбі з ваточником сирійським досягаються завдяки комбінації кількох гербіцидів з різними діючими речовинами або використанням препаратів, що містять 2–3 активні компоненти [9].

До ефективних препаратів належать такі:

— Міладар Дуо (діючі речовини: мезотріон і нікосульфурон);
— Стеллар (діючі речовини: дикамба, топрамезон);
— Отаман (діюча речовина ізопропіламінна сіль гліфосату);
— Отаман Екстра (діюча речовина калійна сіль гліфосату);
— пестициди на основі клопіраліду.

У посівах соняшника хороші результати показали такі препарати, як Євро-Лайтнинг (діючі речовини: імазамокс та імазапір) та Пульсар (діюча речовина імазамокс).

Важливо пам'ятати про тонкощі застосування бакових сумішей на основі дикамби, клопіраліду та гліфосату. Гербіциди варто вносити тоді, коли ваточник досягає висоти 10–11 см. У цей період у рослині активно відбувається фотосинтез і рух поживних речовин до коренів. Внесення препарату саме в цей час дозволяє доставити суміш гербіцидів безпосередньо до кореневої системи, що значно пошкоджує або навіть знищує рослину.

2.4. Особливості сівозмін у сучасному землеробстві

Поняття про сівозміну

Правильна сівозміна – запорука сталого розвитку сільського господарства [10]. ***Сівозміна*** – це науково обґрунтоване чергування сільськогосподарських культур і парів у часі й на території або тільки в часі (рис. 2.8).



Рисунок 2.8 – Чергування культур у просторі

Сівозміна: ключ до здорового ґрунту й ефективного землеробства

Сівозміна – це фундаментальний принцип землеробства, що передбачає щорічну або періодичну зміну культур (або чистого пару) на окремій ділянці поля. Це означає, що земельні масиви поділяються на поля, де культури змінюються по черзі, забезпечуючи ротацію в часі на кожному полі.

Теоретичною основою сівозміни є плодозміна – послідовна зміна культур з різними біологічними властивостями й агротехнікою вирощування. Правильне чергування культур позитивно впливає на:

— водний і поживний режими ґрунту;
— мікробіологічні процеси у ґрунті;
— фітосанітарний стан ґрунту;
— підвищення родючості ґрунту в поєднанні з унесенням добрив та іншими агротехнічними заходами.

На противагу сівозміні, монокультура – це повторне вирощування тієї самої культури на одному полі понад 2–3 роки. Тривале беззмінне вирощування призводить до так званої утоми ґрунту, що виражається в сильному зниженні врожайності. Існують відомі приклади «буряковтоми», «льоновтоми», «конюшиновтоми» тощо.

Різні культури по-різному реагують на беззмінне вирощування. За реакцією на сівозміну їх можна поділити на чотири групи:

1. Слабочутливі (умовно самосумісні): кукурудза, просо, коноплі, гречка, картопля (за відсутності нематод). Ці культури можна вирощувати повторно або кілька років поспіль на одному полі без значного зниження врожайності.

2. Середньочутливі: горох, цукровий буряк, пшениця, ячмінь, овес, жито, вика. Ці культури негативно реагують навіть на повторні посіви й демонструють помітні прирости врожаю за правильного розміщення в сівозміні.

3. Сильночутливі: люпин, льон, соняшник, капуста, конюшина, люцерна. Вони дуже негативно реагують на повторні посіви. Висока продуктивність цих культур досягається лише за умови їх правильного розміщення в сівозміні, з урахуванням допустимої періодичності посівів на тому самому полі.

4. Несумісні. Це культури, які недоцільно або неможливо вирощувати послідовно через біологічні особливості, спільні хвороби та шкідників. Наприклад, не рекомендується послідовне вирощування різних бобових, пшениці після ячменю, вівса після ячменю і навпаки, чи буряків після ріпаку або вівса.

Правильне чергування культур має величезне організаційно-господарське значення. Тоді як монокультура створює пікові навантаження на робочу силу, техніку й інші засоби виробництва в окремі періоди, запровадження сівозмін сприяє кращій організації праці. Раціональне розміщення в сівозміні озимих і ярих зернових, просапних і зернобобових культур дозволяє ефективніше використовувати засоби виробництва, оскільки терміни сівби, догляду та збирання врожаю цих культур не збігаються в часі. Це також дозволяє господарству щорічно отримувати стабільно високі врожаї різних культур.

Умови, за яких сівозміна вважається оптимальною

Сівозміна – це ключовий елемент ефективного землеробства, що визначає, як різні сільськогосподарські культури чергуються на полі як у просторі,

так і з року в рік. Вона повинна бути індивідуально адаптована до умов кожного господарства, з урахуванням місцевості, вирощуваних культур і головної мети діяльності. Наприклад, комерційні ферми орієнтовані на ринкові культури, тоді як молочні ферми чи біогазові заводи фокусуються на виробництві кормів для власних потреб.

Сучасне сільське господарство ставить перед сівозміною все складніші вимоги. Економічний тиск і необхідність ефективного захисту часто приводять до домінування високоврожайних і економічно вигідних культур. Однак це призводить до того, що короткоротаційні сівозміни втрачають ефективність через зростання стійкості бур'янів і шкідників, а також обмеження в хімічному захисті. Включення нових культур для розширення сівозміни не завжди є економічно простим рішенням.

Важливими аспектами сівозміни є чергування ярих і озимих культур, а також стеблових і листкових культур. Розширена сівозміна не лише сприяє біорозмаїттю, але й позитивно впливає на здоров'я та родючість ґрунту.

Розширена сівозміна, завдяки своїй гнучкості та розмаїттю, може ефективно вирішувати сучасні сільськогосподарські проблеми. У її плануванні важливо враховувати економічні аспекти, оскільки вона сприяє:

— підтримці здорового стану ґрунту та культур;
— стимулюванню видового та біорозмаїття;
— зниженню вразливості до шкідливих організмів і хвороб;
— забезпеченню сталого успіху бізнесу.

Зрозуміло, що основою успішної сівозміни та високих урожаїв є висока родючість і оптимальна структура ґрунту.

Роль сівозміни у вирішенні проблем агровиробництва

Сучасне сільське господарство стикається зі зростанням вимог не лише щодо продовольчої безпеки, а й щодо захисту довкілля та збереження біорозмаїття. У цьому контексті сівозміна відіграє ключову роль, формує сільськогосподарський ландшафт і пропонує екологічно й економічно доцільні рішення.

Сівозміна як основа здоров'я ґрунту та біорізноманіття

Використання проміжних культур є одним з найважливіших елементів сівозміни. Вони не лише приносять економічну віддачу, але й слугують «продуктовою коморою» для ґрунтової мікрофлори та фауни, особливо в несприятливі вегетаційні періоди. Забезпечуючи їжу для ґрунтових мешканців (наприклад, дощових черв'яків), аграрії дозволяють цим організмам взяти на себе важливі функції з обробітку ґрунту, покращуючи баланс повітря, води та поживних речовин. Здорові та добре забезпечені ґрунтові організми, у свою чергу, сприяють кращому забезпеченню основної культури поживними речовинами. Позитивний вплив сумішей покривних культур на ґрунтову фауну має велике значення для всього біоценозу оброблюваних земель, розширює кормову базу для багатьох живих істот.

Сівозміна безпосередньо впливає на видове та біорозмаїття. Окрім проміжних культур, для його збереження та відновлення в сільському господарстві

застосовуються інші заходи, наприклад, висаджування лісосмуг по краях полів або біля джерел води. Ці насадження створюють додаткові джерела їжі для комах і бджіл.

Різнопланові сівозміни збагачують ландшафт і сприяють біорозмаїттю завдяки різним термінам сівби та збору врожаю, а також пов'язаним із цим неоднорідним процесам росту. Взаємодія між ярими й озимими культурами, а також чергування стеблових і листкових культур є важливим складником такого підходу. Розширена сівозміна не лише покращує біорозмаїття, але й позитивно впливає на здоров'я та родючість ґрунтів. Вона може зменшити потребу в заходах захисту рослин та підвищити ефективність використання поживних речовин.

Правильне моделювання сівозміни зміцнює здоров'я ґрунту та забезпечує переваги у вирощуванні рослин. Хоча на деякі чинники (тип ґрунту, погода) вплинути неможливо, аграрії мають у своєму розпорядженні багато інструментів для підтримки ґрунту у здоровому стані. До них належать ґрунтозбережувальні системи вирощування, цілеспрямоване постачання поживних речовин, вапнування та, звісно, сівозміна.

Укорінення рослин відіграє значну роль у формуванні структури ґрунту. З одного боку, ріст коренів механічно руйнує грудочки, з іншого – кореневі виділення є їжею для мікроорганізмів і слугують «клеєм» для утворення нових ґрунтових агрегатів. Послідовність або поєднання різних типів культур з різними кореневими системами та глибиною проникнення коренів сприяють розвитку різноманітних мікроорганізмів у різних шарах ґрунту, що додатково покращує його стан.

2.5. Перспективи обробітку ґрунту в землеробстві

Сучасні системи обробітку ґрунту

Мета обробітку ґрунту – створити ідеальні умови для проростання насіння та розвитку кореневої системи рослин протягом вегетації, що, своєю чергою, забезпечить максимальний урожай високої якості. У сучасному землеробстві виділяють кілька основних систем обробітку ґрунту [11]:

1. Традиційну (відвальну).
2. Мінімальну (Mini-till).
3. Стрічкову (Strip-till).
4. Нульову (No-till).

Традиційна система обробітку ґрунту

Ця система передбачає використання полицевої оранки з оборотом пласта, у результаті чого поверхня поля стає чистою, а рослинні рештки заорюються на глибину 20–30 см.

Переваги:

— створює комфортні умови для дружного проростання насіння завдяки передпосівному обробітку;

— забезпечує хороший дренаж і рівномірний розподіл мінеральних речовин в орному шарі;

— відносно невисокий тиск польових агрегатів на ґрунт;

— дозволяє вносити високі норми органічних і мінеральних добрив;

— оптимізує хімічний захист рослин [12].

Недоліки:

— формування щільної «плужної підошви», що перешкоджає проникненню води в нижні шари ґрунту й ускладнює розвиток кореневої системи вглиб;

— не рекомендований для ґрунтів, схильних до пересихання, вітрової та водної ерозії;

— потребує періодичного глибокого розпушування (раз на 3–4 роки).

Мінімальна (Mini-till) система обробітку ґрунту

Цей підхід передбачає поверхневий обробіток, переважно дисковими знаряддями, що забезпечує рівномірне змішування рослинних решток з верхнім шаром ґрунту (до 15–18 см).

Переваги:

— висока структурність верхнього шару ґрунту;

— накопичення органічної складової частини та гумусу;

— висока водо- та повітропроникність;

— сприяє швидкій мінералізації органічних решток;

— можливе застосування високих норм мінеральних і органічних добрив, а також механічних обробітків протягом вегетації;

— потребує менших затрат енергетичних і фінансових ресурсів.

Недоліки:

— ущільнення ґрунтів після проходу важкої техніки;

— обмежене використання традиційних сівалок з малим тиском на сошник;

— потребує передпосівного вирівнювання ґрунту та прикочування після посіву.

Стрічкова (Strip-till) система

Система Strip-till передбачає вертикальний обробіток ґрунту смугами на глибину 15–17 см після збирання попередньої культури. Посів здійснюється восени або навесні безпосередньо в ці оброблені смуги [13].

Переваги:

— руйнування ущільнених шарів ґрунту, що покращує його структуру;

— однакові умови розвитку для всіх рослин у рядку;

— можливість сівби на перезволожених ґрунтах і полях зі значною кількістю рослинних решток;

— збереження вологи в міжряддях;

— можливість стрічкового внесення мінеральних добрив, зокрема безводного аміаку;

— особливо актуальна на малородючих ґрунтах і ділянках з обмеженим орним шаром. Це своєрідний «північний» варіант системи No-till.

Недоліки:

— стислі оптимальні терміни для осіннього внесення добрив;

— обмежене використання старих традиційних сівалок;

— видалення рослинних решток із зони обробітку в міжряддя;

— обмежена можливість одночасного внесення меліорантів (вапна та гіпсу);

— потребує значних капіталовкладень на придбання спеціалізованої потужної техніки й обладнання, а також високих енерговитрат;

— необхідною передумовою для впровадження є вирівнювання площ за мікрорельєфом і кислотністю;

— потрібно постійно контролювати ущільнення ґрунту по коліях трактора, особливо на вологих і важких ґрунтах.

Нульова (No-till) система

Система No-till передбачає посів у необроблений ґрунт за допомогою спеціальних сівалок і цілковиту відсутність інших механічних впливів на поле [13].

Переваги:

— мінімальна кількість проходів важких агрегатів по полю, що значно скорочує енергетичні та фінансові витрати на одиницю площі;

— тривале збереження зимового запасу вологи під шаром рослинних решток;

— обмежене випаровування вологи під час посух;

— запобігання всім видам ерозії ґрунту (вітрової, водної) та надмірному перегріванню верхнього шару в періоди високих температур.

Недоліки:

— обмеження в контролі шкідливої рослинності без механічного втручання;

— підвищений ризик епіфітотій грибкових хвороб (особливо грибів-сапрофітів) і шкідників, що зимують у рослинних рештках;

— обмеження ранніх весняних посівів, оскільки прогрівання та висихання верхнього шару ґрунту відбуваються повільніше через наявність рослинних решток. Це робить оптимальні терміни посіву дуже короткими;

— обмеження в унесенні високих норм мінеральних добрив, що передбачає використання додаткової спеціалізованої техніки;

— необхідно вирівняти вміст фосфору, калію та кислотність ґрунту до запровадження технології;

— потребує використання спеціальної посівної техніки з високим тиском сошника на ґрунт, що означає додаткові фінансові витрати;

— приблизно кожні 5–6 років необхідний вертикальний обробіток (глибоке розпушування) через суттєве ущільнення ґрунту по коліях важкої техніки;

— у посушливих степових районах сухі рослинні рештки на поверхні ґрунту можуть стати причиною пожеж як до, так і після посіву.

У виборі системи обробітку ґрунту варто враховувати:

1. Природно-кліматичні умови.
2. Різноманітність ґрунтів на полях господарства.
3. Фінансові можливості власника для запровадження нових технологій.

Обмеження у використанні ґрунтових гербіцидів для боротьби з бур'янами в системах Strip-till та No-till передбачає застосування діючих речовин суцільної дії до посіву або після посіву – до сходів основної культури. Підвищений рівень хімічного та біологічного контролю за хворобами та шкідниками в цих

системах компенсується високими врожаями завдяки збереженій волозі у верхніх шарах ґрунту, особливо в сухій зоні Степу.

Вибір обробітку ґрунту

Зміни клімату, дефіцит вологи, сучасні тенденції в організації сівозмін і вдосконалення агротехнологій суттєво впливають на рішення щодо вибору оптимальних прийомів обробітку ґрунту [14].

Перш ніж вибрати систему обробітку ґрунту, необхідно ретельно проаналізувати низку чинників:

— структуру посівів і сівозміну. Визначте, які культури та в якій послідовності ви плануєте вирощувати;

— управління рослинними рештками. Продумайте заходи для подрібнення та рівномірного розподілу рослинних решток на полі;

— біологічні потреби культур. Урахуйте вимоги кожної культури до щільності ґрунту на визначену глибину;

— вологозабезпечення. Розрахуйте критичні періоди за вологою для кожної фази розвитку культур, відповідно до клімату вашого регіону;

— накопичення та збереження вологи. Сплануйте заходи для максимального накопичення вологи в дощові періоди та її збереження під час посухи;

— обстеження полів. Проаналізуйте рельєф, щільність ґрунту, наявність і глибину залягання ущільнених шарів;

— наявність техніки. Оцініть забезпеченість господарства необхідними агрегатами для обробітку ґрунту та можливий їх дефіцит;

— економічну доцільність. Розрахуйте рівень витрат, які господарство може дозволити собі на обробіток ґрунту, і оцініть їхню економічну ефективність.

Сучасні кліматичні зміни, що виражаються у збільшенні частоти посух, роблять нестачу вологи основним лімітуючим фактором для вирощування культур. Тому першочерговим завданням є накопичення та збереження необхідної кількості вологи.

Обробіток ґрунту дозволяє регулювати фільтрацію води. Підвищити рівень накопичення вологи можна збільшенням коефіцієнта використання опадів і зменшення непродуктивних втрат. Це досягається через управління властивостями ґрунту, які впливають на швидкість фільтрації води: його структурою, величиною та стійкістю агрегатів, а також розміром проміжків між ними.

Важливо створити умови, щоб дощова вода безперешкодно фільтрувалася в нижні шари через проміжки між ґрунтовими агрегатами. Чим довше ці проміжки залишаються відкритими, тим ефективніше відбувається фільтрація. Швидкість фільтрації має бути такою, щоб уникнути стікання води навіть за інтенсивних опадів.

Максимальна швидкість фільтрації спостерігається на початку дощу, а потім знижується через заповнення проміжків водою. Інтенсивність цього зниження залежить від пористості ґрунту та стійкості його агрегатів до впливу крапель дощу.

Механічний склад ґрунту та рівень гумусу істотно впливають на утримання вологи. Чим більший відсоток глини, тим більше вологи ґрунт може утримати

до фільтрації у глибші шари, але водночас зростає рівень недоступної для рослин вологи (точка в'янення). Що вищий вміст гумусу, то більше вологи може накопичуватися. Наприклад, торфово-болотні ґрунти з дуже високим вмістом гумусу мають високий поріг недоступної для рослин вологи.

Оптимальна щільність ґрунту становить 1–1,2 г/см^3. Однак кожен тип ґрунту має свій унікальний механічний склад і природну щільність. Що більша різниця між природною та оптимальною щільністю, то інтенсивніший має бути вплив на щільність за допомогою обробітку ґрунту. Частково покращити природну щільність можна завдяки оптимізації кислотності та збільшення вмісту органічної речовини в поверхневому шарі та на поверхні ґрунту.

Ущільнення ґрунту негативно впливає на вологозабезпечення культур.

За щільності 1,1–1,2 г/см^3 40–60 % агрегатів мають розмір понад 0,25 мм, що забезпечує хорошу водопроникність.

За щільності 1,4–1,5 г/см^3 лише 10–20 % агрегатів більші за 0,25 мм, що значно ускладнює водопроникність, робить її мінімальною.

Якщо кількість водотривких агрегатів знижується із 45–55 до 30 %, а щільність зростає з 1,1–1,2 до 1,3–1,4 г/см^3, водопроникність зменшується втричі.

Ущільнений прошарок перешкоджає фільтрації води у глибші шари ґрунту, збільшує її випаровування з верхніх шарів. Також він затримує надходження вологи з нижніх горизонтів, погіршує вологозабезпечення культури.

Для уповільнення утворення ущільнених шарів необхідно виключити або зменшити кількість проходів важких агрегатів, що інтенсивно ущільнюють ґрунт. Важливо також звертати увагу на ущільнення від коліс техніки: зменшувати кількість колій, регулювати тиск у шинах тощо. Збирання врожаю також сприяє ущільненню через часті проходи важких комбайнів (особливо по перезволоженому ґрунту) та відсутність використання причепів-перевантажувачів, а також ущільнення колесами автомобілів.

Для поліпшення природної щільності ґрунту та його загального стану ключовим є підвищення рівня структурності. Це досягається шляхом оптимізації кислотності та вмісту кальцію, а також постійного підтримання та поступового збільшення вмісту гумусу.

Пожнивні рештки є критично важливим компонентом для підтримки рівня гумусу, зменшення випаровування вологи та покращення фільтрації опадів. Без належного управління ними неможливо підтримувати достатній вміст гумусу у ґрунті.

Коли рослинні залишки покривають поверхню ґрунту, вони поглинають енергію дощових крапель, захищають ґрунтові агрегати від руйнування. Це забезпечує стабільну швидкість фільтрації води без її зменшення. Окрім того, рослинні рештки знижують інтенсивність випаровування вологи з поверхні ґрунту, хоча й не зупиняють цей процес остаточно.

У роботі з пожнивними рештками треба враховувати такі аспекти:

— якість подрібнення: що дрібніше подрібнені рештки, то легше вони розкладаються;

— рівномірність розподілу. Забезпечення рівномірного розподілу решток по поверхні поля є важливим для їхнього ефективного впливу;

— швидкість мінералізації. Щоб прискорити мінералізацію, рештки бажано перемішувати з верхнім шаром ґрунту на глибину до 15 см. Якщо ж вони потрапляють на глибину понад 20 см, де обмежений доступ кисню, швидкість їх розкладання значно знижується;

— умови для розкладання. Для покращення розкладання бактеріями необхідні оптимальна температура ґрунту, високий рівень подрібнення решток та, за потреби, додаткове внесення азоту.

Вертикальний обробіток

Вертикальний обробіток збільшує проникну здатність ґрунту й пришвидшує процес накопичення гумусу (рис. 2.9) [15].



Рисунок 2.9 – Вертикальний обробіток

Вертикальний обробіток ґрунту (Verti-till) – це інноваційна концепція, спрямована на запобігання утворенню глибоких ущільнених шарів ґрунту. Ці ущільнення погіршують капілярність ґрунтів, перешкоджають обміну вологи та нормальному розвитку кореневої системи рослин. Другим важливим завданням Verti-till є накопичення та подрібнення рослинних решток, що захищає поверхню ґрунту від руйнівного впливу дощових крапель та зменшує інтенсивність випаровування вологи.

У технології Verti-till використовуються спеціалізовані агрегати. Вертикальна вібрація пружинних стійок цих машин подрібнює ґрунт, створюючи мікротріщини. Через ці тріщини волога та повітря легше проникають углиб, покращують аерацію та водопроникність ґрунту.

Незважаючи на значні переваги, Verti-till має свої особливості. Головною проблемою у впровадженні може стати технічна забезпеченість. Для повноцінного використання цієї технології потрібен комплекс спеціальних агрегатів, призначених для:

— різноглибинного розпушування без створення ущільнень;

— якісного дрібного подрібнення та рівномірного розподілу рослинних решток.

Технологія також потребує максимально якісного вирівнювання поверхні поля, низького рівня забур'яненості та грамотної роботи з рослинними рештками.

Для реалізації технології вертикального обробітку ґрунту застосовуються специфічні агрегати. Їхньою основною відмінністю є використання спеціальних дисків (турбоколтерів) і різальних котків (турбочоперів). Ці агрегати також можуть комплектуватися робочими органами для вирівнювання поверхні поля.

Турбоколтери. Робоча крайка цих дисків має хвилеподібну форму, що збільшує площу контакту із ґрунтом. Це забезпечує краще подрібнення грудок навіть у важких, посушливих умовах і ефективніше змішування пожнивних решток із ґрунтом. Завдяки своїй геометрії та наявності поперечного профілю зуба диски ефективно «сколюють» ґрунт, унеможливлюють прослизання, незважаючи на круглу форму. Для посилення ефекту розпушування верхнього шару робочі диски можуть встановлюватися з невеликим кутом атаки (до 6–10 градусів), що значно менше, ніж у дискових борін (до 25–30 градусів). Відсутність ефекту ущільнення дозволяє постійно працювати на глибину 5–7 см, що забезпечує максимальну ефективність розкладання рослинних решток. У цьому ж шарі розташоване насіння бур'янів: обробіток провокує їх проростання, що сприяє поступовому очищенню ґрунту та підвищенню майбутніх урожаїв.

Турбочопери – це котки зі спіралеподібними лезами, призначеними для подрібнення рослинних решток. Леза розташовані поперек напрямку руху агрегата. У поєднанні з дисками це дозволяє виконувати як поздовжнє, так і поперечне розрізання решток і ґрунту, забезпечує якісну передпосівну підготовку ґрунту за один прохід.

Агрегати вертикального обробітку можуть застосовуватися для поверхневого розпушування ґрунту як на попередньо оброблених, так і на необроблених полях. Вони здатні працювати на перезволожених, пересушених чи навіть перемерзлих ґрунтах з високою продуктивністю – на швидкості 15–20 км/год.

2.6. Захист ґрунтів за різних систем землеробства

Проблеми, що впливають на стан ґрунтів

Науковці б'ють на сполох: стан ґрунтів в Україні перебуває на межі критичного. Фахівці ДУ «Інститут охорони ґрунтів» уже давно попереджають про погіршення здоров'я ґрунтів і прискорення процесів їхньої деградації. Зміни клімату й інтенсивна господарська діяльність людини лише поглиблюють цю складну ситуацію.

Зниження родючості та значне погіршення стану ґрунтів – це серйозна проблема, яка матиме негативні наслідки для агробізнесу, економіки країни загалом і екології вже в найближчому майбутньому.

Натепер до головних причин втрати родючості ґрунту відносять [16]:

1. Надмірне ущільнення технікою. Використання важкої сільськогосподарської техніки значно ущільнює ґрунти, погіршує їхню структуру.

2. Нераціональне застосування добрив. Непродумане використання великих обсягів мінеральних добрив призводить до дисбалансу поживних речовин і негативно впливає на ґрунтові мікроорганізми.

3. Дефіцит органічних добрив. Практично цілковита відсутність органічних добрив ускладнює відновлення ґрунтової структури та поповнення гумусу.

4. Брак сидератів і бобових у сівозмінах. Мала кількість сидератів, бобових і багаторічних трав у сівозміні обмежує природне збагачення ґрунту азотом і органічною речовиною.

5. Накопичення пестицидів. Зростання використання пестицидів призводить до їх накопичення у ґрунті, що порушує нормальну життєдіяльність ґрунтової мікрофлори та фауни.

6. Знищення лісосмуг. Руйнування лісозахисних смуг посилює процеси вітрової ерозії, призводить до втрати верхнього родючого шару ґрунту.

7. Недотримання сівозмін. Кожна культура по-різному споживає елементи із ґрунту та взаємодіє з ним. Монокультура або монотонна сівозміна, а також незмінна структура посівних площ виснажують ґрунти та змінюють їхню початкову структуру.

Саме ці чинники є критично важливими для врахування в розробленні ефективної стратегії покращення стану ґрунтів.

Способи покращення стану ґрунтів

Варто виділити напрями з покращення стану ґрунтів [17].

1. Зміна погляду на ґрунт

Ми розглядаємо здоровий ґрунт як сукупність трьох взаємопов'язаних складників: хімічного, фізичного та біологічного. Якщо раніше основний акцент робився на хімічному аспекті, то нині стає очевидним, що пріоритетний біологічний складник.

Це означає, що головну увагу треба приділяти ґрунтовій біоті – сукупності живих організмів, що населяють ґрунт, а також біологічним властивостям і характеристикам самого ґрунту. Адже ґрунт – це повноцінна жива система, яка функціонує та розвивається за власними законами. Тому надзвичайно важливо зберігати та відновлювати ґрунтові мікроорганізми, активно сприяти їхній діяльності та належно оцінювати їхню незамінну роль.

2. Оптимізація обробітку ґрунту

Для запобігання втраті вологи та збереження врожайності необхідно переходити на безплужний обробіток ґрунту. Мета полягає в максимальному мінімізуванні обробітку, виборі технологій, які будуть оптимальними саме для умов конкретного господарства.

Інтенсивні методи обробітку негативно впливають на ґрунти, руйнують їхню структуру та поверхневі шари. Однак не варто різко переходити на нульовий обробіток (No-till). Цей перехід має бути поступовим, на початкових етапах доцільно застосовувати стрічковий обробіток (Strip-till).

Також украй важливо пам'ятати, що обробіток вологого ґрунту становить найбільшу небезпеку, спричиняє значне переущільнення. Тому, за відсутності гострої потреби, не виводьте техніку на вологе поле.

Маршрутизація руху техніки. Запровадьте систему руху техніки полем таким чином, щоб скоротити кількість проходів і забезпечити рух тими самими слідами.

Оптимізація коліс. Використовуйте здвоєні або потовщені колеса на тракторах. Якщо можливо, узагалі відмовтеся від колісних тракторів, особливо на фізично недозрілих ґрунтах, замінивши їх на гусеничні.

Комбіновані агрегати. Застосовуйте комбіновані та широкозахватні агрегати, поєднуйте технологічні операції, щоб зменшити загальну кількість проходів техніки по полю.

Контроль щільності ґрунту. Періодично перевіряйте твердість ґрунтів за допомогою пенетрометра – пристрою, що дозволяє оцінити щільність на глибині до 60 см.

Дренаж. Подбайте про належний дренаж на полях, які цього потребують.

Вапнування. Проводьте вапнування ґрунту за необхідності для оптимізації кислотності.

Глибоке рихлення (чизелювання). Якщо ущільнення на полі вже спостерігається, ефективним заходом може бути глибоке рихлення (чизелювання) на глибину 50–70 см. Ефект від такої операції зберігається протягом 2–3 років. У такому разі традиційна оранка з подальшим механічним обробітком буде неефективною, оскільки вона, хоч і зменшує об'ємну масу ґрунту, але призводить до його інтенсивного брилування, що створює додаткові витрати.

Сівалки прямого висіву. Де це можливо, рекомендовано використовувати сівалки прямого висіву. Це дозволяє суттєво зменшити навантаження на ґрунти.

3. Планування сівозмін

Науковці й аграрії-практики одностайно рекомендують планувати сівозміни на 5–7 років уперед, обов'язково включати до них не менш ніж 30 % бобових культур. Хоча таке довгострокове планування може бути складним через постійні зміни ринкових потреб, воно є раціональним підходом для забезпечення стабільно високих урожаїв. Навіть якщо довгострокове планування неможливе, агрономам варто складати ротацію культур хоча б на 2–3 роки. Це дозволить краще контролювати стан ґрунтів і підбирати культури з урахуванням кращих попередників, а також впливу кожної культури на структуру ріллі.

4. Застосування сидератів і багаторічних трав

На деяких ґрунтах без використання сидератів (зелених добрив) нині просто неможливо отримати хороший урожай. Наприклад, вирощування 5–10 га гірчиці або редьки олійної (за сприятливої погоди) дозволить заощадити кошти на придбання насіння. З 10 га можна зібрати приблизно 10 т насіння (навіть невисоких репродукцій) і потім посіяти 500–700 га сидератів (норма висіву – 15–20 кг/га).

Якщо щорічно висівати сидеральні культури на 10 % від загальної посівної площі, можна отримати 200–350 ц/га зеленої маси. Це замінить дорогі та часто недоступні органічні добрива в еквіваленті 20–35 т/га. Важливо також регулювати подрібнювачі та контролювати розмір рослинних решток. Для прискорення біотрансформації рослинних решток у гумус варто застосовувати препарати, що активізують мікробні угруповання ґрунту.

5. Застосування біологічних препаратів для захисту рослин

Біопрепарати є чудовим інструментом для сучасного землеробства. Світовий ринок біопрепаратів щорічно зростає на 12–17 %. Інтенсивне землеробство призводить до зниження різноманітності ґрунтових мікроорганізмів і порушення хімічного й біологічного балансу ґрунтів, що знижує їхню родючість. Саме тому необхідно заселяти ґрунт корисними мікроорганізмами, нейтралізувати фітотоксини та покращувати біологічну активність ґрунту. Біозахист також дозволяє зосередитися на профілактиці хвороб і шкідників.

6. Внесення гноєвих компостів

Незважаючи на значне скорочення тваринництва, органічні добрива є життєво необхідними для ґрунту, особливо зважаючи на його нинішній стан. Тому внесення гноєвих компостів варто зробити обов'язковим етапом аграрного виробництва, незалежно від технології їх приготування.

7. Відновлення полезахисних лісосмуг

Лісосмуги відіграють надзвичайно важливу роль: вони захищають поля від вітрової ерозії верхнього шару ґрунту, сприяють снігозатриманню, регулюють мікроклімат агроценозів і створюють стабільні екосистеми. Їх відновлення та збереження нині є як ніколи актуальним. Незважаючи на це, лісосмуги продовжують знищувати через незаконні вирубки, а нові насадження створюються неохоче. Цьому питанню необхідно приділити особливу увагу.

8. Використання сільськогосподарських угідь відповідно до технологічних груп земель

На жаль, нині часто не враховуються особливості обробітку ґрунтів на схилах та не приділяється належна увага використанню угідь відповідно до їхніх технологічних груп, що негативно позначається на стані ґрунту.

9. Комплексна робота із ґрунтами

Збереження вологи, що є необхідною умовою для здоров'я та родючості ґрунту, потребує комплексного підходу до агротехнічних заходів, з урахуванням усіх шарів ґрунту: не лише поверхневі 5 см, але й шар 15 см, що накопичує капілярну вологу, та шар 40 см, який має вбирати вологу з поверхневих шарів.

10. Ефективне управління рослинними рештками

Перед лущенням стерні варто використовувати деструктори для прискорення розкладання решток попередника як на поверхні поля, так і загорнутих у поверхневий шар. Також необхідно застосовувати азотфіксуючі бактерії.

Спалювання пожнивних решток (соломи) – це марнотратство. Це призводить до втрати значної кількості азоту (до 80 кг на тонну соломи), яким міг би збагачуватися ґрунт. Окрім того, спалювання руйнує всю ґрунтову біоту на глибині 2–3 см, зупиняє природні процеси.

Проте просто загортати рештки у ґрунт також непродуктивно, адже неконтрольоване загортання може створити низку проблем. Солома, наприклад, розкладається найдовше (0,5–1,5 року). Збільшення періоду розкладання органічної маси посилює дефіцит азоту у ґрунті (мікроорганізми використовують ґрунтові запаси для деструкції), збільшує накопичення токсичних речовин від гниття та хвороботворних мікроорганізмів, а також обмежує доступ рослин до поживних елементів, акумульованих в органіці.

Прискорити розклад органічної речовини можна шляхом нанесення мікроорганізмів безпосередньо на органіку, тобто за обробки її деструкторами. Деструктор має бути обов'язковим елементом технології. Одним з поширених прикладів є деструктор Екостерн®, що містить гриби та бактерії (зокрема, *Bacillus subtilis*, *Azotobacter*, *Enterobacter*, *Enterococcus*, гриби *Trichoderma lignorum*, *Trichoderma viride*). Загальна кількість життєздатних клітин становить $2,5 \times 10^9$ КУО/см^3.

Ключові моменти ефективності деструкторів, на прикладі Екостерну:

Біоконтроль ґрунтових патогенів. Бактерії *Bacillus subtilis* і гриби роду *Trichoderma* продукують метаболіти, що ефективно контролюють приблизно 20 типів фітопатогенів.

Збільшення доступності та засвоюваності елементів живлення. Залежно від рівня зволоженості ґрунту, ступінь деструкції соломи протягом першого місяця після внесення становить від 21 до 48 %. Це прискорює вивільнення поживних елементів з органічної маси, робить їх раніше доступними для рослин. Обробка стебел кукурудзи Екостерном збільшила кількість лабільних органічних сполук вуглецю на 9,7 % та показала позитивну тенденцію до збільшення вмісту гумусу. Вміст рухомого фосфору у ґрунті, де солому обробляли біодеструктором, зріс на 33 %, а обмінного калію – на 3 % порівняно з контролем без біопрепарату.

Збільшення врожайності сільськогосподарських культур. Дані, підтверджені актами впровадження протягом понад 10 років, свідчать, що застосування 1,5–2,0 л/га Екостерну забезпечило достовірний приріст урожаю: озимої пшениці – у середньому 0,35 т/га, соняшника – приблизно 0,15 т/га, сої – 0,2–0,3 т/га, кукурудзи – 0,28–0,45 т/га.

Завдання та питання для самостійної роботи

1. *Особливості виникнення та розвитку систем землеробства.*
2. *Основні переваги та недоліки альтернативних систем землеробства.*
3. *Роль кліматичних і ґрунтових умов у вирощуванні культур за різних систем землеробства.*
4. *Ґрунтові умови формування агрофітоценозу.*
5. *Особливості боротьби з малорічними бур'янами.*
6. *Особливості боротьби з багаторічними бур'янами.*
7. *Сучасна стратегія контролювання поширення бур'янів.*
8. *Альтернативні методи контролю забур'яненості.*
9. *Боротьба зі злісними бур'янами.*
10. *Особливості застосування сівозмін у сучасних умовах.*
11. *Роль сівозміни у подоланні складнощів і викликів аграрної сфери.*
12. *Доцільність застосування проміжних культур.*
13. *Особливості застосування проміжних культур.*
14. *Застороги щодо застосування проміжних культур.*

15. *Підсівні покривні культури.*
16. *Розміщення та ущільнення культур у сівозмінах.*
17. *Умови оптимального живлення рослин.*
18. *Системи удобрення рослин.*
19. *Основні особливості застосування добрив.*
20. *Сучасні системи обробітку ґрунту.*
21. *Обґрунтування обробітку ґрунту за різних систем землеробства.*
22. *Особливості вибору обробітку ґрунту.*
23. *Вертикальний обробіток ґрунту.*
24. *Захист ґрунтів за різних систем землеробства.*
25. *Проблеми, що впливають на стан ґрунтів.*
26. *Способи покращення стану ґрунтів.*

Перелік джерел до розділу 2

1. Землеробство : підручник / за ред. І. Д. Примака. Вінниця, 2020. 578 с.
2. Землеробство : підручник / за ред. В. О. Єщенка. Київ : Вища освіта, 2013. 336 с.
3. Екологічні проблеми землеробства : підручник / за ред. В. П. Гудзя. Житомир : ЖНАЕУ, 2010. 708 с.
4. Екологічні переваги точного землеробства. URL: https://www.agrortk.com.ua/ekologichni-perevagi-tochnogo-zemlerobstva/
5. Вплив кліматичних умов на розвиток сільськогосподарських культур. URL: https://himagro.com.ua/vpliv-klimatichnix-umov-na-rozvitok-silskogospodarskix-kultur
6. Косолап Микола: Бур'яни – це не завжди погано. URL: https://superagronom.com/articles/247-mikola-kosolap-buryani--tse-ne-zavjdi-pogano
7. Стале землеробство: які методи зроблять сільгоспвиробників ефективнішими. URL: https://agroportal.ua/publishing/klub-agroeffektivnosti/stale-zemlerobstvo-yaki-metodi-zroblyat-silgospvirobnikiv-efektivnishimi
8. Біологічний захист рослин від бур'янів: особливості, етапи, перспективні гербіфаги. URL: https://superagronom.com/blog/1008-biologichniy-zahist-roslin-vid-buryaniv-osoblivosti-etapi-perspektivni-gerbifagi
9. Як боротися з бур'яном ваточником сирійським? URL: https://posivna.com.ua/ua/burjani/yak-borotisya-z-bur-yanom-vatochnik-sirijskijhttps://posivna.com.ua/ua/burjani/yak-borotisya-z-bur-yanom-vatochnik-sirijskij
10. Правильна сівозміна – запорука сталого розвитку сільського господарства. URL: https://www.kws.com/ua/uk/agroservis/sivozmina/
11. Основний обробіток ґрунту: No-till? Strip-till? Оранка? Ні! Все одразу! URL: https://www.youtube.com/watch?v=Kqk2vS_5_uE&t=38s
12. Порівняння систем обробітку ґрунту – переваги та недоліки. URL: https://vnis.com.ua/useful-information/advice-to-the-agronomist/Porivnyannya-system-obrobitku-gruntu%E2%80%93perevahy-ta-nedoliky/
13. Системи землеробства No-till та Strip-till для виробництва, науки, освіти. URL: https://www.youtube.com/watch?v=Gqe3ZYn3ZHU

14. Фактори вибору обробітку ґрунту. URL: https://superagronom.com/articles/588-faktori-viboru-obrobitku-gruntu
15. Вертикальний обробіток. URL: https://agrotimes.ua/article/vertykalnyj-obrobitok/
16. Деградація. URL: https://superagronom.com/articles/389-degradatsiya-yakscho-ne-pochati-dbati-pro-grunti-sogodni-zavtra-vje-bude-pizno
17. 10 способів покращення стану ґрунтів. URL: https://superagronom.com/articles/407-10-sposobiv-pokraschennya-stanu-gruntiv

Розділ 3
СУЧАСНІ СВІТОВІ АГРОТЕХНОЛОГІЇ

3.1. Основи формування агротехнологій

3.1.1. Історія та етапи розвитку

Невід'ємною частиною доместикації сучасних видів с.-г. культур було формування системи підходів і практичних навичок їх вирощування. Основні, якісно переломні етапи розвитку людського суспільства (одомашнення тварин, виплавка металів, створення парових двигунів і двигунів внутрішнього згорання, розвиток природничих наук) знаходили своє відображення в розбудові системного підходу до процесів обробки землі, сівби, догляду за посівами, збирання та зберігання врожаю.

Сучасний період розвитку агротехнологій визначається передусім значною селекційною перебудовою базових видів рослин і деталізацією технологічних процесів для максимального використання потенціалу середовища. Усе більш відчутним чинником у технологічному забезпеченні виробництва продукції рослинництва є питання захисту навколишнього середовища.

3.1.2. Фактори формування врожайності

Ресурси середовища

Повітря. Атмосфера землі завдяки постійним процесам переміщення повітряних мас характеризується відносно стабільними показниками газового складу. Атмосферне повітря містить у своєму складі: 78,05 % азоту, 20,95 % кисню, 0,03 % вуглекислого газу. Окрім того, у повітрі утримуються водяна пара та гази, які є результатом природних процесів, що відбуваються на поверхні планети.

Найбільш важливим для формування продукції рослинництва є показники концентрації кисню та вуглекислого газу. Однак значення останнього показника (як лімітуючого чинника) можуть бути враховані лише в технологіях захищеного ґрунту.

Світло. Світло є необхідною умовою проходження основного процесу формування органічної речовини фотосинтезу. Висока мінливість цього показника (особливо в регіонах із помірним кліматом) зумовила формування низки біологічних механізмів. Такими, що враховуються в агротехнологіях і селекції с.-г. культур, є: реакція рослин на тривалість освітлення (фотоперіодизм), інтенсивність освітлення (ярусність, склад хлорофілу), тип фотосинтезу й інші.

Тепло. Проходження процесів життєдіяльності рослин може відбуватися лише у визначеному температурному діапазоні. Поширеними термінами, що визначають особливості вегетації рослин, є: «мінімальна температура вегетації (біологічний нуль)», «сума температур за вегетацію», «сума активних температур».

Волога (вода). Наявність води є необхідним фактором усіх процесів життєдіяльності. Вода бере безпосередню участь у процесах створення та мінералізації органічної речовини. На формування одиниці сухої речовини (залежно від агрокліматичних і видових особливостей) витрачається від 200 до 1000 одиниць води. Важливість і складність процесів вологозабезпечення рослин зумовлюють велику кількість понять, як-от: «транспіраційний коефіцієнт», «річна кількість опадів», «гідротермічний коефіцієнт», «запаси ґрунтової вологи» й інші.

3.1.3. Посів як засіб виробництва

Основним чинником утворення органічної речовини є процес фотосинтезу, що відбувається в зелених частинах рослин. Кількість органічної речовини, що формується на одиниці площі, визначається різницею між процесами її утворення та використання в життєдіяльності рослин. Окремим параметром (що визначається природою генотипу та, меншою мірою, умовами вегетації) є частка господарського врожаю в загальній фітомасі посіву.

Збільшення кількості несприятливих (або нейтральних до проходження процесів фотосинтезу) факторів зазвичай має подвійний ефект, що проявляється у зменшенні ефективності процесів утворення та збільшенні виртат органічних речовин.

Важливою передумовою ефективності окремих технологічних заходів і цілісної технології є наявність засобів, матеріальних, трудових і природних ресурсів.

3.1.4. Особливості вегетації основних культур. Шкали онтогенезу рослин

Розроблення та реалізація технологічного процесів вирощування с.-г. культур неможливі без використання уніфікованих підходів до періодизації онтогенезу рослин. Знання біологічних особливостей росту та розвитку рослин є визначальним показником ефективності сучасних технологій. З підвищенням рівня реалізації біологічного потенціалу культур збільшуються вимоги до точності ідентифікації та тривалості кожної фази розвитку.

Для Євразіського континенту найбільш поширеною в умовах виробництва є шкала ВВСН, яка була розроблена на основі шкали Цадокса. Основною вимогою під час створення шкали ВВСН була її простота (можливість використання без наявності додаткового обладнання) і універсальність (можливість інтерпретації щодо інших видів). Основним замовником і виконавцем досліджень

були Біологічний федеральний інститут сільського господарства і лісництва та Федеральне управління нових сортів та хімічної промисловості Німеччини (BBCH – скорочення від німецького Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Bundessortenamt und der Chemischen Industrie) [8].

Хоча шкала первинно була розроблена для використання на зернових (однодольних) культурах, вона адаптована для більшості с.-г. видів, зокрема й дводольних (табл. 3.1). Важливою характеристикою шкали є цифрове позначення стану розвитку рослин, що спрощує формування комп'ютерних баз даних.

Таблиця 3.1 – Шкала BBCH для пшениці озимої та сої

ЗЕРНОВІ КОЛОСОВІ, ПШЕНИЦЯ ОЗИМА	**ЗЕРНОБОБОВІ, СОЯ**
1	**2**
МАКРОСТАДІЯ 0: ПРОРОСТАННЯ	**Основна фаза розвитку 0: проростання**
00 Сухе зерно.	00 Сухе насіння.
01 Початок поглинання води.	01 Початок набухання насінини.
03 Кінець поглинання води.	03 Повне набухання.
04 Поява кінчика зародкового кореня.	05 Відростання кореня від насінини.
06 Зародковий корінь, розтягується, кореневі волоски і/або помітні бічні корінці.	06 Видовження кореня; формування кореневих волосків.
07 Поява кінчика зародкової піхви (колеоптиля).	07 Відростання гіпокотиля із сім'ядолями, прорив насіннєвої оболонки.
	08 Гіпокотиль досягає поверхні ґрунту; гіпокотиль видно.
09 Сходи: колеоптиль проходить поверхню ґрунту; листок досягає кінчика колеоптиля.	09 Поява: гіпокотиль із сім'ядолями з'явиться над поверхнею ґрунту.
МАКРОСТАДІЯ 1: РОЗВИТОК ЛИСТІВ	**Основна фаза розвитку 1: розвиток листя та міжвузлів стебла**
10 Перший листок виходить із колеоптиля.	10 Сім'ядолі цілком розвернуті.
11 Стадія першого листка. Перший листок розгорнутий. З'явилося вістря другого листка.	11 Перша пара примордіальних листків, розвертається перший трійчастий.
12 Стадія другого листка. Другий листок розгорнутий. З'явилося вістря третього листка.	12 Розвертання другого трійчастого листка.
13 Стадія третього листка. Третій листок розгорнутий. З'явилося вістря четвертого листка.	13 Розвертання третього трійчастого листка.
	14 Фази розвертання листків продовжуються.
	19 Розвертання дев'ятого трійчастого листка; немає видимих бічних пагонів.
МАКРОСТАДІЯ 2: КУЩІННЯ	**Основна фаза розвитку 2: формування бічних пагонів**
20 Немає кущіння.	21 Видно відростання бічного пагона першого порядку з одного боку.

Продовження таблиці 3.1

1	2
21 З'являється перший пагін кущіння: початок кущіння.	22 Видно відростання бічного пагона першого порядку із другого боку.
22 З'являється другий пагін кущіння.	23 Видно відростання бічного пагона першого порядку із третього боку.
23 З'являється третій пагін кущіння.	24 Видно етапи відростання бічних пагонів безперервно до наступної фази.
	29 Розвиток і відростання 9 або більше бічних пагонів першого порядку, видно стовбурові подовження.
МАКРОСТАДІЯ 3: ВИХІД У ТРУБКУ (ГОЛОВНИЙ ПАГІН)	**Основна фаза розвитку 3: утворення міжвузлів культури відбувається паралельно з фазою 1 (розвиток листя)**
30 Початок виходу у трубку: головний пагін і пагони кущіння спрямовані нагору, починають витягуватися. Відстань колоса від вузла кущіння щонайменше 1 см.	
31 Стадія першого вузла: перший вузол з'являється на поверхні землі, відстань від вузла кущіння щонайменше 1 см.	
32 Стадія другого вузла: другий вузол з'являється, відстань від першого вузла щонайменше 2 см.	
33 Стадія третього вузла: третій вузол з'являється, відстань від другого вузла щонайменше 2 см.	
34 Стадія четвертого вузла: четвертий вузол з'являється, відстань від третього вузла щонайменше 2 см.	
МАКРОСТАДІЯ 4: НАБРЯКАННЯ СУЦВІТЬ (КОЛОСКІВ АБО ВОЛОТІ)	**Основна фаза розвитку 4: закладання плодоносних частин рослин**
41 Листова піхва прапорцевого листка подовжується.	49 Плодоносні вегетативні частини рослин досягли остаточного розміру (збирання сої для кормових цілей).
43 Суцвіття (колос або волоті) усередині стебла зрушено вгору, листова піхва прапорцевого листка починає набрякати.	
45 Листова піхва прапорцевого листка набрякла.	
47 Листова піхва прапорцевого листка відкривається.	
49 Остюки з'являються над лігою (листовим язичком) прапорцевого листка. Поява мереж. Ості з'являються над лігулою прапорцевого листка.	
МАКРОСТАДІЯ 5: ПОЯВА СУЦВІТЬ (КОЛОСУ АБО ВОЛОТІ)	**Основна фаза розвитку 5: бутонізація**
51 Початок появи суцвіття (колосіння): видно верхню частину волоті або колоса.	51 Видно перші бутони.

Продовження таблиці 3.1

1	2
52 Поява 20 % суцвіття.	55 Перші бутони збільшуються.
53 Поява 30 % суцвіття.	59 Видно пелюстки першої квітки; квіти, як і раніше, закриті.
54 Поява 40 % суцвіття.	
55 Поява половини суцвіття. Нижня частина ще в листовій піхві.	
59 Кінець колосіння: колос або волоть цілком з'явилися.	
МАКРОСТАДІЯ 6: ЦВІТІННЯ	**Основна фаза розвитку 6: цвітіння**
	60 Перші квітки відкриваються (хаотично по рослині).
61 Початок цвітіння. Перші тичинки з'являються.	61 Початок цвітіння: приблизно 10 % квіток відкрито.
65 Середина цвітіння. 50 % зрілих тичинок.	*Перша половина початку цвітіння*
69 Кінець цвітіння.	62 Приблизно 20 % квіток відкрито.
	63 Приблизно 30 % квіток відкрито.
	64 Приблизно 40 % квіток відкрито.
	65 Повне цвітіння: приблизно 50 % квіток відкрито.
	Основний період цвітіння
	66 Майже 60 % квіток відкрито.
	67 Початок закінчення цвітіння.
	69 Кінець цвітіння: боби стають видимими (приблизна довжина 5 мм).
МАКРОСТАДІЯ 7: УТВОРЕННЯ ЗЕРЕН	**Основна фаза розвитку 7: розвиток плодів і насіння**
	70 Перші боби досягли кінцевої довжини (15–20 мм).
71 Перші зернівки досягли половини свого остаточного розміру. Уміст зернівок водянистий.	71 Приблизно 10 % бобів досягли кінцевої довжини (15–20 мм).
73 Рання молочна стиглість.	*Початок утворення зерна*
75 Середня молочна стиглість. Усі зернівки досягли свого остаточного розміру. Уміст зернівок молочний. Зернівки ще зелені.	72 Приблизно 20 % бобів досягли кінцевої довжини (15–20 мм).
77 Пізня молочна стиглість.	73 Приблизно 30 % бобів досягли кінцевої довжини (15–20 мм).
	Початок наповнення зерна
	74 Приблизно 40 % бобів досягли кінцевої довжини (15–20 мм).
	75 Приблизно 50 % бобів досягли кінцевої довжини (15–20 мм).
	Продовження наповнення зерна
	Основний період фази розвитку наповнення зерна

Закінчення таблиці 3.1

1	2
	77 Приблизно 70 % бобів досягли кінцевої довжини (15–20 мм).
	Закінчення наповнення зерна
	79 Майже всі боби досягли кінцевої довжини. Насіння заповнило порожнини більшості бобів.
МАКРОСТАДІЯ 8: ДОЗРІВАННЯ ЗЕРЕН	**Основна фаза розвитку 8: дозрівання плодів і насіння**
	80 Дозрівання першого боба, біб набув остаточного кольору, сухий і твердий.
83 Рання воскова стиглість.	81 Початок дозрівання: приблизно 10 % дозрілих бобів мають остаточний колір, сухі й тверді.
85 М'яка воскова стиглість. Уміст зернівок ще м'який, але сухий.	*Початок дозрівання плодів та насіння*
87 Тверда воскова стиглість. Вм'ятина від нігтя не випрямлюється.	82 Понад 20 % дозрілих бобів, мають остаточний колір, сухі та тверді.
89 Рання повна стиглість. Зерно тверде, розколюється нігтем великого пальця за значного зусилля.	83 Понад 30 % дозрілих бобів, мають остаточний колір, сухі й тверді.
	84 Понад 40 % дозрілих бобів, мають остаточний колір, сухі та тверді.
	85 Середина дозрівання: 50 % стиглих бобів, мають остаточний колір, сухі й тверді.
	Основна фаза дозрівання бобів і насіння
	86 Понад 60 % дозрілих бобів, мають остаточний колір, сухі та тверді.
	87 Понад 70 % дозрілих бобів, мають остаточний колір, сухі й тверді.
	88 Понад 80 % дозрілих бобів, мають остаточний колір, сухі й тверді.
	89 Початок повної стиглості: майже всі боби дозрілі, мають остаточний колір, сухі й тверді.
	90 Більшість бобів дозріла, мають остаточне забарвлення, сухі й тверді.
МАКРОСТАДІЯ 9: ВІДМИРАННЯ	**Основна фаза розвитку 9: старіння та відмирання**
	91 Понад 20 % листя пожовкло або опало.
92 Пізня повна стиглість. Зерно тверде, не ламається нігтем великого пальця.	93 Приблизно 30 % листя пожовкло або опало.
93 Зерно слабко тримається в колоску в денний час.	94 Приблизно 40 % листя пожовкло або опало.
97 Рослина цілком відмерла. Солома ламається.	95 Приблизно 50 % листя пожовкло або опало.
99 Збирання врожаю зерна.	96 Приблизно 60 % листя пожовкло або опало.
	97 Відмирання кореневої системи та стебла.
	99 Збирання врожаю насіння.

Менш поширена шкала ВВСН на Американському контенті, де віддається перевага деталізованим щодо основних с.-г. видів шкалам. Так, наприклад, шкала онтогенезу кукурудзи (рис. 3.1) передбачає виділення вегетативних (далі – V) і репродуктивних (далі – R) стадій. Перша і остання вегетативні стадії позначаються VE (сходи) та VT (цвітіння – викидання волоті). Інши вегетативні стадії вказують на порядковий номер листка, що розвивається в цей період, і позначаються V1, V2, V3 тощо, до Vn, де n – номер останнього листка до фази VT. З огляду на те, що зазвичай від стадії V6 спостерігається відмирання нижніх листків, для точного визначення стадії рекомендується провести поздовжній розріз нижньої частини стебла та підрахувати кількість міжвузлів. Перехід до репродуктивних стадій (VT) діагностується як повний вихід волоті.

Більш складним і таким, що потребує кваліфікації, є визначення репродуктивних стадій, яке базується на оцінюванні стану суцвіття та плода (насіння).

— R1 – пилкові трубки виходять з обгорток початка;

— R2 – зерна білі, ендосперм і рідина, що їх наповнює, прозорі. Молочна стиглість;

— R3 – зерна жовті, внутрішня рідина молочно-біла. Молочно-воскова стигілсть;

— R4 – внутрішня рідина пастоподібної консистенції, стрижень рожевий або червоний;

— R5 – більшість зернівок за консистенцією нагадує віск. Воскова стиглість. Фізіологічна стиглість;

— R6 – шар крохмалю поширився на всю зернівку. Зерно досягло максимальної маси в сухій вазі.

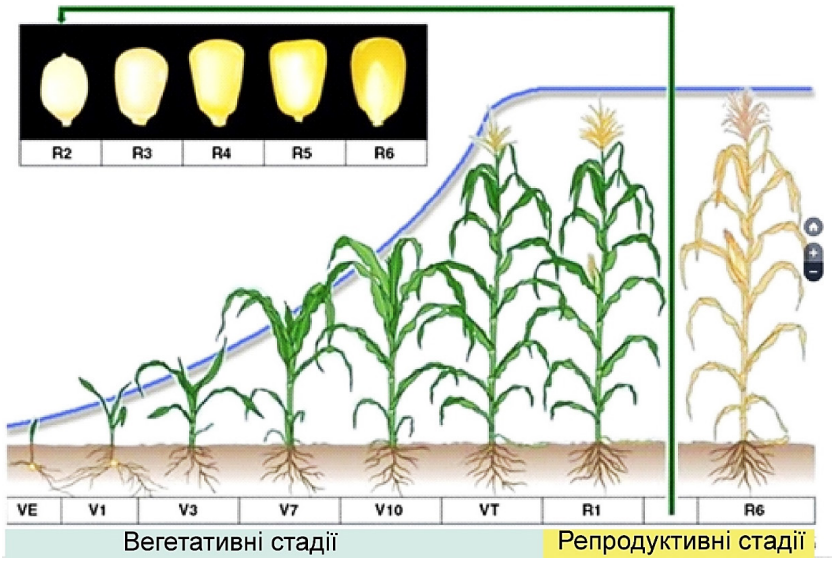


Рисунок 3.1 – Стадії онтогенезу кукурудзи (коментар у тексті)

Подібна шкала онтогенезу сої (рис. 3.2). Як і у шкалі кукурудзи, виділяють вегетативні (V) та репродуктивні (R) стадії. Особливістю шкали є виділення фази сходів (VE) та фази примордіальних листків (VC). Наступні стадії (до початку цвітіння) вказують на порядковий номер (утворення) трійчастого листка.

VE – поява сходів, діагностується як вихід зародкової бруньки на поверхню ґрунту.

VC – поява та розкриття примордіальних листків.

V1 – перший трійчастий (справжній) листок.

V2 – другий трійчастий листок.

V3 – третій трійчастий листок.

R1 – початок цвітіння.

R2 – цвітіння. Діагностується як наявність відкритих квіток в одному із двох вищих вузлів.

R3 – початок утворення бобів.

R4 – наявність цілком сформованих бобів.

R5 – закінчення формування бобів.

R6 – від початку дозрівання до цілковитої стиглості бобів.

R7 – утрата хлорофілу та відмирання нижніх ярусів листків.

R8–R9 – цілковита втрата хлорофілу та відмирання рослини.

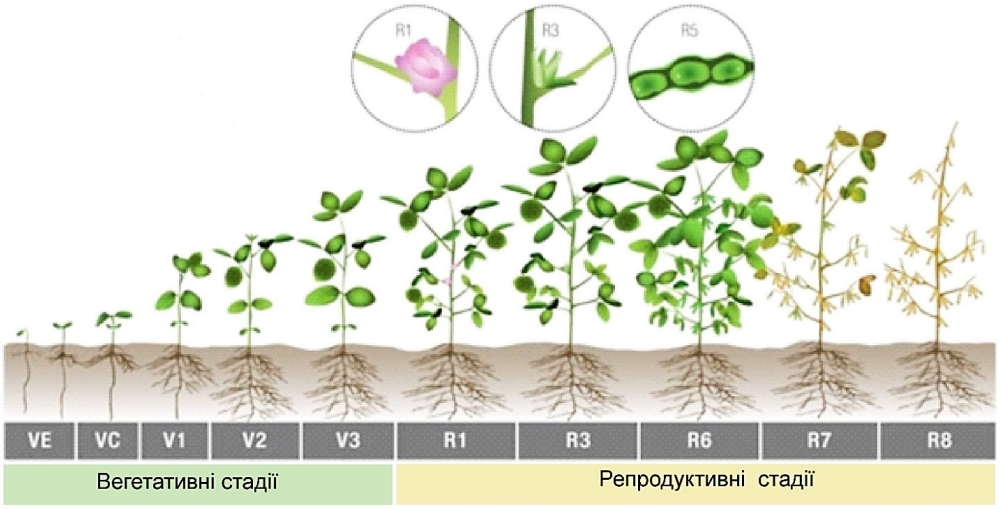


Рисунок 3.2 – Стадії онтогенезу сої (коментар у тексті)

Періодизація онтогенезу соняшнику. На відміну від зернових культур, більш розповсюдженим у науковій літературі та практичних рекомендаціях, підготовлених у країнах Американського континенту, є ділення онтогенезу рослин на стадії, що відповідають вегетативному (V) та репродуктивному (R) періодам розвитку. Індекс вказує на стан рослин у межах цих періодів. Фаза сходів позначається V-E та діагностується як цілковите розкриття сім'ядольних листків і наявність брунечки справжніх. Наступні фази позначаються

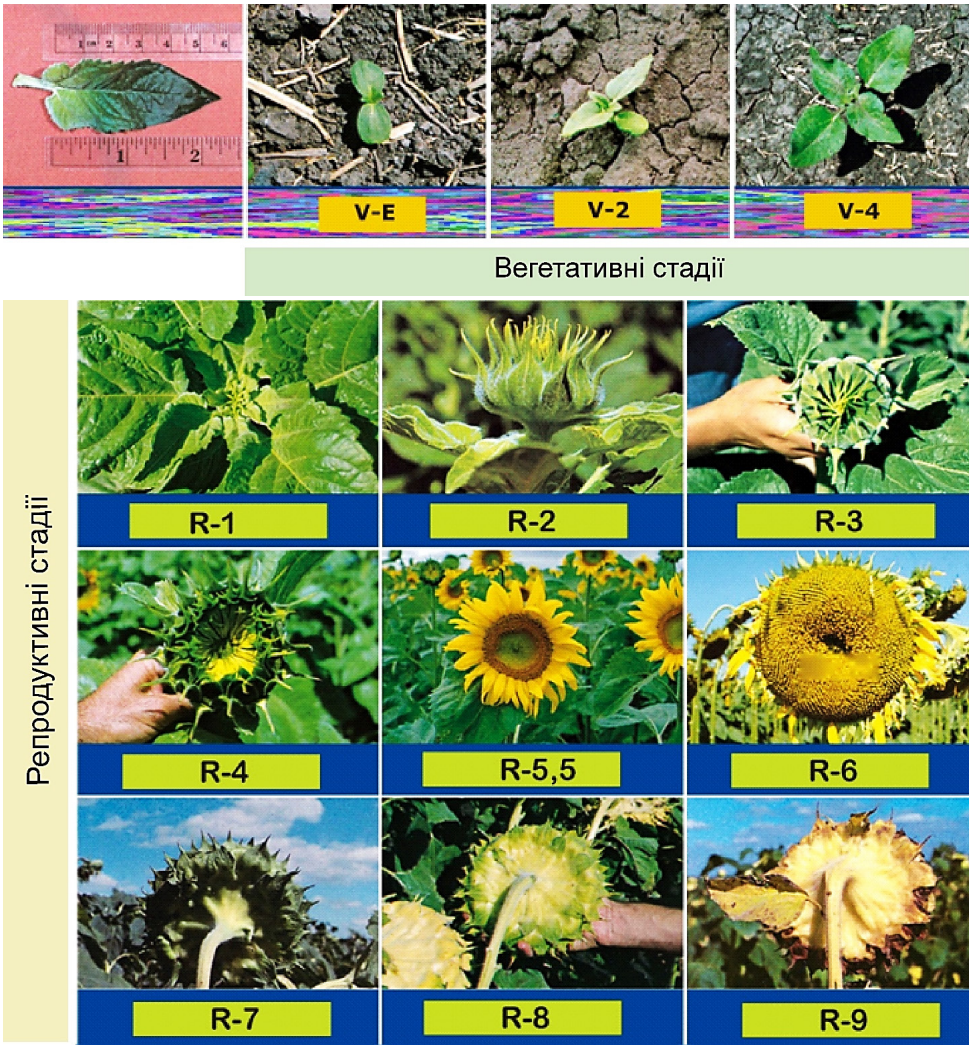


Рисунок 3.3 – Стадії онтогенезу соняшнику (коментар у тексті)

через індекс, що вказує кількість ***справжніх*** листків. Потрібно звернути увагу, що індекс вказує саме на кількість окремих листків, а не пар листків, як це прийнято у традиційній літературі (рис. 3.3).

Репродуктивна стадія ділиться на 9 етапів і враховує особливості будови суцвіття та динаміку цвітіння однокошикових рослин соняшнику. Кожна з яких може мати перехідний стан. Наприклад, R-5,5 – середина фази цвітіння в межах одного кошика (рис. 3.3).

3.2. Ресурси та потенціал технологій

3.2.1. Земельні ресурси

Основною вимогою рослинницької галузі виробництва є наявність достатніх для розвитку рослин ґрунтових і кліматичних умов. Розрахунковий показник площі поверхні земної кулі становить приблизно 510 млн км^2. Понад 70 % (391 млн км^2) – Світовий океан. Площа суші становить приблизно 150 млн км^2, або 29 %. На відміну від океану, суша є вкрай неоднорідною. У найбільш загальному вигляді виділяють: рівнини – 70 %, гори – 21 %, льодовики та снігові пустелі – 9 %. Загалом уважається, що площа суші, яка натепер використовується людиною, не перевищує 30 % від загального показника [1].

Ще більш неоднорідні розташування та структура суші, що використовується безпосередньо для землеробства. Здебільшого для опису особливостей ґрунтового покриву та його кліматичних характеристик використовують підходи, висвітлені у працях М. М. Розанова та М. Н. Строганової (1979 р.), з поділом суші на 5 поясів [3]. Основні – тропічний, бореальний, полярний. Перехідні – субтропічний, суббореальний. За рівнем доступності води виділяють арідні, перехідні та гумідні області (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Ґрунтово-біокліматичні пояси й області суші, %

Пояси	Області			
	гумідні	перехідні	арідні	разом
Тропічний	20	13	9	42
Субтропічний	5	6	9	20
Суббореальний	4	6	6	16
Бореальний	18	—	—	18
Полярний	4	—	—	4
Разом	51	35	24	100

Джерело: М. М. Розов, М. Н. Строганова, 1979 р.

Тропічний пояс. Найбільшу частку суші, а саме 5,6 млрд га, становить тропічний пояс, який є найменш освоєним у землеробському відношенні. За структурою майже половина його території (45 %) – вологі області, 30 % – посушливі. Гори та гірські території – 12,8 %. Загалом частка земель, безпосередньо включених у с.-г. виробництво, не перевищує 8 %. Основною проблемою, що гальмує розширення с.-г. виробництва, є промивний режим більшості ґрунтів, низька ємність вбирального комплексу та схильність ґрунтів до ерозії. Ведення рослинництва за цих умов потребує використання високих норм мінеральних добрив і суворого дотримання низки природоохоронних вимог.

Субтопічний пояс характеризується вищим рівнем землеробського освоєння (приблизно 17 %). Сумарна площа цього поясу в Південній і Північній півкулях становить приблизно 2,5 млрд га. Переважна частина

поясу (75 %) – території з низьким рівнем водозабезпечення. Це зони пустель і напівпустель, мешою мірою регіони із ксерофітно-лісовою та кущово-степовою рослинністю. Решта площі (25 %) – вологі лісові області. Відносно рівномірний річний розподіл температур забезпечує можливість отримання двох урожаїв. Оптимальні умови для ведення рослинництва формуються на рівнинних територіях і в долинах рік. Останні історично мають високий рівень розораності та високу частку деградованих земель.

Суббореальний пояс. Нині основна частка сільськогосподарського виробництва зосереджена в суббореальному поясі, площа якого становить 2,2 млрд га. Переважна частина цієї території суші розташована в Північній півкулі. Арідні та субарідні зони поясу – понад 70 % його території, приблизно 30 % – вологі області. Сумарно сільськогосподарські угіддя становлять понад 20 %, а середній рівень розораності рівнинної частини – 21 %, гірських територій – приблизно 9 %.

Температурний режим літнього та зимового сезонів дозволяє вирощувати один урожай. Незначна частина площ (за умов зрошення) забезпечує можливість технологій отримання двох урожаїв. Тривалий історичний процес землеробства в цій частині земної кулі зумовив значне розширення площ з високим рівнем деградації внаслідок засолення, вітрової та водної ерозії.

Бореальний пояс. Зміна основних лімітуючих факторів вирощування с.-г. культур спостерігається в бореальному ґрунтово-кліматичному поясі. Площа поясу – 2,4 млрд га, приблизно 35 % із яких – гори. Умови вегетації рослин характеризуються надлишковою кількістю вологи та браком тепла. Значна площа с.-г. угідь має високу кислотність і потребує міліорації. Такі умови суттєво звужують загальний перелік с.-г. культур. У холодостійких культур спостерігається домінування низьковрожайних скоростиглих сортів.

Полярний пояс. Територія цього поясу нині є непридатною для традиційного землеробства. За комплексом агрокліматичних показників, існуючих агротехнологій і асортименту культур (сортів) ведення рослинництва в цій зоні можливе лише в умовах закритого ґрунту.

Земельні ресурси України. Невід'ємною частиною використання земельних ресурсів є особливості адміністративного поділу територій та їхньої класифікації відповідно до чинної в кожній країні законодавчої бази. Основними уніфікованими одиницями класифікації земельних ресурсів є категорії, класи та види земель [13]. Так, в Україні за показником цільового призначення передбачено виділення 9 категорій земель, як-от:

— землі сільськогосподарського призначення;
— землі житлової та громадської забудови;
— землі природно-заповідного та природоохоронного призначення;
— землі оздоровчого призначення;
— землі рекреаційного призначення;
— землі історико-культурного призначення;
— землі лісового фонду;
— землі водного фонду;
— землі промислового призначення, транспорту та зв'язку.

3.2.2. Трудові ресурси

Трудові ресурси як елемент світових аготехнологій розглядаються в контексті потенціалу окремих країн або їхніх адміністративних одиниць. Термін передбачає виокремлення (у визначених територіальних межах) частки працездатного населення, що має фізичні й інтелектуальні здібності до трудової діяльності. Важливим чинником характеристики територій також є частка економічно активного населення. Під цим терміном розуміють частку населення, що має роботу й активно вдається до її пошуку. Динаміка показників структури працездатного й економічно активного населення значною мірою визначається історичними особливостями розвитку регіонів та їхніми природними умовами [2].

Оскільки технологічне забезпечення аграрного виробництва реалізується завдяки населенню, що проживає в сільській місцевості, важливим показником їхньої забезпеченості трудовими ресурсами є частка сільського населення. За наявності загальної тенденції до збільшення міст і розвитку промисловості в багатьох країнах Азії та Африки зберігається висока частка (до ¾) сільського населення.

Рівень освіти та кваліфікація. Окрім кількісних ознак, важливою характеристикою економічно активного населення є рівень його освіти та професійно-кваліфікаційна структура. Існує пряма залежність між якістю робочої сили та рівнем внутрішнього валового продукту (далі – ВВП) країн. Саме якість робочої сили є двигуном національних економік в умовах глобалізації та інформатизації суспільства, визначальним чинником конкурентоспроможності галузей, регіонів або окремих колективів.

Особливістю цього показника є можливість його покращення. Передусім це відбувається завдяки періодичному (раз на 3–5 років) підвищенню кваліфікації, поширенню практики загальнонаціональних і приватних програм, націлених на інвестування в людину, розвиток інтелектуального та професійного потенціалу робочої сили.

Моделі структури зайнятості населення. Зайнятість – це міра залученості людей в одному з напрямів економічної діяльності. Загальною тенденцією світового суспільства є зниження частки населення, задіяного в аграрному виробництві. Так, у країнах Європейського Союзу (далі – ЄС) на початок 2000-х рр. частка робочої сили, задіяної в аграрному секторі, була лише 8 %. Додатковим чинником, що проявляється лише в розвинених країнах, є загальне зменшення кількості людей, задіяних у матеріальному виробництві, насамперед у промисловості та будівництві. Так, протягом 1975–2000 рр. частка населення, задіяного в переробній промисловості таких країн, як США, Франція, Великобританія та Італія, знизилася в середньому від 30–39 до 15–22 %. Натомість спостерігається зростання частки робочої сили, задіяної у сфері послуг та інтернет-економіки.

Нині структура зайнятості є відображенням кількох моделей розвитку економіки, що відображають індустріальний та інформаційний поступ суспільства. Індустріальна модель реалізується насамперед у молодих індустріальних країнах, де спостерігається позитивна динаміка зростання частки трудових

ресурсів, задіяних в електронній промисловості, виробництві автомобілів, літаків і морського транспорту. Інформаційна модель структури зайнятості реалізується наданням високотехнологічних послуг. На початок століття частка населення, задіяного в цій сфері економіки у Великобританії, США та Канаді, перевищувала 70 %.

Водночас в низці країн Європи спостерігається реалізація інформаційно-індустріальної моделі. Модель передбачає збереження суттєвого рівня трудових ресурсів, задіяних у промисловості. Інформаційні послуги розвиваються завдяки впровадженню у високотехнологічні виробничі процеси.

Швидкий розвиток інформаційних і телекомукаційних технологій передбачає формування нових моделей зайнятості, що базуються на можливості дистанційного виконання роботи, короткострокової та тимчасової форми зайнятості. За розрахунками, у найближчі десятиліття розвиток такої сфери приведе до формування лише у країнах ЄС 5–10 млн робочих місць.

Безробіття. Безробіття – соціально-економічне явище, за якого частина економічно активного населення не зайнята у виробництві товарів і послуг. Безробітними вважають осіб працездатного віку, які не мають роботи, шукають її та готові взятися до неї. Рівень безробіття визначається як частка безробітних у загальній кількості економічно активного населення.

3.2.3. Матеріальні ресурси технологій

Виробництво та використання мінеральних добрив

Мінеральні добрива є визначальним чинником підвищення та стабілізації врожайності с.-г. культур. За різними оцінками, частка фактору мінеральних добрив у формуванні врожаю – від 30 до 70 %. Водночас саме вплив мінеральних добрив в основному визначає темпи щорічного приросту виробництва продукції рослинництва.

Історія використання мінеральних добрив розпочинається у 30-х рр. XIX століття, коли в Європу почали надходити кораблі із чилійською селітрою. Приблизно в цей же період, за результатами робіт Юстуса Лібіха, було розроблено підходи до використання в рослинництві мінеральних речовин, що містили фосфор і калій. На початок двадцятого століття в більшості промислових країн було налагоджено виробництво основних (азот, фосфор, калій) мінеральних добрив.

Однак повноцінний світовий ринок мінеральних добрив (із прогнозованими показниками виробництва та збуту) сформовано після Другої світової війни. На початок 1950 р. світове виробництво становило 14 млн т. Найбільш активне зростання виробництва та споживання добрив (переважно в Європі та Північній Америці) спостерігалось у період 1950–1989 рр. За цей час попит на добрива зріс із 14 до 144 млн т [15].

Стабілізація норм використання добрив у розвинутих країнах зумовила зниження темпів їх виробництва на початку 90-х рр. (рис. 3.4, див. с. 104). Однак розпочинаючи із кінця 90-х та початку 2000-х рр. у світі спостерігається приріст

виробництва (та попиту) добрив, що відбувається насамперед завдяки використанню інтенсивних технологій рослинництва у країнах Азії, передусім у КНР, Індії.

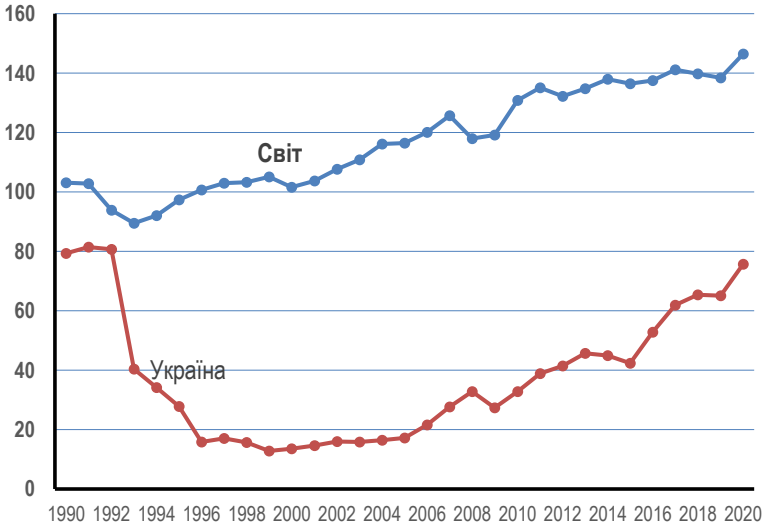


Рисунок 3.4 – Динаміка використання мінеральних добрив у світі й Україні, кг/га
Джерело: розраховано за даними відкритих джерел

Аналітична інтерпретація світової динаміки норм мінеральних добрив вказує, що кожні додаткові 10 кг мінеральних добрив забезпечують світовий приріст середньої врожайності зернових культур на 0,25 т/га.

Світовий ринок мінеральних добрив. Наявність тісної залежності між обсягами виробництва основних с.-г. культур (насамперед зернових) і обсягами використання мінеральних добрив визначає трьох основних споживачів добрив: це США, КНР й Індія. Саме на ці країни припадає більше половини світового валового виробництва мінеральних добрив. Водночас у США зростання показників норм мінеральних добрив стабілізувалось і має тенденцію до зниження від кінця 80-х – початку 90-х рр. У КНР така тенденція спостерігається із 2007–2010 рр. В Індії спостерігається щорічне 5 % збільшення показника норм внесення.

Нині у світі спостерігаються дві протилежні тенденції до встановлення та використання норм внесення мінеральних добрив. Перша базується на стабілізації та навіть зменшенні норм використання добрив. Це такі країни: США, ФРГ, Великобританія, Франція, Нідерланди, Данія та Японія. Так, у Японії порівняно з піковим 1970 р. використання добрив нині знизилось на 56 %. Друга тенденція базується на зростанні врожайності у країнах Східної Європи, Азії та Південної Америки, що відбувається переважно завдяки збільшенню норм внесення добрив. Саме ці країни забезпечують щорічне 3 % зростання ринку споживання мінеральних добрив.

Динамічним показником, що характеризує зміну підходів до формування технологій, є структура виробництва (споживання) добрив. Якщо на початку 60-х рр. частки азотних, фосфорних і калійних добрив були приблизно

однакові, то зараз у світі виробляється приблизно 120 млн т азотних добрив і лише 46,2 та 34,2 млн т фосфорних і калійних відповідно.

Практика використання пестицидів

Боротьба зі шкодочинними організмами за врожай сільськогосподарських культур є невід'ємною частиною історичних процесів доместикації в рослинництві. Перші (що дійшли до сучасності) історичні згадки про використання пестицидів належать Плінію Старшому, який рекомендував використовувати оливкову олію та соду для передпосівного протруювання насіння бобових.

З розвитком хімії, методик отримання токсичних елементів (насамперед миш'яку) набули поширення препарати для захисту рослин. Найбільш відомий арсеніт міді, створений у 1867 р., який називають паризькою зеленню. На початку двадцятого століття були розроблені методики та поширилися протруювання насіння препаратами ртуті.

Традиційні ці й інші препарати, що були вперше використані в технологіях із метою захисту рослин, прийнято називати пестицидами першого покоління.

Основною причиною появи пестицидів другого покоління було суттєве зниження ефективності попередніх препаратів, а досить часто (як із препаратами, що містять важкі метали) і їхня токсична дія на середовище та людину. Умовно початком розповсюдження другого покоління пестицидів були синтез і дослідження, проведені Паулем Германом Мюллером з діхлордіфенілтрихлоретаном (далі – ДДТ). Інсектицид ДДТ широко використовували для боротьби зі шкідливими комахами, що забезпечило суттєве покращення ситуації з поширенням малярії у тропічних країнах. Однак висока стійкість до розкладу у природному середовищі та здатність до міграції по трофічних ланцюгах зумовили в 70-х рр. заборону використання препарату.

Сучасний період використання пестицидів характеризується розповсюдженням препаратів третього та четвертого поколінь. Загальною характеристикою цих поколінь є високий рівень селективності, мінімальна токсичність до теплокровних тварин і корисної ентомофауни. Також важливим параметром є короткий період напіврозпаду. Так, якщо період напіврозпаду препаратів на основі ДДТ становив не менш ніж 10 років, то для деяких сучасних груп він триває від 7 годин до 3 діб. Окрім того, зменшення негативного впливу на середовище досягається суттєвим зниженням гектарної норми використання.

Нині світові агротехнології перебувають у стадії зміни поколінь пестицидів. Здебільшого йдеться про підвищення рівня екологічності завдяки зниженню рівня токсичності й періодів напіврозкладу діючих речовин. Важливим напрямом є використання нанотехнологій.

У найбільш загальному вигляді сучасна класифікація пестицидів представлена на схемі (рис. 3.5, див. с. 106).

Гербіциди є одним із базових компонентів сучасних агротехнологій. Таким, що визначає умови та перелік технологічних операцій, є виокремлення груп препаратів селективної і неселективної дії. Наступним етапом є виокремлення груп основних (ґрунтових) і страхових (застосування по вегетуючим рослинам) препаратів.

Однією з найбільш поширених діючих речовин є гліфосат, який уперше був синтезований компанією «Монсанто» у 1970 р. У цей же період розпочалося його активне впровадження під торговою маркою «Раундап». Нині гербіцидний ефект від застосування гліфосату описаний для приблизно 200 видів рослин. Особливістю гліфосату є відносно повільне переміщення препарату з надземних органів до кореневої системи. Як наслідок, токсична дія та відмирання рослин відбуваються протягом 14–21 доби.

Дія препарата визначається блокування відносно універсального для більшості рослин механізму утворення кількох амінокислот (фенілаланін, тирозин, триптофан) та інших важливих сполук. У тварин синтез цих амінокислот відбується іншим шляхом, що визначає низький рівень токсичності препаратів для середовища.

Створення на початку 80-х рр. фірмою «Монсанто» генетично модифікованих сортів сої, стійких до гліфосату, започаткувало нові підходи до контролю бур'янів і формування відповідних технологій вирощування.

Інший напрям технологій з використанням гербіцидів дістав назву «Чисте поле». Технології базуються на використанні похідних імідазолінону



Рисунок 3.5 – Загальна схема класифікації пестицидів

та спеціально створених (методами класичної селекції) гібридів, стійких проти дії препаратів. Найбільш розповсюдженою діючою речовиною є імізапір, що проявляє характеристики системного гербіциду суцільної дії, що зберігає біологічну активність у ґрунті до 12 місяців. Найбільш широко такі технології використовуються у вирощуванні соняшнику та ріпаку.

3.3. Динаміка світового виробництва основних сільськогосподарських культур

Здебільшого інформація щодо річних обсягів виробництва основних сільськогосподарських культур (або інших важливих культур) надається в розрізі маркетингового року (далі – МР). Початком маркетингового року вважається 1 число того місяця, коли на ринок потрапляє зерно нового врожаю. Наприклад, МР пшениці починається 1 липня, закінчується 30 червня. Маркетинговий рік соняшнику триває з 1 вересня до 31 серпня.

3.3.1. Пшениця

Пшениця – культура археофіт, яка завдяки багатому видовому складу, високій екологічній пластичності, урожайності та придатності врожаю до зберігання і переробки вирощується в усіх (окрім арктичної) ґрунтово-кліматичних зонах. Представленість культури в історичному процесі становлення більшості людських цивілізацій забезпечила формування традицій її вирощування та споживання.

У сучасний період культура пшениці є однією з найбільш повно вивчених у біологічному та технологічному аспектах. Технології вирощування цієї культури представлені повним спектром с.-г. техніки, добрив і ЗЗР. В Україні більш поширеними є озимі сорти культури, які є складником чотирипільних сівозмін.

Основними постачальниками пшениці на світовому ринку є Північна Америка, Європа, Австралія, окремі країни Азії. На відміну від інших культур, світові показники посівних площ та виробництва пшениці є відносно стабільними, оскільки менш залежать від зміни показників в одній або кількох окремих країнах.

Нині для пшениці (як і для інших культур) характерним є незначне, приблизно 1 % зростання річних обсягів світового виробництва, яке перебуває в діапазоні 720–760 млн т. У зв'язку зі збільшенням кількості населення та покращенням рівня харчування (передусім у країнах Азії та Африки) світове споживання пшениці також має тенденцію до зростання та коливається в діапазоні 700–750 млн т.

Через різницю в кількості населення, структурі переробки та споживання врожаю перелік країн, які є основними виробниками й експортерами зерна

пшениці, суттєво відрізняється (рис. 3.6). Основні світові імпортери пшениці Єгипет, Індонезія та Китай.

Більш складним для порівняння є показник середньої врожайності культури в різних країнах. Так, наприклад, у країнах Західної Європи регулюючим чинником урожайності зазвичай є ефективність використання високих норм



Рисунок 3.6 – Десять найбільших виробників і експортерів зерна пшениці у 2023/2024 маркетинговому році

Джерело: розраховано за даними відкритих джерел



Рисунок 3.7 – Рейтинг країн за показником середньої врожайності пшениці

Джерело: розраховано за даними відкритих джерел

мінеральних добрив. У країнах тропічного землеробства рівень урожайності у країні визначається часткою зрошуваних земель (рис. 3.7, див. с. 108).

3.3.2. Кукурудза

Кукурудза є культурою-археофітом, формування якої відбулося на Американському континенті в доколумбовий період. Нині промислове вирощування культури представлено в більшості країн світу. Кукурудза передусім вирощується як зернова, меншою мірою як кормова (силосна) або овочева культура. Сільськогосподарська культура з високим рівнем продуктивності та генетичним потенціалом її зростання, яка також має надзвичайно важливу властивість географічної адаптивності, що допомогло їй поширитися по всьому світу. Високий рівень урожайності зерна кукурудзи, його придатність до переробки зумовлюють важливе місце культури на світовому продовольчому ринку.

Від початку століття спостерігається значне зростання виробництва (та попиту) на кукурудзу, що пояснюється найвищими серед зернових культур показниками врожайності та ліквідністю на світовому ринку. Із продовольчою метою використовується лише приблизно 12 % світової кукурудзи, але ще 60 % іде на корми для тваринництва та птахівництва. За останні 10 років відмічено 3–4 % щорічне збільшення валового світового виробництва зерна, з 909 млн т у 2011–2012 м. р. до 1206 млн т у 2021–2022 м. р. (рис. 3.8).

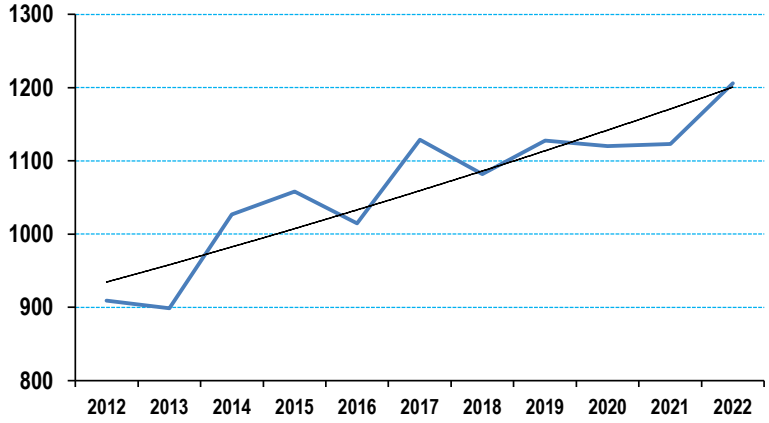


Рисунок 3.8 – Динаміка світового виробництва зерна кукурудзи у 2011–2022 рр.
Джерело: розраховано за даними відкритих джерел

Більш динамічним показником є виробництво зерна кукурудзи в кожній окремо взятій країні. Станом на 2024 р. основними виробниками зерна були:

— США – 385,7 млн т;
— Китай – 292,0 млн т;
— Бразилія – 127,0 млн т;
— ЄС – 59,0 млн т;

— Аргентина – 51,0 млн т;
— Індія – 37,5 млн т;
— Україна – 27,2 млн т;
— Мексика – 25,0 млн т;
— ПАР – 17,0 млн т;
— Канада – 15,2 млн т.

Варто зазначити, що переважним чинником зростання світового виробництва є збільшення посівних площ під культурою в основних країнах-виробниках. Лише за останні 5 років відмічено збільшення площі посівів у Китаї (+2,1 млн га), США (+1,2 млн га), Бразилії (+0,9 млн га).

Одним з найкращих показників ефективності технологій вирощування культури у країні є її врожайність. Так, наприклад, США має менші порівняно з Китаєм посівні площі, але посідає перше місце в рейтингу виробників завдяки більшій урожайності.

Завдяки різниці в урожайності такі країни, як Китай, Індія та Бразилія, мають потенціал до збільшення валового виробництва через застосування сучасних технологій (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Середні площі та діапазон урожайності посівів кукурудзи в основних країнах-виробниках у 2013–2017 рр.

Країна	**млн га**	**т/га**
КНР	38,09	5,8–5,9
США	33,81	10,5–10,9
Бразилія	15,27	4,3–5,5
Індія	9,36	2,5–2,6
Аргентина	4,94	6,8–7,5
Україна	4,32	5,7–6,6
Румунія	2,56	3,5–4,8
Франція	1,64	8,2–10,0
Угорщина	1,26	5,8–7,8

Джерело: розраховано за даними відкритих джерел

Варто зазначити, що більшість сучасних гібридів кукурудзи є високоінтенсивними й такими, що потребують високих норм мінеральних добрив і відповідних природно-кліматичних умов. Особливо це стосується технологій, спрямованих на максимальне використання біологічного потенціалу культури.

Саме поєднання цих чинників здатне забезпечувати рекордні врожаї, які є показником сучасного потенціалу культури. Різниця в показниках рекордної та середньої врожайності культури демонструє фактичний рівень технологій. Так, у США рекордна врожайність (зафіксована в умовах поливу) у 2021 р. становила 37,8 т/га, тоді як фактичний показник середньої врожайності перебуває в діапазоні 10–11 т/га.

3.3.3. Соя

Високий вміст білка й харчова цінність забезпечили селекційну та технологічну перебудову сої з рослини мусонного клімату до культури світового значення, із площею посіву понад 120 млн га у всіх (окрім поляного) ґрунтово-кліматичних поясах. Додатковим чинником поширення є високий уміст олії в зерні, що забезпечує провідні позиції сої як однієї з важливих олійних культур. Соя використовується у формі насіння, шроту, олії, соєвого білкового концентрату з умістом приблизно 60–65 % протеїну, соєвого білкового ізоляту з наявністю 90–92 % протеїну, сухого соєвого молока й інших видів продуктів її переробки.

Структура переробки та споживання сої в різних країнах може суттєво різнитися, що зумовлює відмінності у групах сортів і технологій. Так, за даними USDA, приблизно 70 % сої, вирощеної у США, використовують на корм тваринам. Другим за величиною ринком для соєвих бобів (приблизно 15 %) у США є харчова індустрія. Це здебільшого виробництво харчових продуктів для споживання людиною, як-от олія для салатів або олія для смаження. Третій ринок збуту для соєвих бобів – біодизель, на виробництво якого спрямовують приблизно 5 % урожаю сої [10].

Додатковими чинниками, які зумовлюють зростання попиту на врожай сої, є зміни в підходах до харчування значної частини населення планети. У розвинених країнах це проявляється у зниженні використання продуктів тваринного походження через розширення асортименту й обсягів споживання продукції рослинництва. У країнах Азії, де спостерігається зростання кількості населення та сформовані традиції споживання сої, саме ця культура залишається основним джерелом білка у продуктах харчування.

Комплекс перелічених чинників зумовив зростання попиту й обсягів реалізації сої на світовому ринку. Паралельно відбуваються процеси переорієнтації виробників і зміни у структурі посівних площ багатьох країн. Так, за 10 років (2010–2020 рр.) світове виробництво сої щорічно зростало на 4–5 %, від 250 до 350 млн т (рис. 3.9, див. с. 112).

У десятку провідних країн-лідерів за показниками валового виробництва сої у 2019–2020 МР увійшли:

— Бразилія – 124,0 млн т;
— США – 96,8 млн т;
— Аргентина – 51,0 млн т;
— Китай – 18,0 млн т;
— Парагвай – 10,0 млн т;
— Індія – 9,3 млн т;
— Канада – 6,0 млн т;
— Росія – 4,3 млн т;
— Україна – 3,7 млн т;
— Болівія – 2,9 млн т.

У цей же період основними країнами-імпортерами сої були КНР (92 млн т), країни ЄС (15,1 млн т), Мексика (6,0 млн т), Єгипет (3,7 млн т).

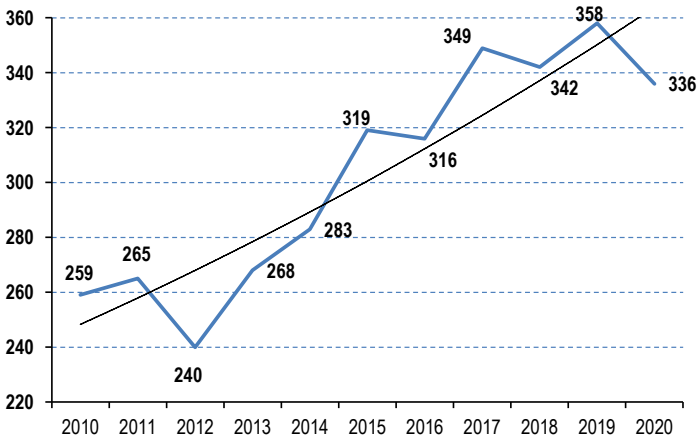


Рисунок 3.9 – Динаміка світового виробництва сої, 2010–2020 рр.

Джерело: розраховано за даними відкритих джерел

Беручи до уваги специфіку формування білкового типу запасних поживних речовин, соя не розглядається як культура з високими показниками врожайності. Так, зареєстрований натепер рекорд (Вірджинія, США, 2019 р.) – 14,67 т/га. За врожайністю лідером є Бразилия – 3,3 т/га, близький до лідера рівень урожайності мають США й Аргентина – 3,2 та 3 т/га. Четверте та п'яте місця належать країнам ЄС (2,9 т/га) і Парагваю (2,8 т/га). Серед країн Європи найвища врожайність сої в Італії. В Україні врожайність сої становить 2,4 т/га.

3.3.4. Соняшник

В історичному аспекті соняшник належить до молодих культур, доместикація та формування якої (у її сучасному вигляді) відбулися наприкінці дев'ятнадцятого – на початку двадцятого століття. Основними чинниками інтенсивного зростання посівних площ і світового виробництва насіння соняшнику є висока якість олії, придатність до харчового та технічного використання.

Збільшення попиту (та світового виробництва соняшнику), що спостерігається з кінця двадцятого століття, є результатом світових тенденцій збільшення частки використання рослинних жирів у щоденному харчуванні населення. Нині світове виробництво соняшнику розглядається як складник формування світового ринку олії (табл. 3.4, див. с. 113).

Особливостями світового ринку олій є панівне положення пальмової, соєвої та ріпакової, частка яких перевищує 3/4. Соняшникова олія становить приблизно 10 % ринку. Частка інших олій не перевищує 5 %.

Специфіка насіння соняшнику, а саме низькі показники натури, визначає обмеженість перевезень сировини, а переробка врожаю в основному зосереджена у країнах виробниках. Динаміка світового виробництва соняшнику наведена на рисунку 3.10 (див. с. 113).

Таблиця 3.4 – Структура глобального ринку рослинних олій у 2021–2022 м. р.

Олія	Виробництво, млн т	Частка ринку, %
Пальмова	72,9	35,3
Соєва	59,4	28,8
Ріпакова	29,1	14,1
Соняшникова	19,1	9,2
Пальмоядрова	8,4	4,2
Арахісова	6,4	3,1
Бавовнова	4,8	2,3
Кокосова	3,4	1,7
Оливкова	2,9	1,4

Джерело: розраховано за даними відкритих джерел

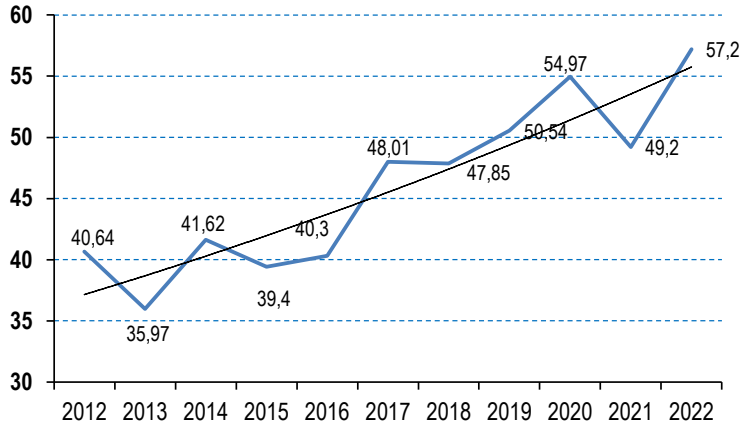


Рисунок 3.10 – Динаміка світового виробництва насіння соняшнику у 2011/2012–2021/2022 м. р., млн т

Джерело: розраховано за даними відкритих джерел

У період 2012–2022 рр. спостерігалося щорічне збільшення виробництва насіння соняшнику на 4–5 %.

Нині найбільші посівні площі та валове виробництво соняшнику зосереджено на Євразійському континенті. За результатами 2021/2022 м. р. до 10 країн – найбільших виробників соняшнику входили: Україна, Росія, Аргентина, КНР, Румунія, Болгарія, Франція, Угорщина, Туреччина, Казахстан (рис. 3.11, див. с. 114).

Позитивним фактором, що вказує на селекційну й технологічну модернізацію культури та збільшення її біологічного потенціалу є стійке підвищення урожайності (рис. 3.12, див. с 114). Так, за період із 2007 до 2017 р. середня урожайність культури в світі зросла з 1,25 до 1,86 т/га або на 4,0–4,5 % щорічно. Річний показник збільшення посівних площ знаходився в межах 1.0–1.2 %.

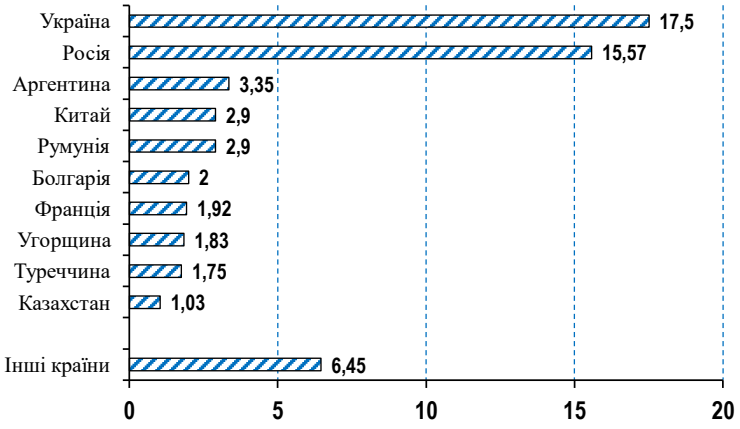


Рисунок 3.11 – Країни – найбільші виробники насіння соняшнику у 2021–2022 м. р., млн т

Джерело: розраховано за даними відкритих джерел

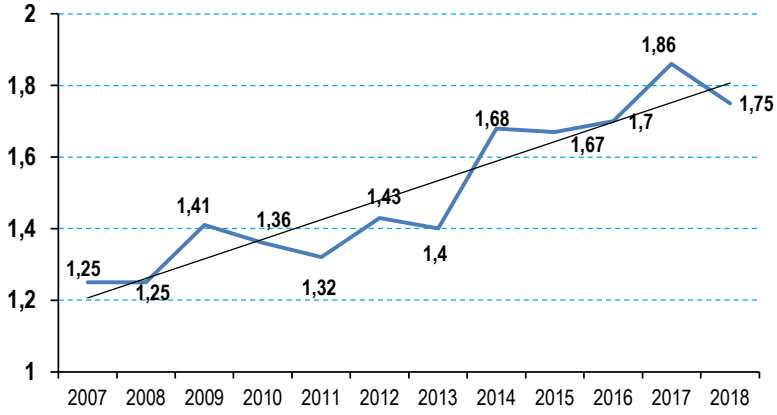


Рисунок 3.12 – Динаміка показника середньої урожайності соняшнику в світі

Джерело: розраховано за даними відкритих джерел

Завдання та питання для самостійної роботи

1. *Як класифікуються заходи з обробітку ґрунту за показником глибини?*
2. *Як класифікуються способи механічного обробітку ґрунту?*
3. *Які основні системи обробітку ґрунту?*
4. *Які позитивні результати використання технології "No till"?*
5. *Які негативні фактори технології "No till"?*
6. *У якій країні та коли було вперше запроваджено елементи технології No-till?*

7. *Яка частка орних земель (у світі й в Україні) обробляється за технологіями прямого сіву?*
8. *Яка допустима ГДК валового вмісту свинцю та ртуті для земель с.-г. використання в Україні, країнах ЄС?*
9. *Яка частка суші під с.-г. угіддями, зокрема й ріллею?*
10. *Який ґрунтово-кліматичний пояс охоплює найбільшу частку суші?*
11. *Які категорії земель (за цільовим призначенням) виділяють в Україні?*
12. *У яких країнах спостерігається позитивна динаміка використання мінеральних добрив?*
13. *У яких країнах і чому спостерігається негативна динаміка використання мінеральних добрив?*
14. *Які середні норми використання мінеральних добрив у світі, в Україні?*
15. *Виробництво якої групи мінеральних добрив домінує у світі?*
16. *Коли та де було вперше запроваджено шкалу ВВСН?*
17. *Яку шкалу взято за базову під час створення шкали ВВСН, які основні відмінності між шкалами?*
18. *Які особливості діагностування репродуктивних фаз розвитку у видових шкалах кукурудзи та сої?*
19. *Які особливості діагностування вегетативних фаз розвитку у видових шкалах кукурудзи, сої?*
20. *Дайте визначення терміна «трудові ресурси»?*
21. *Дайте визначення терміна «економічно активне населення»?*
22. *Яка частка робочої сили задіяна в аграрному секторі країн ЄС?*
23. *Які світові обсяги виробництва пшениці?*
24. *Назвіть основні країни виробники й експортери зерна пшениці?*
25. *Який рівень урожайності пшениці в Україні та країнах світу?*
26. *Які країни є основними виробниками зерна кукурудзи?*
27. *Які країни є основними виробниками зерна сої?*
28. *Яка врожайність сої в Україні й основних країнах-експортерах, виробниках?*
29. *Які країни є основними виробниками насіння соняшнику?*
30. *Яка частка соняшникової олії на ринку олій?*
31. *Яка динаміка врожайності соняшнику у світі й в Україні?*

Перелік джерел до розділу 3

1. Бабич А. О. Світові, земельні, продовольчі і кормові ресурси. Київ : Аграрна наука, 1996. 200 с.
2. Людський розвиток в Україні. Інноваційні види зайнятості та перспективи їх розвитку : колективна монографія / за ред. Е. М. Лібанової ; Ін-т демографії та соціальних досліджень імені М. В. Птухи НАН України. Київ, 2016. 328 с.
3. Паньків З. П. Земельні ресурси : навчальний посібник. Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2008. 272 с.

4. Шевніков М. Я. Світові агротехнології : навчальний посібник. Полтава : ВАТ «Видавництво "Полтава"», 2005. 192 с.
5. Досвід органічного землеробства. URL: http://orgzem.zo.net.uac
6. Агробізнес : журнал. URL: https://agro-business.com.ua/ahrarni-kultury/zernovi.html
7. Агроексперт : журнал. URL: https://agroexpert.ua/
8. Аналіз ринку органічної продукції в Україні. Аграрно-політичний сайт України. URL: https://agropolit.com/spetsproekty/407-analiz-rinku-organichnoyi-produktsiyi-v-ukrayini
9. Суперагроном : журнал. URL: https://superagronom.com/news/technologii
10. The Ukrainian Farmer : журнал. URL: https://agrotimes.ua/magazine/the-ukrainian-farmer/
11. Земельні ресурси України. URL: https://geoknigi.com/book.php
12. Інноваційні технології використання добрив: досвід США. URL: https://www.growhow.in.ua/innovatsijni-tehnologiyi-vykorystannya-dobryv-dosvidssha/
13. Органік в Україні. Федерація органічного руху України : офіційний сайт. URL: http://organic.com.ua/uk/homepage/2010-01-26-13-42-29

Розділ 4

СЕЛЕКЦІЙНО-НАСІННИЦЬКІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ В АГРОНОМІЇ

4.1. Теоретичні основи селекції і насінництва

4.1.1. Селекція і насінництво як наука

Постійне зростання чисельності населення світу спричиняє низку соціально-економічних і екологічних викликів, одним із яких є забезпечення продовольчими ресурсами. Ця проблема загострюється через регіональну нерівність між розвиненими країнами та країнами, що розвиваються, зростання урбанізації та соціальну нерівність.

За даними ФАО, приблизно 800 млн людей у світі постійно страждають від недоїдання, а щороку понад 20 млн помирають від голоду. І це попри те, що обсяги виробництва продовольства на душу населення нині є найвищими за всю історію людства.

Екстенсивний розвиток сільського господарства, який передбачає збільшення виробничих площ, більше не є перспективним шляхом, оскільки його можливості майже вичерпані. Тому основна увага має зосереджуватися на інтенсифікації сільськогосподарського виробництва, яка включає:

— комплексну механізацію, хімізацію, меліорацію, розвиток виробничої та соціальної інфраструктури;

— удосконалення методів господарювання, розвиток фермерства, створення агрокомплексів, упровадження екологічного землеробства;

— формування здорових агроекосистем з урахуванням біорізноманіття, природних біологічних циклів і ґрунтової біологічної активності;

— раціональне використання добрив, кормових добавок і біологічних методів захисту рослин;

— створення та впровадження високоврожайних сортів і гібридів, заміну малопродуктивних культур ефективнішими варіантами.

Одним із пріоритетних напрямів інтенсифікації є селекція – наука, що вивчає виведення нових сортів і гібридів рослин, їхнє вдосконалення та адаптацію до потреб сучасного сільського господарства.

Селекція (від лат. *selectio* – «вибір, відбір») є не лише науковою дисципліною, а й важливою галуззю сільськогосподарського виробництва. Її метою є створення нових сортів і гібридів, які відповідають потребам агровиробництва за врожайністю, стійкістю до стресових факторів та якісними характеристиками продукції.

Основоположником сучасного вчення про селекцію є академік Микола Іванович Вавилов, який наголошував: «Селекцію можна розглядати як науку, мистецтво і практичну галузь сільського господарства».

Основні розділи селекції рослин, за вченням М. І. Вавилова:

— вихідний сортовий, видовий і родовий потенціал (ботаніко-географічні основи селекції);

— закономірності спадкової мінливості (вчення про мутації);

— взаємозв'язок сорту та середовища (вплив кліматичних факторів на розвиток рослин);

— теорія гібридизації (внутрішньовидові та міжвидові схрещування);

— основи селекційного процесу (особливості самозапильних, перехреснозапильних і вегетативно розмножуваних рослин).

Раніше селекція базувалася суто на доборі найкращих форм серед існуючих. Однак сучасна наука розширила можливості цього процесу, доповнивши його штучним створенням вихідного матеріалу.

Генетика є фундаментом сучасної селекції. Важливі відкриття, зокрема еволюційна теорія Ч. Дарвіна, закони Г. Менделя, вчення про чисті лінії та мутації, дозволили селекціонерам розробити методи цілеспрямованого управління спадковістю.

З урахуванням вищевказаного можна дійти висновку, що селекція є одним із ключових напрямів інтенсифікації сільського господарства, що забезпечує підвищення врожайності, покращення якості продукції і адаптацію культур до змін клімату. Завдяки застосуванню сучасних методів та інтеграції знань з генетики, фізіології тощо селекція відіграє важливу роль у досягненні світової продовольчої безпеки.

Урожайність сільськогосподарських культур залежить не лише від рівня агротехніки, а й від правильно підібраних сортів, які визначаються своїми біологічними та господарсько цінними характеристиками. Сорт є найбільш економічно вигідним чинником підвищення врожайності, покращення якості продукції та зниження її собівартості. Він являє собою сукупність генетично споріднених рослин, що мають стабільні спадкові ознаки. Однак потенціал сорту можна реалізувати лише за умови використання якісного насіння, що відповідає вимогам чистосортності, схожості та стійкості до хвороб і шкідників.

У процесі розмноження сортові характеристики можуть поступово погіршуватися, що потребує чіткої організації насінництва.

Насінництво – це наука та галузь аграрного виробництва, яка опікується розмноженням сортів із максимальним збереженням їхніх морфологічних, біологічних і господарських ознак. Воно тісно пов'язане із селекцією, адже саме через насіння передаються генетичні особливості сортів.

На якість насіння впливають не лише його генетичні властивості, а й умови росту материнських рослин, зокрема:

— абіотичні фактори (клімат, рівень вологи, температура);

— біотичні фактори (агротехніка, наявність хвороб і шкідників).

Тому для організації ефективного насінництва необхідно враховувати досягнення в галузях рослинництва, фізіології, біохімії, фітопатології та ентомології.

Наукові дослідження підтверджують, що використання високоякісного насіння нових сортів здатне підвищити врожайність на 20–25 %. Світовий досвід підтверджує, що зростання врожайності сільськогосподарських культур забезпечується як удосконаленням агротехнічних прийомів, так і впровадженням нових сортів і гібридів.

Згідно з даними дослідників США, у загальному прирості врожайності частка нових сортів і гібридів така: пшениці – 27 %, кукурудзи – 34 %, вівса – 29 %; ячменю – 34 %, сорго – 37 %. Німецькі науковці підтверджують, що впровадження нових сортів сприяє зростанню врожайності пшениці на 38 %, вівса – на 41 %, ячменю – на 54 %.

Проте навіть найперспективніші сорти та гібриди потребують добре організованого насінництва для підтримання їхніх біологічних і господарських характеристик, високої чистосортності та посівних якостей.

Ефективне насінництво передбачає створення оптимальних умов для вирощування материнських рослин і застосування сучасних технологій вирощування насіння. Агротехніка на насіннєвих ділянках має бути спрямована на отримання не просто врожаю, а саме високоякісного насіння. Це вимагає своєчасного внесення добрив, знищення бур'янів, хвороб і шкідників, а також підтримання оптимального рівня вологості ґрунту.

Якісне насіння є незамінним ресурсом для сільськогосподарського виробництва, тому насінництво виступає спеціалізованою галуззю аграрного сектору, що відповідає за виробництво високоякісного посівного матеріалу.

В Україні створена чітка система насінництва, яка поєднує науку та виробництво, забезпечує швидке розмноження нових сортів і гібридів, збереження чистосортності та високих посівних якостей.

4.1.2. Основні напрями селекції польових культур

Селекція як наука не має кордонів і охоплює універсальні напрями, актуальні для всіх культур і країн. Основними завданнями є підвищення врожайності та якості продукції, забезпечення стійкості до хвороб, шкідників і несприятливих чинників довкілля (посухо- та зимостійкість, стійкість до вилягання), а також створення сортів, пристосованих до інтенсивних технологій вирощування з повною механізацією процесів.

Теоретична та практична база селекції і насінництва ґрунтується на сучасних концепціях генетики, фізіології, біохімії рослин та інших суміжних наук. Вихідний матеріал у будь-якій країні створюється на основі єдиного принципу – генетичного розмаїття, адже від його якості значною мірою залежить ефективність селекційної роботи.

Досягнення в селекції є результатом традиційних генетичних досліджень, спрямованих на вдосконалення рослин. Класичні методи селекції включають гібридизацію, індуковані мутації та добір.

Головними напрямами селекції є підвищення врожайності та якості продукції, стійкості до хвороб, шкідників і несприятливих чинників середовища

(як-от посухо- та зимостійкість, стійкість до вилягання), а також створення сортів, придатних для вирощування за інтенсивними технологіями з повною механізацією [1].

Екологічна пластичність сорту. У сучасних умовах глобальних змін клімату ключовою вимогою до сортів рослин є їхня здатність протистояти екологічним факторам, які можуть обмежувати реалізацію потенційної продуктивності.

Екологічна пластичність визначається як здатність сорту адаптуватися до різноманітних погодних, ґрунтових і виробничих умов. Останніми роками селекціонери зосереджуються на створенні сортів із широкою екологічною пластичністю, які пристосовані до специфіки окремих регіонів. Водночас селекціонери повинні не лише враховувати актуальні вимоги до сортів, але й прогнозувати їхню придатність до змін клімату в перспективі десятиліть, адже створені генотипи мають відповідати майбутнім потребам виробництва. Окрім того, селекційні програми визначають напрями застосування кожної культури.

Селекція може зосереджуватись на найрізноманітніших властивостях рослин: морфологічних, фізіологічних, біохімічних, онтогенетичних, адаптивних, а також на стійкості до стресових чинників.

Практика селекції довела, що в рослинах можна посилювати окремі характеристики. Усі властивості рослин проявляються на морфологічному, фізіологічному, генетичному, біохімічному й екологічному рівнях, які тісно взаємопов'язані. Це дозволяє за окремою ознакою оцінювати інші. Проте неналежне вивчення цих взаємин, особливо щодо їхньої генетичної детермінації, ускладнює їх повноцінне використання в селекції. Нині дослідження переважно зосереджуються на властивостях кореня, колоса та листка, які найбільше впливають на врожайність.

Селекція на продуктивність є одним із найбільш складних завдань через багатогранність цього показника. Основою підвищення врожайності є розвиток генетики та селекції, зокрема використання генетичного потенціалу сортів.

Продуктивність пов'язана зі складним поєднанням біологічних, морфологічних та інших характеристик, як-от елементи структури врожаю, стійкість до хвороб, шкідників, посухи, низьких температур і вилягання. Кожна із цих ознак є багатовимірною і вимагає застосування спеціалізованих методів селекції.

Кількісні характеристики продуктивності контролюються полімерними генами, а їхня експресія та розвиток значною мірою залежать від впливу зовнішнього середовища. На врожайність сорту впливають гени, які регулюють розміри фотосинтетичного апарату, активність його функцій, здатність кореневої системи поглинати речовини, а також стійкість до стресових умов.

Підвищення врожайності є багатоплановою проблемою, одним із ключових аспектів якої є морфологічний. Глибоке розуміння процесів морфогенезу залишається важливим напрямом досліджень для створення оптимальних морфотипів рослин. Зв'язок між ростом, розвитком і морфогенезом є настільки тісним, що їх необхідно розглядати в комплексі.

Як відкрита біологічна система рослина потребує енергії та речовин для саморозвитку, тому зовнішні чинники можуть впливати на будь-який етап її розвитку. Взаємодія генів у процесі онтогенезу проявляється через

морфологічні, фізіологічні й адаптивні реакції, які відображаються в кількісних і якісних ознаках рослин.

Різні ґрунтово-кліматичні зони з їхніми унікальними умовами – рівнем інтенсифікації землеробства, расовим і видовим складом хвороб, типами посух, безморозним періодом тощо – формують специфічні зональні проблеми селекції на продуктивність.

Формування врожаю є складним і багатоступінчастим процесом, що передбачає взаємодію генетично детермінованих процесів і зовнішніх чинників на всіх етапах органогенезу. Урожайність, як кінцевий продукт життєдіяльності рослин, формується протягом усього онтогенезу, який визначається не лише зовнішніми факторами, але й генетичною зумовленістю.

У селекції на продуктивність можна виділити два ключові напрями: підвищення рівня врожайності та збереження стабільно високої продуктивності сортів, які вже внесені до Реєстру.

Селекція на якість продукції має ключове значення і тісно пов'язана із селекцією на продуктивність. Сорт виступає найбільш надійним і економічно вигідним чинником для стабільного підвищення врожайності та покращення якості продукції.

Якість урожаю визначається напрямом використання продукції. Для продовольчого зерна, наприклад, важливими є хлібопекарські властивості, як-от уміст білка, клейковини, сила борошна, об'ємний вихід хліба тощо. Ці характеристики більше залежать від якості білка, а не лише від його кількості, оскільки визначальним фактором є структура макромолекул.

Для різних напрямів використання потрібні спеціалізовані сорти. Наприклад, для пивоварного ячменю важливими є великі, вирівняні зерна з високою схожістю, дружністю проростання, низьким умістом білка й іншими специфічними властивостями. В олійних культур якість олії залежить від складу жирних кислот, що визначає її технічне або харчове призначення.

Ефективна селекція на технологічні якості потребує знання закономірностей успадкування відповідних показників. Наприклад, установлено зворотну залежність між вмістом білка в зерні та врожайністю. Підвищення врожайності часто супроводжується зниженням вмісту білка, а зростання білковості зерна – зменшенням частки лізину в білку. Одночасне покращення продуктивності, білковості та лізиновості є складним селекційним завданням.

Для успішного відбору генотипів із найкращими біохімічними характеристиками селекціонеру доводиться щороку оцінювати тисячі зразків. Сучасні методи, як-от електрофорез, ядерно-магнітний резонанс (далі – ЯМР) і спектральний аналіз, надають точну інформацію про генетичні особливості батьківських форм і полегшують гібридизацію.

Залучення генотипів із принципово новими характеристиками якості зерна відкриває можливість створення сортів, які стабільно зберігають свої властивості за різних виробничих умов. Якісні відмінності між видами та сортами формувалися як природним добором, так і в результаті селекційної роботи.

Проблема якості в селекції вирішується за допомогою внутрішньовидової та віддаленої гібридизації, мутагенезу, поліплоїдії та інших методів. Селекція

зернових культур спрямована на підвищення як вмісту білка, так і його якості, зокрема незамінних амінокислот, як-от лізин. У зернобобових культур важливим є створення сортів із високим умістом білка та збалансованим амінокислотним складом.

Подальший розвиток селекції на якість продукції залежить від поглиблення теорії, вивчення генетики кількісних ознак, ідентифікації генетичних маркерів і генів, що контролюють якісні показники. Це дозволить значно підвищити ефективність селекційної роботи.

Селекція на стійкість до хвороб і шкідників є одним із найважливіших завдань сучасного сільського господарства, оскільки втрати врожаю через їхній вплив досягають 30 % щороку. Незважаючи на величезну кількість пестицидів, доступних на ринку, проблема залишається актуальною.

Сучасні підходи до селекції базуються на фундаментальних дослідженнях генетичних систем вірулентності паразитів, взаємодії рослин і патогенів, а також генетики стійкості рослин. Хоча загальної теорії стійкості рослин до хвороб поки не існує, розроблені фізіологічні, біохімічні, генетичні та молекулярні концепції створюють основу для прогресу в цьому напрямі.

Навіть сорти, які виведені як стійкі до хвороб і шкідників, із часом можуть втрачати ці властивості через еволюцію патогенів і зміни умов довкілля. Це явище потребує постійного вдосконалення методів селекції, які включають спеціальні прийоми, обладнання та організацію роботи. Ефективність залежить від співпраці селекціонерів із фахівцями з фітопатології та ентомології, які об'єднуються в лабораторії імунітету або працюють у складі селекційних відділів.

Селекція стійких сортів передбачає два основних підходи:

1. Створення сортів із тривалою стійкістю, заснованою на вертикальній і горизонтальній стійкості.

2. Селекцію на повну резистентність, яка забезпечує повний імунітет до збудників хвороб.

Стійкість до шкідників зумовлюється морфологічними, фізіологічними та біохімічними факторами. Наприклад, наявність опушення на листках злаків захищає їх від листоїдів-п'явиць, а в бавовнику – від цикадок. Товщина й міцність тканин перешкоджають відкладанню яєць і живленню личинок.

Збалансоване використання цих методів дозволяє створювати стійкі сорти, що зменшують залежність від хімічних засобів захисту й забезпечують стабільні врожаї.

Селекція на посухостійкість. Посухостійкість – це здатність рослин ефективно використовувати воду та поживні речовини за умов високих температур, низької вологості повітря і ґрунту, забезпечувати водночас високий урожай хорошої якості. Ця властивість контролюється полімерними генами й успадковується за проміжним типом під час гібридизації.

З фізіологічного погляду посухостійкість визначається здатністю рослин витримувати перегрів і зневоднення, зберігати продуктивність навіть за дефіциту води та високих температур. Посуха, яка може бути тривалою або короткочасною, характеризується відсутністю дощів, високими температурами

та низькою вологістю, що призводить до зневоднення, перегріву, зниження врожайності, ушкоджень і навіть загибелі рослин.

В Україні більшість районів інтенсивного землеробства розташовані в зонах замалого зволоження. Зокрема, у степових регіонах часто спостерігається ґрунтова та повітряна посуха, що періодично призводить до значних втрат урожаю та економічних збитків.

Створення сортів, здатних забезпечувати високі врожаї навіть за умов посухи, є одним із ключових завдань селекції. Для цього використовуються методи гібридизації екологічно віддалених форм, місцевих сортів із різних екотипів, а також цілеспрямований індивідуальний і масовий добір. Попри створення багатьох посухостійких сортів, значна частина зареєстрованих в Україні сортів не відповідає сучасним вимогам посухостійкості.

Дослідження за контрольованих умов у кліматичних камерах і використання методів клітинної селекції мають велике значення для розроблення селекційних програм зі створення посухостійких сортів.

Селекція на зимостійкість. Зимостійкість – це здатність озимих культур протистояти комплексу несприятливих факторів зовнішнього середовища протягом зимового та ранньовесняного періодів, як-от низькі від'ємні температури, льодяна кірка, випрівання, вимокання тощо. Ця властивість має полігенний характер і залежить від генотипу сорту.

Продуктивність озимих культур (пшениці, жита, тритикале, ячменю) значно вища, ніж ярих, але несприятливі зимові умови часто стають причиною пошкоджень або навіть загибелі рослин. Створення сортів із високою зимостійкістю є однією з найважливіших проблем селекції, оскільки це дозволяє реалізувати потенціал продуктивності озимих культур.

Успішне вирішення проблеми зимостійкості можливе лише завдяки спільним зусиллям генетиків, селекціонерів і фізіологів. Ці спільні зусилля сприяють розробленню нових сортів, які можуть витримувати найсуворіші умови зимового періоду.

4.2. Вихідний матеріал у селекції рослин. Сорти, їх класифікація

4.2.1. Вихідний матеріал у селекції

Вихідним матеріалом у селекції є будь-який генетичний матеріал, який селекціонер використовує для створення нових сортів, відповідно до мети селекційної програми. Генетичний матеріал охоплює матеріали рослинного, тваринного, мікробного або іншого походження, що містять функціональні одиниці спадковості.

Селекційна робота завжди починається з формування та ґрунтовного вивчення вихідного матеріалу. Що більше генетичне розмаїття вихідного матеріалу, то ефективніший процес добору.

Джерела вихідного матеріалу

Природні популяції: природні популяції включають дикорослі форми та місцеві сорти. Ці групи добре пристосовані до умов вирощування, але характеризуються генетичною розмаїтістю завдяки мутаційній і комбінативній мінливості.

Селекційні сорти: цінний вихідний матеріал для добору нових форм і гібридизації. Вони слугують донорами цінних ознак.

Гібридні популяції: створюються шляхом внутрішньовидової або віддаленої гібридизації за допомогою простих, зворотних, насичуючих, складних і ступінчастих схрещувань. Це дозволяє комбінувати ознаки батьківських форм у гібридах, що робить гібридизацію класичним методом у селекції.

Самозапильні лінії (інцухт-лінії): створюються шляхом багаторазового самозапилення в перехреснозапильних культур. Їхнє схрещування одна з одною або із сортами дає високий ефект гетерозису, що робить їх цінним матеріалом для селекції.

Мутантні й поліплоїдні форми: ефективний вихідний матеріал, отриманий через експериментальний мутагенез або поліплоїдію, які сприяють створенню нових сортів.

Отже, використання різноманітних джерел вихідного матеріалу в селекції є запорукою створення нових сортів, здатних відповідати вимогам сучасного агровиробництва.

4.2.2. Інтродукція рослин: значення та основні аспекти

Інтродукція рослин – це цілеспрямоване введення в культуру нових видів, сортів, форм і генів у визначеному ґрунтово-кліматичному регіоні, де вони раніше не культивувалися. Дикорослі рослини завжди були основним джерелом для створення культурних сортів, забезпечували селекційну роботу необхідним генофондом.

Академік Микола Іванович Вавилов виділив три основні види інтродукції:

— завезення нових культур у регіони, де вони раніше не вирощувалися;

— упровадження у виробництво сортів, які вже культивуються в інших районах;

— інтродукцію нових генів для покращення існуючих культур і сортів.

За інтродукції розрізняють *натуралізацію* і *акліматизацію* сортів.

Натуралізація – процес, коли новий сорт успішно адаптується до нових умов і демонструє високу продуктивність.

Акліматизація – ситуація, коли більшість рослин у новому середовищі гине, і необхідно проводити селекційну роботу для їх пристосування.

Акліматизація передбачає дослідження мінливості й адаптації рослинних організмів у нових умовах. В інтродукційних ботанічних установах рослини потрапляють у середовище, яке може не відповідати їхнім природним вимогам. Це спричиняє зміни як у фенотипі, так і на генетичному рівні. Тому інтродукція тісно пов'язана із селекцією, що дозволяє адаптувати нові сорти до умов конкретного регіону.

Більшість сучасних сільськогосподарських культур (зернові, овочеві, технічні, лікарські, декоративні) були інтродуковані в минулих століттях або створені шляхом схрещування місцевих і завезених форм.

Проте інтродукція несе й ризики – разом із новими культурами можуть поширюватися карантинні хвороби та шкідники. Тому міжнародний обмін генетичним матеріалом потребує дотримання суворих карантинних заходів.

Країни з подібними кліматичними умовами активно обмінюються сортами. В Україні зареєстровані сорти картоплі, ячменю, вівса, гороху, а також гібриди кукурудзи, соняшнику, цукрових буряків і овочевих культур зарубіжної селекції. Паралельно українські сорти використовуються в аграрному секторі інших країн.

Останнім часом інтродукція активно застосовується для запозичення окремих генетичних ознак, як-от: стійкість до хвороб і шкідників, скоростиглість, підвищена якість продукції, посухостійкість тощо.

У такому разі селекціонер працює не із цілим генотипом, а з окремими генами, які можуть бути використані в гібридизації для створення нових високопродуктивних сортів.

Тому інтродукція рослин є важливим інструментом селекції, що сприяє збагаченню генофонду, розширенню спектра культур і покращенню їхніх характеристик. Завдяки цьому можна адаптувати нові сорти до змін клімату, підвищувати їхню врожайність і стійкість до стресових факторів, а також забезпечувати стабільне аграрне виробництво.

4.2.3. Поняття про сорт. Класифікація сортів

Світовий і вітчизняний досвід свідчить, що одним із найважливіших факторів підвищення ефективності агропромислового виробництва є створення та впровадження нових сортів рослин. Як зазначали М. Я. Молоцький зі співавторами [2], С. П. Васильківський, В. С. Кочмарський [3], сорт є концентрацією досягнень біологічної науки у практиці рослинництва.

Сорт – це унікальний засіб виробництва, що завдяки своїм генетичним властивостям дозволяє підвищувати врожайність, покращувати якість продукції та гарантувати екологічну безпеку без додаткових витрат енергії та ресурсів.

Закон України «Про охорону прав на сорти рослин» [4] визначає сорт як штучно відібрану сукупність рослин одного ботанічного таксона, яка має спадкові біологічні ознаки та хоча б одну відмінність від уже відомих сортів, що забезпечує можливість його відтворення.

Категорії сортів включають: *клон*, *лінію*, *гібрид*, *популяцію*.

Кожен сорт є унікальною комбінацією генів, отриманою шляхом схрещування різних компонентів. Сорти можуть різнитися за вегетаційним періодом, рівнем зимостійкості, посухостійкості, стійкості до хвороб і шкідників, а також за хімічним складом, що визначає їхнє господарське призначення. Наприклад, серед сортів ячменю та картоплі існують кормові, технічні та продовольчі різновиди [5].

Сорт також є важливим фактором навколишнього середовища: вирощування стійких до хвороб і шкідників сортів сприяє зменшенню використання пестицидів. Завдяки розвитку генетики, фізіології та біохімії селекція суттєво підвищила врожайність основних культур, особливо пшениці, що стало основою «зеленої революції».

Сорти сільськогосподарських культур поділяються за походженням на *місцеві* та *селекційні*.

Місцеві сорти формувалися впродовж десятиліть або навіть століть під впливом природного добору та найпростіших методів штучного відбору. Вони добре адаптовані до ґрунтово-кліматичних умов окремого регіону, проте є генетично неоднорідними та часто складаються з різних ботанічних різновидів.

До двадцятого століття місцеві сорти мали величезне значення в землеробстві, а для деяких культур – зберігають його й досі. Нині вони поступово втрачають виробниче значення, але залишаються цінним вихідним матеріалом для селекційної роботи.

Селекційні сорти створюються на основі наукових методів селекції, вирівняні за генетичними, морфологічними та господарсько-біологічними ознаками.

За способом виведення сорти поділяються на: сорти лінійного походження; сорти-клони; сорти-популяції; сорти гібридного походження.

Сорти лінійного походження є потомством однієї елітної гомозиготної рослини, отриманої методом індивідуального добору із природної або штучної популяції. Вони характеризуються високою однорідністю за всіма ознаками. Проте із часом, унаслідок перезапилення, мутацій і механічного засмічення, однорідність може втрачатися.

Сорти-популяції складаються з морфологічно подібних, але спадково неоднорідних рослин, які створені шляхом схрещування спеціально відібраних ліній. Усі сорти перехреснозапильних культур є популяціями. Вони мають вищу генетичну різноманітність порівняно із самозапильними культурами. У польових умовах сорти-популяції здебільшого однорідні за фенотипом, а їхня однорідність підтримується методами добору у процесі насінництва.

Сорти гібридного походження отримуються шляхом внутрішньовидової або віддаленої гібридизації з подальшим добором із гібридної популяції. Нині цей метод є класичним у селекції більшості культур. Сорти гібридного походження в самозапильних культур є менш вирівняними за спадковістю, ніж лінійні сорти. У Реєстрі сортів рослин України більшість сортів самозапильних культур (пшениця, ячмінь, горох, просо та інші) мають гібридне походження [6].

Сорти-клони є потомством однієї рослини, яка розмножується вегетативно (наприклад, картопля, часник, топінамбур). Вони характеризуються високою генетичною, морфологічною та господарсько-біологічною однорідністю. Зміни в сортах-клонах можуть відбуватися через спонтанний мутагенез, що спричиняє соматичні (або брунькові) мутації.

Створення та впровадження нових сортів є ключовим чинником підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва. Завдяки науковим методам селекції сучасні сорти мають високий потенціал урожайності, адаптивність до несприятливих умов і стійкість до хвороб.

Розмаїтість сортів за походженням і методами виведення дозволяє оптимально використовувати їхні господарські властивості. Для подальшого розвитку агропромислового комплексу необхідно вдосконалювати селекційні технології, забезпечувати їхню відповідність сучасним кліматичним і екологічним викликам.

4.3. Використання методу гібридизації в селекції рослин

4.3.1. Поняття про гібридизацію. Методи схрещування

Гібридизація – один із ключових методів створення нових форм рослин, що широко застосовується в селекції. Вона забезпечує високий ефект завдяки поєднанню спадкових ознак двох і більше батьківських форм, перекомбінації генів, полімерному успадкуванню ознак і явищу трансгресії (як позитивної, так і негативної).

Вагомий внесок у розвиток гібридизації зробив Г. Мендель, який на основі досліджень схрещування сформулював основні закони успадкування ознак. З початку двадцятого століття експериментальна гібридизація стала основним інструментом селекції, сприяла цілеспрямованому керуванню еволюцією рослин та постійному розширенню генофонду новими сортами й культурами [7].

Гібридизація – це схрещування батьківських форм, що мають різні спадкові характеристики. Вона дозволяє поєднувати в нових сортах і гібридах цінні ознаки батьківських форм, створюючи більш продуктивні та стійкі рослини.

Гібридизація є одним із найефективніших методів отримання нових сортів із покращеними характеристиками, як-от: підвищення врожайності, стійкість до хвороб і шкідників; посухо- та морозостійкість, поліпшення якості продукції тощо.

Цей метод залишається основним інструментом у сучасній селекції, забезпечує стабільне оновлення генофонду та розширення можливостей агровиробництва.

Схрещування рослин залежить від їхніх біологічних особливостей, зокрема від способу цвітіння та розташування статевих органів. Рослини можуть мати закрите або відкрите цвітіння, бути одностатевими або двостатевими, що визначає необхідні підходи до запилення. Важливу роль відіграє також життєздатність пилку, оскільки вона визначає ефективність схрещування.

Процес схрещування включає в себе проведення двох основних операцій, як-от:

— *кастрація* – видалення тичинок у двостатевих суцвіттях материнських рослин для запобігання самозапиленню;

— *запилення* – перенесення пилку з батьківських рослин на приймочки квіток материнських рослин.

Основні методи запилення за схрещування

1. *Штучне (примусове) запилення.* Виконується ручним перенесенням пилку з батьківської рослини на материнську. Такий метод дозволяє контролювати генетичний матеріал і використовується для більшості сільськогосподарських культур.

2. *Обмежено вільне запилення.* Після кастрації (видалення тичинок) материнські рослини ізолюють, щоб уникнути неконтрольованого запилення. Батьківські рослини з пиляками підводять під ізолятори. Якщо строки цвітіння не збігаються, батьківські рослини вирощують у спеціальних умовах (наприклад, у вегетаційних посудинах). Популярний метод, коли зрізані чоловічі рослини ставлять у банки з водою і розміщують під ізолятором, періодично їх струшуючи для ефективного запилення. Запилення комахами – для комахозапильних культур (наприклад, конюшини) в ізолятори запускають комах, які здійснюють природне запилення.

3. *Обмежено вільне запилення без ізолятора.* Батьківські та материнські рослини висівають почерговими рядами. Перед цвітінням материнські рослини підготовлюють (каструють), а запилення відбувається природним шляхом. Необхідна просторова ізоляція (1–2 км) від інших сортів для запобігання небажаному перезапиленню.

4. *Вільногрупове запилення.* Вирізняється тим, що запилення відбувається не від одного, а від кількох батьківських сортів. Його можна проводити як під ізоляторами, так і без них.

5. *Вільне запилення.* Цей метод застосовується у природних умовах для перехреснозапильних рослин. До переваг цього методу варто віднести високий відсоток утворення насіння, а до недоліків – запилення відбувається вибірково, що може знижувати якість гібридів.

Правильний вибір способу запилення та ізоляції рослин є ключовим для успішного схрещування. Використання штучного запилення дозволяє керувати генетичним матеріалом і створювати нові сорти з потрібними характеристиками.

4.3.2. Основні види схрещувань

Гібридизація є основним методом створення нових сортів рослин, а вибір виду схрещування залежить від біологічних особливостей культури, характеристик вихідного матеріалу та вимог до майбутнього сорту.

Прості схрещування (парні)

Прості схрещування проводять між двома батьківськими формами

$$(A♀ \times B♂),$$

де одна рослина є материнською, а інша – батьківською.

У результаті такого запилення формується потомство з новими комбінаціями генів.

Реципрокні (взаємні) схрещування використовуються, коли один батьківський компонент застосовується в різних комбінаціях як материнська та як батьківська форма. Такі схрещування широко використовуються у віддаленій гібридизації.

Множинні схрещування (полікроси). Материнську рослину запилюють сумішшю пилку кількох батьківських форм. Цей тип схрещування використовується в основі селекційного методу полікросів. Дозволяє отримати гібриди із широким спектром генетичних комбінацій.

Діалельні схрещування – усі досліджувані сорти або лінії схрещуються одне з одним.

Складні схрещування

Якщо в гібридизації беруть участь більше двох батьківських форм або відбувається повторне схрещування гібридів з вихідними формами, такі схрещування називають *складними*. Виділяють такі види цих схрещувань:

Зворотні схрещування. За цим методом гібрид (А×В) повторно схрещують з одним із батьків. Головними цілями зворотного схрещування є посилення впливу одного з батьків на потомство й усунення деяких недоліків сорту (наприклад, підвищена сприйнятливість до хвороб).

Насичувальне схрещування – багаторазове звороте схрещування гібридів з одним із батьківських сортів, що дозволяє збільшити в гібриді частку бажаної батьківської форми. Кожне наступне схрещування гібридного потомства називають бекросом.

Поглинальне схрещування – багаторазове насичувальне схрещування, під час якого з кожним наступним бекросом (зворотним схрещуванням) частка батьківського ядерного матеріалу в гібридному організмі поступово збільшується. Після шостого бекросу більше 99 % генетичного матеріалу гібрида походить від батьківської (чоловічої) форми, майже цілком витісняє материнську спадковість. Цей тип схрещування використовується для створення стерильних аналогів у селекції на гетерозис.

Східчасті схрещування – це метод гібридизації, який дозволяє поєднати в гібридному організмі спадкові ознаки кількох батьківських форм. У цих схрещуваннях беруть участь більш ніж дві батьківські форми, що дає можливість створювати багатокомпонентні гібриди з покращеними властивостями.

Конвергентне схрещування (від лат. *convergere* – «наближатися») -ґрунтується на застосуванні паралельних зворотних схрещувань різних сортів-донорів з тим самим рекурентним батьком для передачі йому водночас кількох цінних ознак.

Такий тип схрещування дозволяє поєднувати більше двох цінних ознак в одному сорті. Підвищує ефективність добору на складні кількісні та якісні ознаки. Зменшує втрату цінних характеристик за багаторазових схрещувань. Цей метод широко використовується для створення сортів із комплексною стійкістю до хвороб, підвищеною врожайністю, покращеним хімічним складом та іншими важливими ознаками.

Міжгібридне схрещування – коли спадковість батьківських форм об'єднують не послідовно, а паралельно, через попереднє створення простих гібридів і наступне їх схрещування один з одним.

4.3.3. Віддалена гібридизація

Віддалена гібридизація – це схрещування організмів, що належать до різних видів (міжвидова гібридизація) або різних родів (міжродова гібридизація). Цей метод дозволяє поєднувати цінні ознаки різних видів або родів у нових гібридних організмах, що суттєво збагачує генофонд культурних рослин.

Завдяки віддаленій гібридизації створюються нові сорти й види рослин з комплексом корисних ознак, збагачується генофонд сільськогосподарських культур, розв'язуються еволюційні й генетичні питання, пов'язані з видоутворенням, відбувається інтродукція генів стійкості, урожайності, якості продукції тощо.

Віддалена гібридизація мала вирішальну роль в еволюції багатьох культурних рослин. Багато сучасних сільськогосподарських культур мають гібридне походження, що зробило їх більш пристосованими до різних умов вирощування.

Класифікація віддаленої гібридизації за Г. Д. Карпеченком

Конгруентні схрещування. Коли батьківські форми мають «відповідні» хромосоми, які можуть нормально кон'югувати та комбінуватися в гібридів. У таких гібридів зберігаються висока життєздатність і плодючість. Наприклад, схрещування різних географічних рас або різновидів одного виду.

Інконгруентні схрещування. Коли батьківські форми мають «невідповідні» хромосоми або різну їх кількість. У результаті цього гібриди F_1 часто стерильні або мають знижену життєздатність, оскільки хромосоми одного з батьків не можуть повноцінно замінити хромосоми іншого.

Проблеми інконгруентних схрещувань: часткова або цілковита стерильність гібридів; необхідність застосування додаткових методів (подвоєння хромосом, поліплоїдія) для стабілізації потомства.

4.3.4. Типи несумісності та методи їх подолання

Під час схрещування рослин, що належать до різних видів або родів, дослідники стикаються з низкою проблем, серед яких:

— *несхрещуваність видів* – генетична ізоляція батьківських форм через несумісність їхніх генотипів;

— нежиттєздатність гібридного насіння;

— стерильність гібридів F_1.

А. Ф. Шулиндін виділив чотири основні типи несумісності.

Прогамна несумісність (до запліднення). Пилок або не проростає на приймочці, або пилкові трубки гинуть у тканинах маточки.

Методи подолання:

— запилення на різних стадіях розвитку приймочки;

— укорочування стовпчика для зменшення шляху пилкових трубок;

— обробка маточки стимуляторами росту (гетероауксин, гіберелова кислота).

Сингамна несумісність (під час запліднення). Відсутність злиття гамет або часткове запліднення.

Методи подолання:

— запилення сумішшю пилку з різним генетичним походженням для стимуляції проростання;

— попереднє щеплення для зближення фізіологічного стану тканин.

Ембріональна несумісність (на ранніх стадіях розвитку ембріона). Сповільнення поділу клітин зародка, відсутність диференціації органів, лізис вмісту насіння.

Постембріональна несумісність. Нездатність гібридного насіння проростити або загибель проростків.

Методи подолання несхрещуваності

Метод попереднього щеплення. Застосовується, коли звичайні методи схрещування не дають результатів. Щеплення змінює хімічний склад тканин, покращує осмотичний тиск, що сприяє проростанню чужого пилку.

Метод посередника. Якщо види А і В не схрещуються, використовується близький вид С, який спрощує передачу генетичного матеріалу.

Запилення сумішшю пилку. Взаємне стимулювання пилку різних видів створює сприятливі умови для проростання пилкових трубок.

Укорочення стовпчика маточки. Скорочення шляху пилкових трубок для покращення успішного запліднення.

Стимуляція проростання пилку. Опромінення пилку γ-радіацією, ультрафіолетовими та лазерними променями.

Обробка стимуляторами росту. Використання гібберелової кислоти, гетероауксину, індолілоцтової кислоти для прискорення проростання пилкових трубок.

Подвоєння хромосом (поліплоїдизація). Найефективніший метод для подолання несхрещуваності. Подвоєння хромосом робить генетичні набори сумісними, що забезпечує нормальний розвиток гібридів.

4.4. Використання методів мутагенезу й поліплоїдії в селекції

4.4.1. Поняття мутагенезу та мутації

Мутагенез – це процес, під час якого генетичні зміни відбуваються під впливом мутагену. Змінений організм називається мутантом. ***Мутант*** – це організм, який набув нових генетичних властивостей або ознак під впливом мутагену. Мутації класифікуються так:

— за *походженням* – *спонтанні*, що виникають у природних умовах, або індуковані, що є результатом контрольованого впливу мутагенних агентів;

— за способом виникнення гена мутанти можуть бути *домінантними*, у яких зміни проявляються в гетерозиготному стані у F_1 і розщеплюються в поколіннях, і рецесивними, які проявляються тоді, коли мутуючий ген перебуває в гомозиготному стані, у поколіннях розщеплення не відбувається;

— залежно від властивостей і ознак, які змінюються під впливом мутагену, мутації можуть бути *морфологічними*, *фізіологічними* або *біохімічними*;

— залежно від впливу на фертильність і репродуктивну здатність мутації можуть бути *корисними*, *нейтральними*, *шкідливими* і *летальними*;

— залежно від глибини генетичних змін у клітині мутації можуть бути *геномними*, *генними* або *хромосомними аберраціями*.

Використання мутацій у селекції:

— пряме використання мутацій у селекції; виведення нових сортів;

— використання мутацій як вихідного матеріалу для гібридизації, для змінення генотипу, для створення гетерозисних гібридів;

— мутанти використовуються для отримання мутаційних змін у рослин, розмножуваних вегетативно;

— для усунення несхрещуваності за віддаленої гібридизації.

4.4.2. Штучний мутагенез. Методи отримання мутацій

Штучний мутагенез – це індуковане виникнення мутацій під дією фізичних, хімічних або біологічних мутагенів з метою отримання нових ознак або властивостей у рослин. Цей метод є важливим у селекції рослин для створення нових форм і сортів з покращеними якостями.

До основних методів отримання мутацій відносять нижчезазначені:

Фізичні мутагени – це випромінювання різного типу або фізичні фактори, які спричиняють мутації в ДНК. Застосовують для опромінення насіння, пилку або проростків з подальшою селекцією мутантів.

Це може бути рентгенівське випромінювання – використовується для створення хромосомних перебудов; гамма-випромінювання – ефективне для отримання мутацій у зернових культур; ультрафіолетове випромінювання – спричиняє точкові (генні) мутації; лазерне опромінення – сучасний метод, що стимулює обмін генетичним матеріалом.

Хімічні мутагени – це хімічні сполуки, які взаємодіють із ДНК і змінюють її структуру. До них варто віднести етиленімін – ефективний для індукції мутацій у злакових; нітрозоалкільні сполуки – зумовлюють мутації в ДНК шляхом заміни азотистих основ; колхіцин – використовується для створення поліплоїдів (подвоює кількість хромосом).

Цей метод застосовують для обробки насіння, бруньок або пилку розчинами хімічних речовин; витримування рослин у хімічних розчинах з контрольованими концентраціями.

Біологічні мутагени – це віруси, бактерії або продукти їхньої життєдіяльності, які можуть спричиняти мутації. Це віруси – змінюють генетичний матеріал рослин через вбудовування свого геному в ДНК господаря; транспозони – рухомі генетичні елементи, які спричиняють мутації за переміщення в геномі.

Різноманітність через мутації є основою всього вихідного матеріалу для селекції. Мутаційний процес є «постачальником» нових ознак, а індукований мутагенез забезпечує появу якісно нових генів. Теоретичні узагальнення та аналіз результатів генетичних і селекційних досліджень у селекції рослин дають підстави припустити можливість суттєвого подовження процесу формоутворення шляхом використання мутагенезу для отримання вихідного матеріалу. Цей метод дозволяє індукувати ознаки зі зміненими морфологічними, біологічними, біохімічними та фізіологічними характеристиками, деякі з яких є корисними для селекції. Запорукою успішного використання індукованих мутантів є ретельні генетичні дослідження. Адже індуковані мутанти – це нові форми модифікованих генетичних систем, створених у вихідному сорті шляхом природного або штучного добору у процесі селекції.

4.4.3. Поліплоїдія як метод селекції

Поліплоїдія – це збільшення кількості хромосомних наборів (геномів) у клітинах організмів понад нормальний (диплоїдний) рівень. У природі поліплоїдія трапляється в багатьох рослин і деяких тварин, а в селекції використовується як ефективний метод для створення нових сортів з покращеними ознаками.

У природі поліплоїдія трапляється природним чином і визначає один з аспектів еволюції рослин. Поліплоїдні види становлять щонайменше 50 % рослин (70–80 % і більше в однодольних). Більшість диплоїдних видів рослин поширені в гірських регіонах з великими добовими коливаннями температури, коротким вегетаційним періодом і сухим повітрям і ґрунтом. Поліплоїди виникають у природі двома шляхами: подвоєнням кількості хромосом у соматичних клітинах і утворенням гамет, у яких кількість хромосом не зменшується. Наявність поліплдоїдів було виявлено в рослин різних родів, причому види роду *Triticum* мають число хромосом 14, 28, 42 і 56. Цей ряд показує збільшення кількості плоїдності у процесі еволюції пшениці, яка має основне хромосомне число x=7. У природі сформувалися диплоїди із 2n=24, 36, 48, 60 і 72 видів картоплі (*Solanum* L.). З них 70 % – диплоїдні, 15 % – тетраплоїдні, 8 % – гексаплоїдні, 7 % – інші види. Проте найкращим і найпоширенішим видом картоплі є тетраплоїдний *Solanum tuberosum* L. (2n=48).

Поліплоїди, що виникають внаслідок подвоєння геному одного виду, називаються *автополіплоїдами*.

З відкриттям явища поліплоїдії селекціонерів зацікавила можливість використання поліплоїдів у практичній селекції. Поліплоїди були індуковані майже в усіх родах рослин, які використовуються в сільському господарстві.

Методи експериментальної поліплоїдії набули великого значення в роботах з виведення нових сортів рослин, за досить короткий період у цьому напрямі було досягнуто значних успіхів.

Позитивні властивості мають тетраплоїдні форми жита, гречки, люцерни, еспарцету, гороху, вики, сої, люпину й інших культур.

Але найбільших успіхів цей метод показав у селекції буряків цукрових на триплоїдному рівні. У триплоїдних буряків цукрових значно зменшується від'ємний корелятивний зв'язок між масою коренеплодів і їхньою цукристістю. Триплоїди стійкіші до хвороб і шкідників, вимогливіші до вологості ґрунту.

У триплоїдних гібридах поєднуються ефекти поліплоїдії та гетерозису. Поліплоїди, які виникають у результаті комбінації двох або більше геномів, що походять від різних видів, називаються *алополіплоїди*. Алополіплоїди можуть виникати лише за гібридизації видів, хромосоми яких через істотні відмінності не здатні до кон'югації. Алотетраплоїди, які виникають у результаті з'єднання і наступного подвоєння хромосомних наборів двох різних видів або родів, називають амфідиплоїдами (від грец. *amphi* – «обоє»).

Найбільше поширення цей метод знайшов у селекції тритикале. Професор А. Ф. Шулиндін (Інститут рослинництва імені В. Я. Юр'єва) використав як батьківські форми озимі тверді пшениці й жито. Перший гексаплоідний гібрид був отриманий спонтанно. Потомство цього гібрида за врожайністю перевищувало батьківську форму. Після цього була широко розгорнута робота зі створення гексаплоїдних тритикале гібридизацією озимих твердих пшениць і жита з наступним колхіцинуванням.

Результати багаторічної селекції та зміна методів створення гексаплоїдних тритикале в Інституті рослинництва (далі – ІР) імені В. Я. Юр'єва наведено в таблиці 4.1.

Комерційні сорти гексаплоїдного тритикале виведено в Угорщині, Канаді, Іспанії [8]. Нова культура дає зерно вищої якості, ніж пшениця. Білок тритикале

Таблиця 4.1 – Методи створення вихідного матеріалу гексаплоїдних тритикале та їхня ефективність (1973–2009 рр., ІР імені В. Я. Юр'єва)

Метод	Схрещуваність, %	Польова схожість, %	Вихід цінних ліній, %	Створено сорти
Пшениця 2n=28 / жито 2n=14	5,7	50,6	—	Амфідиплоїд 1
Пшениця 2n=42 / жито 2n=14 // тритикале 2n=42	1,1	56,7	18,1	АД 206, АД 201, АД6 0, АД 42…
Тритикале 2n=42 / пшениця 2n=42	20,3	62,9	12,3	Ладне
Тритикале 2n=42 / тритикале 2n=42	36,1	89,0	63,5	Гарне, Ратне, Степан, Раритет, Юнга, Амос, Букет, Шаланда
Внутрішньосортовий добір	—	—	0,2	АД 51

Джерело: [8]

за поживними властивостями перевищує білок пшениці. Значна частина поширених у природі поліплоїдних рослин, що розмножуються за природних умов насінням, є алополіплоїдами. До них належать більшість видів пшениці, вівса, тетраплоїдні види бавовнику, тютюн, бруква, ріпак, гірчиця, суниця звичайна, слива й інші культури.

4.4.4. Застосування методу гаплоїдії в селекції рослин

Поряд зі збільшенням кількості хромосом у результаті поліплоїдизації спостерігається і зворотний процес, коли зменшується рівень плоїдності організму, тобто їх деплоїдизація. Одним зі шляхів деплоїдизації є кратне зменшення кількості хромосом у клітині, або *гаплоїдизація*.

Уперше це явище було виявлено у пшениці, рису, жита, ячменю, кукурудзи, сорго, картоплі, цукрових буряків, льону, бавовнику, тютюну, перцю тощо.

Основними методами одержання гаплоїдів є:

— *гібридизація внутрішньовидова й віддалена.* Цим методом створені гаплоїди кукурудзи, ріпаку, картоплі, тютюну, ячменю та інших культур;

— *затримання запилення*, коли материнські рослини запилюються не відразу після кастрації, а за кілька діб. Позитивні результати отримано в селекції пшениці й кукурудзи;

— *зміна температурних умов*, яка може спричинити появу гаплоїдів до партеногенетичного розвитку. Хоч цей метод і малоефективний, але завдяки йому отримано гаплоїди кукурудзи, рису, тютюну, льону;

— *іонізувальне випромінювання* ефективно застосовують для одержання гаплоїдів пшениці, меншою мірою – кукурудзи, томатів, картоплі;

— *хімічна стимуляція зародкових мішків.* Оброблення різними стимуляторами материнських клітин – апробований метод виведення партенокарпічних плодів;

— *метод культури пилку*. Гаплоїдні рослини вдалося виростити на основі чоловічого гаметофіта з пилкових зерен, вирощених на штучному середовищі тютюну, рису, дурману.

Морфологічно гаплоїди подібні до вихідних форм, але мають менший габітус, дрібніше листя. Вони характеризуються більш раннім цвітінням і коротшим вегетаційним періодом.

4.4.5. Використання анеуплоїдії в селекції рослин

Анеуплоїдія – це явище, за якого організми мають надлишок або нестачу хромосом. У сучасній селекції рослин анеуплоїди відіграють важливу роль, зокрема для вивчення спадковості ознак, аналізу впливу окремих хромосом і генетичної модифікації. Шляхом вилучення або додавання окремих хромосом або їхніх фрагментів науковці можуть змінювати спадкові властивості організмів. Для цього створюються анеуплоїдні лінії, які відрізняються за наявністю

або відсутністю окремої хромосоми. Такі лінії розроблені для пшениці, тютюну, вівса, бавовни, ячменю, рису й інших культур.

Раніше анеуплоїдні форми мали обмежене практичне значення, але із часом ситуація змінилася. Створення серій моносомних, трисомних і нулісомних ліній дало нові можливості для генетичного аналізу та його застосування в селекції. Щодо м'якої пшениці, завдяки моносомним і нулісомним лініям вдалося визначити генний склад хромосом і локалізувати окремі гени, чого не можна було досягти звичайним гібридологічним методом.

Американський професор Е. Сірс зробив значний внесок у цю галузь, створивши повну серію 21-хромосомних ліній пшениці сорту Чайнз Спрінг. Завдяки його роботам вдалося локалізувати гени, що відповідають за забарвлення зерна (хромосома 3D), безостість (хромосоми 4B і 6B), довжину остюків (2A і 2B) та інші ознаки.

В Австралії в експерименті зі схрещування пшениці сорту Уругвай, стійкого до бурої іржі, з моносомними лініями сорту Чайнз Спрінг виявили, що стійкість до іржі контролюється домінантним геном, локалізованим у хромосомі 5D.

Проведені в Канаді дослідження трьох гексаплоїдних ліній м'якої пшениці (Кентетч, Дерк, Керн) з використанням методу моносомного аналізу показали, що кожна з ліній має два домінантні гени, які відповідають за відновлення фертильності та походять від пшениці *T. timopheevii*.

У Німеччині Д. Меттін виявив, що сорт озимої пшениці Кавказ містить сегмент хромосоми жита 1R(V), який замістив коротке супутникове плече хромосоми 1B пшениці. Це відкриття стимулювало дослідження з інтеграції хромосом жита в геном пшениці для підвищення стійкості до різних хвороб, зокрема борошнистої роси, бурої та листкової іржі.

В Україні створено понад 10 сортів озимої пшениці із трансплантацією 1B/1R, серед яких Миронівська 61, Миронівська 65 і Крижинка. Додавання хромосом від *Agropyron intermedicum* підвищило стійкість м'якої пшениці до бурої та листкової іржі, а хромосоми *Agropyron elongatum* – до стеблової та жовтої іржі [9].

4.5. Гетерозис як метод селекції

4.5.1. Поняття і класифікація гетерозису

Гетерозис, або ***гібридна сила***, – це складне біологічне явище, яке спостерігається в деяких гібридів першого покоління (F_1). Воно характеризується перевагою нащадків над батьківськими формами за такими показниками, як продуктивність, стійкість до хвороб і шкідників, витривалість до несприятливих зовнішніх умов і підвищений вміст біохімічних речовин. Зовнішніми ознаками гетерозису є посилення життєвої сили, збільшення маси рослин, висока стійкість до захворювань, інтенсивний ріст і накопичення цінних речовин.

Гетерозис має кілька форм.

Справжній гетерозис проявляється, коли показники гібридів перевищують показники кращої батьківської форми, тоді як за гіпотетичного гетерозису гібриди переважають середні показники своїх батьків.

Соматичний гетерозис визначається перевагою за масою вегетативних органів, а репродуктивний – підвищеною фертильністю, розвитком квіток і кількістю плодів.

Адаптивний гетерозис забезпечує стійкість до несприятливих умов середовища, тоді як конкурсний дозволяє порівнювати гібрид з найкращим сортом.

Для селекції важливо, щоб гібридні рослини перевищували своїх батьків за такими ознаками, як урожайність, розмір вегетативної маси, імунітет до хвороб, витривалість до стресових факторів, стійкість до вилягання та якість продукції. Досвід показує, що використання гетерозисних гібридів дозволяє підвищити продуктивність в 1,3–1,5 раза. Вони особливо ефективні в таких культурах, як кукурудза, цукровий і кормовий буряк, соняшник і овочеві культури. Найвищий ефект від гетерозису спостерігається за інтенсивного способу виробництва, у захищеному ґрунті або за умови зрошення.

Історія відкриття гетерозису почалася в 1760 р., коли вчений І. Г. Кьольрейтер уперше описав явище гібридної сили. У 1876 р. Ч. Дарвін опублікував роботу, присвячену цьому явищу. Під її впливом у 1878 р. Джон Білл під час схрещування сортів кукурудзи відібрав форми, гібриди яких перевищували батьків за продуктивністю на 10–15 %. Він розробив рентабельну технологію виробництва гібридного насіння, але його праця не зацікавила фермерів, що призвело до банкрутства.

Перші теоретичні основи гетерозису були закладені в 1908–1912 рр. Було встановлено, що гетерозисний ефект виникає в результаті схрещування інцухт-ліній. Це дало поштовх до вивчення і створення чистих ліній за допомогою методу інбридингу – тривалого самозапилення перехреснозапильних рослин. Уперше цей метод застосував Г. Шелл у 1904 р. на кукурудзі [8]. Він виявив, що продуктивність за глибокого інцухт-розведення знижується вдвічі, але за схрещування інцухт-ліній урожайність гібридів зростала на 30 % порівняно з батьківськими формами.

4.5.2. Використання інцухту в селекції на гетерозис

Інцухт-лінії (*самозапильні*) – це нащадки однієї перехреснозапильної рослини, отримані в результаті інбридингу. Інцухт-лінії позначають символом J: перше покоління – J1, друге – J2 і так далі.

Інбридинг – це примусове самозапилення перехреснозапильних рослин протягом багатьох поколінь (7–8). У результаті цього процесу збільшується рівень гомозиготності, що призводить до явища інбредної депресії – погіршення життєздатності й продуктивності рослин [8].

Ступінь депресії під впливом інбридингу оцінюється за коефіцієнтом інбридингу, який показує рівень гомозиготності популяції. З кожним поколінням цей показник подвоюється.

Вихідним матеріалом для створення інцухт-ліній слугують кращі сорти й гібриди. Техніка відтворення інцухт-ліній охоплює кілька послідовних етапів:

1-й рік. Відбирають найкращі форми й проводять їх самозапилення.

2-й рік. Із кожної рослини відбирають 30–40 насінин і висівають їх. Самозапилюють 8–12 рослин у кожній сім'ї.

3-й рік. Після висіву відбирають 30–40 насінин із кожної рослини. Проводять вибракування сімей із незадовільним розвитком, а решту рослин (6–10 у кожній сім'ї) знову самозапилюють.

4-й рік. Насіння кожної рослини ділять на дві частини: одну частину висівають для продовження самозапилення, а другу – для оцінювання загальної комбінаційної здатності (далі – ЗКЗ).

5-й рік. Відбирають життєздатні лінії, проводять їх самозапилення, а також оцінюють рівень загальної та спеціальної комбінаційної здатності (далі – СКЗ).

6-й рік. Лінії набувають чітких характеристик. Робота ведеться у двох напрямах: продовження відбору кращих ліній із самозапиленням і повторне оцінювання рівня ЗКЗ і СКЗ.

7-й рік. На основі результатів оцінювання ЗКЗ і СКЗ відбирають найкращі лінії та включають їх у діалельні схрещування для отримання гетерозисних гібридів.

Отже, створення інцухт-ліній є тривалим і складним процесом, що потребує ретельного відбору й оцінювання. Отримані лінії мають велике значення для виведення гетерозисних гібридів із високою продуктивністю та цінними господарськими ознаками.

Окрім інцухтування, для отримання гомозиготних ліній широко застосовують *цитоплазматичну чоловічу стерильність* (далі – ЦЧС). ЦЧС – це явище, яке контролюється взаємодією генетичних факторів цитоплазми та генів ядра. Воно виникає внаслідок специфічних мутацій і передається по материнській лінії. Основою генетичного механізму ЦЧС є те, що стерильність забезпечується рецесивним алелем домінантного гена, а відновлення фертильності можливе завдяки наявності гена-відновлювача. ЦЧС активно використовується в селекції для відтворення гомозиготних ліній у кукурудзі, соняшнику й цукровий буряках. Джерелами стерильності є форми із цитоплазмою, яка несе ЦЧС.

У кукурудзи відомі такі типи ЦЧС, як молдавський (М), техаський (Т), болівійський (Б), парагвайський (П або С).

4.5.3. Проблема закріплення гетерозису

Проблема закріплення гетерозису є однією з найактуальніших у селекційній науці. Оскільки гетерозис проявляється лише в гібридів першого покоління, насіння таких гібридів необхідно вирощувати щороку (рис. 4.1, див. с. 139). Це значно ускладнює насінництво для багатьох культур і робить гібридне насіння дуже дорогим. Селекціонери та генетики активно працюють над пошуком рішень для закріплення гетерозису, що дозволило б зберегти його переваги в наступних поколіннях.

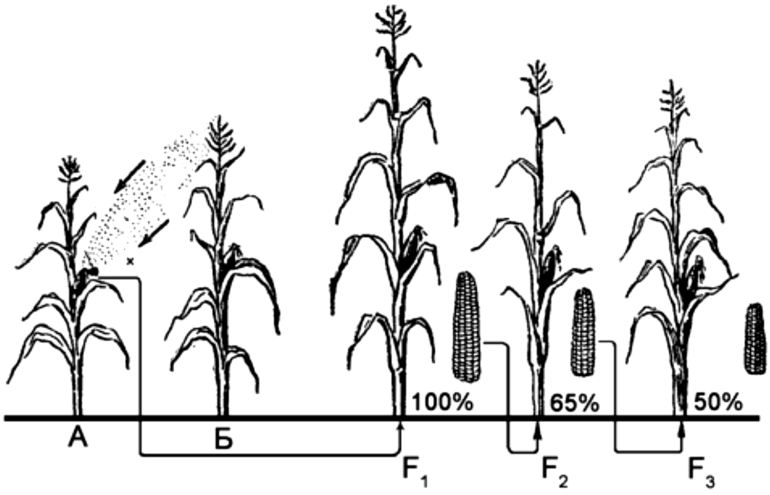


Рисунок 4.1 – Гібридна сила у F_1 і характер її зниження в поколіннях [10]

У вегетативно розмножуваних рослин гетерозис може зберігатися протягом багатьох років. Це досягається під час розмноження бульбами, цибулинами, живцями, корінням чи вусами. Так, багато сортів картоплі, плодових і ягідних культур, а також винограду, виведених із гібридних сіянців, стійко зберігають гетерозисні властивості.

Для рослин, які розмножуються насінням, ефективним способом закріплення гетерозису може стати апоміксис – безстатеве насіннєве розмноження. У такому разі клітини апоміктичних зародків мають спадкову інформацію материнських рослин і зберігають гетерозис у нащадків. Такий метод виявився успішним у цитрусових культурах, бананах і деяких інших рослинах.

Однак у більшості культурних рослин, як-от зернові, бобові, круп'яні та коренеплоди, здатність до апоміктичного розмноження або зовсім відсутня, або виражена слабко, що практично унеможливлює закріплення гетерозису.

Підтримати гетерозисний ефект у кількох поколіннях можна шляхом поліплоїдії. В автополіплоїдів у другому та наступних поколіннях процес розщеплення відбувається повільніше, ніж у вихідних диплоїдних форм. Проте успіхи в цьому напрямі поки що досить скромні.

Без сумніву, вирішення проблеми закріплення гетерозису є вкрай важливим для сільського господарства й потребує значних зусиль з боку науковців.

4.6. Добір як основний метод аналітичної селекції

4.6.1. Роль добору в селекції

Селекція рослин нерозривно пов'язана з добором, адже для успішного здійснення цього процесу необхідно вміти розпізнавати кращі форми серед великого розмаїття популяцій. Добір може проводитися як у природних популяціях, так і у штучно створених умовах.

Основи вчення про добір заклав Ч. Дарвін, виділивши такі його види: *природний*, *несвідомий*, *штучний* та *цілеспрямований (свідомий) штучний добір*.

Природний добір є головним фактором еволюції, він відбувається без утручання людини у природних умовах, коли виживають і дають потомство лише ті форми, що найкраще пристосувалися до середовища.

Штучний добір має тривалу історію застосування в землеробстві. Протягом століть існував несвідомий добір, який поклав початок народній селекції. Свідомий штучний добір почали активно застосовувати наприкінці вісімнадцятого століття на основі знань із біології та ботаніки. Цей метод дозволяє виділяти найбільш корисні рослинні форми, розвивати й закріплювати бажані ознаки в наступних поколіннях. Ч. Дарвін і його послідовники наводили численні приклади вдосконалення культурних рослин у процесі добору. Наприклад, завдяки цілеспрямованому добору вміст цукру в коренеплодах буряку цукрового за сто років зріс із 7 до 22 %.

Штучний добір сприяв підвищенню врожайності культур, збільшенню вмісту білка в зерні, олії в насінні соняшнику, вітамінів і органічних кислот в овочах і фруктах. Його результативність залежить від інтенсивності селекції, частоти генів, кількості ознак, що контролюють ці ознаки, і методів запилення. Вчення про штучний добір стало головною теоретичною основою для роботи селекціонерів, підвищило ефективність їхньої діяльності.

У селекції нових сортів важливо проводити добір рослин не лише за однією ознакою, а за цілим комплексом характеристик. Однобічний підхід, наприклад, лише за продуктивністю або вмістом цукру, часто призводить до негативних наслідків. Комплексні показники, як-от урожайність, стійкість до несприятливих умов, хвороб і шкідників, якість продукції та придатність до інтенсивних технологій, мають бути в центрі уваги селекціонера. Особливості добору визначаються специфікою екологічної зони. Наприклад, під час селекції на стійкість до хвороб необхідно визначити, які захворювання найбільш небезпечні в конкретній зоні, і вести добір саме на стійкість до них.

4.6.2. Особливості використання масового добору

Масовий добір відіграє важливу роль у вдосконаленні сільськогосподарських рослин, підвищує їхню продуктивність та якість. Більшість місцевих сортів були створені саме завдяки цьому методу й стали основою для подальших

селекційних робіт. Його застосовують як для перехреснозапильних, так і для самозапильних культур, щоб покращити існуючі сорти або створити нові.

Основою для масового добору є різноманітні місцеві сорти-популяції, з яких виділяють найкращі форми. Цей метод найбільш ефективний, коли спрямований на адаптацію рослин до навколишніх умов: підвищення врожайності, стійкість до несприятливих факторів або життєздатність. Складніше добиватися змін, які не відповідають природній пристосованості рослин, наприклад, збільшення вмісту цукру в буряках чи крохмалю в картоплі. Такі характеристики штучно створені у процесі селекції.

Масовий добір поділяють на *негативний* і *позитивний*.

Негативний масовий добір передбачає видалення слабших рослин із популяції, залишаючи найпродуктивніші. Цей метод малоефективний для сучасної селекції, хоча іноді його застосовують для покращення генетично неоднорідного матеріалу.

Позитивний масовий добір полягає у відборі найкращих рослин кожного покоління з подальшим об'єднанням їхнього насіння. Його поділяють на *одноразовий* і *багаторазовий (безперервний)*.

Одноразовий масовий добір використовують для поліпшення сортів, особливо за значного засмічення насіння або необхідності оздоровлення сорту. Відбирають здорові, добре розвинені рослини, які після оцінювання дають насіння для подальшого розмноження.

Багаторазовий (безперервний) масовий добір спрямований на створення нових сортів. У перший рік висівають матеріал і відбирають найкращі рослини. Процес повторюється кілька років поспіль із детальним аналізом відібраних зразків, що дозволяє отримати рослини з покращеними характеристиками.

Важливою умовою успішного масового добору є правильна організація оцінювання відібраних зразків. Порівняння результатів із вихідним матеріалом і стандартними сортами дозволяє контролювати ефективність добору.

Переваги масового добору включають збереження генетичної різноманітності та можливість швидко покращувати великі обсяги матеріалу. Однак цей метод має і недоліки: складність виділення рецесивних ознак і обмеження в оцінюванні деяких характеристик. У перехреснозапильних культур масовий добір часто поєднують із контрольованим запиленням для підвищення ефективності.

Рекурентний фенотиповий добір застосовують у селекції кукурудзи для підвищення стійкості до хвороб і шкідників, поліпшення якості зерна та створення нових ліній із двома качанами.

4.6.3. Індивідуальний добір

Індивідуальний добір передбачає оцінювання потомства елітних рослин, які були відібрані та розмножені окремо. У самозапильних культур він зазвичай одноразовий, тоді як у перехреснозапильних – багаторазовий або безперервний. Цей метод став важливим кроком уперед в історії селекції, оскільки дає

змогу визначити справжню спадкову цінність кожної рослини, яка може бути прихована через зовнішні чинники. Саме тому селекціонери почали оцінювати потомство кожної рослини.

Нині індивідуальний добір уважають одним із найефективніших методів селекції. Він дозволяє виділяти рослини як за кількісними ознаками, так і за домінантними генотипами. Індивідуальний добір може бути одноразовим або багаторазовим.

Одноразовий індивідуальний добір проводять так: із загальної кількості рослин на селекційній ділянці відбирають найкращі за визначеними ознаками. Насіння кожної відібраної рослини зберігають окремо і висівають наступного року ділянками родинами. Урожай кожної родини порівнюють із вихідною формою, для подальшої роботи залишають ті родини, які відповідають заданим критеріям. Потім ці родини оцінюють на наступних етапах селекційного процесу.

Цей метод найчастіше застосовують для самозапильних культур з метою поліпшення сорту за деякими ознаками. Основною його метою є виведення з відібраних елітних рослин нових форм через усі етапи селекційного процесу.

Багаторазовий індивідуальний добір триває кілька років, протягом яких елітні рослини відбирають у кожному поколінні. Метою є створення нової форми рослин, яка б відповідала критеріям селекціонера. Такий добір може тривати 3–4 роки, після чого отримані форми рослин підлягають подальшому оцінюванню.

Безперервний індивідуальний добір використовується для перехреснозапильних культур з метою підтримки або закріплення в сорту окремих ознак протягом усього періоду його використання. Робота з родинами ведеться з покоління в покоління до появи продуктивнішої родини, яка замінює попередню.

Різниця між багаторазовим і безперервним добором умовна. Безперервний добір переважно використовують у насінництві для підтримки високих сортових якостей.

На початку селекційної роботи в Україні використовували метод прямого індивідуального добору із природних місцевих популяцій. Згодом сорти, отримані з місцевих форм, замінили на сорти, створені шляхом сортополіпшувального добору серед селекційних сортів – спочатку лінійних, а потім і гібридних.

Сучасна селекція базується на складній гібридизації з використанням кількох найкращих сортів. У цьому процесі широко застосовують метод внутрішньосортового індивідуального добору.

Метод педігрі. Цей метод застосовують у гібридних популяціях, де розщеплення починається з покоління F_2. Однак через те, що гомозиготи (АА) і гетерозиготи (Аа) у фенотипі F_2 виглядають однаково, у наступних поколіннях знову відбувається розщеплення. Тому кожне потомство вирощують окремо, аналізують його генетичну структуру, кількість рослин і відібраних генотипів.

Потомства, які зберігають стабільність морфологічних ознак, оцінюють упродовж кількох років, порівнюють їх зі стандартом. Коли потомство дає розщеплення, добір повторюють із виділенням нових елітних рослин. Оскільки кожне покоління потребує окремого аналізу, обсяг роботи поступово збільшується.

Метод пересіву. Суть цього методу полягає в тому, що нові гібридні популяції вирощують без проведення добору до поколінь F_6–F_7, коли рослини стають майже цілком гомозиготними. Лише після досягнення стабільності ознак починають добір.

4.6.4. Клоновий добір

Клоновий добір застосовують для культур, які розмножуються вегетативно, наприклад для картоплі. Процес включає кілька етапів відбору:

— перший етап проводять у фазу цвітіння, звертають увагу на розвиток куща та відсутність бактеріальних і грибкових захворювань;

— другий етап проходить наприкінці цвітіння до відмирання бадилля, коли перевіряють кущі на наявність вірусних інфекцій, кільцевої гнилі й інших хвороб. Усі хворі рослини вилучають;

— заключний етап відбору здійснюється під час збирання врожаю. Викопані кущі розкладають у ямки, де оглядають бульби. Найкращими вважаються гнізда з великою кількістю товарних бульб (маса понад 50 г) без ознак захворювань.

Бульби від кожного куща зберігають окремо в перфорованих пакетах, а навесні висаджують під своїми номерами. Упродовж вегетації проводять фенологічні спостереження, вилучають кущі з ознаками хвороб.

На другий рік висаджують 2–4 ряди бульб від кожного клону. Проводиться повторний відбір за кущами, які мають високі показники, а хворі рослини виключають. Зібрані бульби із кращих кущів змішують і використовують для третього року випробувань.

На третій рік проводять висів на більших ділянках (6-разове повторення по 35 кущів) із регулярним порівнянням зі стандартом через кожні 10–15 рядків. Знову проводять бракування хворих і слабких рослин. Залишають лише ті клони, які стабільно дають високі результати й не уражені хворобами.

Клоновий добір широко застосовується для створення нових сортів і отримання елітного садивного матеріалу. Він дозволяє ефективно контролювати здоров'я та продуктивність потомства.

4.7. Методи оцінювання селекційного матеріалу

4.7.1. Принципи оцінювання селекційного матеріалу

Селекція може проводитися за різними ознаками та властивостями рослин, як-от морфологічні, фізіологічні, біохімічні, онтогенетичні, стійкість до стресових факторів середовища, адаптивні властивості тощо. Практика довела, що можна посилювати окремі ознаки рослин, оскільки вони проявляються

на різних рівнях: морфологічному, фізіологічному, генетичному, біохімічному й екологічному. Взаємозв'язок цих рівнів дозволяє за однією ознакою судити про інші, оскільки живі системи є цілісними.

Формування врожаю є результатом складних біологічних механізмів, які включають взаємодію фотофізичних, фотохімічних і фізіолого-біохімічних процесів із постійно змінними умовами навколишнього середовища. Рівень урожаю, його стабільність і якість визначаються двома основними групами факторів: *генетично зумовленими властивостями сорту* й *умовами його вирощування*.

Рослина є відкритою біологічною системою, яка для саморозвитку потребує енергії та речовин. Будь-який фактор зовнішнього середовища може впливати на різні етапи розвитку рослини. У процесі онтогенезу взаємодія продуктів активності генів проявляється морфологічними, фізіологічними ознаками й адаптивними реакціями. Ці ознаки є етапами реалізації спадкових особливостей генотипу, що в підсумку виражаються в кількісних і якісних показниках, характерних для конкретної рослини.

Сучасні методи створення нових сортів базуються на досягненнях генетики, фізіології, біохімії та на оцінюванні їхньої продуктивності й стійкості до стресових факторів середовища. Оцінювання селекційного матеріалу проводиться на всіх етапах селекційного процесу – від початкових стадій до отримання сформованого сорту.

Під оцінюванням селекційного матеріалу розуміють аналіз його господарських і біологічних ознак, які визначають цінність сорту. Результати оцінювання порівнюють зі стандартом – найкращим із районованих сортів, занесених до Державного реєстру, що рекомендовані для вирощування у визначеній зоні. Селекційні зразки порівнюють один з одним, з вихідними батьківськими формами та зі стандартами за такими показниками, як стійкість до хвороб і шкідників, посухостійкість, зимостійкість та інші господарсько важливі ознаки.

Найголовнішими критеріями оцінювання є продуктивність рослин і врожайність. Оскільки оцінювання сортів передбачає проведення аналізу численних ознак, воно є складним і тривалим процесом, що потребує використання різних методів дослідження. Ці методи можна поділити на три основні групи, кожна з яких відповідає окремим аспектам оцінювання селекційного матеріалу.

4.7.2. Основні методи оцінювання селекційного матеріалу

Методи оцінювання селекційного матеріалу спрямовані на визначення його господарських і біологічних ознак для оцінювання цінності сорту. На кожному етапі селекційного процесу проводять оцінювання дослідного матеріалу, зокрема сортів, гібридів, ліній або популяцій. Для цього використовують такі методи: *польовий*, *лабораторно-польовий*, *провокаційний* та інші.

Оцінювання за тривалістю вегетаційного періоду. Оцінювання рослин за тривалістю вегетаційного періоду проводиться шляхом фенологічних

спостережень за фазами їхнього росту та розвитку. У зернових культур визначають такі основні фази: сходи, кущіння, вихід у трубку, колосіння, цвітіння та дозрівання. Настання кожної фази фіксують за відсотком рослин, які досягли цього етапу: початок фази відзначають тоді, коли 10 % рослин увійшли в неї, а повна фаза фіксується, коли цього досягли 75 % рослин.

Сходи зернових визначають за появою першого листка. У таких культур, як гречка, соняшник і бобові, сходами вважають появу сім'ядольних листків, а в решти культур – появу перших поодиноких листків. Кущіння у злакових фіксують, коли з пазух листків з'являються скручені бічні пагони. Вихід у трубку визначають за відособленням стебла. Колосіння – колос наполовину вийшов із пазухи верхнього листка. Цвітіння настає, коли 75 % пиляків з'явилися назовні.

Дозрівання зернових проходить три етапи: молочна, воскова та повна стиглість. У молочну стиглість зерно має зелений колір і заповнене молочним соком. На етапі воскової стиглості зерно набуває жовтого кольору й м'яко ріжеться, а за повної стиглості стає твердим.

Тривалість вегетаційного періоду є ключовим показником для кожного селекційного зразка. На його основі визначають, чи придатний сорт для вирощування в конкретній ґрунтово-кліматичній зоні.

Оцінювання селекційного матеріалу за продуктивністю базується на аналізі структури врожаю. Основними елементами цієї структури є кількість продуктивних стебел на одиниці площі, кількість колосків і зерен у колосі, а також маса 1000 зерен. Показники можуть значно варіювати залежно від біологічних особливостей сорту чи гібрида й умов вирощування.

Для обліку врожаю використовують різні методи залежно від розміру дослідних ділянок. Суцільний облік передбачає збирання, обмолочування та зважування врожаю з усієї ділянки, щоб отримати підсумкові результати.

Метод пробних ділянок застосовують під час випробувань на великих площах. Пробні ділянки зазвичай мають розмір 1 м^2. Рослини із цих ділянок скошують, обмолочують, очищають зерно та зважують.

Знаючи площу пробної ділянки та масу зібраного зерна, обчислюють урожайність, яку потім перераховують на гектар. Це дозволяє отримати точні дані про продуктивність сорту або гібрида, порівняти їх з іншими зразками.

Оцінювання селекційного матеріалу на якість продукції є важливим етапом, оскільки, окрім високої врожайності, сорти мають забезпечувати ще і якісну продукцію. Якість залежить від культури й охоплює різні аспекти. У зерні пшениці й бобових важливим показником є вміст білка, у коренеплодах цукрових буряків – уміст цукру, а в насінні соняшнику – уміст олії. Картопля повинна мати добрі смакові якості та високий уміст крохмалю, білка й вітамінів.

Для оцінювання якості зерна пшениці використовують показник натури, тобто масу однієї зернини у грамах. Скловидність зерна характеризує консистенцію ендосперму та його твердість. Вміст білка і якість клейковини визначають автоматизованими приладами. Хлібопекарські властивості залежать від співвідношення білка й клейковини. Найкращим уважається зерно

сильної пшениці з умістом білка не менш ніж 14 %, сирої клейковини – 32 %, скловидністю – 70 %.

В олійних культур (соняшник, ріпак) головним показником якості є вміст жиру, який має становити 45–50 %. Для визначення олійності застосовують екстракційний метод із використанням експрес-аналізаторів.

Якість бульб картоплі оцінюють за формою, глибиною вічок, кольором шкірки й м'якуша, смаковими властивостями, а також за вмістом крохмалю, білка й амінокислот. Для цього використовують візуальні та лабораторні методи.

Оцінювання на зимостійкість є важливим етапом у селекції озимих культур, оскільки ця біологічна властивість визначає здатність рослин витримувати несприятливі умови зимівлі. Попри досягнення в селекції, багато сортів усе ще залишаються не досить стійкими до низьких температур. Найточніші дані про зимостійкість отримують за допомогою польових методів, як-от *метод контрольних ділянок*, *метод моноліті* та інші.

Оцінювання селекційного матеріалу на посухостійкість є важливим етапом для визначення здатності рослин витримувати нестачу вологи. Посуха буває трьох типів: *ґрунтова*, *атмосферна* та *комбінована*. Потреба рослин у воді змінюється залежно від фази вегетаційного періоду – від сходів і кущіння до цвітіння і наливання зерна.

У селекційній практиці часто застосовують прямий польовий метод, коли ступінь посухостійкості визначають за зниженням урожаю в посушливі роки без спеціальних експериментів. Основними показниками посухостійкості є міцність, глибина проникнення, розгалуженість і вбирна здатність кореневої системи. Порівняння врожайності досліджуваних сортів із контрольними дозволяє оцінити рівень посухостійкості. Додатковими критеріями є кількість загиблих рослин, кількість відмерлих листків і швидкість втрати тургору. Усі ці дані допомагають створити повніше уявлення про стійкість рослин до посухи, що дозволяє обрати більш адаптовані сорти для вирощування в посушливих умовах.

Оцінювання селекційного матеріалу на стійкість до хвороб і шкідників є важливим етапом у створенні нових сортів. Формування стійких сортів – це найефективніший спосіб боротьби із хворобами та шкідниками, який дозволяє зменшити витрати на захист рослин і водночас забезпечити вирощування екологічно чистої продукції. Такі сорти знижують потребу в хімічних засобах, що допомагає захищати навколишнє середовище. Стійкими вважаються сорти, які або зовсім не пошкоджуються шкідниками, або здатні швидко відновлювати ріст пошкоджених тканин і органів. Це значно підвищує їхню продуктивність і стійкість до несприятливих умов, забезпечує стабільні врожаї.

4.8. Теоретичні основи насінництва

4.8.1. Організація насінництва в Україні

Урожайність сільськогосподарських культур залежить не лише від агротехніки, а й від правильного вибору сортів, які мають низку важливих ознак і властивостей. Сорт – це найпростіший і найдешевший спосіб підвищення врожайності, поліпшення якості продукції та зниження її собівартості. Він являє собою сукупність споріднених рослин окремої культури, створених селекційним шляхом і наділених стабільними спадковими морфологічними, біологічними та господарсько цінними ознаками.

Потенціал сорту реалізується лише за умови використання якісного насіння з високими показниками чистосортності, схожості, стійкості до хвороб і шкідників. Однак у процесі тривалого розмноження можливе погіршення якості насіння через різні чинники. Збереження сортових ознак і господарських властивостей можливе лише за умов добре організованого насінництва.

Завданням насінництва є підтримання та збереження спадкових біологічних, морфологічних і господарсько цінних ознак сортів, а також забезпечення високої якості посівного матеріалу.

Для цього важливо створювати оптимальні умови для вирощування материнських рослин і дотримуватись сучасних насінницьких технологій. На насіннєвих ділянках повинні бути забезпечені всі агротехнічні заходи: обробіток ґрунту, внесення добрив, боротьба з бур'янами, хворобами та шкідниками. Ці роботи треба проводити першочергово й у визначені строки, щоб зберегти вологу та забезпечити оптимальний фітосанітарний стан посівів.

Якісне насіння є основним чинником успіху в сільськогосподарському виробництві. Тому насінництву належить ключове місце в аграрному секторі, що забезпечує виробництво сортового насіння для сівби та створення страхових фондів.

У нашій державі функціонує науково обґрунтована система насінництва, яка забезпечує швидке розмноження, упровадження та виробництво нових сортів. Її головним завданням є вирощування сортового насіння необхідної якості для проведення сівби та створення страхових фондів [11].

За етапами насінництва сортове насіння сільськогосподарських культур поділяється на такі категорії:

Добазове насіння (далі – ДН) – це насіння первинних ланок, отримане шляхом добору родовідних рослин і оцінювання їхнього потомства для збереження сорту.

Базове насіння (далі – БН) – отримане від послідовного розмноження оригінального насіння, воно передає спадкові ознаки сорту та відповідає вимогам Державного стандарту для еліти.

Сертифіковане насіння (далі – СН-1, СН-2, СН-н) – отримане шляхом послідовного розмноження добазового насіння зернових культур, поділяється на перший і наступні роки сертифікації.

Гібридне насіння (далі – F_1) – це насіння, отримане від схрещування генетично різних батьківських форм.

Система насінництва передбачає постійний контроль якості насіння на всіх етапах його вирощування, збирання, післязбиральної обробки, зберігання, реалізації та використання. *Сортовий контроль* проводиться безпосередньо в господарствах, які вирощують насіння, і триває протягом усього насінницького циклу. Головною його метою є запобігання зниженню сортових якостей насіння, відповідно до вимог стандартів для кожної категорії.

Чітка й злагоджена робота всіх ланок системи насінництва дозволяє зберегти цінні біологічні та господарські ознаки сортів, підтримувати високий рівень сортових і насіннєвих якостей, а також забезпечувати стабільну врожайність.

4.8.2. Різноякісність насіння

Різноякісність насіння пояснюється його природною неоднорідністю, оскільки кожна насінина або плід має власні індивідуальні характеристики. Навіть насіння одного генотипу або з одного суцвіття чи колоса може вирізнятися морфологічними, анатомічними, фізіолого-біохімічними та генетичними особливостями. Ця неоднорідність зумовлена різними чинниками. По-перше, вона залежить від місця розташування насінини на материнській рослині – у різних частинах колоса, качана або на гілках різного порядку. По-друге, важливу роль відіграють умови вирощування: погодні фактори, ґрунтово-кліматичні умови та рівень агротехніки. Окрім того, генетичні особливості також впливають на якість насіння.

Відповідно до класифікації І. Г. Строни, різноякісність насіння поділяється на три категорії: *материнську*, *екологічну* й *генетичну*. Кожна з них відображає вплив різних чинників на розвиток і якість насіння, що варто враховувати в насінництві для забезпечення стабільної врожайності [12].

Материнська (матрикальна) різноякісність насіння зумовлена його неоднаковим розташуванням на материнській рослині, що створює різні умови живлення і призводить до різної якості насіння. Насіння, яке формується в різних частинах колоса, качана, суцвіття чи на гілках різного порядку, отримує неоднакову кількість поживних речовин і води. Це впливає на його морфологічні та фізіологічні характеристики.

Однією із причин материнської різноякісності є асинхронність органоутворення на різних пагонах. Молодші пагони можуть відставати в розвитку на два-три етапи органогенезу, що часто призводить до їх зупинки в розвитку або поступового відмирання. Якщо насіння все ж формується на таких пагонах, його якість значно гірша порівняно з насінням, яке утворилося раніше. Старші пагони мають кращий доступ до поживних речовин і води, оскільки їхня коренева система глибше проникає у ґрунт, а провідна система більш розвинена. У результаті на головних пагонах формується насіння вищої якості, тоді як на бокових пагонах воно менш якісне.

Це ж явище спостерігається в різних частинах колоса. Насіння середньої частини колоса має найкраще забезпечення поживними речовинами завдяки більшій кількості провідних пучків порівняно з верхньою і нижньою частинами. Тому саме в середній частині формується найбільш якісне насіння, тоді як у верхній і нижній частинах воно менш розвинене.

У соняшника материнська різноякісність також виражена. Крайні сім'янки в кошику отримують більше асимілятів, ніж центральні. Це призводить до того, що маса крайніх сім'янок приблизно в 1,5 раза більша, ніж центральних.

Отже, материнська різноякісність є природним процесом, що виникає через різні умови живлення і неоднорідність розвитку репродуктивних органів рослин.

Екологічна різноякісність насіння виникає під впливом різноманітних екологічних чинників на його формування і якість. Багато прикладів цього явища можна спостерігати у практиці насінництва. Так, насіння з полеглих хлібів, що постраждали через несприятливі погодні умови, має знижену посівну якість і врожайні властивості.

На екологічну різноякісність насіння впливають майже всі агротехнічні фактори: строки й способи сівби, норми висіву, внесення добрив і пестицидів, зрошення, строки та методи збирання врожаю. Однак найбільше значення мають ґрунтово-кліматичні умови й метеорологічні чинники.

Дія екологічних умов на якість насіння починається ще на етапі утворення гамет – чоловічих і жіночих статевих клітин. У злакових культур цей процес збігається з п'ятим етапом органогенезу, тобто під час виходу у трубку. У більшості інших рослин гамети формуються під час утворення бутонів і їхнього росту. За сприятливих умов – теплої погоди, належного зволоження та забезпечення мінеральним живленням – формуються повноцінні гамети. Вони утворюють зиготи з високим рівнем життєздатності, що передається майбутній насінині. Натомість несприятливі умови можуть призвести до порушення процесу запилення і запліднення, що знижує життєздатність зародку.

Для перехреснозапильних рослин велике значення мають умови, які сприяють успішному перезапиленню. До них належать відсутність тривалих дощів і сильного вітру, присутність комах-запилювачів, оптимальні умови для виділення нектару. Допоміжні заходи під час цвітіння, як-от штучне запилення або вивезення пасіки на поле, не лише підвищують урожайність, а й покращують якість насіння.

Несприятливі умови в цей період можуть спричинити явище «черезззерниці», коли частина зерен формується неповноцінними. Це значно погіршує якість насіння, знижує його життєздатність і врожайний потенціал.

Генетична різноякісність насіння є результатом поєднання спадкових ознак батьківських форм під час запліднення. Вона також пов'язана із множинністю та вибірковістю запліднення [13]. Окрім того, на генетичну різноякісність впливають специфічні чинники, які спричиняють спадкові зміни, як-от мутації. Цей тип різноякісності формується ще у процесі цвітіння і тісно пов'язаний із різноякісністю гамет чоловічого і жіночого гаметофітів.

4.8.3. Причини зниження якості насіння

Вони пов'язані із тривалим процесом розмноження сортів і дією різних негативних чинників, що призводять до погіршення сортових властивостей і врожайності. Основні причини цього явища такі.

Механічне засмічення. Механічне засмічення насіння виникає через порушення правил насінницької сівозміни або необережність під час збирання, зберігання і обробки насіння. Воно особливо небезпечне, коли попередня культура має схоже за розміром і формою насіння, яке важко відокремити (наприклад, домішки жита у пшениці, вівсюга у вівсі, м'якої пшениці у твердій).

Рослини-домішки зазвичай швидше ростуть і дозрівають, витісняють основну культуру. Таке засмічення поступово наростає, за кілька років домішки цілком пригнічують основний сорт.

Основні причини механічного засмічення: змішування насіння під час висіву через неочищені сівалки; збирання різних сортів одним комбайном; складування на спільних майданчиках; не досить очищені насіннєочисні машини [14].

Запобігти цьому можна дотриманням правил насінництва: ретельно очищати техніку, використовувати окремі місця та мішки для кожного сорту.

Біологічне засмічення. Основною причиною біологічного засмічення є перезапилення перехреснозапильних культур (наприклад, перезапилення цукрових буряків із кормовими або столовими, соняшнику олійного із гризовим). Це призводить до втрати сортових ознак.

Для запобігання біологічному засміченню необхідно дотримуватись норм просторової ізоляції між посівами різних сортів.

Розщеплення ознак. У самозапильних культур (зокрема, пшениці) домішки можуть з'являтися внаслідок спонтанної гібридизації. Це особливо характерно для сортів напівкарликового типу, які легко запилюються пилком високорослих сортів. У результаті у другому поколінні з'являються нові, небажані рослини – домішки. Щоб уникнути цього, варто розміщувати насіннєві ділянки короткостебельних сортів на відстані не менш ніж 100 м від високорослих.

Мутації. Мутації – це природний процес, який може змінити будь-яку ознаку рослини. Більшість мутацій мають негативний характер і погіршують якість сорту. Їхня частота збільшується за умов висівання старого насіння або обробки отрутохімікатами. У первинному насінництві проводять очищення сортів від мутантів методом індивідуального добору із дворічною перевіркою потомства.

Ураження хворобами. Грибкові, бактеріальні та вірусні захворювання швидко поширюються через насіння. Уражене насіння не можна використовувати для посіву, тому боротьба із хворобами має проводитися на всіх етапах насінництва.

У первинному насінництві ретельно вибирають лише здорові рослини, а уражені родини бракують протягом двох років, що дає змогу цілком оздоровити сорт, підвищити його стійкість до хвороб.

Екологічна депресія. Сорти різняться за екологічною пластичністю. Деякі з них пристосовані до широкого спектра умов і дають стабільні врожаї, тоді як інші – малопластичні, ефективні лише в окремих регіонах. Якщо сорт

потрапляє в несприятливі умови, його життєздатність і продуктивність різко знижуються, що спричиняє екологічну депресію [15].

Насінництво варто проводити в оптимальних для сорту зонах, хоча на великих посівних площах це не завжди можливо.

Для запобігання зниженню якості насіння рекомендується періодичне сортопоновлення, заміна нижчих генерацій на супереліту чи еліту. Це дозволяє зберегти високу врожайність і сортові якості на тривалий час.

4.9. Основні методи насінництва

4.9.1. Метод індивідуально-родинного добору

Методи одержання еліти охоплюють комплекс заходів, спрямованих на отримання високоякісного елітного насіння, яке цілком відповідає біологічним і господарським ознакам сорту. Основним завданням первинного насінництва є збереження цінних сортових характеристик, отримання фізіологічно повноцінного насіння з високими посівними якостями, його оздоровлення від хвороб і шкідників [16].

Елітне насіння має відповідати таким характеристикам, як виповненість, вирівняність, крупність і типовість, які є визначальними для конкретного сорту.

Методи та схеми одержання еліти залежать від біологічних особливостей культури, необхідної кількості елітного насіння та технічних можливостей насінницьких господарств. Для кожної культури підбирають оптимальний метод, що дозволяє в найкоротші терміни отримати якісне насіння, зберігати його генетичну чистоту та високий урожайний потенціал.

У процесі виведення еліти самозапильних культур застосовують ***метод індивідуально-родинного добору***, що дає змогу підтримувати сортову чистоту. Відбирають найбільш типові для сорту, високопродуктивні та здорові рослини (колосся, волоті), а їхнє потомство оцінюють протягом двох років на генетичну чистоту, після чого розмножують до рівня еліти.

Схема виведення еліти включає такі етапи:

— добір елітних рослин;

— дворічне випробування родин у розсадниках першого (РВ-1) та другого (РВ-2) років;

— розмноження першого (Р-1) і другого (Р-2) років;

— отримання суперелітиі й еліти.

Початкові етапи – добір елітних рослин, дворічне випробування та розсадник розмноження першого року – здійснюються в селекційних установах. Розсадник розмноження другого року, а також вирощування суперелітиі й еліти проводиться в господарствах, включених до Державного реєстру виробників насіння і садивного матеріалу.

Добір елітних рослин є важливим етапом первинного насінництва, що забезпечує високу якість посівного матеріалу для нових рекомендованих сортів. Первинні ланки насінництва закладаються насінням нових сортів, створених селекціонерами, а надалі – насінням відібраних елітних рослин.

Для зернових колосових культур відбирають здорові, непошкоджені хворобами рослини, які відповідають сортовим ознакам за висотою, формою куща, морфологією колосу та зерна. Вони повинні мати велику кількість продуктивних стебел і рівномірно розташоване, добре озернене колосся.

У зернобобових культурах перевага віддається найбільш типовим, урожайним і стійким до хвороб рослинам. Відбирають рослини із правильною висотою стебла, оптимальною кількістю міжвузлів до нижнього бобу, великою кількістю насіння в бобах і високою масою зерна.

Кращі рослини зернових і зернобобових культур збирають разом із корінням, після чого в лабораторних умовах їх оцінюють за типовістю. Нетипові, хворі та малопродуктивні екземпляри вибраковують. Залишені рослини (колосся, волоті) індивідуально обмолочують і аналізують насіння за кількістю, виповненістю, вирівняністю, скловидністю та відповідністю сортовим ознакам. Насіння, яке не відповідає вимогам еліти, відбраковують.

Для вівса додатково застосовують ультрафіолетове освітлення для виявлення нетипових форм за кольором. У кормовому люпині за допомогою спеціальних індикаторів виділяють алкалоїдні домішки.

Для підвищення ефективності добору елітних рослин рекомендується використовувати спеціальний розсадник, де рослини вирощуються за оптимальної площі живлення. Це дозволяє покращити їхню продуктивність і точніше відібрати кращі зразки.

У ***розсаднику випробування родин першого року (РВ-1)*** висівають насіння кращих індивідуально відібраних рослин (колосся, волотей) на окремих ділянках. Насіння однієї пшеничної рослини вистачає для висіву чотирьох рядків завдовжки 1,5 м або одного рядка завдовжки 5 м. Висів здійснюють касетною або ручною сівалкою.

Кількість родин у розсаднику визначається з урахуванням потреби в насінні еліти та створення страхових фондів, які становлять 100 %, що відповідає 500–1000 і більше ділянок. Протягом вегетації спостерігають за кожною родиною та вибраковують ті, що мають відхилення від сортових морфологічних ознак, фаз розвитку або уражені хворобами. Для перехреснозапильних культур вибракування здійснюють до початку цвітіння.

Кращі родини збирають і обмолочують окремо. Після очищення зерно зважують для визначення виходу насіння. Після повторної вибраковки за якістю насіння кращі родини використовують для сівби в ***розсаднику випробування родин другого року (РВ-2)***.

Насіння, отримане з кожної ділянки РВ-1, висівають у РВ-2 двома рядками по 30 м. Польові спостереження та оцінювання проводяться за аналогічними критеріями, що й у РВ-1. У генетично вирівняних сортах після оцінювання родин на пні та видалення бракованих залишені зразки збирають комбайном об'єднано. Для гетерогенних сортів кожну лінію збирають окремо, проводять

відбір за якістю зерна. Насіння найкращих родин об'єднують і використовують для висіву в ***розсаднику розмноження першого року (Р-1)***.

Розсадник Р-1 засівають широкорядним або рядковим способом із заниженими нормами висіву. Для зручності сортового прополювання залишають доріжки, закриваючи один рядок у сівалці. Протягом вегетації здійснюють догляд за рослинами, контролюють бур'яни, хвороби, шкідників, а також проводять видові та сортові прополки. Перед збиранням перевіряють чистосортність шляхом польового інспектування.

Під час збирання насіння фасують у нові мішки, які маркують внутрішніми і зовнішніми етикетками. Після контрольно-насіннєвого аналізу насіння з розсадника Р-1 оформлюється відповідним свідоцтвом і передається елітно-насінницькому господарству для подальшого висіву в ***розсаднику розмноження другого року (Р-2)***.

4.9.2. Метод масового добору й метод половинок

За масовим методом відбір родоначальних рослин здійснюється на чистосортних посівах вищих генерацій. Відібрані елітні рослини проходять ретельний аналіз на відповідність сортовим ознакам, індивідуально обмолочуються, оцінюються візуально за якістю насіння та продуктивністю. Насіння кращих зразків об'єднують і використовують для закладання розсадника розмноження.

Застосування масового добору дозволяє скоротити схему виробництва насіння еліти, яка зазвичай включає розсадники розмноження першого (Р-1) та другого (Р-2) років, супереліту й еліту. Цей метод сприяє отриманню насіння з високими врожайними характеристиками, однак не гарантує належного збереження чистосортності. Саме тому впроваджується повторний і безперервний масовий добір.

Метод половинок застосовується у процесі виведення еліти перехреснозапильних культур, як-от диплоїдне жито, гречка, кукурудза та соняшник.

Під час застосування цього методу на соняшнику в перший рік відбирають до 1000 рослин, які відповідають типовим сортовим ознакам, є найбільш продуктивними та не мають ознак ураження хворобами чи шкідниками. Кожен відібраний кошик аналізують на вміст олії, після чого відбраковують зразки з низьким умістом, залишають, наприклад, 300 кращих рослин.

Щоб зберегти всі цінні селекційні ознаки, необхідно розмножувати кожну родину окремо з дотриманням просторової ізоляції (для соняшнику – 1000 м). Оскільки закласти 300 ізольованих ділянок у межах одного господарства неможливо, селекціонери використовують метод половинок.

Суть цього методу полягає в поділі насіння кожного відібраного кошика на дві частини. На другий рік половинки 300 потомств висівають рядами в розсаднику випробування першого року (РВ-1) без просторової ізоляції, тоді як друга половина залишається в резерві. У РВ-1 потомство оцінюють за продуктивністю та стійкістю до хвороб і шкідників, відбраковують слабкі зразки.

На третій рік насіння з резерву використовують для висівання в розсаднику випробування другого року (РВ-2), але тільки для тих родин, які показали високі результати в РВ-1. Це запобігає перезапиленню сильних родин менш якісними.

Кращі родини з РВ-2 об'єднують і висівають у розсаднику розмноження на четвертий рік. Урожай із цього розсадника слугує насінням для розсадника супереліти, з якого, у свою чергу, отримують насіння для розсадників еліти.

4.9.3. Метод контрольованого пересіву й генетичних (білкових) маркерів

Контрольований пересів передбачає висівання в РВ-2 70–80 % родин (ліній) однойменного розсадника врожаю минулих років зі щорічним оновленням решти потомств кращими родинами РВ-1. Такий підхід дозволяє накопичувати та багаторазово використовувати найперспективніші потомства різних років, а також зменшувати обсяг найбільш трудомістких процесів первинного насінництва, зокрема добір і аналіз елітних рослин. Це сприяє скороченню кількості родин у розсаднику випробування першого року та пришвидшенню отримання насіння еліти.

Метод контрольованого пересіву передбачає таку техніку:

— під час збирання врожаю в РВ-2 кожну із кращих родин (ліній) обробляють окремо. Після очищення та сортування частину насіння використовують для повторного висіву в РВ-2 наступного року, а решту об'єднують і висівають у розсаднику розмноження;

— якщо збір кращих потомств у РВ-2 проводиться не окремо, а об'єднано, то спочатку з кожної родини частину ділянки збирають і обмолочують окремо, використовують це насіння для контрольованого пересіву в РВ-2. Решту врожаю збирають комбайном у загальну масу й висівають у розсаднику розмноження першого року.

Метод генетичних (білкових) маркерів був створений ученими Селекційно-генетичного інституту – НЦ насіннєзнавства та сортовивчення. Його основою є електрофорез гліадинових білків на крохмальному гелі, що дає змогу проводити масовий аналіз до 100–150 зразків на добу. Для отримання електрофореграми досить усього однієї зернини.

Кожен сорт пшениці має свій унікальний електрофоретичний спектр гліадину, що складається з компонентів, за якими визначаються його білкова формула та генотип. Доведено, що цей спектр є незмінним незалежно від умов вирощування. Аналіз гліадинового спектра дозволяє встановити справжність сорту та виявити наявність у ньому різних біотипів.

Метод генетичних маркерів застосовується для підтримання сортів-популяцій шляхом постійного контролю їхнього біотипового складу за допомогою електрофоретичних спектрів гліадину. У первинному насінництві добір найкращих рослин і родин супроводжується перевіркою їхньої типовості за генетичними маркерами, що дає змогу контролювати справжність сорту на всіх етапах виведення еліти.

Завдання та питання для самостійної роботи

1. *Назвіть основні напрями селекції.*
2. *Перелічіть головні вимоги виробництва до сортів.*
3. *Поняття про вихідний матеріал.*
4. *Що розуміють під поняттями натуралізація і акліматизація вихідного матеріалу?*
5. *Дайте визначення внутрішньовидової і віддаленої гібридизації.*
6. *Методика й техніка гібридизації.*
7. *Які завдання вирішує віддалена гібридизація?*
8. *Вкажіть шляхи подолання несхрещуваності за віддаленої гібридизації.*
9. *Що лежить в основі мутагенезу?*
10. *Що таке поліплоїдія?*
11. *Які фактори використовують для одержання штучних поліплоїдів?*
12. *Суть явища гетерозису.*
13. *Що розуміють під комбінаційною здатністю?*
14. *Одержання і використання інцухт-ліній.*
15. *Назвіть шляхи закріплення гетерозису.*
16. *Назвіть основні особливості штучного добору.*
17. *Методика масового добору.*
18. *Послідовність індивідуального добору.*
19. *За якими ознаками проводять оцінювання селекційного матеріалу?*
20. *Суть польового методу оцінювання селекційного матеріалу.*
21. *Призначення прямого методу оцінювання.*
22. *Що таке провокаційний метод оцінювання?*
23. *Оцінювання фаз вегетативного періоду, зимостійкості, посухостійкості.*
24. *Вкажіть головні завдання насінництва і його напрямки.*
25. *Назвіть головні причини погіршення у виробництві якості насіння?*
26. *Причини різноякісності насіння.*
27. *Які загальні методи одержання елітного насіння?*
28. *Індивідуально-родовий метод одержання еліти.*
29. *Масовий добір і його використання для вирощування елітного насіння.*
30. *Суть методу половинок у вирощуванні елітного насіння.*

Перелік джерел до розділу 4

1. Кириченко В. В. Селекція і насінництво в Україні: дефіцит коштів та науковці-ентузіасти. *Superagronom.com*. URL: https://superagronom.com/blog/57-selektsiya-i-nasinnitstvo-v-ukrayini-defitsit-koshtiv-ta-naukovtsi-entuziasti (дата звернення: 06.04.2025).
2. Селекція та насінництво польових культур : підручник / М. Я. Молоцький та ін. Київ : Вища школа, 2006. 463 с.
3. Васильківський С. П., Кочмарський В. С. Селекція і насінництво польових культур : підручник. Біла Церква : ПрАТ «Миронівська друкарня», 2016. 376 с.

4. Про охорону прав на сорти рослин : Закон України від 21.04.1993 № 3116-XII. *Відомості Верховної Ради України*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3116-12#Text (дата звернення: 06.04.2025).
5. Кожушко Н. С. Нові сортові ресурси картоплі : навчальний посібник. Суми : СНАУ, 2016. 56 с.
6. Мазур О. В., Лозінський М. В. Селекція та насінництво польових культур : навчальний посібник. Вінниця : ВЦ ВНАУ, 2020. 346 с.
7. Чекалін М. М., Тищенко В. М., Баташова М. Є. Селекція та генетика окремих культур : навчальний посібник. Полтава, 2008. 368 с.
8. Спеціальна селекція і насінництво польових культур : навчальний посібник / за ред. В. В. Кириченка. Харків, 2010. 462 с.
9. Селекція, насінництво та сортознавство пшениці / за ред. В. В. Шелепова. Миронівка, 2007. 406 с.
10. Донець М. М. Насінництво з основами селекції : навчальний посібник. Київ, 2007. 337 с.
11. Гаврилюк М. М., Соколов В. М., Жемойда В. Л. Практичне насінництво та насіннєзнавство сільськогосподарських рослин : навчальний посібник. Вінниця, 2018. 286 с.
12. Макрушин М. М., Макрушина Є. М. Насінництво : підручник. Сімферополь : ВД «Аріал», 2011. 476 с.
13. Макрушин М. М., Макрушина Є. М. Насінництво: методологія, теорія, практика : підручник. 2 вид. доповн. і перебл. Сімферополь : ВД «Аріал», 2012. 536 с.
14. Шемавньов В. І., Ковалевська Н. І., Мороз В. В. Насінництво польових культур : навчальний посібник. Дніпропетровськ : ДДАУ, 2004. 236 с.
15. Кіндрук М. О., Соколов В. М., Вишневський В. В. Насінництво з основами насіннєзнавства. Київ : Аграрна наука, 2012. 264 с.
16. Насінництво й насіннєзнавство польових культур / за ред. М. М. Гаврилюка. Київ : Аграрна наука, 2007. 216 с.

Розділ 5

СУЧАСНА БІОТЕХНОЛОГІЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР



Усі живі організми мають здатність покращувати себе природним шляхом, щоб адаптуватися до змінних умов навколишнього середовища. Однак, щоб помітити будь-які покращення, потрібні сотні років. Людина навчилася приручати та розводити рослини, щоб розвивати культури на свій смак та відповідно до своїх потреб, за допомогою різних засобів, зокрема й біотехнології. Біотехнологія визначається як набір інструментів, що використовує живі організми (або їхні частини) для створення або модифікації продукту, покращення рослин, дерев або тварин, або розроблення мікроорганізмів для конкретних цілей. «Сільськогосподарська біотехнологія» – це термін, що вживається на позначення покращення культур і худоби за допомогою інструментів біотехнології. Ця монографія зосередиться лише на сільськогосподарській біотехнології культур. Біотехнологія охоплює низку інструментів і елементів традиційних методів селекції, біоінформатики, мікробіології, молекулярної генетики, біохімії, фізіології рослин і молекулярної біології.

Інструменти біотехнології, які є важливими для сільськогосподарської біотехнології, такі:

— традиційне селекційне розведення рослин;
— тканинна культура та мікроклонування;
— Молекулярне розведення або селекція з використанням маркерів;
— генна інженерія та ГМ-культури;
— молекулярні діагностичні інструменти.

Звичайна селекція рослин

З початку сільського господарства, вісім-десять тисяч років тому, фермери змінювали генетичний склад культур, які вони вирощують. Ранні фермери вибирали найкращі рослини та насіння і зберігали їх для посадки наступного року. Відбір за такими ознаками, як швидше зростання, більша врожайність, стійкість до шкідників і хвороб, більше насіння або солодші плоди, значно змінив одомашнені види рослин порівняно з їхніми дикими родичами. Селекція рослин виникла тоді, коли людина дізналася, що культурні рослини можна штучно схрещувати або перехресно запилювати для поліпшення характеристик рослини. Бажані ознаки різних батьківських рослин можна було поєднати в нащадках. Коли наука про селекцію рослин була далі розвинута у двадцятому столітті, селекціонери почали краще розуміти, як відбирати найкращі рослини та схрещувати їх для створення нових і поліпшених сортів різних культур. Це значно підвищило продуктивність і якість рослин, які ми вирощуємо для їжі, корму та волокна.

Звичайна селекція рослин (рис. 5.1) була методом, який використовували для розроблення нових сортів культур протягом сотень років. Однак звичайна селекція рослин більше не може задовольнити глобальний попит у зв'язку зі зростанням населення, зменшенням сільськогосподарських ресурсів, як-от земля і вода, і очевидним стабілізуванням кривої врожайності основних культур. Отже, мають бути розроблені та використані нові технології покращення сільськогосподарських культур.

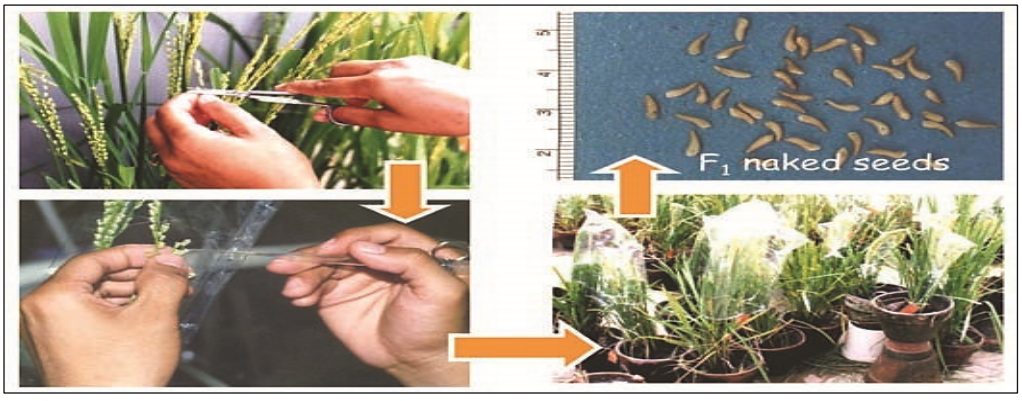


Рисунок 5.1 – Традиційна селекція передбачає статеву гібридизацію з подальшим ретельним відбором

Мутагенна селекція

Мистецтво розпізнавання бажаних ознак і їх включення в майбутні покоління є надзвичайно важливим у селекції рослин. Селекціонери інспектують свої поля і долають великі відстані в пошуках окремих рослин, які демонструють бажані риси. Деякі із цих ознак іноді виникають спонтанно через процес, який називається мутацією, але природний рівень мутацій є дуже повільним і ненадійним для отримання рослин, які хотіли б побачити селекціонери.

Наприкінці 1920-х рр. дослідники виявили, що вони можуть значно збільшити кількість таких варіацій або мутацій, піддаючи рослини дії рентгенівських променів і мутагенних хімічних речовин. «Мутагенна селекція» прискорилася після Другої світової війни, коли техніки ядерного віку стали широко доступними. Рослини піддавали впливу гамма-променів, протонів, нейтронів, альфа-частинок і бета-частинок, щоб перевірити, чи спричинять вони корисні мутації. Хімічні речовини, як-от азид натрію та етилметансульфонат, також використовувалися для стимулювання мутацій. Зусилля з мутагенної селекції тривають у всьому світі і нині. За 73 роки мутагенної селекції (1939–2013 рр.) у базі даних МАГАТЕ було зареєстровано 3218 сортів, отриманих через мутагенну селекцію [1].

Таблиця 5.1 – Кількість зареєстрованих сортів кожного виду рослин

Назва виду	**Кількість сортів**
Рис	824
Ячмінь	312
Пшениця	274
Кукурудза	96
Квасоля звичайна	57
Томат	20
Картопля	16
Цукрова тростина	13
Соя	2

Технологія чистих ліній та гібридного насіння

Кінцевим результатом селекції рослин є або відкритозапилювані (ОР для кукурудзи), або інбредні (для рису) сорти, або гібридні сорти F_1 (перше покоління). Відкритозапилювані й інбредні сорти, якщо їх підтримувати, правильно відбирати й вирощувати, зберігають ті самі характеристики під час розмноження.

Гібридне насіння має переваги над відкритозапилюваними й інбредними сортами за врожайністю, стійкістю до шкідників і хвороб, а також термінами дозрівання.

Гібридне насіння розробляється шляхом гібридизації або схрещування генетично різних батьківських ліній. Чисті лінії є потомками кількох циклів повторного самозапилення, які «розмножуються справжніми» або дають статеве потомство, що близько нагадує своїх батьків.

Розроблення чистих ліній передбачає, по-перше, відбір ліній з наявного генофонду, які виражають бажані характеристики, як-от стійкість до шкідників і хвороб, раннє дозрівання, урожайність та інші. Ці ознаки можуть бути відсутні в одній лінії, тому відібрані лінії схрещуються вручну. У самозапилюваних рослин квіти каструються шляхом видалення тичинок або чоловічої частини квітки вручну, після чого запилюються пилком іншої лінії. Жіночим батьківським організмом зазвичай є лінія, що володіє бажаною агрономічною ознакою, тоді як чоловіча лінія є донором нової ознаки. Потомство першого

покоління (F_1) висаджується і самозапилюється, як і потомство другого покоління (F_2). Селекціонери відбирають у третьому (F_3) та четвертому (F_4) поколіннях лінії, які виявляють бажані агрономічні характеристики й додаткову ознаку. На цьому етапі також проводиться тестування на стійкість до шкідників і абіотичних стресів. Лінії з бажаними ознаками, які є середніми або стійкими / толерантними до шкідників і абіотичних стресів, відбираються та самозапилюються ще протягом двох-трьох поколінь. Лінії, які не втрачають нові ознаки і є стабільними, називаються чистими лініями.

У технології гібридного насіння дві чисті лінії, які мають взаємодоповнюючі ознаки й походять від різноманітних батьківських ліній, схрещуються вручну. F_1 гібриди тестуються на гібридну силу за всіма агрономічними та врожайними параметрами й порівнюються з обома батьками. Отримані нащадки зазвичай проявляють більшу силу росту, ніж обидва батьки.

З моменту розроблення цієї технології вона дуже вплинула на основні культури, як-от рис, кукурудза, пшениця, бавовник, інші культури, зокрема й багато овочів. У США врожайність кукурудзи у 1866–1936 рр. становила лише 26 бушелів на акр. Упровадження гібридної кукурудзи збільшило врожайність на 0,8 бушеля/акр/рік з 1947 по 1955 р. Завдяки покращеній генетиці, наявності азотних добрив, хімічних пестицидів й механізації врожайність зерна кукурудзи постійно зростала на 1,9 бушеля/акр/рік, досягнувши 115 бушелів у 1990-х рр. з очікуваним збільшенням до 159 бушелів/акр у 2012 р. Проте через велику посуху у США у 2012 р. врожайність зерна становила лише 123,4 бушеля/акр. У 2013 р. було отримано збільшення врожайності кукурудзи на 50 бушелів/акр [2].

Гібридна технологія рису допомогла Китаю збільшити виробництво зі 140 млн т у 1978 р. до 188 млн т у 1990 р. Відтоді гібридний рис допоміг збільшити виробництво рису, яке дає на 1,35–2 т/га більше, ніж звичайний рис, отже, середня врожайність становить 7,2–7,5 т/га. Площа під виробництво гібридного рису, як очікується, збільшиться більш ніж на 6 млн га у 2012 р. У вересні 2012 р. Юань Лунпін, батько гібридного рису, завершив розроблення суперрису DH2525, що встановив новий рекорд урожайності гібридного рису – 926,6 кг/га.

Під час шостого симпозіуму з гібридного рису, що відбувся в Індії у вересні 2012 р., індійський уряд і науковці усвідомили необхідність збільшити площі під гібридним рисом із 2 до 5 млн га, щоб мати можливість збільшити виробництво рису на 1,5–2 млн т щороку та нагодувати мільйони людей у наступні 15–20 років. В Індії налічується 59 сортів гібридного рису, які були зареєстровані державними (31 сорт) і приватними (28 сортів) установами.

Завдяки доведеному впливу технології гібридного насіння були відкриті та використані нові інструменти для селекції гібридів, зокрема для самозапильних культур, включаючи цитоплазматичну чоловічу стерильність (далі – ЦЧС). Цитоплазматична чоловіча стерильність – це стан, коли рослина не здатна утворювати функціональний пилок і залежить від іншого джерела пилку для утворення насіння. Це значно полегшує виробництво гібридного насіння у великих масштабах, обходячи ручне запилення.

Сучасна технологія гібридного насіння використовує три лінії для виробництва гібридного насіння: а) лінію А, яка містить дефектну мітохондріальну геному в цитоплазмі та пригнічений ген-реставратор; б) лінію В, яка генетично схожа на лінію А, але містить нормальну цитоплазму та пригнічений ген-реставратор; в) лінію-реставратора – зовсім не пов'язана лінія, що містить нормальну цитоплазму й активний (домінантний) ген-реставратор [3].

Дворядна гібридна система, ще одна технологія гібридного насіння, покладається на температуру та географічне розташування, що впливає на ядерний геном рослини, який виявляється як чоловіча стерильність. Технологія гібридного насіння забезпечує гібридну силу в потомстві, але відкриття та розроблення ліній ЦЧС потребує багато роботи та часу.

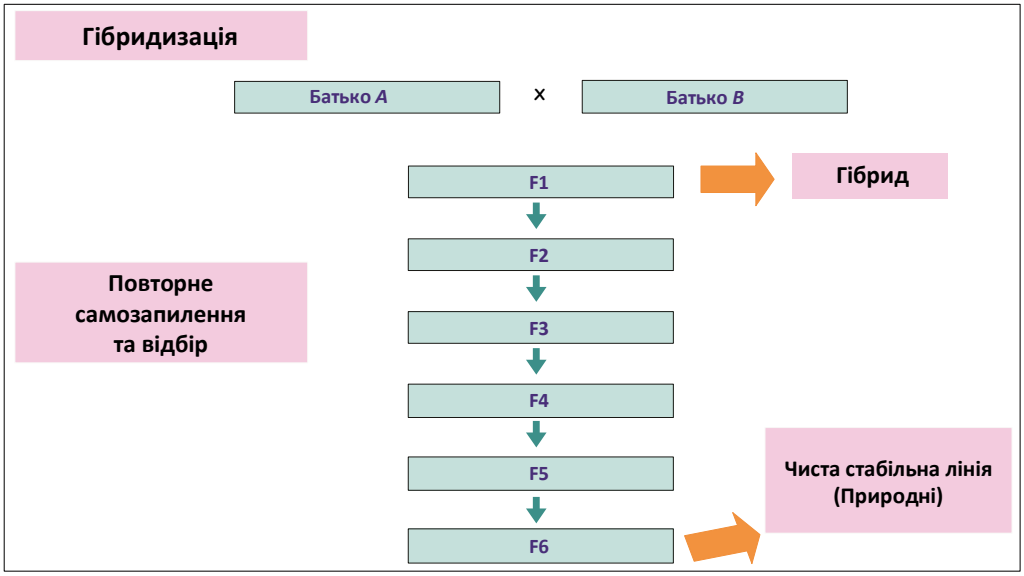


Рисунок 5.2 – Розвиток чистої лінії (інбридної лінії)

Традиційна селекція рослин, що привела до виведення сортів із відкритим запилюванням або гібридів, мала величезний вплив на продуктивність сільського господарства протягом останніх десятиліть. Будучи надзвичайно важливим інструментом, звичайна селекція рослин також має свої обмеження. По-перше, розведення може здійснюватися лише між двома рослинами, які можуть статево спаровуватися одна з одною. Це обмежує нові ознаки, які можна додати до тих, що вже існують у цього виду. По-друге, коли рослини схрещуються, багато ознак передаються разом з ознакою, що зацікавила, зокрема й ознаки з небажаним впливом на потенційну врожайність. Сільськогосподарська біотехнологія є варіантом подолання цих проблем для селекціонерів.

Культура тканин і мікророзмноження

Рослини зазвичай розмножуються статевим шляхом – вони мають квіти та насіння для створення наступного покоління. Яйцеклітини квіток запліднюються пилком тичинок (чоловічої частини) квітки тієї ж рослини (самозапилення) або іншої рослини (схрещування). Кожна із цих статевих клітин містить генетичний матеріал у формі дезоксирибонуклеїнової кислоти (далі – ДНК). Під час статевого розмноження ДНК обох батьків поєднується, створює нащадків, подібних до батьків (у самозапильних культурах), або новими та непередбачуваними способами, створюючи унікальні організми (у перехреснозапильних культурах). З іншого боку, деяким рослинам і деревам потрібно кілька років, перш ніж вони зацвітуть і запустять насіння, що ускладнює вдосконалення рослин. Учені розробили науку та мистецтво культури тканин, щоб допомогти селекціонерам у цьому завданні [4].

Культивування тканин – це культивування рослинних клітин, тканин або органів на спеціально створених поживних середовищах. За правильних умов з однієї клітини можна відродити цілу рослину. Культивування тканин рослин – це техніка, яка існує вже понад 30 років. Існує кілька типів культури тканин залежно від використовуваної частини рослини (експланта).

Культивування пиляків (рис. 5.3) – це метод культивування тканин, який використовується для виведення покращених сортів за короткий час. Пилок у пильовику містить половину дози геному (гаплоїд), який спонтанно подвоюється (диплоїд) під час культивування. Однак у деяких видів лікування колхіцином необхідне для індукції подвоєння. Подвоєння геному дозволить проявити рецесивні ознаки, які були придушені, замасковані або не виявлені під час звичайної селекції рослин.

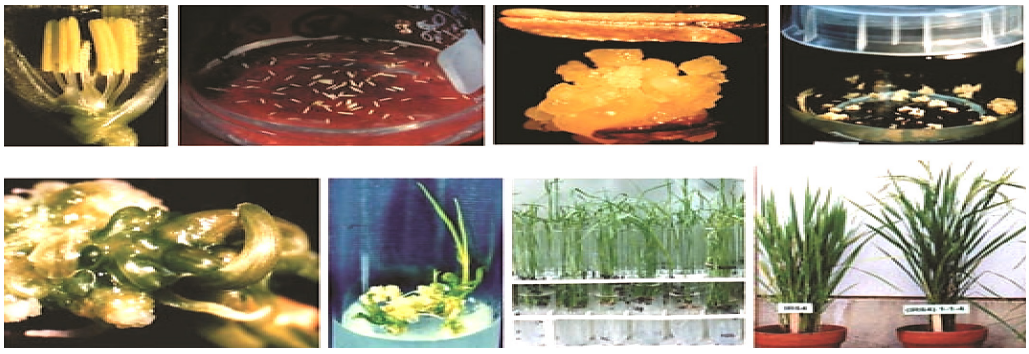


Рисунок 5.3 – Культура пиляка рису

Пиляки поміщають у спеціальне середовище, і незрілий пилок усередині пильовика ділиться і утворює масу клітин, що діляться, які називають калюсом. Здорові калюси (множина калюсу) збирають і поміщають в інше середовище для утворення пагонів і коренів (регенерація). Стійким саджанцям дають рости й дозрівати в теплиці. Потім селекціонери можуть вибрати бажані рослини серед регенерованих рослин.

Культура пиляків рослин F_1, які є нащадками в певній меті селекції, дозволить отримати багато інших типів регенерантів. Це пояснюється тим, що генетична конституція пилку буде більш різноманітною, ніж в інбредних рослин, тому селекціонери матимуть ширший діапазон ознак на вибір. Ця технологія була застосована для успішного створення подвоєних гаплоїдних ліній рису, пшениці, сорго, ячменю та інших польових культур [5].

Сорти рису, виведені через культуру пильовика (далі – АС), були випущені Національною радою насіннєвої промисловості Філіппін із 1995 р. Перший отриманий з АС сорт PSBRc50 (Bicol), стійкий до солі, був розроблений IRRI та випущений у 1995 р. Міжнародним інститутом дослідження рису виведено вісім солостійких сортів і два богарні сорти.

Мікророзмноження – це метод культивування тканин, розроблений для виробництва високоякісного садивного матеріалу без хвороб і для швидкого отримання багатьох однорідних рослин. Молоді клітини, що активно діляться (меристема), поміщаються у спеціальне середовище й обробляються рослинними гормонами для отримання багатьох подібних сестринських рослин. Оскільки меристема ділиться швидше, ніж хвороботворний вірус, чисті матеріали розмножуються, за короткий час утворюються сотні однорідних рослин.

Завдяки мікророзмноженню тепер можна забезпечити чисті й однорідні посадкові матеріали на плантаціях – олійну пальму, подорожник, сосну, банан, абаку, фінік, каучукове дерево; польові культури – баклажани, жожоба, ананас, томати; коренеплоди – маніок, батат; і багато декоративних рослин, як-от орхідеї та антуріуми.

Було виявлено, що мікророзмножені рослини приживаються швидше, ростуть енергійніше та вищі, мають коротший і рівномірніший цикл виробництва та дають вищі врожаї, ніж звичайні пропагули.

Порятунок ембріонів передбачає культивування незрілих ембріонів рослин у спеціальному середовищі для запобігання викидню молодого ембріона та підтримки його проростання (рис. 5.4, див. с. 164). Це зазвичай використовується для розведення батьківських ліній, що мають інший або несумісний геном, наприклад для введення важливих ознак диких родичів у культивовані культури [6].

Розроблення нового типу рослини рису для Західної Африки (*NERICA – New Rice for Africa*) стало результатом широких схрещувань між азіатським *Oryza sativa* й африканським рисом *Oryza glaberrima*. Він використовує порятунок ембріонів у початковому розведенні та в послідовних роботах зі зворотного схрещування з наступною культурою пиляка для стабілізації ліній розведення. Нові рослини поєднували ознаки врожайності батьківської рослини *sativa* із властивостями локальної адаптації *glaberrima*.

Дикий рис є багатим джерелом властивостей стійкості до шкідників і абіотичних стресів. У Міжнародному інституті дослідження рису використовується метод порятунку ембріонів, який сприяє передачі генів стійкості до бактеріального опіку з дикого рису *Oryza*.

Longistaminata належить до різновиду IR24, що привело до появи лінії, стійкої до бактеріального опіку (IRBB21). *Oryza rufipogon* є джерелом тунгрорезистентності низки сортів рису.

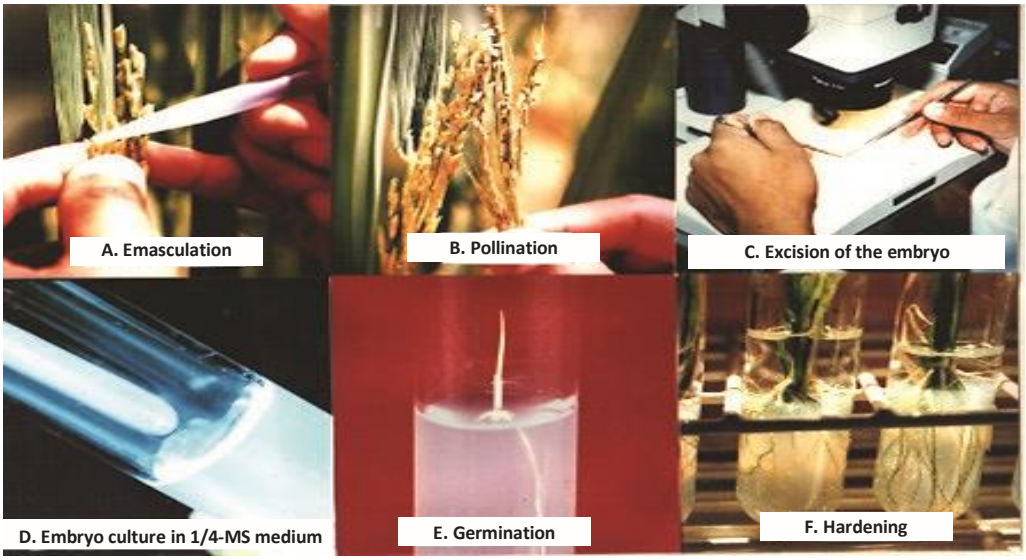


Рисунок 5.4 – Порятунок ембріона

В IRRI був розроблений новий суперсолестійкий рис шляхом збереження ембріона, отриманого в результаті схрещування високосолестійкого дикого рису Oryza coarctata з культивованим сортом рису IR56. Дослідницька група під керівництвом доктора Кширода Йени намагалася схрестити два сорти рису із середини 1990-х рр. і лише нещодавно досягла успіху. Вибрані лінії, стійкі до солі, будуть додатково перевірені фермерами в місцях, уражених сіллю, для можливого випуску протягом 4–5 років [7].

Культура рослинної тканини належить до нижнього рівня сільськогосподарської біотехнологічної драбини. Але здатність рослини регенерувати нову рослину є важливою умовою для розвитку покращених культур за допомогою сільськогосподарської біотехнології.

Культивування рослинної тканини є простою технікою, і багато країн, що розвиваються, уже освоїли її. Його застосування потребує лише стерильного робочого місця, розплідника, теплиці та навченої робочої сили. На жаль, культура тканин є трудомісткою, потребує багато часу та може бути дорогою.

Молекулярна селекція та селекція за допомогою маркерів

Процес розроблення нових сортів сільськогосподарських культур потребує багатьох етапів і може тривати від 10 до 25 років залежно від культури. Однак зараз застосування сільськогосподарської біотехнології значно скоротило час, необхідний для виведення їх на ринок. Зараз для виведення нових сортів сільськогосподарських культур потрібно 7–10 років. Один з інструментів, який полегшує та пришвидшує вченим вибір ознак рослин, називається маркером допоміжних відборів (MAS).

Різні ознаки та фізичні властивості рослин закодовані в генетичному матеріалі рослини, дезоксирибонуклеїновій кислоті (ДНК). ДНК складається з пар хромосом (ланцюгів генетичного матеріалу), по одній від кожного з батьків. Гени, які контролюють характеристики рослини, є сегментами кожної хромосоми. Усі гени рослини разом становлять її геном.

Деякі ознаки, наприклад колір квітки, можуть контролюватись лише одним геном. Однак на інші більш складні характеристики, як-от урожайність або вміст крохмалю, можуть впливати багато генів. Традиційно селекціонери відбирали рослини на основі їхніх видимих або вимірних ознак, які називаються фенотипом. Але цей процес може бути складним, повільним, залежним від навколишнього середовища та дорогим не лише в самому розвитку, але й для економіки, оскільки фермери зазнають утрат урожаю.

Як короткий шлях селекціонери зараз використовують селекцію за допомогою молекулярних маркерів. Щоб допомогти визначити конкретні гени, учені використовують так звані молекулярні маркери, які є короткими рядками або послідовністю нуклеїнової кислоти, яка утворює сегмент ДНК.

Маркери розташовані поблизу потрібного гена в послідовності ДНК. Оскільки маркери та гени розташовані близько один до одного в одній хромосомі, вони зазвичай залишаються разом у кожному поколінні рослин. Це називається генетичним зчепленням. Цей зв'язок допомагає вченим передбачити, чи матиме рослина потрібний ген. Якщо дослідники можуть знайти маркер для гена, це означає, що сам ген присутній [8].

Коли вчені дізнаються, де у хромосомі міститься кожен із маркерів і наскільки він близький до визначеного гена, вони можуть створити карту маркерів і генів у конкретних хромосомах. Ця генетична карта зчеплення показує розташування маркерів і генів, а також їхню відстань від інших відомих генів. Учені можуть створити детальні карти лише за одне покоління селекції рослин.

Раніше вчені виготовляли дуже прості генетичні карти за допомогою звичайних методів. Давно було помічено, що за схрещування поколінь рослин деякі ознаки постійно з'являються разом у нових поколіннях (генетичний зв'язок). Оскільки дослідники могли зосередитися лише на кількох ознаках у кожній спробі схрещування, було потрібно багато схрещувань, щоб отримати навіть дуже просту генетичну карту. За допомогою дуже детальної генетичної карти та кращих знань про молекулярну структуру ДНК рослини дослідники можуть проаналізувати крихітний шматочок тканини щойно проростої розсади. Їм не потрібно чекати, поки розсада виросте у зрілу рослину, щоб перевірити наявність якоїсь ознаки. Після аналізу тканини за допомогою молекулярних методів учені дізнаються, чи містить ця розсада відповідний ген. Якщо цього не відбувається, вони можуть швидко рухатися далі та зосередити увагу на іншому саджанці, працювати лише з рослинами, які мають визначену ознаку.

Нині селекція за допомогою молекулярних маркерів, інструмент сільськогосподарської біотехнології, уже є рутинним кроком у селекції більшості культур, де відомі ген і маркери окремої ознаки. Ця техніка використовується для ефективної інтрогресії важливих генів у різні культури, зокрема й стійкості

до бактеріального опіку в рисі, підвищеного вмісту бета-каротину в рисі, маніоці та банані, а також стійкості рису до занурення (рис. 5.5).

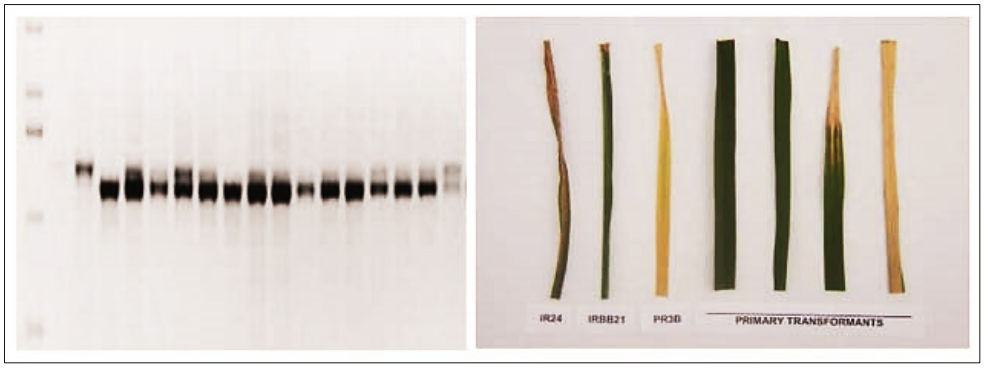


Рисунок 5.5 – Селекція за допомогою молекулярних маркерів

Молекулярні маркери також використовуються для визначення генетичного профілю лінії або сорту. Випадкові праймери використовуються для сканування геномної структури рослини за допомогою молекулярних методів. Інформація передається в комп'ютерну програму, яка аналізує зв'язок однієї лінії з іншою. Інформація про генетичну різноманітність ліній використовується для відбору дуже неспоріднених батьків, корисних для технології гібридного насіння. Інформація також надаватиме подробиці про походження лінії, можливі ознаки й унікальну ідентичність рослини, корисну для бази даних колекції зародкової плазми.

Таблиця 5.2 – Узагальнення щодо молекулярної селекції та селекції за допомогою маркерів

Тема	Опис
Тривалість селекції	Традиційно: 10–25 років; з використанням біотехнологій: 7–10 років.
Молекулярні маркери (MAS)	Короткі послідовності ДНК, пов'язані з окремими генами; допомагають ідентифікувати наявність бажаних ознак у рослин.
Генетичне зчеплення	Маркери та гени, розташовані близько один до одного у хромосомі, передаються разом наступним поколінням.
Генетична карта зчеплення	Схема розташування маркерів і генів у хромосомах; дозволяє вченим швидко й точно відбирати рослини з бажаними ознаками.
Переваги MAS	Скорочення часу селекції, зменшення залежності від навколишнього середовища, зниження витрат, підвищення точності відбору.
Приклади застосування	Стійкість до бактеріального опіку в рисі, підвищений уміст бета-каротину в рисі, маніоці та банані, стійкість рису до занурення.
Генетичний профіль лінії або сорту	Використання молекулярних маркерів для аналізу генетичної різноманітності, відбору неспоріднених батьківських форм, визначення походження лінії та унікальної ідентичності рослини.
Застосування в гібридному насінництві	Інформація про генетичну різноманітність використовується для відбору неспоріднених батьківських форм, що корисно для створення гібридного насіння з бажаними ознаками.

Підвищення ефективності відбору шляхом вибору маркерів, пов'язаних із визначеною ознакою

Однак варто зазначити, що молекулярне розведення селекцією за допомогою маркерів є дещо обмеженим порівняно з генною інженерією або модифікацією, оскільки:

1) воно працює лише для ознак, уже наявних у культурі;

2) не можна ефективно використовувати для розведення культур, які мають тривалий час генерації (наприклад, цитрусові);

3) його не можна ефективно використовувати з культурами, які розмножуються вегетативно, оскільки вони стерильні або їхні нащадки не схожі на батьків. Це стосується багатьох основних продуктів, як-от ямс, банани, подорожник, солодка картопля та маніок.

Генна інженерія та ГМ культури

За останні 30 років галузь сільськогосподарської біотехнології швидко розвивалася завдяки більш глибокому розумінню ДНК як хімічного подвійного спірального коду, з якого створюються гени. Генна інженерія – один із сучасних інструментів сільськогосподарської біотехнології, який базується на технології рекомбінантних ДНК. Термін «генетична інженерія», який часто замінюють такими термінами, як «генна технологія», «генетична модифікація» або «генна маніпуляція», використовується для опису процесу, за допомогою якого можна змінити генетичний склад організму за «технологією рекомбінантної ДНК». Це передбачає використання лабораторних інструментів і спеціальних ферментів для вирізання, вставки та зміни фрагментів ДНК, які містять один або більше визначених генів. Здатність маніпулювати окремими генами та передавати гени між видами, які нелегко схрещуються, ось що відрізняє генну інженерію від традиційної селекції рослин [9].

За звичайної селекції рослин немає жодної гарантії отримання будь-якої конкретної комбінації генів від мільйонів створених схрещувань. Небажані гени можуть бути передані разом із бажаними генами, або поки один бажаний ген отримано, інший буде втрачено, оскільки гени обох батьків змішуються разом і повторно сортуються більш-менш випадковим чином у потомстві. Ці проблеми обмежують покращення, яких можуть досягти селекціонери, з'їдають час і кошти (рис. 5.6).

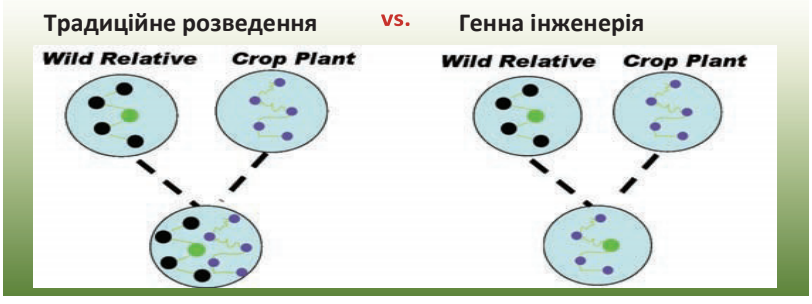


Рисунок 5.6 – Традиційна проти генної інженерії
(Wild Relative – дикий родич; Crop Plant – культурна рослина)

Натомість генна інженерія дозволяє пряму передачу одного або лише кількох генів між близько або віддалено спорідненими організмами. Не всі методи генної інженерії включають уведення ДНК інших організмів. Рослини також можна модифікувати шляхом видалення або вимкнення окремих генів і генетичних контролів (промоторів) [3].

Застосування генної інженерії в рослинництві

Методи генної інженерії використовуються лише тоді, коли всі інші методи вичерпано й коли: 1) ознака, яка має бути введена, не присутня в зародковій плазмі культури; 2) ознаку дуже важко поліпшити звичайними методами селекції; 3) знадобиться дуже багато часу, щоб запровадити та/або покращити таку ознаку в культурі звичайними методами селекції.

Сучасна селекція рослин – це багатодисциплінарний і скоординований процес, у якому використовується та інтегрується велика кількість інструментів і елементів звичайних методів селекції, біоінформатики, біохімії, молекулярної генетики, молекулярної біології та генної інженерії.

Розвиток трансгенних культур

Хоча в генній інженерії використовується багато різноманітних і складних методів, її основні принципи досить прості. Однак дуже важливо знати біохімічні та фізіологічні механізми дії, регуляцію експресії генів і безпеку гена та генного продукту, який буде використано.

Процес генної інженерії потребує успішного завершення серії із шести кроків.

Крок 1. Екстракція нуклеїнової кислоти (ДНК/РНК)

Екстракція нуклеїнової кислоти, ДНК або рибонуклеїнової кислоти (далі – РНК) є першим кроком у процесі генної інженерії. Тому важливо, щоб були доступні надійні методи виділення цих компонентів із клітини. У будь-якій процедурі виділення початковим кроком є руйнування клітини потрібного організму, яка може бути вірусною, бактеріальною або рослинною клітиною, з метою вилучення нуклеїнової кислоти. Після декількох хімічних і біохімічних етапів екстрагована нуклеїнова кислота може бути осаджена з утворенням ниткоподібних гранул ДНК/РНК (рис. 5.7, див. с. 169).

Крок 2. Клонування гена

Другий крок – клонування генів. У будь-якому експерименті із клонування в основному є чотири етапи: генерація фрагментів ДНК, приєднання до вектора, розмноження у клітині-хазяїні та вибір необхідної послідовності. Під час екстракції ДНК екстрагується вся ДНК потрібного організму. Ця геномна ДНК обробляється спеціальними ферментами, які називаються рестрикційними ферментами, розрізаючи її на менші фрагменти з певними кінцями, щоб дозволити її клонувати в бактеріальні вектори. Тоді копії вектора міститимуть багато різних вставок геному. Ці вектори трансформуються в бактеріальні клітини, і утворюються тисячі копій (рис. 5.8, див. с. 169).

За допомогою інформації, що стосується конкретних послідовностей молекулярних маркерів і бажаного фенотипу, вектор, що містить бажану послідовність, виявляється, відбирається, виділяється, виробляються клони. Рестрикційні ферменти знову використовуються, щоб визначити, чи бажана генна вставка була клонована цілком і правильно [10].

Крок 3. Генний дизайн і упаковка

Після клонування гена, який цікавить, його потрібно зв'язати із фрагментами ДНК, які будуть контролювати його експресію в рослинній



Рисунок 5.7 – Інтеграція традиційних і сучасних методів біотехнології в селекції сільськогосподарських культур

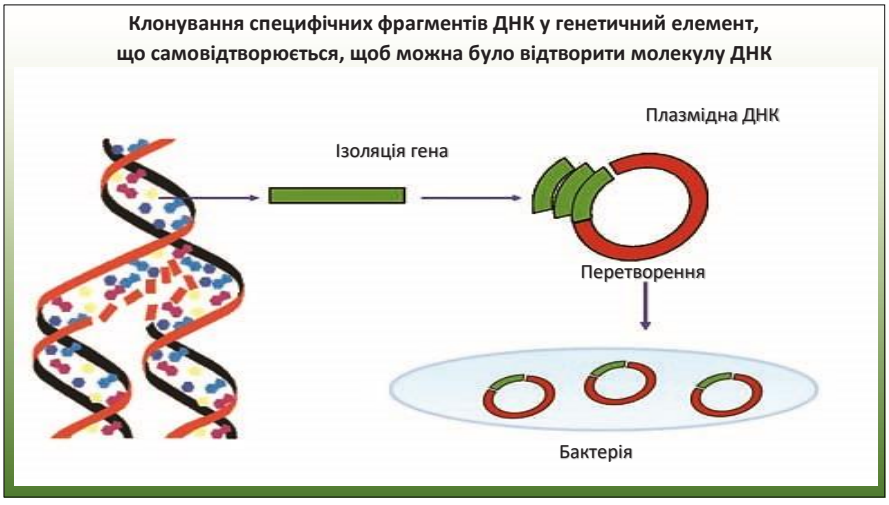


Рисунок 5.8 – Клонування гена

клітині (рис. 5.9). Ці фрагменти ДНК вмикатимуть (промотор) і вимикатимуть (термінатор) експресію вставленого гена. Генний дизайн / упаковка може бути здійснено шляхом заміни наявного промотора на новий, включення селекційного маркерного гена та репортерного гена, додавання фрагментів енхансерів генів, інтронів і послідовностей локалізації органел.

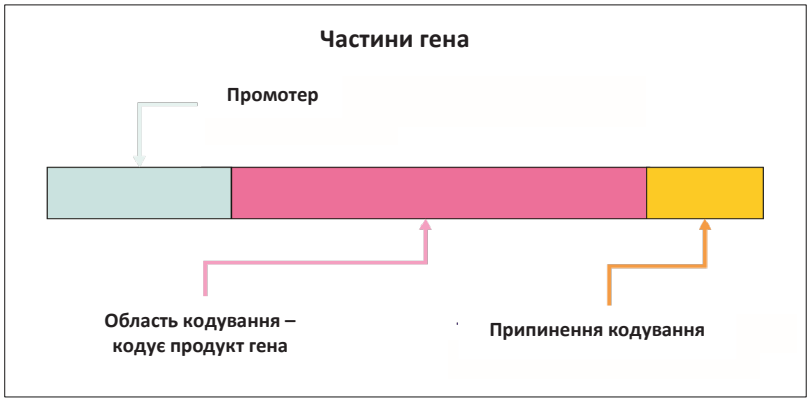


Рисунок 5.9 – Частини гена

Промотери

Промотори дозволяють диференціювати експресію генів. Наприклад, деякі промотори спричиняють постійну експресію вставлених генів у всіх частинах рослини (конститутивні), тоді як інші дозволяють експресію лише на окремих стадіях росту рослини, у визначених тканинах рослини або у відповідь на сигнали зовнішнього середовища. Кількість генного продукту, що експресується, також контролюється промотором. Деякі промотори слабкі, тоді як інші сильні. Контроль експресії генів є перевагою під час розроблення ГМ рослин.

Вибірні маркерні гени

Селекційні маркерні гени зазвичай пов'язують з геном, що цікавить, щоб полегшити його виявлення у тканинах рослини. Це дозволяє відібрати клітини, які були успішно інкорпоровані із цим геном, отже, заощадити значні кошти та зусилля. Генетичні інженери використовували маркерні гени стійкості до антибіотиків і гербіцидів, щоб виявити клітини, які містять вставлений ген. Клітини, які вижили після додавання маркерних агентів до середовища росту, вказують на наявність вставленого гена. Хоча підвищення резистентності до антибіотиків у людей і тварин навряд чи відбудеться за допомогою маркера резистентності до антибіотиків, перевага віддається генам, що кодують резистентність до антибіотиків, які не є важливими з медичного погляду. Окрім того, були розроблені альтернативні типи маркерних генів, які пов'язані з метаболізмом рослин, як-от фосфоманнозоізомераза, ксилозоізомераза й інші.

Репортерні гени

Репортерні гени клонують у вектор у безпосередній близькості до цільового гена, щоб полегшити ідентифікацію трансформованих клітин, а також

визначити правильну експресію вставленого гена. Репортерні гени, які були використані, включають: ген бета-глюкуронідази (ген gusA), який діє на певний субстрат, утворює синій продукт, отже, робить трансформовані клітини блакитними; зелений флуоресцентний білок (gfp), який дозволяє трансформованим клітинам світитися під зеленим світлом; і ген люциферази, який дозволяє клітинам світитися в темряві.

Енхансери

Кілька генетичних послідовностей також можуть бути клоновані перед промоторними послідовностями (енхансери) або в генетичній послідовності (інтрони або некодуючі послідовності) для сприяння експресії генів. Прикладом є клонування енхансерів промоутера/промотора вірусу мозаїки цвітної капусти перед промотором рослини.

Після того, як потрібний ген упакований разом із промотором, репортером і маркерним геном (рис. 5.10), його вводять у бактерію, щоб створити багато копій сукупностей генів. ДНК, виділену з бактеріальних клітин, потім можна використовувати для трансформації клітин рослин за допомогою бомбардування частинками. Проте, якщо використання бактерій Agrobacterium tumefaciens є кращим для трансформації рослини, увесь пакет генів варто клонувати між двома граничними послідовностями (лівою і правою межею) бінарної векторної плазміди. Це дозволить обробити Agrobacterium таким чином, що лише транспортна ДНК (Т-ДНК) буде включена в геном рослини [11].

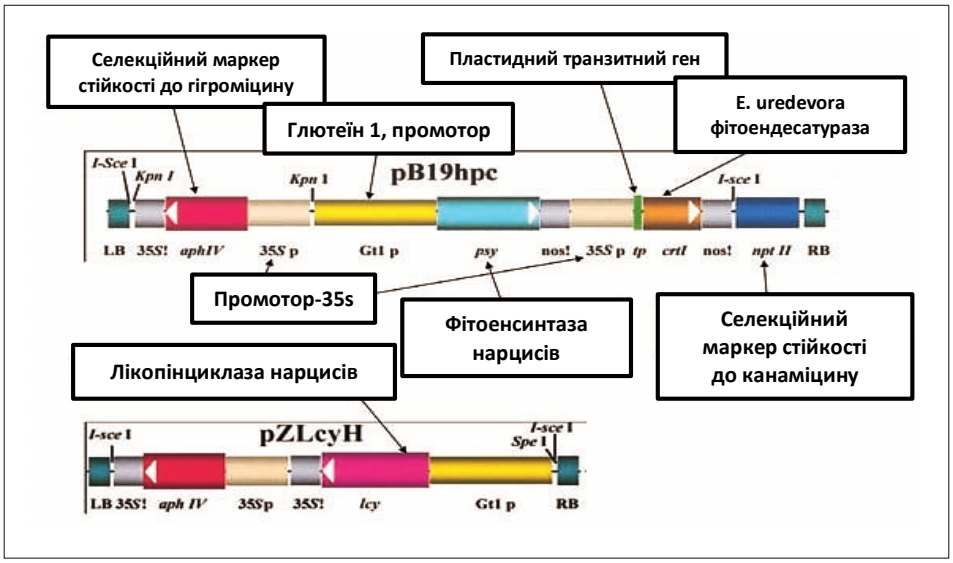


Рисунок 5.10 – Компоненти генної конструкції, що використовується для розроблення Golden Rice

Крок 4. Трансформація

Найпоширеніші методи, які використовуються для введення генного пакета в рослинні клітини у процесі, який називається трансформацією, або вставкою

гена, включає біолістичну трансформацію за допомогою генної гармати та трансформацію, опосередковану Agrobacterium (рис. 5.11).

Бомбардування частинками

Бомбардування частинками – це механічний метод уведення потрібного гена. Бажана генетична послідовність клонується у вектор ДНК рослини та вводиться в рослину за допомогою генної гармати або гармати частинок. Як і у звичайній рушниці, генна зброя використовує дрібні частинки вольфраму або золота як кулю. Ці частинки покриваються розчином ДНК і потрапляють у рослинні клітини під дією газу гелію всередині заповненої вакуумом камери. ДНК й частинки вольфраму/золота потрапляють усередину клітини, протягом 12 годин вставлена ДНК потрапляє всередину ядра й інтегрується з ДНК рослини. Частинки вольфраму/золота секвеструються у вакуолі та пізніше видаляються.

Трансформовані клітини культивують in vitro й індукують утворення маленьких рослин (регенерація), які експресують вставлений ген.

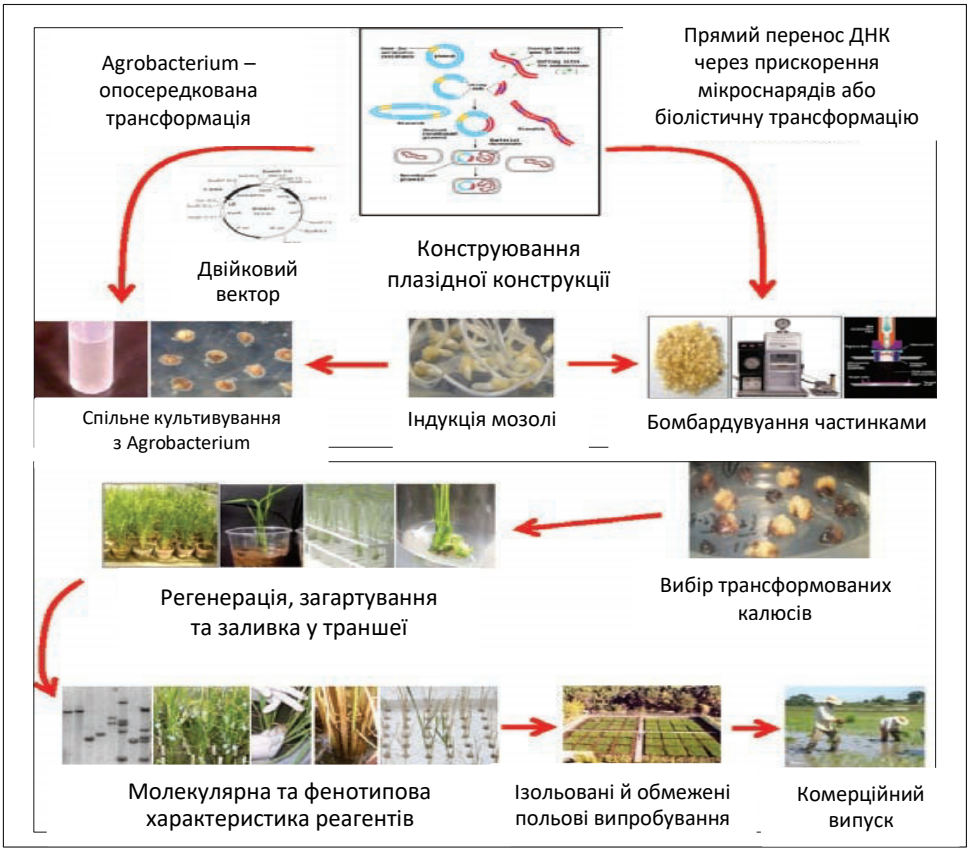


Рисунок 5.11 – Методи генетичної трансформації (Biolistics, або Gene Gun, методи трансформації, опосередковані Agrobacterium tumefaciens)

Трансформація, опосередкована *Agrobacterium tumefaciens*

«Спільне використання» ДНК серед живих форм добре задокументовано як природне явище. Протягом тисячоліть гени переходили від одного організму до іншого. Наприклад, *Agrobacterium tumefaciens*, ґрунтова бактерія, відома як «власний генний інженер природи», має природну здатність до генної інженерії рослин. Спричиняє хворобу Крона – галлу, або пухлинни (рак), у широкому діапазоні широколистих рослин, як-от яблуко, груша, персик, вишня, мигдаль, малина та троянди. Хвороба отримала свою назву через великі пухлиноподібні набряки (жовчі), які зазвичай виникають на кроні рослини, трохи вище рівня ґрунту. По суті, бактерія передає частину своєї ДНК рослині, і ця ДНК упроваджується в геном рослини, спричиняє утворення пухлин і пов'язані із цим зміни в метаболізмі рослин.

Молекулярні біологи використали цей біологічний механізм для покращення врожаю. Гени, які спричиняють жовч, видаляються та замінюються генами, що кодують бажані ознаки. Рослинні клітини, інфіковані бактерією, не будуть утворювати галли, а вироблятимуть клітини, що містять потрібний ген, який за культивування у спеціальному середовищі регенеруватиме в рослини та проявлятиме потрібну ознаку.

Основною метою будь-якої процедури трансформації є введення потрібного гена в ядро клітини без впливу на здатність клітини виживати. Якщо введений ген є функціональним, а продукт гена синтезується, то рослина називається трансформованою. Коли вставлений ген є стабільним, успадковується та експресується в наступних поколіннях, рослина вважається трансгенною.

Крок 5. Виявлення вставлених генів

Для визначення цілісності трансгена, уведеного в рослинну клітину гена, розроблено методи молекулярної детекції.

Полімеразна ланцюгова реакція (далі – ПЛР) є швидким тестом для визначення, чи містять регенеровані трансгенні клітини або рослинний ген. Він використовує набір праймерів (фрагментів ДНК) – прямого і зворотного призначення, нуклеотидні послідовності яких базуються на послідовності вставленого гена. Праймери й одиничні нуклеотиди інкубують з одноланцюговою геномною ДНК, і кілька циклів ампліфікації ДНК проводять в апараті ПЛР. Аналіз продуктів ПЛР в агарозному гелі покаже, чи справді рослини трансформуються, коли присутні й ампліфіковані фрагменти ДНК, еквівалентні за розміром вставленому гену [12].

Саузерн-блот-аналіз визначає цілісність вставленого гена: чи є ген повним і нефрагментованим, у правильній орієнтації та з однією копією. Кодуюча послідовність ДНК – це зонд, що зв'язується з одноланцюговою геномною ДНК трансгенної рослини, яка імплантована на нітроцелюлозний папір. Авторадіографія дозволить виявити трансгенний статус рослини. Для оптимальної експресії потрібна одна копія трансгена.

Нозерн-блот-аналіз визначає, чи транскрипт, або матрична РНК (далі – мРНК), уведеної ДНК присутній, чи правильно транскрибується у трансгенній рослині. Матричну РНК трансгенних рослин виділяють і обробляють для зв'язування

з нітроцелюлозною мембраною. Мічена ДНК використовується для зв'язування з мРНК і може бути візуалізована за допомогою авторадіографії.

Вестерн-блот-аналіз, або білковий імуноблот-аналіз, – це аналітичний метод, який використовується для виявлення того, чи трансгенні рослини виробляють специфічний білковий продукт уведеного гена. Зразки білків екстрагують із трансгенних рослин, переробляють у денатуровані білки та переносять на нітроцелюлозну мембрану.

Потім білок досліджується або виявляється за допомогою антитіл, специфічних до цільового білка.

Крок 6. Зворотне схрещування (за необхідності)

Генетична трансформація зазвичай проводиться в елітних або комерційних сортах, які вже мають бажані агрономічні властивості, але не мають важливої ознаки трансгена. Після успішного проведення генетично модифікована рослина буде легко рекомендована для комерціалізації, якщо вона демонструє стабільність у кількох поколіннях і після успішного проходження та дотримання вимог реєстрації сорту.

Однак деякі трансформації рослин могли бути виконані в сортах рослин, які піддаються генетичній трансформації, але не адаптовані та неважливі в цільовій країні. У трансгенної рослини також можуть бути проблеми зі стерильністю. У такому разі проводиться звичайна селекція рослин, де трансгенна рослина стає джерелом пилку у програмі селекції, а елітні лінії або комерційні сорти – рецидивним батьківським. Зворотне схрещування дозволяє поєднувати бажані ознаки рецидивуючого батька та трансгенної лінії в нащадках.

Тривалість розвитку трансгенної рослини залежить від гена, виду культури, наявних ресурсів і схвалення регуляторних органів. Минає від 6 до 15 років, перш ніж нова трансгенна рослина або гібрид буде готовий до комерційного випуску.

Таблиця 5.3 – Узагальнення щодо етапів генної інженерії

Етап	Назва етапу	Опис процесу
1	**2**	**3**
1	Екстракція нуклеїнової кислоти (ДНК/РНК)	Руйнування клітин (вірусних, бактеріальних або рослинних) з метою виділення нуклеїнових кислот. Після хімічної та біохімічної обробки ДНК/РНК осаджуються у формі ниткоподібних гранул.
2	Клонування гена	Генерація фрагментів ДНК за допомогою рестрикційних ферментів, приєднання до вектора, розмноження у клітині-хазяїні та вибір необхідної послідовності. Використання рестрикційних ферментів для перевірки правильності клонування.
3	Генний дизайн і упаковка	Зв'язування клонованого гена з регуляторними елементами (промотор, термінатор), додавання селекційних маркерів, репортерних генів, енхансерів, інтронів та послідовностей локалізації органел для контролю експресії в рослинній клітині.
4	Трансформація	Уведення генного пакета в рослинні клітини за допомогою біолістичної трансформації (генна гармата) або трансформації, опосередкованої Agrobacterium.

Закінчення таблиці 5.3

1	2	3
5	Виявлення вставлених генів	Використання методів молекулярної детекції для визначення цілісності трансгена: полімеразна ланцюгова реакція (ПЛР) для виявлення наявності гена, Саузерн-блот-аналіз для перевірки цілісності вставленого гена, Нозерн-блот-аналіз для визначення транскрипції гена, Вестерн-блот-аналіз для виявлення білкового продукту введеного гена.
6	Зворотне схрещування (за необхідності)	Схрещування трансгенних рослин з елітними або комерційними сортами для поєднання бажаних ознак. Тривалість розвитку трансгенної рослини залежить від гена, виду культури, наявних ресурсів і схвалення регуляторних органів, може коливатися від 6 до 15 років.

Комерційно доступні культури, покращені за допомогою генної інженерії

З 1996 р. дотепер спостерігалося постійне збільшення глобальних площ, засіяних трансгенними або ГМ-культурами, або біотехнологічними культурами. Нині 27 трансгенних культур, які вирощуються в комерційних цілях: люцерна, аргентинський ріпак, квасоля, гвоздика, цикорій, бавовник, повзуча трава, баклажани, льон, кукурудза, диня, папайя, петунія, слива, польський ріпак, тополя, картопля, рис, троянди, соя, кабачки, цукрові буряки, цукрові тростини, солодкий перець, тютюн, помідори й пшениця.

За допомогою генної інженерії в рослину можна включити більш ніж одну ознаку, вони називаються комплексними ознаками. Нині це посіви кукурудзи, бавовнику та сої, що мають ознаки стійкості як до гербіцидів, так і до комах. Трансгенні культури з комбінованими ознаками також доступні у продажу, як-от кукурудза та бавовник, стійкі до гербіцидів і комах. Поєднання різних генів для однієї ознаки робить культуру більш довговічною, щоб протистояти шкідникам/хворобам і витримувати більше гербіцидів.

Іншою стратегією підвищення стійкості технології є використання притулку. Розробники технологій вивчали ефективні системи притулку для конкретних подій трансформації. Вони широко обговорюються з фермерами для належного впровадження та регулярно контролюються для виявлення будь-яких стійких комах або бур'янів [13].

Нові та майбутні ініціативи в генній інженерії рослинництва

Натепер комерційні ГМ-культури принесли переваги в рослинництві, але в розробленні також є низка продуктів, які зроблять більш прямий внесок у якість їжі, чисте навколишнє середовище, фармацевтичне виробництво та корми для худоби. Прикладами таких продуктів є: рис із високим вмістом заліза та бета-каротину (важливий мікроелемент, який перетворюється на вітамін А в організмі); довговічний банан, який швидше дозріває на дереві, тому його можна збирати раніше; кукурудза підвищеної кормової цінності; уповільнене дозрівання папаї; папая, стійка до вірусу кільцевої плямистості папаї; помідори з високим вмістом флавонолів, які є потужними

антиоксидантами; посухостійкі кукурудза та пшениця; кукурудза з підвищеним вмістом фосфору; стійкі до миш'яку рослини; стійкі до комах баклажани та рис; їстівні вакцини із фруктів і овочів; дерева з низьким вмістом лігніну для виготовлення паперу й інші.

Завдання та питання для самостійної роботи

БЕЗПЕКА ЇЖІ

1. *Чи оцінюється безпечність генетично модифікованих харчових продуктів?*
2. *Що відбувається з ДНК, коли її з'їдають?*
3. *Чи є зміни в харчовому вмісті генноінженерної їжі?*
4. *Чи впливає білок Bt на людину?*
5. *Чи спричиняють генноінженерні продукти харчову алергію?*
6. *Чи можуть вірусні генетичні послідовності, вставлені в генетично модифіковані культури, створювати ризик для людини?*
7. *Чи можуть гени стійкості до антибіотиків у харчових продуктах, отриманих за допомогою генної інженерії, підвищити резистентність до антибіотиків кишкової флори людини та тварин?*
8. *Чи можна використовувати генну інженерію для виготовлення фармацевтичних препаратів? Чи можуть генетично модифіковані культури забруднити постачання продуктів харчування?*
9. *Чому FDA не вимагає маркування генетично модифікованих харчових продуктів?*
10. *Що таке органічні продукти?*

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ

1. *Чи розвинеться стійкість комах до Bt із широким використанням Bt-культур?*
2. *Чи можуть генетично модифіковані культури мати негативний вплив на нецільові організми? Чи мали місце негативні наслідки генетично модифікованих культур для нецільових організмів?*
3. *Чи може використання генетично модифікованих культур призвести до зменшення популяції інших організмів?*
4. *Чи можуть посіви, стійкі до гербіцидів (HT), призвести до появи супербур'янів?*
5. *Який ефект від використання генетично модифікованих культур за використання пестицидів?*
6. *Чи потребуватимуть Bt-культури додаткового застосування інсектицидів?*
7. *Чи призведе впровадження стійких до вірусів генноінженерних рослин до появи нових вірусів?*
8. *Чи можуть гени генноінженерних рослин перейти до бактерій у польових умовах?*
9. *Що відбувається, коли пилок переміщується з генетично модифікованих культур до диких родичів або негенноінженерних сортів? У зонах генетичного розмаїття?*
10. *Чи можуть співіснувати органічні, традиційні та генетично модифіковані системи землеробства?*

Перелік джерел до розділу 5

1. Альфонсо А. Біотехнологія рису. Презентація під час дослідження та розробки PhilRice. 13–15 березня 2007 р.
2. Набір наставника з біотехнологій. 2003. Виготовлено ISAAA, PCARRD і SEARCA-BIC.
3. Оцінка потенціалу й обмежень для розвитку та використання біотехнології рослин щодо селекції та рослинництва у країнах, що розвиваються : робочий документ / Міністерство закордонних справ Данії. *ДАНІДА*. 2002.
4. Гелвін С. Б. Трансформація рослин, опосередкована агробактеріями. 2003.
5. Інструмент "Gene-Jockeying". *Огляди мікробіології та молекулярної біології.* Т. 67. № 1. С. 16.
6. Goto F., Yoshihara R., Shigemoto N., Toki S., Takaiwa F. Збагачення залізом насіння рису, геном феритину сої. *Nature Biotechnology*. 1999. № 17. P. 282–286.
7. Лемо П. Г. Генно-інженерні рослини та продукти харчування: науковий аналіз проблем. Ч. 1. *Річний огляд біології рослин*. 2008. Т. 59. С. 771–812. URL: http://arjournals.yearnereviews.org/eprint/9Ntsbp8nBKFATMuPqVje/full/10.1146/annurev.arplant.58.032806. 103840?cookieSet=1
8. Лемо П. Г. Генно-інженерні рослини та продукти харчування: науковий аналіз проблем. Ч. 11. *Річний огляд біології рослин*. 2008. Т. 60. С. 511–559. URL: http://arjournals.yearnereviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.arplant.043008.092013
9. Lopez-Bucio J., Martinez de la Vega O., Guevara-Garcia A., Herera-Estrella L. Покращене поглинання фосфору у трансгенних рослинах тютюну, які надмірно виробляють цитрат. *Nature Biotechnology*. 2000. № 18. P. 450–453.
10. Огляд генетичної інженерії культур. URL: http://croptechnology.unl.edu/download.cgi
11. Робінсон К. Технологія генетичної модифікації та продукти харчування: здоров'я та безпека споживачів. *ILSI Europe Concise Monograph Series*. 2001.
12. Tabien R. Біотехнологія для сільського господарства. Презентація під час форуму фермерів PhilRice. 17 липня 2000 р. 2000.
13. Ye X., Al-babili S., Klöti A., Zhang J., Lucca P., Beyer P., Potrykus I. Інженерний шлях біосинтезу провітаміну А (бета-каротину) в ендоспермі рису (без каротиноїдів). *Наука*. 2000. № 287. С. 303–305.

Розділ 6

СТАБІЛЬНІСТЬ ТА СТІЙКІСТЬ АГРОЦЕНОЗІВ

6.1. Сучасні тенденції за використання агросистем

Суттєве підвищення продуктивності сільського господарства в минулому столітті супроводжувалося деградацією глобальних екосистем, і, за прогнозами, ці навантаження значно зростуть найближчими десятиліттями [19; 23]. Розвиток сільського господарства спричинив втрату біорізноманіття, погіршення навколишнього середовища і якості води в усьому світі [12]. Доведено, що сільське господарство також посилює глобальне потепління, нині воно забезпечує приблизно 30 % глобальних антропогенних викидів парникових газів. Вирішення цих системних проблем залежатиме від внеску науковців і потребуватиме нових підходів до досліджень і освіти в галузі сільськогосподарських наук. Агроекологічні підходи, які поєднують перспективи екологічної та агрономічної науки, а також соціальні науки та перспективи політики, будуть мати вирішальне значення для розвитку стійких систем сільського господарства в умовах безпрецедентних і швидких глобальних змін. Отже, потрібна нова перспектива всередині парадигми екосистеми.

Суттєвий приріст продуктивності сільського господарства у двадцятому столітті відбувся насамперед завдяки вдосконаленню технологій вирощування сільськогосподарських культур, які базуються на підвищенні врожайності за збільшення внесення добрив та інших ресурсів. Дослідження, спрямовані на підтримку цих досягнень щодо продуктивності сільського господарства, були зосереджені переважно на інтенсифікації виробництва рослинництва та тваринництва. Було набагато менше досліджень інтегрованих підходів для підтримання продуктивності всієї системи, диверсифікації сільськогосподарських операцій і управління сільськогосподарськими системами для багатьох цілей, зокрема й екологічної цілісності систем ведення сільського господарства [19].

Сучасне визнання багатьох проблем, пов'язаних із пріоритетом у виробництві продуктів харчування для населення, за збереження водночас природних екосистем і біорозмаїття, спонукає до переорієнтації у бік інтегрованого аналізу та переосмислення підходів [17].

Малоймовірно, що нові технологічні прориви приведуть до такого підвищення продуктивності, як це спостерігалося в минулому столітті, незважаючи на заяви та потенціал біотехнології [8]. Тож найважливішим викликом управління агроекосистемами у двадцять першому столітті буде сприяння розвитку виробничих систем, які підтримують продуктивність сільського господарства, природні функції та біорозмаїття, а також забезпечують економічно

життєздатні та соціально привабливі можливості для аграрних підприємств у все більш урбанізованому світі.

Підтримка збільшення сільськогосподарського виробництва за збереження екологічної цілісності та якості навколишнього середовища є одним із грандіозних завдань для сільського господарства двадцять першого століття [20]. Збільшення виробництва, безсумнівно, потребуватиме підвищення продуктивності та врожайності на наявних сільськогосподарських угіддях [23]. Деякі науковці переконані, що високопродуктивні сільськогосподарські території треба вважати екологічними «зонами жертви», призначеними суто для аграрного виробництва, щоб можна було зберегти інші природні території [9]. Інші науковці стверджують, що такі екологічні «жертовні» зони зазнають невиправдано високих екологічних і соціальних втрат, потрібно докладати більше зусиль для розширення функціонального навантаження природних структур сільськогосподарських ландшафтів (агросистем) [10; 17]. Є потреба в додаткових дослідженнях плідної середини цих протилежних поглядів, у яких переваги сучасних технологій поєднуються з перевагами більш екологічних підходів до управління сільськогосподарськими ландшафтами як для пом'якшення деградації екосистеми, так і для посилення природних екосистемних процесів. Отже, надзвичайно важливо розробити концептуальну основу та практичні стратегії для залучення більш широких екологічних і соціальних факторів до управління агроекосистемами та до науки. Науковці все частіше обговорюють необхідність використання парадигми екосистеми як основи рішення для створення стійких агросистем, і такі загальні тенденції саме й будуть нами розглядатися.

Енергетика є ще одним важливим аспектом стійкості агропромислового комплексу, який створює величезні проблеми для підтримки виробництва сільськогосподарської продукції. Незважаючи на те що індустріалізована модель була дуже успішною у збільшенні врожайності сільськогосподарських культур, вона значною мірою залежить від надходжень викопного палива, отже, є вразливою до збільшення витрат на енергію та зменшення запасів енергії [18; 20]. Відомо, що шестикратне збільшення врожайності продовольчих культур з 1900 р. супроводжувалося 85-кратним збільшенням витрат енергії для виробництва. Переважна частина проєктів із виробництва біопалива, незважаючи на їхню нинішню популярність, має серйозні біофізичні обмеження, особливо їх дуже низький вихід енергії та вміст етанолу з низькою щільністю енергії. Надшвидка інформаційна хвиля щодо виробництва етанолу із зернових культур спричинила значне підвищення цін на основні зернові культури, як-от кукурудза, пшениця та рис, що спричинило масові соціальні виступи (заворушення) у багатьох частинах світу у 2008–2010 рр. [11]. Виробництво біопалива із зерна також може значно посилити негативний вплив сільського господарства на навколишнє середовище, особливо ерозію ґрунту та забруднення води, через збільшення вирощування та використання добрив [13]. Водночас сучасне зростання цін на пальне значно підвищує вартість ресурсів для сільськогосподарського виробництва, додаючи більшого тиску на ціни на продукти харчування. Світові ціни на добрива зросли на 300–400 %, передусім унаслідок збільшення нових попитів на продовольчі культури та зерно для

етанолу й іншого біопалива, підвищення цін на енергоносії та паливо, а також зростання попиту на м'ясо, вирощене на зерні, у Китаї, Індії та Бразилії [15].

Постійне зростання значення складника енергоносіїв вразило світову продовольчу й економічну системи, що свідчить про те, що ми досягаємо поворотного пункту в історії людства щодо енергетики та сільського господарства. Розроблення систем, які є більш енергоефективними та менш залежними від зовнішніх ресурсів, а натомість покладаються на процеси контролю внутрішніх екосистем, буде визначальним напрямом майбутніх агросистем. Отже, стратегія управління агроекосистемами (технологіями) у майбутньому повинна враховувати потенційні наслідки її впровадження на тривалий період.

6.2. Основні типи екосистем. Агросистема – структура, зв'язки між елементами, їх взаємодія та взаємовплив

Екосистеми можна поділити на такі типи:

— **природні біогеоценози**, тобто створені природою;

— **агроценози** («агрос» перекладається із грецької як «поле»).

Уперше термін «екосистема» був запропонований у 1935 р. англійським екологом А. Тенслі. ***Екосистема*** – це основна структурна одиниця екології, що являє собою єдиний природний або природно-антропогенний комплекс, утворений живими організмами і середовищем їхнього життя. У межах екосистеми живі організми та неживі компоненти пов'язані причинно-наслідковими зв'язками, обміном речовин і потоком енергії.

Екосистеми є надзвичайно різноманітними й охоплюють природні і штучні середовища існування. Вони можуть класифікуватися за різними критеріями, зокрема за місцем існування (наземні, водні, перехідні), за ступенем впливу людини (природні, антропогенні), а також за розміром і складністю.

Різні типи екосистем відіграють важливу роль у підтриманні біологічного розмаїття, регулюванні клімату та забезпеченні життєво необхідних ресурсів для живих організмів [1]. Збереження та відновлення екосистем є ключовим завданням сучасної екології та природоохоронної діяльності, оскільки їхній стан безпосередньо впливає на якість життя людини й стабільність навколишнього середовища.

1. Природні екосистеми – це такі екологічні системи, у яких біологічний кругообіг відбувається без безпосереднього втручання людини. Залежно від джерел надходження енергії їх поділяють на два основні типи:

— **екосистеми, що цілковито залежать від сонячного випромінювання.** Вони отримують незначну кількість енергії, що робить їх менш продуктивними. Проте такі екосистеми відіграють надзвичайно важливу роль у підтриманні екологічної рівноваги, оскільки охоплюють великі площі, сприяють очищенню атмосфери та формуванню кліматичних умов;

— **екосистеми, що отримують енергію не лише від Сонця, а й з інших природних джерел.** Завдяки додатковим джерелам енергії вони характеризуються значно вищою продуктивністю порівняно з першою групою.

Природні екосистеми класифікують залежно від кліматичних і географічних особливостей, зокрема за типом рослинного покриву. На основі цього критерію виділяють **біоми** – великі природні регіони з подібними екологічними умовами.

Біом – це сукупність живих організмів і середовища їхнього існування в межах окремої ландшафтно-географічної зони. Він характеризується специфічними кліматичними умовами, панівними типами рослинності й особливостями ландшафту. Біоми формують природну структуру біосфери й відіграють ключову роль у глобальних екологічних процесах.

Біоценози: структура та закономірності формування

Біоценоз – це сукупність живих організмів, які взаємодіють один з одним у межах певного природного середовища. Формування біоценозів відбувається не випадково, а відповідно до закономірних екологічних процесів. У подібних природних умовах із близьким складом флори та фауни формуються схожі біоценози, що повторюються в різних регіонах. Отже, біоценози є складними екологічними системами, що формуються під впливом природних умов і відіграють важливу роль у підтриманні екологічної рівноваги (рис. 6.1).

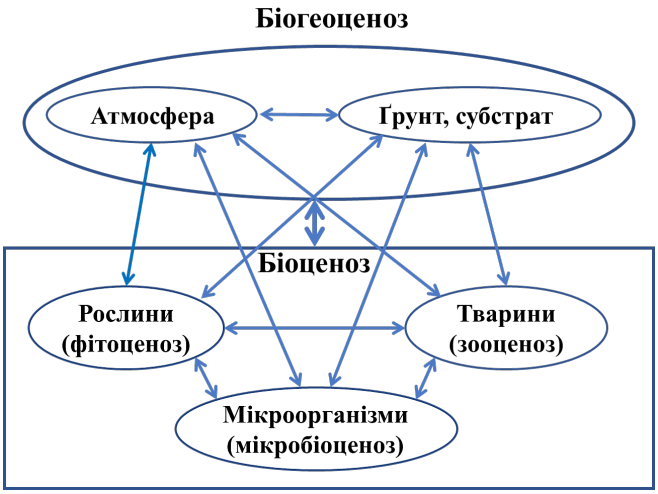


Рисунок 6.1 – Структурна схема взаємозв'язків біогеоценоз – біоценоз

Основними характеристиками біоценозів є **видова** та **просторова структура**.

Видова структура визначає кількість видів, що входять до складу конкретного біоценозу. Розмаїтість видового складу залежить від умов навколишнього середовища: що сприятливіші умови, то більше видів населяє екосистему.

Види, які мають найбільшу чисельність і впливають на функціонування екосистеми, називають **домінантами**.

Домінантні види формують основні екологічні зв'язки біоценозу, визначають його структурні особливості та зовнішній вигляд.

Просторова структура біоценозу характеризує розташування організмів у межах екосистеми. Наприклад, у лісовому біоценозі виділяють ярусність рослинності, що впливає на розподіл світла, вологи та поживних речовин.

Наземні біоценози часто класифікують за панівними видами. Наприклад:

Березовий гай – біоценоз, де домінантними видами є берези.

Ялиновий ліс – екосистема, де основну роль відіграє ялина.

Ковиловий степ – біоценоз, що характеризується переважанням ковили (Михайлівська цілина – степовий природний заповідник, створений у 1928 р., площа – 882,9 га. Єдина в Україні цінна ділянка лучного степу в Лісостепу. Частина масових видів – це види, без яких інші види існувати не можуть).

У біоценозах ключову роль відіграють **едифікатори** – види, що формують структуру спільноти та створюють умови для існування інших організмів. Видалення едифікаторів може призвести до руйнування біоценозу та порушення екологічної рівноваги. Здебільшого домінантні види водночас виконують і функцію едифікаторів.

Біоценози також містять **рідкісні та нечисленні види**, які забезпечують резервний потенціал екосистеми. Незважаючи на свою малу чисельність, ці види сприяють підтриманню стабільності біоценозу, будучи основою для його довготривалого розвитку.

Співвідношення між домінантами та рідкісними видами визначає рівень біорозмаїття. У багатих і стійких екосистемах переважають нечисленні види, тоді як у менш різноманітних біоценозах кількість домінантних видів значно зростає. Це свідчить про пряму залежність між рівнем біорозмаїття та екологічною стійкістю біоценозів.

2. **Антропогенні (штучні) екосистеми** – це екосистеми, створені та підтримувані людиною, що не можуть існувати без її втручання [4]. Вони відрізняються від природних тим, що їхній енергетичний баланс і функціонування значною мірою залежать від господарської діяльності людини.

Основними видами антропогенних екосистем є:

— ***агроекосистеми, агроценози*** – сільськогосподарські угіддя (поля, сади, пасовища), що виникають у результаті вирощування культурних рослин і ведення тваринництва. Ці екосистеми мають обмежене біорозмаїття і потребують вимагають постійного догляду, зокрема оброблення ґрунту, внесення добрив, зрошення та захисту рослин;

— ***техноекосистеми*** – промислові території, на яких функціонують заводи, фабрики, шахти й інші об'єкти, пов'язані з техногенною діяльністю. Вони характеризуються високим рівнем антропогенного навантаження, що може спричиняти забруднення довкілля;

— ***урбоекосистеми*** – міські поселення, що охоплюють житлові, транспортні й інфраструктурні об'єкти. У цих екосистемах енергія палива значною мірою замінює сонячну енергію, а рівень споживання ресурсів у густонаселених містах у 100–1000 разів перевищує потік енергії, що підтримує природні екосистеми.

Існують також перехідні екосистеми, які поєднують риси як природних, так і антропогенних екосистем. Наприклад, природні пасовища, які використовує

людина для випасування худоби, зберігають деякі риси природних екосистем, але водночас зазнають суттєвого антропогенного впливу [2].

Усі види екосистем – як природні, так і штучні – тісно взаємозв'язані та впливають одна на одну. Раціональне управління антропогенними екосистемами є важливим чинником забезпечення екологічної рівноваги та збереження біорозмаїття.

Агросистема (агроценоз) – це екологічна система, створена та керована людиною для виробництва сільськогосподарської продукції (рис. 6.2).



Рисунок 6.2 – Структурна схема взаємозв'язків агроценозу

Агроценоз містить природні компоненти: ґрунт (субстрат, основа), воду, повітря, живі організми та штучні елементи: культурні рослини, сільськогосподарську техніку, агротехнічні заходи. Відомо, що агросистема є частиною більшої екосистеми і взаємодіє із природним середовищем, частково змінює його. Такі екосистеми мають структуру, взаємозв'язки між елементами та функціональні особливості.

Структура агросистеми

Основні компоненти агросистеми:

1. Абіотичні елементи: кліматичні умови (температура, вологість, освітлення), ґрунт, вода, повітря.
2. Біотичні елементи: культурні рослини (зернові, технічні, кормові, овочеві); мікроорганізми (бактерії, гриби, віруси, що впливають на ріст і розвиток рослин); шкідники та хвороби (грибкові, вірусні, бактеріальні інфекції); тварини (комахи-запилювачі, хижі комахи, птахи).
3. Антропогенні елементи: сільськогосподарська техніка, агрохімікати, способи обробітку ґрунту, меліорація, технології вирощування.

Взаємозв'язки між елементами агросистеми

Енергетичні: фотосинтез, трансформація сонячної енергії.

Трофічні: передавання речовин і енергії через харчові ланцюги (рослини – комахи – хижаки).

Інформаційні: хімічні сигнали (виділення) між організмами.

Антропогенні: зміни, спричинені діяльністю людини (обробіток ґрунту, внесення пестицитів і добрив, регулювання режиму зволоження).

Властивість агросистем

Цілісність: система працює як єдиний організм.

Саморегуляція: здатність адаптуватися до змін (балансування між корисними та шкідливими організмами).

Динамічність: постійні зміни під впливом чинників.

Стійкість: збереження функцій за несприятливих умов.

Самоорганізованість системи – здатність агроситеми адаптуватись до змін без зовнішнього втручання. Відомо, що у природних екосистемах цей процес відбувається шляхом природного добору, а в сільському господарстві (аргосистемах) через оптимізацію технології вирощування. Основними факторами самоорганізації є: біологічне розмаїття (чим більше різних видів організмів, тим стабільніша система), взаємозв'язки між видами (конкуренція, симбіоз, антагонізм), спонтанне регулювання популяцій (знищення шкідників с.-г. культур).

Ієрархічність системи. Агросистема, як і будь-яка система, складається з підсистем і сама входить до більших систем.

Мікрорівень: окрема рослина, мікроорганізм.

Мезорівень: поле, сівозміна.

Макрорівень: регіональна агросистема (с.-г. угіддя окремої природно-кліматичної зони).

Глобальний рівень: світове сільськогосподарське виробництво (можливо, за напрямом).

Функціональність системи – здатність агросистеми виконувати свої завдання. Основними є: висока врожайність, підтримка родючості ґрунту, мінімізація негативного впливу на довкілля, оптимізація ресурсів.

Класифікація систем

За походженням: природні (екосистеми лісів, водойм, степів) і штучні (агроценози, екосистеми міст).

За стабільністю: динамічні (с.-г. екосистеми, що змінюються під впливом людини) і стабільні (природні ліси, степи).

За рівнем антропогенного навантаження: екстенсивні (традиційне сільське господарство), інтенсивні (високотехнологічне землекористування).

Отже, варто зазначити, що агросистема є складною екологічною структурою, яка об'єднує природні, біотичні й антропогенні компоненти. Вона взаємодіє з довкіллям, зазнає впливу природних і штучних факторів.

Структура агроценозу. Агроценоз – це штучно створена людиною екологічна система на землях сільськогосподарського призначення, що характеризується переважанням одного або кількох видів культурних рослин, які вирощують для отримання сільськогосподарської продукції.

Основними компонентами агроценозу є:

— культурні рослини – основний компонент, що визначає вид і спрямованість агроценозу;

— бур'яни – дикорослі рослини, що конкурують із культурними за ресурси (світло, воду, поживні речовини);

— шкідники – тварини, які завдають шкоди культурним рослинам;

— хвороби – патогенні організми (гриби, бактерії, віруси), які спричиняють захворювання рослин;

— мікроорганізми – бактерії, гриби й інші мікроорганізми, які беруть участь у розкладанні органічних речовин і кругообігу поживних речовин;

— ґрунт – субстрат, на якому ростуть рослини, це головний ресурс. Необхідно дотримуватись екологічно обґрунтованих агротехнічних заходів за вирощування с.-г. культур. Недотримання цих вимог може порушити біогеохімічні цикли;

— **абіотичні фактори** – кліматичні умови (температура, вологість, освітленість) та інші фактори навколишнього середовища.

В агроценозі всі компоненти тісно взаємозв'язані один з одним.

Горизонтальні зв'язки – відображають взаємодію між різними видами організмів (наприклад, конкуренція між культурними рослинами та бур'янами, взаємодія між рослинами та шкідниками).

Вертикальні зв'язки – відображають потік енергії та речовин між різними трофічними рівнями (наприклад, рослини – консументи – редуценти).

Формування агроценозів відбувається під впливом як природних, так і антропогенних факторів. Людина відіграє вирішальну роль у створенні та підтримці агроценозів, регулює їх структуру та функціонування.

Фотосинтез, фотосинтетичний потенціал, чиста продуктивність фотосинтезу – основа формування агроценозу: фактори, які визначають ці процеси: світло (інтенсивність і тривалість освітлення), вуглекислий газ (концентрація CO_2 в атмосфері), вода (забезпечення рослин водою), температура (оптимальний температурний режим для фотосинтезу), поживні речовини (забезпечення рослин необхідними мінеральними елементами), генетичні особливості рослин (сортові особливості, які визначають інтенсивність фотосинтезу й інші фізіологічні процеси).

Фотосинтез є основою формування агроценозу, оскільки саме завдяки йому створюється первинна органічна речовина, яка потім використовується рослинами для росту та розвитку. Ефективність фотосинтезу визначає продуктивність агроценозу та врожайність культурних рослин.

Значення фотосинтезу для формування агроценозу:

— забезпечення енергією – фотосинтез забезпечує рослини енергією, необхідною для росту та розвитку;

— утворення органічної речовини – фотосинтез є основним джерелом органічної речовини в агроценозі;

— регулювання газового складу атмосфери – фотосинтез сприяє поглинанню вуглекислого газу та виділенню кисню.

Характеристика агроценозу: особливості та функціонування

Агроценоз – це штучний біогеоценоз, створений людиною для отримання сільськогосподарської продукції. Його основні особливості передбачають:

— обмежене видове розмаїття. На значних площах вирощують лише одну або декілька культур, що суттєво зменшує біорозмаїття порівняно із природними екосистемами;

— залежність від зовнішнього втручання. Агроценози не здатні до саморегуляції та самопідтримання. Без постійного догляду вони поступово змінюються, набувають ознак природного біогеоценозу. У процесі цієї трансформації зростає різноманітність рослинних видів, що сприяє збільшенню кількості тварин, грибів і мікроорганізмів;

— необхідність підтримки. Щоб забезпечити стабільність агроценозу, людина контролює умови росту рослин, здійснює оброблення ґрунту, зрошення, боротьбу з бур'янами та шкідниками;

— уразливість до хвороб. Через високу щільність посадок одного виду рослин патогени (бактерії, віруси, грибки) швидко поширюються, що збільшує ризик масових захворювань.

Період (час) існування агроценозу

Однорічні культури (наприклад, зернові) утворюють агроценоз лише на один вегетаційний сезон.

Багаторічні культури можуть зберігати агроценоз декілька років, але поступово він заростає бур'янами та наближається до природного біогеоценозу.

Лісові агроценози (плантації деревних культур) є найбільш тривалими, оскільки їхній життєвий цикл вимірюється десятиліттями.

Отже, **агроценоз** – це складна екосистема, що функціонує завдяки тісній взаємодії її компонентів. Ключову роль у її життєдіяльності відіграє фотосинтез, який забезпечує рослини енергією та органічними речовинами. Від ефективності цього процесу залежать урожайність сільськогосподарських культур і загальна продуктивність агроекосистеми.

Тенденції розорюваності території України. Відомо, що Україна має найвищий відсоток розорюваності земель у світі, який досягає 53–54 %. Варто зазначити, що розораність с.-г. угідь становить приблизно 80 %. У гонитві за швидким прибутком з орних земель відбувається інтенсивне розорювання пасовищ, сіножатей і частково заліснених угідь. Така динаміка простежується впродовж останніх 20–30 років [25]. Нині Україна посідає третє місце після Бангладешу та Данії, де розораність с.-г. угідь становить 83,6 та 89,9 %. Також високі рівні розораності з позитивною динамікою характерні для: Молдови (77,0 %), Польщі (78,7 %), Франції (65,9 %), Великобританії (35,6 %). Водночас Німеччина з розораністю 70,2 %; Нідерланди – 55,6 %; США – 36,7 % мають тенденцію до зменшення орних земель і зростання заліснення, що сприяє більш стабільним екосистемам.

Відомо, що серед кліматичних зон в Україні найбільший ступінь розораності, на рівні 81,2 %, у Степу. Для Лісостепу характерна розораність на рівні 80,5 %; для Полісся – 65,6 %. У структурі найбільший відсоток (78,6–79,6 %) становить рілля, 13 % – пасовища, під сінокосами та баготорічними

насадженнями – приблизно 1,0 %. Розрахунки свідчать, що співвідношення ріллі до площ екостабілізувальних угідь 75–80 до 20–25 %.

Таблиця 6.1 – Динаміка рівнів розорюваності земель у світі й Україні

Країна	2000 р.		2022 р.	
	загальний рівень розораності, %	рівень розораності с.-г. земель, %	загальний рівень розораності, %	рівень розораності с.-г. земель, %
Світ	10,6	36,2	10,7	36,9
Бангладеш	56,2	88,8	53,0	83,6
Данія	53,1	86,1	54,9	89,9
Україна	53,9	78,6	54,5	79,6
Молдова	53,9	71,8	50,9	77,0
Польща	44,0	75,9	35,7	78,7
Німеччина	33,0	69,2	32,5	70,2
Франція	33,2	61,6	33,8	65,9
Нідерланди	24,4	52,1	23,9	55,6
Білорусь	29,5	66,2	27,0	69,2
Великобританія	24,1	34,6	24,6	35,6
США	17,7	42,3	15,3	36,7
Австрія	16,6	47,5	15,7	50,8

Джерело: за даними ФАО, 2025 р.

Науковці одностайно говорять про необхідність зменшення рівня розораності на 20–30 % та динамічного зниження розораності ґрунтового покриву країни до 42–45 %.

Заліснення та агролісомеліорація (стан і перспективи). Варто підкреслити важливу роль лісів у підтриманні біорізноманіття та збереженні екологічно стабільних систем. Ліси є ресурсами глобального значення. Вони охоплюють 31 % поверхні земної суші (4,06 млрд га). За період 1990–2020 рр. унаслідок знеліснення було втрачено 420 млн га лісів. Темпи знеліснення знижуються, але у 2015–2020 рр. вони, як і раніше, становили 10 млн га на рік. За період із 2000 по 2020 рр. було втрачено приблизно 47 млн га незайманих лісів.

Лісонасадження охоплюють 294 млн га (7 % світових лісових площ). У 2015–2020 рр. їхня площа збільшувалася трохи менше ніж на 1 % на рік, на відміну від показника 1,4 %, який спостерігали у 2010–2015 рр. Площа інших лісовкритих земель за період із 2000 по 2020 р. скоротилася майже на 1 %, але площа інших лісистих земель (що охоплюють дерева, які ростуть у міському середовищі, фруктові сади, пальми й агролісівницькі ландшафти) за період із 1990 по 2020 р. збільшилася більш ніж на третину. Агролісівницькі господарства охоплюють щонайменше 45 млн га, водночас спостерігається тенденція до збільшення цієї площі.

Загалом за останні 20 років спостерігається негативна динаміка зміни світових площ, укритих лісом. Так, у 2000 р. цей показник становив 32,4 %,

у 2010 р. – 31,9 %; у 2020 р. – 31,2 %; у 2024 р. – 31,0 %. Найбільші площі лісів збереглися в Азії та Південній Америці, найменші – в Австралії та Європі.

Україна належить до територій з недостатньою лісистістю. Загальна площа лісового фонду України становить приблизно 10 млн га, зокрема вкрита лісом – 8,6 млн га (14,3 %). Найбільш забезпечені лісовими ресурсами області, розташовані на території Українських Карпат і Українського Полісся. Саме там лісові ресурси мають найбільшу питому вагу в їхньому сумарному ПРП в Україні. До таких областей належать Івано-Франківська (17,6 %), Закарпатська (17,4 %), Волинська (16,2 %) та Рівненська (16,1 %). Найменш залісненими є області Степу України: Дніпропетровська (0,3 %), Донецька (0,4 %), Миколаївська (0,5 %), Запорізька (0,7 %) та Луганська (0,8 %).

За останні 50 років лісистість країни зросла майже в 1,5 раза. Так, у 2000 р. цей показник становив 16,4 %, у 2010 р. – 16,5 %; у 2020 р. – 16,7 %, у 2024 р. – 16,8 %. Системи полезахисних лісових насаджень більш позитивно впливають на екологічну та природоохоронну ситуацію в агроекосистемах, ніж окремо створені лісові смуги, тому актуальним є питання розроблення наукових основ ландшафтно-екологічної оптимізації систем захисних лісових насаджень. Нині постала необхідність створення повних систем захисних лісових насаджень і лісів через об'єднання в єдине ціле захисних частин природних лісів, усіх створених захисних лісонасаджень, а також земель, що підлягають заліснення. За цих умов агроландшафти відіграють значну роль у національній і регіональних екомережах як одні з основних їхніх структурних елементів, оскільки землі сільськогосподарського призначення в Україні становлять приблизно 70 %, а землі лісогосподарського призначення – приблизно 17 % її території.

Площа захисних лісових насаджень і лісів, за даними державного обліку лісів, становить 2642,2 тис. га, зокрема 432,3 тис. га лісових насаджень лінійного типу; протиерозійні ліси – 919,1 тис. га; лісові ділянки вздовж берегів річок, навколо озер, водоймищ та інших водних об'єктів – 289,7 тис. га; 1001,1 тис. га байрачних лісів. Загалом площа полезахисних лісових смуг разом з іншими захисними насадженнями на території України лише на 40 % відповідає розрахованим нормативам [5].

Запровадження комплексних заходів щодо охорони земель, зокрема вилучення деградованих ділянок з активного використання та їх подальше залуження, заліснення або ренатуралізація, сприятиме:

— збільшенню площ природно-заповідного фонду. За даними Державної служби статистики України, у 2015–2020 рр. ці площі зросли лише на 0,17 % і нині охоплюють 6,77 % території країни;

— розширенню лісовкритих територій. Відповідно до офіційної статистики, із 2015 до 2020 рр. їхня площа збільшилася лише на 0,09 %, досягнула 17,71 % загальної території України.

Вищезазначені заходи сприятимуть поліпшенню екологічного балансу, збереженню біорізноманіття та підвищенню стійкості ландшафтів до впливу кліматичних змін.

Також цілком очевидно, що в багатьох країнах світу лісистість значно вища, ніж в Україні. За даними ФАО, у Фінляндії вона становить 64,7 %,

у Швеції – 60,3 %, Німеччині – 30,1 %, Франції – 27,6 %, Італії – 32,7 %, Польщі – 28,6 %, Норвегії – 23,6 %, Іспанії – 26,7 %, Канаді – 26,6 %, США – 32,7 %, Туреччині – 12,8 % [7].

Останні дані ФАО (2024 р.) свідчать про значне скорочення масштабів знелісnення в деяких країнах. Однак зміна клімату підвищує вразливість лісів до факторів стресу, як-от природні пожежі та шкідливі організми. Прогнози обіцяють значне збільшення попиту на деревину до 2050 р. [16]. Недеревну лісову продукцію та паливну деревину використовують майже три чверті населення планети.

У лісовому секторі потрібно більше інновацій: фактори стресу, що впливають на стан лісів, посилюються, і це потребує нових підходів до управління лісовими ресурсами, переходу до біоекономіки та реалізації можливостей, пов'язаних із недеревною лісовою продукцією.

У сучасному світі, де екологічні методи набувають усе більшої популярності, агролісомеліорація стає важливим інструментом для сільського господарства. Цей напрям передбачає досягнення гармонії між природою та аграрною діяльністю, забезпечує стійкий розвиток і збереження природних ресурсів.

Один із важливих напрямів агролісомеліорації – застосування екологічно орієнтованих методів. Зокрема, до них належить створення захисних лісосмуг, які не лише запобігають ерозії ґрунту, а й сприяють збереженню вологи. Це дозволяє знизити витрати на зрошення та підвищити врожайність сільськогосподарських культур. Водночас лісосмуги виконують функцію природного бар'єра, що захищає посіви від сильного вітру та зменшує ризик утрат урожаю.

Захисні лісосмуги – це не просто насадження дерев уздовж полів, а важливий компонент агролісомеліорації, що сприяє збереженню родючості ґрунту та поліпшенню його якості. Завдяки цьому підходу фермери можуть підвищувати врожайність без необхідності додаткового використання хімічних добрив. Отже, лісосмуги є природними захисниками ґрунтових ресурсів.

Агролісомеліорація відіграє ключову роль у забезпеченні сталого розвитку сільського господарства. Вона дає змогу аграрним господарствам не лише раціонально використовувати природні ресурси, а й підвищувати врожайність. Завдяки застосуванню екологічних методів і створенню захисних лісосмуг фермери можуть досягати високих результатів без негативного впливу на довкілля. Це наочний приклад гармонійного співіснування людини та природи, що приносить користь обом сторонам. Однією з головних переваг агролісомеліорації є збереження ґрунтів. Захисні лісосмуги сприяють зменшенню ерозійних процесів, що є критично важливою проблемою для багатьох регіонів. Вони ефективно утримують вологу, перешкоджають видуванню та змиванню родючого шару ґрунту, що так само дозволяє зберігати продуктивність полів і знижувати витрати на добрива й інші агротехнічні заходи.

Агролісомеліорація суттєво впливає на ***мікроклімат*** полів, сприяє його поліпшенню. Завдяки деревам і чагарникам створюються природні бар'єри, що захищають посіви від вітру та знижують ризик їх пошкодження. До того ж вони відіграють важливу роль у регулюванні температури та вологості, що особливо актуально в умовах змін клімату. Доведено, що розташовані

вздовж полів захисні лісосмуги формують сприятливе середовище для підтримання біорозмаїття, забезпечують існування різних видів рослин і тварин [5].

Використання екологічних методів у сільському господарстві є важливим кроком на шляху до сталого розвитку. Агролісомеліорація сприяє зменшенню застосування хімічних засобів захисту рослин, адже здоровий ґрунт і збалансований мікроклімат зміцнюють природну стійкість рослин. Це не лише знижує витрати фермерів, а й позитивно впливає на якість сільськогосподарської продукції. Інвестиції в агролісомеліораційні заходи швидко окупляться завдяки підвищенню врожайності та зменшенню витрат на агротехнічні заходи. Водночас фермери можуть отримувати додатковий дохід від реалізації деревини й інших лісових продуктів.

Отже, агролісомеліорація є ефективним засобом досягнення балансу між економічними вигодами й екологічною стійкістю. Вона сприяє збереженню природних ресурсів, підвищенню продуктивності сільського господарства та створенню стабільних джерел доходу для фермерів. Використання захисних лісосмуг та інших методів агролісомеліорації сприяє формуванню стійких агроекосистем, що є основою сталого розвитку аграрного сектору.

6.3. Біорізноманіття та продуктивність агроценозів залежно від моно- та багатокомпонентності

Біорізноманіття – це різноманітність живих організмів на всіх рівнях організації: генетичному, видовому й екосистемному. Збереження біорізноманіття є однією з найважливіших глобальних проблем сучасності.

Проблеми збереження біорізноманіття:

— знищення природних екосистем: вирубування лісів, розорювання степів, осушення боліт призводять до втрати місць існування багатьох видів;

— забруднення навколишнього середовища: промислові викиди, використання пестицидів та інших хімічних речовин негативно впливають на живі організми;

— зміни клімату: глобальне потепління призводить до зміни ареалів багатьох видів та може спричиняти їх вимирання;

— інтродукція чужорідних видів: види, які потрапляють у нові екосистеми, можуть витісняти місцеві види та порушувати екологічний баланс.

Наслідки втрати біорозмаїття:

— порушення екологічних процесів: зниження стійкості екосистем до зовнішніх впливів, порушення кругообігу речовин, зменшення продуктивності;

— загроза продовольчій безпеці: утрата «диких родичів» культурних рослин, які є джерелом цінних генетичних ознак;

— економічні збитки: утрата ресурсів, які використовують у медицині, промисловості й інших галузях.

Шляхи збагачення біорозмаїття:

— створення заповідників та інших охоронних територій: забезпечення збереження природних екосистем і видів, які їх населяють;

— відновлення деградованих екосистем: рекультивація земель, заліснення, очищення водойм;

— збереження видів ex situ: створення банків генів, ботанічних садів, зоопарків;

— розвиток екологічно спрямованого землеробства: зменшення використання пестицидів та інших хімічних речовин, використання сівозмін, вирощування сидератів;

— освіта й екологічна просвіта: підвищення рівня обізнаності населення про важливість збереження біорозмаїття.

Моноагроценоз – це агроценоз, у якому вирощують один вид культурної рослини (наприклад, поле пшениці).

Переваги моноагроценозів:

— простота технології: легше проводити обробіток ґрунту, сівбу, догляд за рослинами та збирання врожаю;

— висока продуктивність: за оптимальних умов вирощування можна отримати високий урожай.

Недоліки моноагроценозів:

— низька стійкість до шкідників і хвороб: у разі спалаху шкідників або хвороб можна втратити значну частину врожаю;

— порушення екологічного балансу: монокультури сприяють розвитку монофагів (організмів, які живляться тільки одним видом рослин);

— виснаження ґрунту: тривале вирощування однієї культури призводить до виснаження ґрунту та зменшення його родючості.

Багатокомпонентний агроценоз – це агроценоз, у якому вирощують кілька видів культурних рослин. Доцільність сумісного вирощування сільськогосподарських культур доведено наукою та перевірено виробництвом. Змішані та сумісні посіви застосовують з метою економії площі та ресурсів, забезпечення прибутку та родючості ґрунту, збереження біорозмаїття та функціонування екосистем.

Відомі основні методи сумісних посівів, які розрізняються за способами розташування, густотою (нормою висіву), термінами сівби, наборами культур:

— ***вирощування рядами*** – це тип вирощування с.-г. культур висіванням (висаджуванням) рядами – в одному ряду або через ряд. Наприклад, за класичного вирощування бобових і злакових, 6 рядів сої та 4 ряди кукурудзи. Одним із різновидів є висівання додадкових культур у міжряддя (кукурудза+кабачки, гарбузи, огірки);

— ***сумісне вирощування смугами*** – це дещо подібна схема до попереднього варіанту, але в цьому разі ділянки с.-г. культур ширші (інколи на ширину сівалки), що спрощує оброблення, специфічне для кожного виду. У США вирощують по шість рядів пшениці та сої. В Україні такий спосіб використовують для отримання зелених кормів (кукурудза+горох, вика);

— ***вирощування поміж алей (посадок)*** – це спосіб, характерний для регіонів із сильними вітрами, що дозволяє захистити поміж дерев, кущів однорічні

с.-г. культури. Також сильні кореневі системи дерев дозволяють запобігати перегріванню та ерозії ґрунту;

— ***релейний*** – цей спосіб означає сівбу (посадку) другої культури після того, як перша вже цвіте. Різниця в часі висаджування зумовлює різницю в термінах збирання, що значно зменшує ймовірність надмірних навантажень на фінішній стадії технології вирощування;

— ***темпоральна посадка*** – головною ознакою цього виду багатокомпонентного агроценозу є поєднання на одній ділянці рослин із різними періодами вегетації. Отже, за збирання скоростиглих форм (сортів, гібридів) пізньостиглі мають більше простору (зовнішніх факторів) для формування якісного врожаю;

— ***використання захисних (покривних) культур*** – це застосування різних рослин для захисту від вітрів і диких тварин. Наприклад, в Австралії для захисту посіву моркви від суховіїв висівають ячмінь (рис. 6.3). Рослини ячменю захищають молоді проростки від ушкодження піском, а потім їх знищують гербіцидами (граміцидами);



а



б

Рисунок 6.3 – Використання ячменю як захисної культури за вирощування моркви:
а – сумісний посів моркви та ячменю;
б – чистий посів моркви після використання граміциду

Джерело: Австралія, 2023 р., фото А. В. Мельник

— ***сумісні посіви з рослинами-антрактантами та репілентами*** – це сумісне застосування рослин, що відволікають або відлякують комах і хвороби від основної культури. Наприклад, деякі сорти гарбузів використовують як приманку для кабачкових клопів, метеликів і смугастих огіркових жуків. Застосування різних рослин із метою захисту від вітрів і диких тварин.

Також відомо, що цибуля-порей відлякує бобових мух, що загрожують посівам гороху та сої.

На теренах вітчизняних агропідприємств більш поширене застосування змішаних посівів у польовому та лучному кормовиробництві (зокрема, віка – овес, кукурудза – соя, суміші багаторічних злаково-бобових трав тощо). Головним завданням є отримання корму, збалансованого за поживними речовинами. Зазначені суміші мають деякі переваги порівняно з одновидовими посівами, адже в них підвищується якість корму завдяки більшому вмісту протеїну в бобових компонентах. Також підвищуються загальна продуктивність і якість сировини. У змішаних посівах оптимізується процес фотосинтезу й більш ефективно використовується родючість ґрунту завдяки збагаченню з атмосфери на основі біологічної фіксації бульбочковими бактеріями роду *Rhizobium* бобовими культурами. Також деякі види в чистому вигляді не силосуються (цукровий мінімум), що робить ефективним отримання комбінованої сировини. Важливою умовою використання травосумішей є підвищення загальної продуктивності посіву, у результаті цього збільшення біорозмаїття та їхніх адаптивних властивостей щодо чинників зовнішнього середовища (рух від агроценозу до біоценозу).

Переваги багатокомпонентного агроценозу. Застосування технології сумісного вирощування культур сприяє підвищенню врожайності та раціональнішому використанню наявних ресурсів. До основних переваг цієї агротехнології належать:

— збільшення прибутковості. Додаткові культури забезпечують економічну вигоду, навіть якщо основна рослина дає нижчий, ніж очікувалося, урожай;

— раціональне використання площі. У традиційному монокультурному землеробстві міжряддя залишаються незадіяними, тоді як ущільнені посіви дозволяють максимально використовувати площу поля;

— захист основної культури. Сумісне вирощування сприяє природному контролю шкідників, залученню корисних комах і створенню захисного бар'єра від вітру, піску та надмірного сонячного випромінювання. У межах інтегрованого захисту рослин така практика сприяє зменшенню використання пестицидів і зниженню витрат на оброблення;

— зменшення ерозії ґрунту та запобігання утворенню ґрунтової кірки. Рослини, висаджені разом з основною культурою, мінімізують негативний вплив дощів і вітру, що допомагає зберегти родючий шар ґрунту;

— поліпшення живлення основної культури. Вирощування азотфіксувальних рослин збагачує ґрунт азотом та іншими поживними речовинами;

— зниження потреби в добривах. Сумісні посіви сприяють природному підвищенню родючості ґрунту, що дозволяє зменшити кількість унесених добрив;

— раціональне використання зовнішніх факторів (ресурсів). Волога та сонячне світло ефективніше розподіляються між усіма вирощуваними культурами;

— контроль над бур'янами. Завдяки ущільненим посівам у міжряддях замість бур'янів проростають корисні культури;

— збільшення біорозмаїття та стійкості екосистем. Вирощування різних культур сприяє підтриманню екологічної рівноваги та стабільності агросистеми.

Вплив алелопатії та алелохімікатів на екосистему

Алелопатія – це природне явище, за якого рослини виділяють у середовище специфічні хімічні речовини (алелохімікати), що впливають на ріст і розвиток інших організмів. Цей вплив може бути як позитивним (сприяти росту й розвитку), так і негативним (пригнічувати життєдіяльність інших рослин або мікроорганізмів).

Алелохімікати – це група органічних сполук, серед яких: органічні кислоти, феноли, терпени, алкалоїди, глюкозинолати.

Ці речовини можуть виділяти різні частини рослин: коріння (через кореневі ексудати), стебла та листя (у формі летких сполук), квітки, плоди та насіння (під час розкладу органічної маси).

Алелопатія відіграє важливу роль у формуванні природних і сільськогосподарських екосистем, впливає на конкуренцію між видами, адаптацію рослин до навколишнього середовища та регуляцію кількості шкідників і патогенів.

До прикладів алелопатичного впливу можна віднести жито (виділяє речовини, які пригнічують ріст багатьох бур'янів), люцерну (збагачує ґрунт органічними речовинами й азотом, що сприяє росту інших культур).

Алелопатія відіграє ключову роль у взаємодії рослин в агроценозах, впливає на їхній ріст, розвиток і конкурентну спроможність. Вивчення механізмів алелопатичного впливу відкриває перспективи для створення екологічно безпечних методів контролю бур'янів, підвищення продуктивності культурних рослин і формування стійких агроекосистем.

Застосування алелопатичних властивостей рослин у сільському господарстві може сприяти зменшенню використання хімічних гербіцидів, оптимізації сівозмін і поліпшенню родючості ґрунтів. Водночас ефективне використання цього явища потребує поглиблених досліджень, зокрема щодо ідентифікації алелохімікатів, механізмів їхньої стабільності та можливого впливу на нецільові організми.

6.4. Теоретичні засади підвищення стійкості агроценозів. Адаптація рослин. Агрономічний аудит

Стійкість агроценозу – це здатність протистояти негативному впливу несприятливих факторів (стрес) зовнішнього середовища (абіотичних і біотичних) без істотного зниження продуктивності та якості отриманої продукції.

Класифікація та фізіологія стресів. Стрес – це стан рослини, спричинений дією факторів, що відхиляються від оптимальних для її росту та розвитку.

На розвиток сільськогосподарських культур можуть негативно впливати як природні, так і антропогенні фактори. Серед природних особливо небезпечною є посуха, яка спричиняє водний дефіцит у рослин і порушує всі метаболічні

процеси. Нестачу вологи вважають одним із найсерйозніших стресових факторів порівняно з іншими несприятливими умовами.

У 1983 р. вчений П. О. Генкель запропонував термін «фітострес», визначивши, що організм рослин може специфічно реагувати на зовнішні подразники, як-от екстремальні температури, хімічні речовини чи механічні ушкодження. Ця реакція була розглянута як адаптивна відповідь рослини на стресовий фактор. Водночас адаптаційна фаза розпочинається лише за умови, якщо стрес не досягнув критичного рівня.

Після припинення дії стресового фактора рослина може відновити свої функції, проте за умов посилення стресу відбувається виснаження, що може призвести до загибелі організму. Стійкість рослин до несприятливих умов формується ще на початкових етапах впливу стресу, однак зі збільшенням його інтенсивності захисні механізми вичерпуються. Щоб запобігти виснаженню рослин і мінімізувати негативні наслідки стресу, важливо впроваджувати профілактичні заходи, спрямовані на підвищення їхньої стійкості до несприятливих умов. Це дозволить своєчасно адаптувати культури до стресових факторів і знизити ризик їх пошкодження чи загибелі.

Класифікація стресів. Залежно від чинника, що зумовив стрес, розрізняють:

1) абіотичні стреси:
— температурний стрес: висока або низька температура;
— водний стрес: посуха або надмірне зволоження;
— сольовий стрес: засолення ґрунту;
— освітлювальний стрес: брак або надлишок світла;
— механічний стрес: пошкодження рослин вітром, градом тощо;
2) біотичні стреси:
— грибкові хвороби;
— бактеріальні хвороби;
— вірусні хвороби;
— шкідники (комахи, кліщі, нематоди);
— бур'яни (конкуренція).

Фізіологія стресу

Рослини реагують на стрес різноманітними фізіологічними змінами, спрямованими на виживання та адаптацію. Ці зміни можуть відбуватися на різних рівнях організації.

Молекулярний рівень:

— синтез захисних білків. У відповідь на стрес рослини можуть синтезувати різні захисні білки, як-от білки теплового шоку, антиоксидантні ферменти, осмотини. Ці білки допомагають рослинам захиститися від пошкоджень, спричинених стресом;

— зміна активності ферментів. Стрес може призвести до зміни активності ферментів, що регулюють метаболічні процеси в рослині.

Клітинний рівень:

— зміна проникності мембран. Стрес може вплинути на проникність клітинних мембран, що призводить до втрати води й інших речовин;

— накопичення осмотично активних речовин. Для захисту від зневоднення клітини можуть накопичувати осмотично активні речовини, як-от пролін, цукрити.

Тканинний рівень:

— зміна росту та розвитку окремих тканин. Стрес може призвести до уповільнення росту або навіть відмирання окремих тканин. Наприклад, за посухи рослини можуть скидати листя для зменшення втрати води.

Рівень організмів:

— зміна морфології рослини. Під впливом стресу рослини можуть змінювати свою морфологію. Наприклад, рослини, що ростуть в умовах браку освітлення, можуть витягуватися вгору, а рослини, що ростуть в умовах посухи, можуть зменшувати площу листкової поверхні;

— уповільнення росту. Стрес часто призводить до уповільнення росту та розвитку рослин;

— зниження продуктивності. Вплив стресу може призвести до зниження врожайності та якості продукції.

Типи адаптацій

Генетична. Спадкові зміни в генотипі рослин, що забезпечують стійкість до окремих факторів. Наприклад, стійкість до хвороб, стійкість до паразитів – сучасні стійкі до вовчка *Orobanche cumana* Wallr. гібриди соняшнику, стійкість до деяких хімічних сполук – *Clearfield* гібриди.

Акліматизація. Зміни у фенотипі рослин під впливом чинників навколишнього середовища протягом життя особини (наприклад, підвищення зимостійкості за поступового зниження температури).

Морфологічна. Зміни в будові рослин (наприклад, зменшення площі листкової поверхні для зменшення випаровування води в умовах посухи).

Фізіолого-біохімічна. Зміни у фізіологічних процесах і біохімічному складі рослин (наприклад, синтез захисних речовин у відповідь на стрес).

Швидка адаптація. Короткочасні реакції рослин на стрес (наприклад, закривання продихів для зменшення втрати води).

Сучасне сільське господарство стикається із серйозними викликами, пов'язаними зі зміною клімату й антропогенним впливом. Глобальне потепління, аридизація клімату, забруднення навколишнього середовища призводять до посилення дії несприятливих факторів на рослини.

Стійкість агросистем до кліматичних змін. Зміни клімату – це тривалі трансформації кліматичних умов Землі, що передбачають підвищення середньорічної температури повітря, зміни в розподілі опадів, а також збільшення частоти й інтенсивності екстремальних погодних явищ, зокрема тривалості періодів спеки, засух, повеней і злив. Такі кліматичні зміни чинять значний вплив на природні екосистеми, аграрний сектор, здоров'я населення та інфраструктуру.

Одним із визначальних проявів кліматичних змін є глобальне потепління, що супроводжується таненням льодовиків, підвищенням рівня моря та змінами кліматичних зон. Зміни в розподілі опадів призводять до нерівномірності

їх випадіння, провокують посухи в одних регіонах і повені в інших, що негативно позначається на сільському господарстві й екосистемах загалом. Водночас підвищення температур і часті посухи спричиняють зниження врожайності та погіршення якості сільськогосподарської продукції. Поширюються екстремальні погодні явища, як-от урагани, торнадо, бурі та зливи, що завдають значної шкоди господарству й інфраструктурі.

Кліматичні зміни також впливають на рух біорізноманіття: спостерігається перерозподіл видів рослин і тварин, зростає ризик зникнення окремих популяцій. Така закономірність зумовлює переривання ланцюгів екосистем на деякий час.

Для аграрного сектору України наслідки змін клімату вже очевидні: весняне потепління призвело до зміщення термінів посівної кампанії, а екстремальні температури й безсніжні зими створюють загрозу врожаям озимих (зокрема, пшениці озимої та ріпаку озимого). Нестача опадів змушує фермерів розширювати зрошувані площі навіть у традиційно досить зволожених регіонах. Окрім того, посилення вітрів ускладнює застосування засобів захисту рослин і спричиняє вітрову ерозію ґрунтів.

Для мінімізації негативних наслідків змін клімату фермерам необхідно впроваджувати адаптаційні заходи, які сприятимуть не лише збереженню врожайності, а й зниженню викидання парникових газів. Як зазначають експерти Програми USAID «Підтримка аграрного і сільського розвитку» (далі – АГРО), адаптація сільського господарства до нових кліматичних умов є ключовим чинником підвищення стійкості аграрного сектору України та збереження його конкурентоспроможності на світовому ринку. Також важливими є зменшення викидів парникових газів і підтримка збереження природних ресурсів для пом'якшення наслідків зміни клімату.

Зміни клімату, що відбуваються, можна поділити на кілька основних груп:

— зміни температурних умов весни призвели до зміщення термінів початку посівної кампанії, яка останнім часом починається в середньому на два тижні раніше;

— екстремальні температури та збільшення кількості різких змін погоди: похолодання у травні (наприклад 2024 р.), великі коливання між денними та нічними температурами, відсутність снігу взимку та тривала спека влітку (останні двадцять років). Деякі агрономи навіть зазначають, що за останні десятиліття спостережень вони фіксують ці явища та вважають, що такі зміни можуть бути результатом глобальної зміни клімату;

— зміни в кількості опадів. Так звані «ризиковані сільськогосподарські райони» через посуху раніше були на півдні України, але нині фермери з Лісостепу змушені переміщатися на північ, навіть у межах своїх регіонів. Через нестачу водних ресурсів на територіях, де раніше не було потреби у зрошенні, постала необхідність його застосування;

— сильні вітри, що ускладнюють застосування засобів захисту рослин і спричиняють ерозію ґрунтів. Це лише кілька прикладів кліматичних явищ, що ускладнюють роботу українських агрономів і фермерів.

Оперативна інформація про погоду та клімат, що надається сільськогосподарськими дорадчими службами, може бути корисною для ефективного

планування сільськогосподарської діяльності. Узимку дані про температуру повітря і ґрунту, глибину снігового покриву допомагають планувати снігозатримання. Актуальні відомості про рівень вологості у ґрунті та температуру його верхнього шару допомагають визначити оптимальний час для сівби різних культур, коригувати глибину сівби та норми висіву, а також планувати внесення добрив та інші агротехнічні заходи [3]. Прогнозування температурних режимів і стадій розвитку рослин дає можливість своєчасно проводити оброблення полів і садів для захисту від шкідників і хвороб. Прогнозування термінів дозрівання культур дозволяє підготуватися до збору врожаю [6]. Короткострокові та середньострокові прогнози погоди, а також попередження про несприятливі умови допомагають планувати польові роботи та використання сільськогосподарської техніки, а також уживати заходів для захисту від заморозків.

Наочні кліматичні зміни створюють серйозні проблеми для сільського господарства нашої держави, адже агропромисловий комплекс є важливим складником економіки України. Виявлення та своєчасне впровадження актуальних заходів дозволяє: запобігти деградації ґрунтів; сприяти раціональному використанню обмежених водних ресурсів; стійкості сількогосподарського виробництва. Доведено, що адаптація до змін клімату та впровадження інноваційних технологій дозволять підтримувати стабільність агросистем. Наведемо основні напрями адаптації за сучасних технологій.

Системи поливу з датчиками вологості: автоматичні системи, що регулюють полив залежно від потреб рослин (ці системи можуть працювати автономно, виткористовувати доступ до мережі й отримувати дані метеостанцій).

Використання стійких сортів і гібридів: вирощування рослин, які можуть витримувати стресові умови (висока температура, засуха, заморозки).

Використання систем ґрунтового покриття (мульчування): матеріали для покривання ґрунту, що зберігають вологу (вологоутримувачі) та допомагають підтримувати стабільну температуру (теплостабілізатори).

Точне землеробство: застосування GPS, датчиків і дронів для збирання даних про ґрунт і врожайність, що дозволяє оперативно отримувати й оптимізувати ресурси.

Екологічно чисті методи: використання органічних добрив, біологічного захисту рослин для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та збереження ґрунту.

Також важливо використовувати наукові дослідження для розроблення нових методів вирощування в умовах змін клімату. Наприклад, експериментують із вирощуванням сочевиці, квасолі, проса, нуту та сорго, які відкривають нові джерела доходу для фермерів і біорозмаїття для сільського господарства. Ці культури можуть бути вирощувані в умовах теплого клімату з малою кількістю опадів. Зміни клімату також можуть дозволити вирощувати нові види культур, зокрема солодку картоплю, арахіс і кавуни.

Адаптація сільського господарства є важливим кроком на регіональному та глобальному рівнях, а заходи з адаптації повинні бути сплановані для кожного регіону. У Європі традиційне сільське господарство поступово

замінюється органічним, що є більш стійким до змін клімату. Процес адаптації потребує більш активної участі фермерів, науковців і експертів, створення робочих груп і обміну досвідом. Варто констатувати, що в Україні нині вирішальне значення має соціально-економічний складник, що регулюється державою та чинними нормативно-правовими документами.

Зміни клімату вимагають від сільськогосподарських виробників адаптації та впровадження нових технологій, що дозволить зберегти стабільність агроценозів і гарантувати продовольчу безпеку.

Отже, підвищення толерантності до стресів і негативних чинників є важливим питанням сьогодення. Важливо наголосити на актуальності використання сучасних цифрових методик під час визначення характеру стресових факторів і впливу їх на стійкість агроценозу, що буде розглянуто в наступних підрозділах.

Агрономічний аудит. Методики комплексного оцінювання стану агроценозів сільськогосподарських культур

Агрономічний аудит – це комплексне оцінювання стану агроценозів сільськогосподарських культур, що передбачає проведення аналізу різних аспектів їхнього розвитку, продуктивності та стійкості.

Цілі агрономічного аудиту:

— отримання об'єктивної інформації про стан агроценозів;
— виявлення проблем і резервів підвищення продуктивності;
— розроблення рекомендацій щодо оптимізації технологій вирощування.

Завдання агрономічного аудиту:

— діагностика стану рослин і посівів;
— оцінювання та прогнозування стану агроценозів;
— проведення аналізу ефективності застосування технологій вирощування;
— виявлення чинників, що обмежують продуктивність.

Методологія комплексного оцінювання стану агроценозів базується на системному підході, що передбачає проведення аналізу різних компонентів агросистеми.

Рослини: фіксування своєчасності та дружності проходження етапів розвитку, оцінювання морфологічних параметрів (висота, кількість листків, площа листкової поверхні, діаметр стебла, діаметр суцвіття), фізіологічного стану (інтенсивність фотосинтезу, вміст хлорофілу, вегетаційні індекси NDVI, SAVI, GNDI, EVI та інші), ураження хворобами та шкідниками (видовий склад і ступінь поширення).

Ґрунт: визначення агрохімічних властивостей (вміст макро- та мікроелементів, pH), гранулометричного складу, вологоємності.

Агротехнічні заходи: оцінювання якості виконання агротехнічних заходів (обробіток ґрунту, сівба, внесення добрив і регуляторів росту, інтегрований захист рослин).

Погодні умови: проведення аналізу метеорологічних даних (температура, вологість, опади, інсоляція, вітер тощо) в оперативному режимі та за період вегетації.

Для оцінювання та прогнозування стану агроценозів використовують різноманітні методи.

Візуальний огляд: оцінювання стану росту та розвитку рослин на полі (класичними окомірними методами та сучасними – «зелений ефект», «Вігор» та інші).

Інструментальні методи: використання класичних приладів і експрес-діагностики для вимірювання стану ґрунту та параметрів росту й розвитку (уміст макро- та мікроелементів, вологість та pH ґрунту, ЧПФ, ФП, уміст пігментів).

Лабораторні методи: проведення аналізу рослинних зразків і ґрунту в лабораторії (використання мікроскопічних, біохімічних, спектрофотометричних та інших методів). Визначення показників якості отриманої продукції (уміст клейковини, крохмалю, білка й амінокислотний склад, олійність насіння та склад жирних кислот тощо).

Молекулярно-генетичні методи: ПЦР-аналіз, секвенування ДНК, генетичний аналіз.

Математичне моделювання: створення моделей, які дозволяють прогнозувати розвиток агроценозів. На сучасному етапі розвитку аграрної науки високоефективне залучення представників ІТ-сфери та штучного інтелекту.

Геоінформаційні технології (цифровий моніторинг). Використання супутникових знімків та інших геопросторових даних для оцінювання стану агроценозів. Нині в Україні можна отримувати актуальну в часі та просторі інформацію з понад 140 супутників [4; 25]. Більшість дистанційних методів базується на інтерпретації отриманих даних із сучасних сканувальних приладів. Оперативна достовірна інформація дозволяє зробити кожне рішення максимально доцільним. Наприклад, відомо, що застосування ЗЗР не рекомендовано за стресового стану рослин. Ступінь стресу в рослин можно швидко і якісно визначити за допомогою цифрових методів (зокрема, зміною флуоресценції та темпреатури ярусів рослинного покриву).

Значення агрономічного аудиту. Агрономічний аудит є важливим інструментом для підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва. Він дозволяє отримувати об'єктивну інформацію про стан агроценозів, виявляти проблеми та розробляти рекомендації щодо оптимізації технологій вирощування.

Застосування сучасних методів і обладнання дозволяє проводити більш точне та комплексне оцінювання стану агроценозів, що сприяє ухваленню обґрунтованих рішень і досягненню високих і стабільних урожаїв.

Завдання та питання для самостійної роботи

1. *Класифікація та значення екосистем.*
2. *Стійкість і стабільність агросистем.*
3. *Структура агроценозу та його слабкі сторони.*
4. *Сучасні тенденції до використання земельних ресурсів.*

5. *Агролісомеліорація: стан і значення.*
6. *Значення та шляхи збереження біорозмаїття.*
7. *Види та рівні стресів рослин.*
8. *Адаптація та заходи підвищення стійкості агроценозів.*
9. *Стійкість агросистем до кліматичних змін.*
10. *Агрономічний аудит і види моніторингу.*

Перелік джерел до розділу 6

1. Агроекологія : навчальний посібник / О. Ф. Смаглій та ін. Київ : Вища освіта, 2006. 671 с.
2. Манько Ю. П., Цюк О. Л. Модель системи екологічного землеробства в Лісостепу України. *Методичні рекомендації для впровадження у виробництво*. Київ : Аграрна освіта, 2018. 36 с.
3. Мельник А. В. Агробіологічні особливості вирощування соняшнику та ріпаку ярого в умовах Північно-Східного Лісостепу України : монографія. Суми : Університетська книга, 2013. 225 с.
4. Агроекологічний супутниковий моніторинг / О. Г. Тараріко та ін. Київ : Аграр. наука, 2019. 204 с.
5. Переваги та перспективи агролісомеліорації для аграріїв. *Агролайф*. 2024. URL: https://landlord.ua/agrolife-en/agrolisomelioratsiya-perevagi-ta-perspektivi-dlya-agrariyiv
6. Агроекономічні і екологічні основи прогнозування та програмування дрожайності сільськогосподарських культур : навчальний посібник / О. В. Харченко та ін. ; за заг. ред. О. В. Харченка. Суми : Університетська книга, 2014. 240 с.
7. Шувар І. А. Лісові насадження на захисті врожаїв. *Агробізнес сьогодні*. 2017. URL: https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/8815-lisovi-nasadzhennia-na-zakhysti-vrozhaiv.html
8. Altieri M. The myth of coexistence: Why transgenic crops are not compatible with agroecologically based systems of production. *Bulletin of Science, Technology, & Society*. 2005. № 25. P. 361–371.
9. Avery D. Saving the Planet with Pesticides and Plastics: The Environmental Triumph of High-Yield Farming. Indianapolis : Hudson Institute, 1995.
10. Multifunctional agriculture in the United States / G. Boody et al. *Bioscience*. 2005. № 55. P. 27–38.
11. Brown L. World facing huge new challenges on food front: business-as-usual not a viable option. *Earth Policy Institute.* 2008. URL: http://www.earth-policy.org/Updates/2008/Update72.htm (accessed May 30, 2008).
12. Dixon J., Gulliver A. Global farming systems study: challenges and priorities to 2030. Synthesis and overview. FAO and World Bank. Rome and Washington, D. C., 2001.
13. Donner S. D., Kucharik C. J. Corn-based ethanol production compromises goal of reducing nitrogen export by the Mississippi River. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2008. № 105 (11). P. 4513–4518.

14. European Commission. Digital Farming: Strategies for the Future. 2023. URL: https://ec.europa.eu (дата звернення: 15.08.2024).
15. Sustainable Agriculture and Digital Tools: A Global Perspective / FAO. FAO Publications, 2022. 272 p.
16. Global Forest Resources Assessments. FAO. URL: https://www.fao.org/forest-resources-assessment/remote-sensing/en/
17. Francis C. A. et al. Serving multiple needs with rural landscapes and agricultural systems. *Agroecosystems Analysis* / D. Rickerl, C. Francis (Eds.). ASA-CSA-SSSA. Madison, WI, 2004. P. 147–166.
18. Pimentel D., Pimentel M. Food, Energy, and Society. Boulder : University Press of Colorado, 1996.
19. Robertson G. P., Swinton S. M. Reconciling agricultural productivity and environmental integrity: A grand challenge for agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2005. № 3. P. 38–46.
20. Smil V. Energy in Nature and Society. Cambridge, MA : MIT Press, 2008.
21. Smith P. et al. Agriculture. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / B. Metz et al. (Eds.). Cambridge : Cambridge University Press, 2007.
22. Sustainable agroecosystem management: Integrating ecology, economics, and society / Ed. by P. J. Bohlen, G. House. 1st ed. 2019. 328 p.
23. Tilman D. et al. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature.* 2002. № 418. P. 671–677.
24. The Conversion to Sustainable Agriculture: Principles, Processes, and Practices / Ed. by St. R. Gliessman, M. Rosemeyer. 2010. 380 p.
25. Digital Agriculture: Trends and Opportunities / World Bank. World Bank Report, 2023. 144 p.

Розділ 7

ОРГАНІЗАЦІЯ І ТЕХНІКА СЕЛЕКЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

7.1. Організація селекційного процесу

Процес створення нових сортів сільськогосподарських культур у межах селекційної роботи розпочинається з формування програми, кінцевою метою якої є виведення сортів, що відповідають вимогам сучасного виробництва. Розроблена програма визначає використання селекційних методів, адаптованих до конкретної культури. Отже, селекція нових сортів є процесом побудови складних біологічних систем.

Під час селекційної роботи фахівець постійно порівнює новостворений матеріал з наявними формами, які підлягають заміні. Таке зіставлення проводиться ще на початкових етапах роботи. Упродовж усього процесу селекціонер здійснює відбір за показниками врожайності, її стабільності та якості продукції. Оскільки ці характеристики залежать від взаємодії генотипу з мінливими умовами довкілля, селекційний матеріал обов'язково випробовується в польових умовах [1; 2].

Ускладнення біологічних процесів в екологічній системі поля в умовах сучасного землеробства передбачає активне використання знань про біогенетичні процеси для ефективного управління селекційною діяльністю. Традиційний підхід у селекції, однак, зосереджує увагу переважно на створенні генетично різноманітного вихідного матеріалу й ідентифікації окремих генотипів. У таких умовах селекція перетворюється на своєрідний конвеєр, де просування матеріалу регулюється системою оцінок і відбору альтернативних форм, можливості яких оцінюються в контрольованих експериментальних умовах. Цей процес є дуже затратним, тривалим і вимагає наполегливої праці, а також упровадження інноваційних технологій, зокрема комп'ютерних і молекулярних [3].

Натепер технічні передумови для переходу до селекції складних біологічних систем уже створено. Комп'ютеризація забезпечує системний підхід до управління всіма етапами селекційного процесу: від підбору пар для схрещування і відбору елітних рослин до проведення конкурсного випробування.

Нові сорти розробляються з урахуванням вирощування у специфічних ґрунтово-кліматичних умовах, тому основна частина селекційної роботи здійснюється на типових для відповідних зон ґрунтах із застосуванням характерної для них агротехніки.

Селекційні посіви розміщують на вирівняних за рельєфом і родючістю полях з однорідними ґрунтами. Тому перед закладанням селекційної сівозміни проводять ретроспективне обстеження і аналіз ґрунтового покриву цільової ділянки. Для цього виконують *вирівнювальні* та *рекогносцирувальні* (розвідувальні) посіви. Вирівнювальні посіви практично не відрізняються від звичайних господарських, за винятком того, що обробіток ґрунту, удобрення та загальна технологія вирощування культури виконуються на більш високому рівні. Проведення кількох вирівнювальних посівів поспіль допомагає усунути строкатість родючості ділянки. У наукових закладах на вирівнювальних посівах останнього року врожай обліковують по дрібних ділянках, що називаються рекогносцирувальними посівами. Саме вони дозволяють найточніше оцінити неоднорідність родючості ґрунту [5; 6].

Дані, зібрані в польових умовах, є головним показником господарської цінності нових сортів. Оскільки умови середовища постійно змінюються в часі та просторі, важливо забезпечити типовість польових дослідів, щоби отримати максимально точні результати.

Типовість досліду означає випробування сортів у таких умовах, які якомога точніше відтворюють реальні умови їх майбутнього вирощування: це стосується ґрунтово-кліматичних умов, сівозмін, попередників культур, технологій сівби, систем удобрення, методів обробітку тощо. Рівень агротехніки в селекційній роботі має перевищувати рівень, прийнятий у виробництві.

Точність досліду визначається ступенем відповідності отриманих результатів (урожайності, якості продукції тощо) тим показникам, які дасть сорт або селекційний номер за вирощування на всій площі. Дані мають бути достовірними, максимально точними та зіставними.

Методика польового досліду базується на *принципі єдиної логічної відмінності*: усі сорти мають вирощуватися в однакових умовах, що дозволяє точно виявити відмінності, зумовлені лише генетичними особливостями.

Сорти тестують на малих ділянках у складних природних умовах, де вплив неконтрольованих чинників росту та розвитку рослин призводить до появи випадкових помилок, що можуть частково приховувати реальні відмінності між сортами. Будь-який дослід чи вибіркове спостереження містить елементи випадковості, оскільки деяка мінливість даних зумовлюється невідомими причинами.

Окрім *випадкових*, у дослідженнях часто припускаються *систематичних помилок*, що мають односпрямовану природу і діють за визначеними законами. Систематичні помилки поділяють на два типи: суцільні та несуцільні. *Суцільні* виникають у всіх варіантах досліду, не спотворюючи їхню порівнянність. *Несуцільні* ж виявляються тільки в окремих варіантах, що призводить до втрати зіставності результатів. Некваліфіковане або недбале виконання робіт може спричинити також появу грубих похибок [8; 9].

Дотримання принципу єдиної логічної відмінності дозволяє мінімізувати вплив випадкових похибок на точність результатів експерименту. Показник точності слугує критерієм для оцінювання достовірності проведеного дослідження, визначення ймовірності правильності зроблених висновків

і встановлення рівня відмінностей між досліджуваними варіантами. Поняття «точність дослідження» є протилежним до «помилковість»: що менше випадкових похибок, то вищою є точність експерименту.

На початкових етапах селекційної роботи основним джерелом випадкових помилок виступає індивідуальна мінливість рослин. Для достовірного оцінювання врожайності ліній або гібридів необхідно забезпечити на дослідній ділянці щонайменше 150–200 рослин для зернових культур, 50–100 рослин для низькостеблових просапних і 30–50 для високостеблових просапних культур. Підвищення точності досліджень досягається також збільшенням кількості повторень [1].

Селекційні сівозміни. У селекційних установах основні господарсько цінні властивості вихідного матеріалу та нових сортів оцінюють у польових умовах. Потенціал генотипу найкраще розкривається за оптимальних умов росту й розвитку рослин. Тому важливим чинником під час розміщення селекційних посівів є створення відповідного агротехнічного фону, що значною мірою визначається правильним вибором попередників.

Селекційні посіви розташовують у спеціально розроблених сівозмінах із типовим чергуванням культур, характерним для конкретної зони вирощування. Для селекційної роботи виділяють окрему земельну ділянку, яку поділяють на поля сівозміни. Важливо, щоб поля були вирівняні за рельєфом, мали однорідні ґрунти й відповідали типовим характеристикам зони. Розміри полів визначають залежно від обсягу селекційних програм для основних культур у даній установі.

Бажано, щоб форма полів була максимально наближена до квадрата, що дає змогу чергувати напрямки оранки. Перед початком використання кожного поля проводиться детальний ґрунтовий аналіз і складається ґрунтова карта. Під час експлуатації сівозміни рівень родючості підтримується за допомогою вирівнювальних посівів [2].

7.2. Селекційні посіви та їхнє призначення

Для створення, відбору й оцінювання селекційного матеріалу у практиці селекційної роботи сформувалася система організації посівів – від вивчення вихідного матеріалу (потомств індивідуального добору) до конкурсного сортовипробування. Загалом селекційні посіви поділяються на три основні групи: розсадники, сортовипробування та ділянки для розмноження нових сортів. У різних селекційних установах назви розсадників і етапів сортовипробування можуть дещо різнитися. Для окремих культур, як-от багаторічні трави чи цукрові буряки, закладення селекційних посівів відбувається з урахуванням їхніх біологічних особливостей.

Розсадники, у свою чергу, поділяються на кілька типів: розсадники вихідного матеріалу, селекційні, контрольні та спеціальні розсадники.

Розсадники вихідного матеріалу бувають *колекційними* й *гібридними*.

Колекційний розсадник передбачає посів вихідного (колекційного) матеріалу. Тут висівають зразки кращих вітчизняних і зарубіжних сортів, місцеві сорти, мутанти, поліплоїди, а також інші колекційні матеріали для початкового вивчення. З найціннішими зразками проводиться масовий або індивідуальний добір, підбираються батьківські форми для гібридизації чи обробки мутагенами. Посіви здійснюють без повторень, а для оцінювання раз на кожні 20–30 зразків висівають сорт-стандарт, що дає змогу порівнювати цінність вивчених зразків за біологічними властивостями та господарськими ознаками. Кількість зразків у такому розсаднику варіюється від 200 до понад 1000. Площі ділянок невеликі: для суцільних рядкових культур – 1–5 м^2, для просапних – 5–10 м^2. На кожну ділянку висівають 100–200 насінин, з довжиною рядків в 1–2 м, щоб отримати репрезентативне уявлення про зразок [3; 6; 9].

Гібридний розсадник закладається для вивчення гібридних популяцій і добору найкращих елітних рослин і родин. Тут висівають усі покоління гібридів – від F_1 до F_5–F_6 для всіх комбінацій схрещувань. Ділянки також розташовують без повторень. Їхня площа залежить від кількості наявного насіння, але не перевищує 10 м^2. Поряд із гібридами обов'язково висівають батьківські форми. Сорт-стандарт висівають через кожні 20–30 номерів. У гібридах першого покоління висівають усе наявне насіння, забезпечуючи площу живлення однієї рослини 5×20 см (за стандартами Інституту рослинництва імені В. Я. Юр'єва) або 10×30 см (за практикою Селекційно-генетичного інституту НААН та Миронівського інституту пшениці імені В. М. Ремесла). Довжину ділянок підбирають відповідно до можливостей збиральної техніки. Відбір елітних рослин і родин здійснюють протягом усього вегетаційного періоду за комплексом біологічних і господарських ознак. Відібрані рослини маркують етикетками для полегшення збору. Під час індивідуального добору кожну рослину викопують окремо разом із кореневою системою [9].

Селекційний розсадник використовується для попереднього порівняльного оцінювання потомств рослин, відібраних індивідуально в колекційному розсаднику чи в інших посівах. Кількість номерів у селекційному розсаднику залежить від обсягу селекційної роботи й може сягати від кількох сотень до кількох тисяч. Сорт-стандарт висівають через кожні 10–20 номерів для забезпечення надійності оцінок (рис. 7.1, див. с. 207) [2].

Для однорічних перехреснозапильних культур у селекційному розсаднику сорт-стандарт не висівають, щоб запобігти небажаному запиленню селекційного матеріалу. У такому разі селекційні форми порівнюють безпосередньо одну з одною, відбирають найкращі зразки для подальшої роботи. Через тривале розщеплення ознак відбір у такому розсаднику триває 3–4 роки або навіть довше, аж поки не буде виведено форму, стабільну за морфологічними характеристиками та господарськими властивостями.

Ділянки в селекційному розсаднику розміщують без повторень. Посів здійснюють із міжряддями в 15–30 см залежно від культури, зони вирощування та прийнятої методики. На 1 м висівають 10–40 насінин. Ділянки можуть мати 1–6 рядків завдовжки 1–6 м. Протягом вегетаційного періоду проводять

фенологічні спостереження за фазами розвитку рослин, а оцінювання проводять за результатами польових спостережень і лабораторних аналізів. У селекційному розсаднику здійснюють ретельне вибраковування матеріалу: перший етап – перед збиранням за результатами польових спостережень, другий – після лабораторного аналізу. Найкращі номери, які перевершують сорт-стандарт за господарсько-біологічними показниками, висівають у контрольному розсаднику [7].

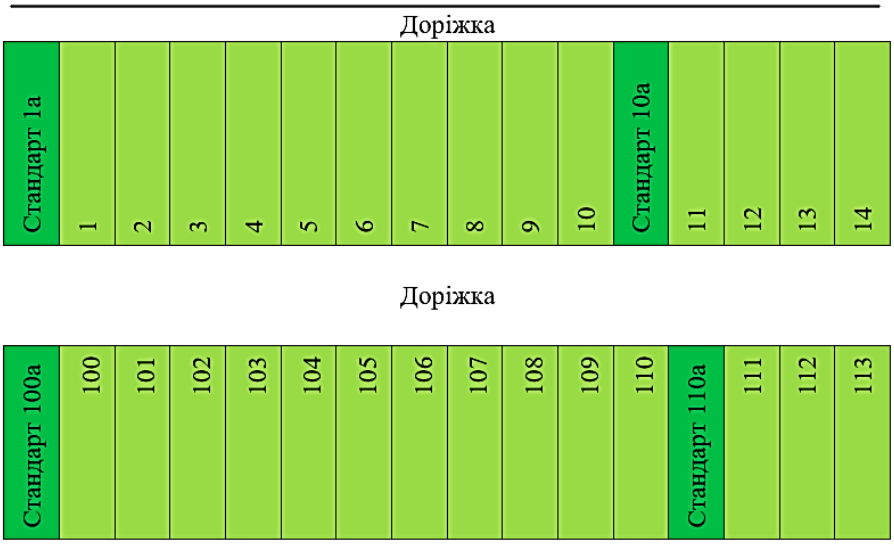


Рисунок 7.1 – Загальна схема селекційного розсадника

Контрольний розсадник призначений для оцінювання біологічних властивостей і продуктивності селекційних номерів. Кількість зразків тут менша, ніж у селекційному розсаднику, і становить від кількох десятків до 500 або більше. Площа ділянок варіюється від 5 до 20 м^2 (іноді до 50 м^2) залежно від обсягу робіт і технічних можливостей. Ділянки закладають у 2–4-кратному повторенні. Сорт-стандарт висівають через кожні 5–10 номерів. Норма висіву визначається за масою 1000 насінин, виходячи з оптимальної густоти стояння рослин. Урожай з кожної ділянки зважують і перераховують на гектар. За результатами оцінювання і спостережень відбирають 20–25 % кращих номерів для подальшого випробування [1; 9].

Спеціальні розсадники застосовуються в селекційних програмах для виведення сортів, стійких до хвороб. Частину насіння висівають на інфекційному фоні для оцінювання стійкості до захворювань паралельно з основним селекційним і контрольним розсадниками та попереднім сортовипробуванням.

Сортовипробування поділяється на попереднє, конкурсне, міжстанційне (екологічне) та виробниче.

Попереднє сортовипробування передбачає оцінювання селекційного матеріалу за важливими господарськими та біологічними ознаками в умовах,

максимально наближених до виробничих. До нього зараховують 25–30 сортів, а за великого обсягу роботи – 100 і більше. Площа ділянки – 10–50 м^2, повторення – 3–4-кратне, розміщення сортів – рендомізоване. Сорт-стандарт висівають через 5–20 номерів. Після 2–3 років випробувань кращі сорти передають у конкурсне випробування.

Конкурсне випробування є завершальним етапом вивчення нових сортів у селекційній установі. Метою є відбір сортів, які перевищують існуючі стандарти за врожайністю та якістю, розроблення технології їх вирощування та визначення сортів для передачі в *державне сортовипробування*. Досліди проводять на ділянках площею 10–100 м^2 у 4–6-кратному повторенні, з вивченням сортів за кількома попередниками. Тривалість конкурсного випробування – 2–4 роки.

Міжстанційне (екологічне, зональне) випробування проводиться водночас з конкурсним і спрямоване на оцінювання пластичності сортів у різних екологічних умовах. До дослідів залучають кілька сортів із різних селекційних установ. Екологічне випробування є важливим для остаточного оцінювання сорту перед державною реєстрацією.

Виробниче випробування проводиться паралельно з конкурсним на площах 1–2 га (для зернових культур) у 2–3-кратному повторенні. Досліди організовують у кількох господарствах, де нові сорти порівнюють із зареєстрованими або перспективними сортами.

Розмноження нових сортів є важливим складником селекційного процесу. Для забезпечення належної кількості насіння для державного сортовипробування і розсилання на дослідні станції селекційні установи здійснюють попереднє розмноження найкращих сортів, відібраних із контрольного розсадника, а також перспективних сортів попереднього й конкурсного випробування, включаючи сорти, виведені іншими установами [5–7].

7.3. Схема селекційної роботи з перехреснозапильними культурами

Селекційна робота з перехреснозапильними культурами загалом має таку ж послідовність виконання, як і із самозапильними культурами. Загальна схема селекційного процесу, назви розсадників і порядок їх закладання є майже однаковими для обох груп культур. Водночас особливості розмноження призводять до суттєвих відмінностей у техніці селекційної роботи.

Перехреснозапильні культури реагують на масовий добір таким чином: спостерігається зсув у напрямі тиску добору за збереження високої мінливості потомства. Проте в індивідуальному доборі є важлива відмінність: усе потомство самозапильної рослини залишається однорідним, тоді як у перехреснозапильної культури воно буде різнорідним. Це зумовлює тривале розщеплення селекційного матеріалу як гібридного, так і негібридного походження. Причиною цього є гетерозиготність рослин, що підтримується постійним перехресним запиленням навіть між подібними за походженням особинами.

Через це в перехреснозапильних культур процес добору й формування селекційного матеріалу триває протягом усього селекційного циклу. Добір проводиться водночас із випробуванням нових форм, зазвичай в умовах ізоляції в розсадниках розмноження. Натомість у самозапильних культур формування стабільної (константної) форми гібридного походження зазвичай завершується ще на етапі селекційного розсадника [7].

Розсадники перехреснозапильних культур закладають ізольовано від інших посівів цієї ж культури, щоб запобігти неконтрольованому перезапиленню. Незалежно від використовуваних методів добору в селекційних розсадниках обов'язковим є вибраковування рослин, які не відповідають вимогам селекціонера, ще до початку їхнього цвітіння.

Особливістю роботи з перехреснозапильними культурами є також те, що всі форми, відібрані в селекційному розсаднику й призначені для подальшого випробування, спочатку висівають у розсаднику розмноження за умов ізоляції. У контрольному розсаднику ці форми випробовують і водночас розмножують, із суворим дотриманням просторової ізоляції. Форми, що не витримали випробування, видаляють із розсадника розмноження.

Найкращі форми продовжують розмножувати в розсаднику розмноження, використовують їхнє насіння для подальших етапів випробування, включно з державною апробацією.

Ще однією особливістю селекції перехреснозапильних культур є необхідність висівати окремі форми, призначені для добору елітних рослин, ізольовано, щоб уникнути небажаного перезапилення. Постійна потреба у просторовій ізоляції на різних етапах значно ускладнює селекційний процес для таких культур. Більшість розсадників доводиться розташовувати на великих відстанях один від одного, що суттєво ускладнює проведення всіх необхідних робіт під час вегетаційного періоду [1; 2; 9].

7.4. Схема селекційної роботи з рослинами, що вегетативно розмножуються

Селекційний процес включає використання вже наявного та створення нового вихідного матеріалу, а також оцінювання та добір найкращих сіянців, клонів, гібридів і сортів у системі спеціальних розсадників. Залежно від напрямів селекції та ґрунтово-кліматичних умов регіону схеми селекційної роботи можуть дещо варіюватися, проте основні етапи залишаються незмінними. До них належать: розсадник вихідного матеріалу, розсадник сіянців, попереднє та основне сортовипробування.

Розсадник вихідного матеріалу поділяється на дві частини: колекційну та батьківських форм. Їхнє основне завдання – забезпечення селекційного процесу вихідним матеріалом. Колекційний розсадник містить зразки сортів вітчизняної і зарубіжної селекції, різні види картоплі, а також мутантні й гаплоїдні форми. Кожен номер висаджують на невеликих ділянках по 5–20 кущів

без повторення. Проводять прочищення, видаляють уражені хворобами рослини й домішки. Зразки оцінюють за основними господарськими ознаками – урожайністю, крохмалистістю та іншими. Це дозволяє виділити найцінніші форми для подальшого використання в селекції або передання у виробництво [1].

Розсадник батьківських форм об'єднує сорти, дикі види та проміжні гібриди, призначені для гібридизації. Висаджують по 20–30 бульб кожного зразка в полі або теплицях. Тут проводять схрещування та створюють оптимальні умови для утворення ягід. За потреби використовують літнє садіння для проведення схрещень у спекотний період.

Розсадник сіянців першого року включає розсаду з насіння та відібрані клони. Розмір ділянок залежить від кількості сіянців або клонів. Через кожні 20–25 номерів висаджують три стандартні сорти (ранньостиглий, середньостиглий і пізньостиглий) для порівняння. Оцінювання проводять по кожній рослині окремо. Відбір здійснюють за тривалістю вегетації, урожайністю, крохмалистістю, стійкістю до хвороб, а також за ознаками бульб під час збирання. Кращі сіянці відбирають для подальшої роботи, слабші вибраковують.

Розсадник сіянців другого року (перший рік розмноження бульбами) формують із відібраного матеріалу попереднього року. Бульби кожного номера поділяють на дві частини: одну висаджують навесні, іншу – улітку. Посадку проводять на однакових ділянках по 5–10 бульб у рядку, з висадкою стандартів через кожні 5–10 рядків. Оцінювання здійснюють за тими ж ознаками, що й у першому році. Найкращі зразки відбирають, а решту вибраковують. Відібране насіння додатково тестують на стійкість до раку картоплі [2].

Попереднє сортовипробування (розсадник третього року) включає зразки із другого року добору. Номери висаджують у трикратній повторності по 30 бульб у кожному повторенні, зі стандартами через кожні 10 номерів. Порівнюють урожайність, крохмалистість, скоростиглість і стійкість до хвороб. Після збирання аналізують смакові властивості та здатність до зберігання. Ті сорти, що не перевищують стандарт за основними показниками, вибраковують.

Основне сортовипробування триває три роки. Дослідження проводять на високому агрофоні, з типовою для виробництва площею живлення рослин. У перший рік використовують чотирикратне повторення, у другий і третій – шестикратне. Ділянки зазвичай чотирирядкові, на кожній вирощують 200 рослин. Сорти оцінюють за врожайністю, тривалістю вегетації, посухостійкістю, стійкістю до хвороб, крохмалистістю тощо [7].

Перспективні сорти одночасно проходять *динамічне*, *екологічне* та *виробниче випробування*.

Динамічне випробування триває три роки й має на меті визначити тривалість вегетаційного періоду, насамперед для скоростиглих сортів. Спостереження проводять паралельно з основним випробуванням.

Екологічне випробування триває щонайменше три роки й допомагає оцінити адаптивність сортів до різних ґрунтово-кліматичних умов. Насіннєвий матеріал висилають на інші селекційні станції та селекцентри, де оцінюють його за комплексом господарських ознак.

Виробниче випробування проводиться для найкращих сортів за результатами основного та динамічного випробувань. Його закладають у господарствах на площі 0,25–0,5 га, де новий сорт порівнюють із сортами, зареєстрованими в Реєстрі сортів рослин України.

На підставі даних основного та виробничого випробувань кращі сорти передають на державне сортовипробування [2; 7].

7.5. Механізація і техніка робіт у селекційному процесі

Селекційна робота передбачає вирощування рослин на численних невеликих ділянках, особливо на початкових етапах селекційного процесу, що супроводжується отриманням обмежених обсягів урожаю. Оскільки всі польові роботи на окремих дослідних ділянках необхідно виконувати оперативно – бажано впродовж одного дня і з високою якістю, постає потреба у використанні спеціалізованої техніки для сівби, догляду за посівами та збирання врожаю.

Підготовка ґрунту. Оранку та передпосівний обробіток ґрунту зазвичай виконують стандартною виробничою сільськогосподарською технікою. Щоб мінімізувати негативний вплив рознімних борозен і гребенів на дослідних ділянках, загони для оранки планують так, щоб їхні стики припадали на захисні смуги. Добрива вносять рівномірно з обов'язковим загортанням на однакову глибину по всій площі. Передпосівний обробіток здійснюють вчасно і якісно, з дотриманням агротехнічних вимог, характерних для зони [3; 5].

Сівба. Посів проводять у найкращі строки за допомогою тракторних касетних сівалок або інших механізмів, що дозволяють швидко очищати висівні апарати. Сучасні сівалки точного висіву забезпечують точну норму висіву насіння. Ширина посівних ділянок варіюється від 1 до 6 рядків, довжина – від 1 до 10 метрів. Для посіву використовують касетні сівалки точного висіву (СКС-6-10, СФ-5, СР-1,35), змонтовані на самохідному шасі Т-16, що значно підвищує продуктивність у початкових етапах селекції.

У разі відсутності сівалок насіння висівають вручну під шнур у розсаднику вихідного матеріалу або за допомогою селекційних ручних сівалок (СР-1) чи спеціальних саджалок. Для посівів на селекційних, контрольних і конкурсних ділянках також застосовують рядкові сівалки (СКС6А, СН-10Ц), що дозволяють висівати від 2 до 10 рядків завдовжки 2–15 м із міжряддями 10–70 см. Такі сівалки мають автоматизовану систему подачі насіння за заданою програмою.

Основні вимоги до селекційних посівів – однакова густота стояння рослин і рівномірна глибина загортання насіння [2; 8].

Догляд за посівами. Мета догляду – створення оптимальних умов для розвитку рослин. Для обробітку використовують сітчасті та зубові борони, а також спеціально переобладнані навісні культиватори для міжрядного обробітку. Через велику кількість малих ділянок у селекційних посівах важливу роль відіграє утримання міжрядь і доріжок між ділянками в чистому стані – без бур'янів і з розпушеним ґрунтом.

Збирання врожаю. Способи збирання залежать від етапу селекційної роботи. У розсаднику вихідного матеріалу та селекційних розсадниках окремі рослини збирають вручну. Для обмолоту невеликих партій зерна чи снопів застосовують малогабаритні молотарки: МСС-2, МЗ-1-О, МКС-1М, МР-1 (для зернових, бобових і круп'яних культур), МСС-500 (для насінників буряків), МПВ-1, МС-60 (для насіння льону).

Для скошування невеликих ділянок (1–2 рядки) використовують малогабаритні косарки типу СК-0,25. Їхня продуктивність сягає до 160 ділянок за зміну. Косарки оснащені двигуном «Дружба» і пересуваються вручну.

Урожай із ділянок площею 10–25 м^2 збирають малогабаритними комбайнами: Sidmaster 125, Hege-125, Hege-140, Sampo-130, Sampo-500 та іншими. Комбайни обладнані змінними жатками із шириною захвату 1,25–2,0 м, що дозволяє ефективно обробляти селекційні посіви [8].

7.6. Спостереження за рослинами та їх вибраковування

Оцінювання і добір вихідного матеріалу в селекції обов'язково супроводжуються спостереженням за ростом і розвитком рослин, тобто проведенням фенологічних спостережень за фазами їхнього розвитку. Фазою розвитку вважається поява зовнішніх морфологічних ознак, що пов'язані з формуванням окремих органів і частин рослини. Від моменту сходів до дозрівання рослин проходить кілька фаз, під час яких рослини по-різному реагують на умови середовища. Наприклад, у пшениці одні сорти мають короткий період від сходів до колосіння, інші – коротший період дозрівання зерна [5; 8].

На етапі до колосіння рослини пшениці є особливо чутливими до довжини світлового дня, температурного режиму та вологості. Темпи розвитку на цих етапах контролюються численними генами з різними типами взаємодії. Тому для точного оцінювання селекційного матеріалу необхідно знати тривалість міжфазових періодів і загальну тривалість вегетації.

Міжфазовий період – це кількість днів від початку однієї фази до початку наступної.

Вегетаційний період – це кількість днів від повних сходів до повної стиглості.

У селекційній практиці вибирають найважливіші фази для спостереження. Початок фази фіксують, коли 10–15 % рослин на ділянці досягають визначеного стану, а повне настання – коли у фазу вступає понад 75 % рослин. Спостереження зазвичай ведуть візуально, аналізують вибірку з 10 рослин, рівномірно розміщених на п'яти різних ділянках. Результати заносять до «Журналу фенологічних спостережень».

Основні фази розвитку для спостережень:

— *злакові культури:* сходи, кущіння, вихід у трубку, колосіння (викидання волоті), цвітіння, молочна, воскова й повна стиглість зерна;

— *озимі культури:* додатково фіксують відновлення весняної вегетації;

— *кукурудза:* сходи, викидання волоті, поява ниток качана, стиглість зерна;

— *зернобобові:* сходи, галуження, бутонізація, цвітіння, утворення плодів, дозрівання;

— *картопля:* сходи, бутонізація, цвітіння, початок відмирання бадилля.

Окрім фаз розвитку, обов'язково фіксують дати сівби та збирання врожаю [3].

Облік густоти стояння рослин. У селекційних посівах і сортовипробуванні важливо визначити відсоток збережених рослин. Для цього після повних сходів на ділянках за діагоналлю виділяють пробні ділянки. За суцільного висіву визначають кількість рослин на площі 0,5 або 1 м^2, підраховують їх на трьох або шести ділянках розміром у два рядки по 55,5 см завдовжки. Відсоток збереження рослин обчислюють за формулою.

Оцінювання селекційного матеріалу. У селекційному розсаднику, де номери висіяні без повторень, селекціонер оглядає кожну ділянку, оцінює густоту, розвиток рослин і суцвіть, стійкість до вилягання, хвороб тощо. Невідповідні номери вибраковуються, про що роблять позначку в журналі.

У контрольному розсаднику оцінювання проводять по всіх повтореннях для кожного номера. Лише після огляду всіх варіантів ухвалюють рішення про вибраковування або допущення номера до подальшої роботи [9].

Збирання та облік урожаю. У розсаднику вихідного матеріалу та селекційному розсаднику елітні рослини збирають індивідуально або групами з усієї ділянки залежно від методів добору. До кожної окремо зібраної рослини прикріплюють етикетку із зазначенням номера ділянки, номера зразка та дати збору. Рослини, зібрані з окремих ділянок, об'єднують у снопи й також етикетують. Їхню продуктивність оцінюють за елементами структури врожаю.

У попередньому та конкурсному сортовипробуванні врожай обліковують з одиниці площі. Перед збиранням проводять обстеження ділянок. Якщо виявлено пошкодження чи неоднорідність росту через агротехнічні порушення або шкідників, такі зони вилучають з обліку.

Для оцінювання врожайності відбирають проби. Спочатку збирають урожай на вилученнях і захисних смугах, а потім – на обліковій площі ділянки. Використання техніки для збору врожаю описане раніше.

Облік урожаю, приведення його до стандартної вологості та статистична обробка результатів здійснюються за вимогами методики державного сортовипробування [2].

7.7. Молекулярні методи як важливий елемент селекційного процесу

Використання сучасних біотехнологічних методів, зокрема молекулярної біології, здатне значно прискорити селекційний процес. Застосування фрагментів ДНК з відомою нуклеотидною послідовністю дає змогу більш ефективно оцінювати генетичну різноманітність, виявляти цільові гени та контролювати їх передачу під час схрещування. Такий підхід лежить в основі створення перспективного вихідного матеріалу із заздалегідь визначеними властивостями, що відповідають запитам агровиробників і споживачів.

Вони не тільки підвищують точність і ефективність добору, а й сприяють появі інноваційних сортів, адаптованих до вимог сучасного аграрного ринку й умов змінного клімату.

Проведення діагностики наявності окремих генів або їхніх комбінацій за допомогою специфічних фрагментів ДНК-маркерів, комплементарних цільовим генам, дозволяє здійснювати відбір без тривалих польових випробувань великої кількості зразків. Цей метод дістав назву маркерної селекції (MAS – marker-assisted selection) [10; 11].

Процес молекулярної діагностики розпочинається з виділення (ізоляції, осадження та очищення) нуклеїнових кислот (ДНК). Методи ізоляції ДНК умовно поділяються на аналітичні та препаративні залежно від необхідної кількості ДНК. Вони відрізняються за об'ємом вихідного матеріалу та витратою реактивів, проте головною вимогою залишається суворе дотримання заданих пропорцій реагентів.

Підготовка біологічного зразка для ПЛР, рестрикційного аналізу ДНК, секвенування тощо передбачає вибір відповідної методики залежно від мети дослідження, необхідного часу та ступеня очищення зразка. Суть методів полягає в екстракції нуклеїнової кислоти з біоматеріалу й усуненні сторонніх домішок (білків, залізовмісних сполук тощо) для отримання максимально інтактної молекули нуклеїнової кислоти, оскільки ДНК за ізоляції неминуче фрагментується.

Ключові вимоги до методів виділення нуклеїнових кислот:

— ефективний лізис клітин;
— селективна екстракція або сорбція;
— концентрація з великих об'ємів;
— видалення інгібіторів ПЛР;
— відокремлення ДНК від РНК;
— висока концентрація кінцевого продукту;
— відсутність контамінацій;
— мінімальні часові витрати;
— безпечність процедур;
— універсальність для різних біологічних об'єктів;
— відтворюваність і валідація результатів;
— можливість автоматизації процесів [4].

Наступним етапом молекулярної діагностики є проведення полімеразної ланцюгової реакції (далі – ПЛР), тісно пов'язаної із застосуванням молекулярних маркерів.

Молекулярні маркери, або ДНК-маркери, – це індикатори генетичної інформації, що аналізуються на рівні ДНК. Вони представляють третє покоління маркерних систем: після білкових маркерів і традиційних генетичних маркерів, які раніше називали сигналами. Сигнали – це гени, зручні для спостереження, що дозволяють ефективно відстежувати успадкування окремих ділянок хромосом, без зміни цільової ознаки [4; 10].

7.8. Молекулярні маркери в генетичних дослідженнях і в селекції

Класичний генетичний маркер відповідає гену, алелі якого мають чітко виражені відмінності на рівні фенотипу.

Білковий маркер відповідає гену, алелі якого мають відмінності (різну молекулярну масу) лише на рівні білкового продукту.

Молекулярний маркер відповідає гену або некодуючій ділянці геному, різні варіанти (алелі) якого різняться на рівні ДНК. Відмінності на рівні ДНК (поліморфізм ДНК) можуть бути виявлені:

— за допомогою гібридизації з відомими нуклеотидними послідовностями;

— за секвенування нуклеотидної послідовності;

— порівнянням довжини фрагментів, отриманих за допомогою полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР);

— унаслідок обробки ДНК ендонуклеазами рестрикції (табл. 7.1).

Натепер налічується декілька десятків типів молекулярних маркерів.

Таблиця 7.1 – Основні типи молекулярних маркерів

№	Маркер	Особливості
1	AFLP (amplified fragment length polymorphism)	Поліморфізм довжин штучно подвоєних (ампліфікованих) фрагментів
2	CAPS (cleaved amplified polymorphic sequences)	Штучно розщеплені подвоєні (ампліфіковані) послідовності
3	DArT (diversity array technology)	ДНК-чип технологія вивчення генетичної різноманітності біологічних систем, зокрема алельної варіабельності організмів
4	IRAP (interretrotransposon amplified polymorphism)	Поліморфізм ампліфікованих фрагментів між ретротранспозонами – мобільними елементами геному
5	ISSR (inter simple sequence repeats)	Поліморфізм проміжних ділянок між простими повторами послідовності ДНК
6	RAPD (random amplified polymorphic DNA)	Поліморфізм випадково ампліфікованої ДНК
7	RFLP (restriction fragment length polymorphism)	Аналіз фрагментів ДНК різної довжини, що розщеплені рестрикційними ферментами
8	SCAR (sequence characterized amplified region)	Послідовно схарактеризована ампліфікована область. Потребує інформації про нуклеотидний склад цільового фрагмента
9	SNP (singlenucleotide polymorphism)	Маркер, асоційований з відмінностями в будові окремих нуклеотидів
10	SSAP (sequencespecific amplification polymorphism)	Маркери на основі транспозонів, що використовуються для встановлення спорідненості між таксонами, сортами й у селекційній практиці
11	SSR (simple sequence repeats)	Прості послідовності нуклеотидів, що повторюються (мікросателіти) від 5 до 50 разів у геномі. Маркер дуже варіабельний
12	SSCP (single strand conformation polymorphism)	Поліморфізм конформації одноланцюгової ДНК, що проявляється у відмінностях будови протилежних ланцюгів спіралі за деяких експериментальних умов
13	STS (sequence tagged site)	Сайт, або локус (200–300 нуклеотидів), точна послідовність якого не трапляється більше ніде в геномі

Упровадження методів і концепцій молекулярної генетики в різні галузі біології, медицини та сільського господарства виводить їхній розвиток на новий рівень і характеризується високою результативністю як у науковій, так і у прикладній сферах. Сучасна селекція рослин переживає етап цілеспрямованих генетичних змін.

Розвиток молекулярної генетики безпосередньо сприяв створенню біотехнологій, що доповнюють класичні підходи селекційної роботи. Однією з невід'ємних характеристик селекційного матеріалу натепер є наявність генетичного паспорта. Використання новітніх молекулярно-генетичних технологій поряд із традиційними методами стає ключовим фактором оптимізації селекційних процесів. Зокрема, це дає можливість здійснювати лабораторне оцінювання вихідного матеріалу перед посівом, вибирати найбільш перспективні гібридні комбінації, суттєво скорочувати терміни добору та створювати генотипи із заданими властивостями [10].

Аналіз і класифікація величезного генетичного розмаїття, що проявляється на рівні ДНК, є надзвичайно актуальними для селекції, оскільки саме поєднання окремих нуклеотидних змін визначає фенотипічну мінливість.

Нуклеїнові кислоти є біополімерами, що складаються з мономерів – нуклеотидів. Існують два основні типи нуклеїнових кислот: дезоксирибонуклеїнова (ДНК) та рибонуклеїнова (РНК) [10; 11].

Виділення ДНК із клітин і тканин є базовим етапом дослідження живих організмів на молекулярному рівні. Більшість молекулярно-біологічних методів, як-от ампліфікація, зворотна транскрипція, ПЛР у реальному часі, клонування, секвенування, гібридизація та синтез ДНК, неможливо здійснити без попереднього очищення нуклеїнових кислот.

Екстракція нуклеїнових кислот з еукаріотичних клітин пов'язана зі складнощами через специфіку молекулярної структури ДНК і РНК, їхні функції та внутрішньоклітинну організацію. Для виділення геномної ДНК необхідно руйнувати клітинні структури й очищати ДНК від супутніх молекул, зокрема білків хроматину. Важливо захистити ДНК від деградації під дією нуклеаз і максимально зберегти її цілісність, оскільки довгі лінійні молекули ДНК під час ізоляції можуть фрагментуватися.

Методи виділення ДНК умовно поділяють на аналітичні та препаративні залежно від необхідної кількості отриманої ДНК. Вони різняться за обсягом вихідного матеріалу та витратою реагентів, водночас основною умовою є точне дотримання пропорцій між наважками й об'ємами розчинів [4].

Вибір методики виділення ДНК визначається завданням дослідження, бажаним ступенем очищення та часовими обмеженнями.

До основних вимог, які повинні забезпечувати методи виділення ДНК або РНК, належать:

— ефективний лізис біоматеріалу;
— селективна екстракція або сорбція;
— концентрація нуклеїнових кислот із великих об'ємів;
— усунення інгібіторів ПЛР;
— розділення ДНК та РНК;

— високий вихід очищеної ДНК;
— можливість калібрування та контролю якості;
— мінімальний ризик контамінації;
— економія часу;
— можливість автоматизації процесу.

Методи виділення нуклеїнових кислот можна класифікувати на основі фізичних і біохімічних характеристик і виділити два основні класи:
— рідкофазні методи;
— твердофазні методи [4; 10].

7.9. Рідкофазні методи. Класичні методи виділення

Традиційні методи виділення нуклеїнових кислот зі складних біологічних матеріалів, як-от кров чи тканини, передбачають руйнування клітин за допомогою детергентів або хаотропних агентів, часто у присутності ферментів, що розщеплюють білки. Для клітинного лізису та денатурації білків зазвичай застосовують додецилсульфат натрію. Далі виконуються етапи з використанням органічних розчинників, наприклад, фенолу, хлороформу чи етанолу.

Деякі методики очищення ДНК від білків хроматину включають обробку протеїназами. Для повного відділення білків додають перхлорат натрію. Під час процедури одночасно частково виділяється РНК, яку згодом усувають за допомогою РНКази. У разі необхідності розділення РНК і ДНК застосовують селективну інкубацію із хлоридом літію або ізоляцію з використанням гуанідинхлориду чи гуанідинтіоціанату, поєднану з фенольною екстракцією або осадженням етанолом.

Такі підходи мають деякі недоліки: високий ризик деградації нуклеїнових кислот, утрати зразка або перехресного забруднення за паралельної обробки кількох проб. Під час виділення РНК особливо актуальною є проблема контамінації ДНК.

Стандартна методика отримання чистої ДНК базується на її здатності не розчинятися в органічних розчинниках. Традиційно для цього використовують фенол-хлороформну екстракцію: у результаті змішування клітинного лізату з фенолом формуються дві фази – водна (де знаходиться ДНК) і органічна (де накопичуються денатуровані білки). Проте ця технологія використовує токсичні речовини та включає стадії центрифугування і рідинної екстракції, що ускладнює автоматизацію процесу [11].

Осадження нуклеїнових кислот спиртами застосовується для концентрації НК та видалення домішок. Метод базується на здатності нуклеїнових кислот утворювати агрегати у присутності спиртів і солей. Для осадження використовуються солі, зокрема:
— ацетат амонію (≥2,0 М);
— хлорид літію (≥0,8 М);
— хлорид натрію (≥0,2 М);
— ацетат натрію (≥0,3 М).

Широко використовуються етиловий та ізопропіловий спирти. Преципітація НК відбувається за концентрації етилового спирту 70 % і більше або ізопропілового спирту 40 % і більше. За низького вмісту НК застосовують коосаджувачі, як-от тРНК чи глікоген. Після центрифугування осад промивають 70 % етанолом для видалення залишкових солей. Варто зазначити, що разом із НК можуть осаджуватися також цукри, білки, фосфати, етилендиамін тетраоцтова кислота (ЕДТА) та інші речовини [10].

Екстракція за допомогою перхлорату натрію використовується для очищення від білків. Метод ґрунтується на денатурації білків під дією високих концентрацій $NaClO_4$, після чого центрифугування дозволяє відокремити денатуровані білки й інші домішки. Буферні розчини перхлорату натрію можуть застосовуватися вже на стадії клітинного лізису.

Для отримання високоочищених препаратів нуклеїнових кислот, придатних для проведення ферментативних реакцій, використовують комбіновані методики, що об'єднують лізис, екстракцію та осадження. Наприклад, лізис за допомогою хаотропних солей (гуанідинтіоціанат) і детергенту (Triton X-100), подальша екстракція сумішшю фенолу та хлороформу й осадження спиртом. Це забезпечує ступінь очищення, необхідний для методів зворотної транскрипції, ПЛР та інших молекулярно-біологічних досліджень.

Метод екстракції з NaCl дає результати, подібні до фенол-хлороформної екстракції за якістю та кількістю ДНК, проте має переваги у швидкості та безпечності, оскільки не потребує використання токсичних реагентів [11].

7.10. Твердофазні методи: основні принципи

У твердофазних методах виділення нуклеїнових кислот реалізуються такі основні механізми:

а) формування водневих зв'язків із немодифікованими гідрофільними поверхнями, зазвичай на основі кварцу, у присутності хаотропних агентів;

б) іонообмінні процеси у водному середовищі з використанням аніонообмінних матеріалів;

в) афінне зв'язування;

г) розподіл за розміром молекул.

Для адсорбції нуклеїнових кислот у твердофазних системах використовуються носії на основі кварцу, скловолокнисті фільтри, аніонообмінні матеріали, які застосовуються у складі хроматографічних колонок для очищення або виділення нуклеїнових кислот. Ці носії функціонують у середовищі високих концентрацій хаотропних солей, як-от йодид натрію, перхлорат натрію чи гуанідинтіоціанат.

Одним із варіантів є застосування діатомової землі як сорбенту, процес зв'язування також відбувається у присутності хаотропних сполук. Інші методики базуються на комбінації використання детергентів із матеріалами, що специфічно зв'язують нуклеїнові кислоти, або застосовують тверді носії

з функціональними групами, здатними до взаємодії з нуклеїновими кислотами, у поєднанні з поліетиленгліколем і високими концентраціями солей.

Окрему групу методів пробопідготовки становить використання іонообмінників типу Chelex, які сорбують домішки, що можуть інгібувати ПЛР. Однак ці методи здебільшого не забезпечують цілковитого усунення всіх можливих забруднень, тому їх застосування має обмеження [4; 12].

7.11. Твердофазні методи: метод на основі магнітної сепарації

Використання магнітних твердих носіїв у біохімічних і молекулярно-біологічних дослідженнях має низку переваг порівняно із традиційними немагнітними методами сепарації.

Зазвичай магніт прикладають до стінки ємності зі зразком, що сприяє агрегуванню частинок біля стінок судини, після чого рідину легко видаляють (рис. 7.2). Такий підхід дозволяє ефективно виділяти компоненти клітинного лізату, що можуть інгібувати роботу ДНК-полімерази та перешкоджати ПЛР, зокрема полісахариди, фенольні сполуки чи гумусні речовини.

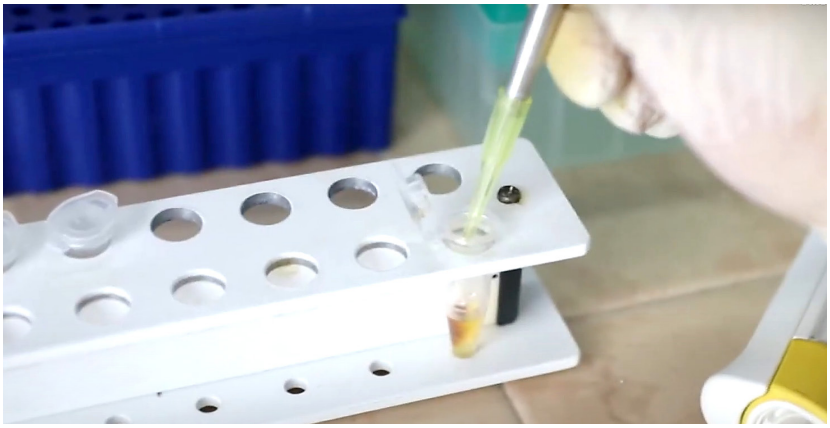


Рисунок 7.2 – Виділення ДНК за допомогою магнітного сорбенту

У процесах виділення використовують магнітні носії з іммобілізованими афінними лігандами або виготовлені з біополімерів, що підсилюють специфічне зв'язування із цільовою нуклеїновою кислотою. Такі носії доступні у продажу, а також можуть бути синтезовані безпосередньо в лабораторних умовах [12].

Магнітні частинки виготовляються на основі різних матеріалів: синтетичних полімерів, біополімерів, пористого скла або неорганічних магнітних сполук, наприклад модифікованого оксиду заліза. Для виділення нуклеїнових кислот найкраще підходять суперпарамагнітні частинки, які не притягуються одна до одної у відсутності магнітного поля. Такі частинки проявляють магнітні

властивості тільки під дією зовнішнього поля, а після його зняття залишаються немагнітними. Це забезпечує рівномірну суспензію частинок під час реакції та однакову ефективність екстракції.

Для автоматизованого виділення нуклеїнових кислот зазвичай застосовують магнітні частинки, укриті склом. Нуклеїнові кислоти адсорбуються на поверхні скла й проходять через кілька стадій промивання, після чого їх елюють за допомогою спеціального буфера. Такий підхід є зручним, технологічно простим і придатним для інтеграції в роботизовані системи підготовки зразків до ампліфікації.

Водночас можливі втрати нуклеїнових кислот через незворотну сорбцію на носії або під час багаторазових промивань, що особливо важливо в роботі з мінімальними кількостями ДНК.

Для виділення загальної маси ДНК і РНК застосовують ті самі магнітні частинки.

Для розділення РНК і ДНК перед етапом сепарації ДНК РНК знищується шляхом обробки РНКазою або лужними агентами. У разі потреби виділення саме РНК проводять руйнування ДНК за допомогою дезоксирибонуклеази (ДНКази) [11].

7.12. Використання методу полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР) у селекційному процесі

Полімеразна ланцюгова реакція (ПЛР) – це метод ампліфікації, тобто штучного множення копій фрагментів нуклеїнових кислот *in vitro*. Завдяки цій технології можна швидко й вибірково отримати мільйони копій заданої нуклеотидної послідовності. На відміну від класичного клонування, ПЛР відбувається у пробірці й не потребує використання живих клітин.

Принцип роботи ПЛР заснований на природному механізмі реплікації ДНК: за підвищеної температури подвійна спіраль ДНК розкручується, копіюється і знову згортається. Метод дозволяє синтезувати амплікони (фрагменти ДНК) завдовжки до кількох тисяч пар нуклеотидів. Для подовження продуктів до 20–40 тис. пар застосовують суміші різних полімераз, однак це все ще значно менше довжини хромосомної ДНК еукаріотів [4; 10–12].

Процес ПЛР здійснюють у спеціальному пристрої – термоциклері (ампліфікаторі), який швидко змінює температуру з високою точністю (до 0,1 °С) (рис. 7.3, див. с. 221). Сучасні ампліфікатори підтримують складні програми, включно з режимами «гарячого старту» та збереження зразків. Для реального часу використовують моделі із флуоресцентними детекторами, а також системи з автоматичними кришками та мікропланшетами для інтеграції в роботизовані комплекси.

Для успішного проведення ПЛР необхідні такі компоненти:

1. **Праймери** (прямий і зворотний) – короткі синтетичні олігонуклеотиди довжиною 15–30 нуклеотидів, що обмежують фрагмент ампліфікації. Вони забезпечують специфічність і чутливість реакції.

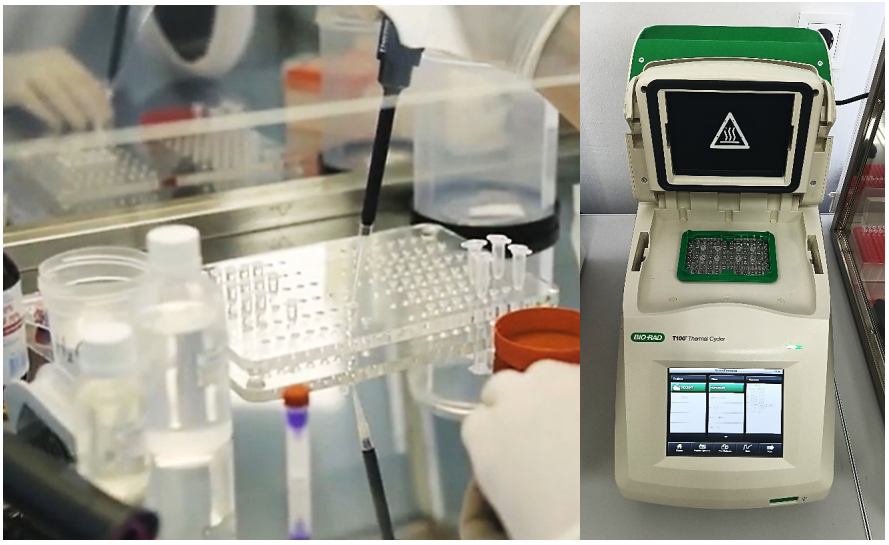


Рисунок 7.3 – Підготовка та проведення полімеразної ланцюгової реакції

2. **Термостабільна ДНК-полімераза** – фермент, який синтезує нові ланцюги ДНК. Часто використовують Taq-полімеразу з Thermus aquaticus (яка має властивість додавати аденін на 3'-кінець) або ферменти архей, як-от Pfu і Pwo, що володіють механізмами виправлення помилок.

3. **Суміш дезоксинуклеотидтрифосфатів (дНТФ)** – «будівельні блоки» для нових молекул ДНК, зазвичай у кінцевій концентрації 0,25 мМ.

4. **Буферний розчин** на основі трис-HCl із pH 8–9, що підтримує оптимальні умови для активності полімерази.

5. **Катіони магнію (Mg^{2+})** – обов'язковий кофактор ферменту. Концентрація $MgCl_2$ добирається індивідуально, бо впливає на специфічність і ефективність ПЛР.

6. **Неіонний детергент Tween-20**, який запобігає прилипанням молекул до стінок пробірок.

7. **Зразок**, що містить цільову ДНК, яка підлягає виявленню та ампліфікації.

Цикл ПЛР складається із трьох основних етапів:

1. **Денатурації** – нагрівання до 94…96 °С для розплетення дволанцюгової ДНК.

2. **Гібридизації праймерів** – охолодження суміші для прикріплення праймерів до мішені за принципом комплементарності (А-Т, Г-Ц).

3. **Полімеризації** – синтез нових ланцюгів ДНК за допомогою ДНК-полімерази в напрямку від 5' до 3' кінця.

Ці три стадії повторюються 25–40 разів, що забезпечує експоненціальне нарощування кількості копій ДНК-мішені [4; 10].

Завдання та питання для самостійної роботи

1. *Що таке типовість досліду?*
2. *Що таке точність досліду?*
3. *Які існують види розсадників?*
4. *Яке призначення селекційного розсадника?*
5. *Яка особливість гібридного розсадника?*
6. *Що таке контрольний розсадник?*
7. *На які види розділяють сортовипробування?*
8. *Особливості селекційної роботи із самозапилюваними культурами.*
9. *Особливості селекційної роботи з перехреснозапильними культурами.*
10. *Як використання молекулярних методів дозволяє скоротити селекційний процес?*
11. *Які методи виділення нуклеїнових кислот існують?*
12. *У чому особливість рідкофазних методів виділення ДНК?*
13. *Основні відмінності твердофазних методів виділення.*
14. *Що таке полімеразна ланцюгова реакція?*
15. *З яких компонентів складається реакційна суміш для ПЛР?*

Перелік джерел до розділу 7

1. Дідора В. Г., Смаглій О. Ф., Ермантраут Е. Р. Методика наукових досліджень в агрономії : навчальний посібник. Київ, 2013. 264 с.
2. Дослідна справа в агрономії : навчальний посібник : у 2 кн. Кн. 1 : Теоретичні аспекти дослідної справи / А. О. Рожков та ін. ; за ред. А. О. Рожкова. Харків : Майдан, 2016. 316 с.
3. Євтушенко М. Ю., Хижняк М. І. Методологія та організація наукових досліджень : навчальний посібник. Київ, 2019. 350 с.
4. Лабораторна справа в агрономії : навчальний посібник / І. М. Коваленко та ін. Суми, 2020. 236 с.
5. Колесников О. В. Основи наукових досліджень : навчальний посібник. Київ, 2019. 144 с.
6. Манько Ю. П., Цюк О. А., Павлов О. С. Методологія, методи і методика досліджень в агрономії : навчальний посібник. Вінниця : ТОВ «Нілан-Лтд», 2016. 96 с.
7. Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Загальна частина : наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 12 грудня 2016 р. № 540. Київ, 2016. 117 с.
8. Основи наукових досліджень в агрономії : підручник / В. О. Єщенко та ін. Вінниця : ПП «ТД "Едельвейс і К"», 2014. 332 с.
9. Основи наукових досліджень в агрономії : навчальний посібник / В. М. Положенець та ін. Житомир : ПП «Рута», 2024. 168 с.
10. Ідентифікація і реєстрація генотипів пшениці, ячменю, кукурудзи, соняшнику за допомогою аналізу мікросателітних локусів : методичні рекомендації / Ю. М. Сиволап та ін. Одеса, 2004. 14 с.
11. Wilson K., Walker J. Principles and Techniques of Biochemistry and Molecular Biology. Cambridge university press, 2009. 761 p.
12. Weaver R. F. Molecular Biology. University of Kansas, 2011. 914 p.

Розділ 8

ОХОРОНА ПРАВ НА СОРТИ РОСЛИН В УКРАЇНІ

8.1. Науково-правова основа Державної системи охорони прав на сорти рослин

Створення та подальше, безперебійне функціонування Державного реєстру сортів рослин, які є придатними для поширення та господарського використання на всій території України (надалі – Реєстр сортів рослин України), є одним з наріжних каменів національної системи гарантування продовольчої безпеки та сталого розвитку аграрного сектору. Цей процес відбувається на підставі комплексного, багатоетапного та надзвичайно ретельного проведення польових і лабораторних досліджень [6]. Кожне із цих досліджень виконується з дотриманням найвищих наукових стандартів та є невід'ємною і засадничою частиною глобального процесу кваліфікаційної експертизи сортів рослин. Основна, стратегічна мета цієї експертизи полягає в усебічному, глибокому та детальному визначенні низки ключових критеріїв, що є фундаментальними для надання правової охорони. До цих критеріїв належать: відмітність, яка підтверджує наявність унікальних, притаманних лише даному сорту ознак, що дозволяють чітко відокремити його від будь-яких інших наявних сортів; однорідність, що засвідчує достатню подібність та стабільність рослин у межах одного сорту за основними морфологічними та біологічними характеристиками, допускає лише мінімальні, біологічно зумовлені відхилення; нарешті, стабільність, що гарантує здатність сорту зберігати свої властивості, якості й ознаки незмінними протягом багатьох поколінь та за послідовних розмножень. Окрім цих суто біологічних і генетичних критеріїв, експертиза також включає встановлення господарсько цінних показників, що об'єктивно засвідчують агрономічну й економічну придатність того чи іншого сорту для поширення, промислового вирощування і ефективного використання в сільськогосподарському виробництві України. За результатами зазначених, науково обґрунтованих досліджень і експертизи, що проводяться спеціалізованими установами, формуються обґрунтовані та науково вивірені пропозиції щодо офіційної державної реєстрації конкретного сорту, що дозволяє йому отримати легітимний правовий статус, та/або безпосередньо щодо державної реєстрації прав інтелектуальної власності на нього, що надає виняткові права та захист селекціонерам і патентовласникам [1]. Цей багатоетапний процес гарантує, що до Реєстру потрапляють лише ті сорти, які є справді новими, якісними та цінними для аграрного сектору держави.

Кваліфікаційна експертиза сортів рослин на придатність до поширення є складним, багатогранним і методологічно вивіреним процесом, що ґрунтується на детальних експериментальних дослідженнях. Ці дослідження є основним джерелом об'єктивної інформації про сорт. Упроцесі цих досліджень системно та послідовно вивчаються морфологічні особливості (тобто зовнішня будова рослин, їхня форма, розміри, колір вегетативних і генеративних органів, особливості їхнього розвитку й інші візуальні характеристики, що дозволяють ідентифікувати сорт), біологічні характеристики (що включають особливості розвитку та життєдіяльності рослин, тривалість вегетаційного періоду, реакцію на довжину світлового дня, особливості цвітіння, формування плодів/насіння, стійкість до стресових факторів довкілля) та господарсько цінні ознаки сортів рослин. До останніх відносять такі критично важливі показники, як потенційна врожайність, уміст білка, олії, цукрів або інших цінних компонентів у продукції, стійкість до поширених хвороб і шкідників, толерантність до несприятливих погодних умов (посухи, заморозки), а також інші якісні та кількісні характеристики, що мають безпосереднє значення для успішного сільськогосподарського виробництва. Окрім цього, у рамках експертизи визначається їхня оптимальна придатність до використання у визначених екологічних умовах конкретних регіонів чи кліматичних зон України, що передбачає суворе дотримання встановлених агротехнологічних стандартів і затверджених методичних вимог проведення досліджень, які є уніфікованими для різних культур і регіонів [6]. Достовірні й об'єктивні результати польових і лабораторних досліджень, проведених у рамках кваліфікаційної експертизи заявки на сорт рослин, зокрема щодо таких ключових показників, як рівень його врожайності та якісних характеристик продукції, є визначальним чинником, що має вирішальне значення для подальшого ухвалення позитивного рішення щодо внесення цього сорту до Реєстру сортів рослин України. Це не лише підтверджує його відповідність стандартам, але й гарантує, що лише продуктивні, адаптовані й економічно доцільні сорти отримають офіційне визнання та будуть рекомендовані до вирощування, сприятимуть розвитку аграрного сектору [5].

З метою забезпечення максимальної об'єктивності, високої достовірності й абсолютної неупередженості результатів кваліфікаційної експертизи сортів рослин в Україні функціонує розгалужена й ефективна система державної сертифікації, яка цілком відповідає міжнародним стандартам і вимогам, що діють у світовій практиці сортовипробування і охорони прав селекціонерів [4]. Ця система передбачає ретельне, поетапне проведення експертизи за загальновизнаними міжнародними правилами DUS (Distinctness, Uniformity, Stability), що є абревіатурою від «відмітність, однорідність, стабільність», відповідно до термінології Міжнародного союзу охорони нових сортів рослин (UPOV) (табл. 8.1, див. с. 225).

Правила DUS передбачають: по-перше, перевірку на чітку відмінність сорту від будь-якого іншого вже існуючого й загальновідомого сорту; по-друге, перевірку на достатню однорідність рослин у межах сорту за основними характеристиками; по-третє, перевірку на незмінну стабільність його ознак протягом послідовних поколінь та за послідовних розмножень. Окрім того, не менш

важливим є всебічне вивчення господарсько цінних властивостей сорту, які визначають його економічну доцільність, агрономічну цінність та потенційний внесок у продовольчу безпеку країни. Ключовим критерієм, що зумовлює можливість включення сорту до Реєстру сортів рослин України, є саме його незмінна здатність зберігати свої відмітні, однорідні та стабільні ознаки протягом тривалого часу та за подальших багаторазових розмножень, що забезпечує прогнозованість його властивостей. Проведення кваліфікаційної експертизи зазвичай триває від двох до трьох повних вегетаційних періодів, що дозволяє отримати максимально повні та достовірні дані про поведінку сорту в різних умовах. Проте в деяких випадках, якщо це прямо передбачено відповідними методиками та сучасними технологіями, розробленими для окремих культур або типів сортів, можливе застосування прискореної процедури, що оптимізує та скорочує час реєстрації без втрати якості оцінювання [1]. Цей підхід дозволяє швидко вводити нові, перспективні сорти у виробництво.

Таблиця 8.1 – Схема DUS-тестування

Критерій	Пояснення	Приклади ознак
Відмітність (Distinctness)	Сорт чітко відрізняється від інших загальновідомих сортів.	Колір зерна, форма листка, наявність антоціану.
Однорідність (Uniformity)	Рослини в межах одного сорту мають бути подібними за основними ознаками.	Висота стебла, строк дозрівання, однорідність колосу.
Стабільність (Stability)	Ознаки зберігаються за розмноження протягом кількох поколінь.	Відтворення кольору, стійкість до хвороб, форма плода.

Важливим та інтегральним складником кваліфікаційної експертизи є інтенсивне та цілеспрямоване дослідження нових, уже офіційно зареєстрованих або потенційно нових сортів рослин з метою виявлення, детального опису й об'єктивного оцінювання ознак, що мають значну господарську цінність. Ці ознаки, як-от висока та стабільна врожайність, покращена адаптивність до мінливих кліматичних умов, підвищена стійкість до основних хвороб і шкідників, вміст корисних речовин (білків, вітамінів, мінералів, цукрів, олій) на оптимальному для споживача рівні, а також інші якісні характеристики продукції, є визначальними для обґрунтування доцільності подальшого промислового вирощування конкретного сорту та розрахунку його економічної ефективності в сільськогосподарському виробництві. Вони демонструють потенціал сорту для покращення аграрних показників. Процес випробування сортів, що належать до гібридів, має свою специфіку й здійснюється шляхом проведення детального аналізу їхніх окремих компонентів, тобто батьківських форм або ліній. Цей підхід дозволяє отримати комплексну оцінку індивідуальних характеристик кожного компонента (наприклад, їхньої стійкості до хвороб, морфології, продуктивності) та їхнього синергетичного впливу на загальні властивості кінцевого гібрида, що є критично важливим для розуміння його генетичного потенціалу, прогнозування поведінки й ефективного використання у виробництві [6].

Державний реєстр сортів рослин, які є придатними для поширення в Україні, є ключовою національною базою даних, що відіграє центральну

роль у системі охорони прав на сорти та регулювання ринку насіннєвого матеріалу. Цей Реєстр є не просто списком, а динамічною системою, що містить вичерпну, актуальну та систематизовану інформацію про всі сорти рослин, що отримали офіційний дозвіл для вирощування та використання на території країни. Включення сорту до Реєстру означає його державне визнання та дозвіл на комерційне використання. Реєстр служить фундаментальним інструментом державного контролю за обігом сортових ресурсів, забезпечує дотримання стандартів якості та сортової чистоти. Він також гарантує забезпечення високої якості та безпеки насіннєвого та посадкового матеріалу, що використовуються у вітчизняному сільському господарстві, захищає інтереси як виробників, так і споживачів [5]. Процедура формування, постійного оновлення та ведення Реєстру детально регламентується відповідними законодавчими актами та нормативно-правовими документами України, що забезпечує прозорість, законність та послідовність цього процесу. Це дозволяє ефективно управляти сортовими ресурсами країни та сприяти впровадженню інновацій у сільськогосподарське виробництво [1].

8.2. Об'єкти правової охорони

У контексті системи охорони прав інтелектуальної власності у сфері рослинництва під об'єктами правової охорони розуміються специфічні та чітко визначені сутності, які можуть бути предметом юридичного захисту та яким надається виключне право їх використання. Ці сутності характеризуються наявністю визначених, заздалегідь установлених характеристик і критеріїв, що дозволяють їх ідентифікувати та розмежувати від інших. Відповідно до чинного законодавства України, а саме Закону України «Про охорону прав на сорт рослин», основні об'єкти правової охорони наведено в таблиці 8.2 (див. с. 227) [1].

Сорт рослин – це ключовий і найбільш значущий об'єкт правової охорони. Сорт рослин визначається як ботанічна таксономічна група рослин у найнижчому відомому ранзі, яка чітко відрізняється за своїми морфологічними, фізіологічними, генетичними або іншими ознаками від будь-яких інших існуючих або загальновідомих груп рослин. Важливою умовою є те, що ця група залишається незмінною, тобто зберігає свої основні характеристики та властивості, після послідовних розмножень. Щоб сорт міг отримати правову охорону, він має відповідати суворим критеріям, що є універсальними в міжнародній практиці та підтверджуються у процесі кваліфікаційної експертизи: по-перше, ***відмітність*** (сорт має чіткі, стабільні й успадковувані ознаки, що відрізняють його від інших); по-друге, ***однорідність*** (рослини одного сорту мають бути досить подібними за своїми основними ознаками, допускаються лише незначні біологічні відхилення); по-третє, ***стабільність*** (сорт має зберігати свої відмітні й однорідні ознаки після кожного циклу розмноження) [1; 6]. Відповідність цим критеріям є фундаментальною передумовою для державної реєстрації та патентування сорту, забезпечує його унікальність та відтворюваність.

Таблиця 8.2 – Об'єкти правової охорони

	**Сорт рослин** Унікальна біологічна група з відмінними, стабільними ознаками
	**Назва сорту** Унікальна, не вводить в оману, відповідає вимогам
	**Елементи сорту** Частини рослини не охороняються окремо
	**Способи вирощування** Технології культивації, не охороняються як сорти
	**Наукові відкриття** Ідеї, гіпотези, принципи
	**Звичайні культури** Широко відомі сорти без охорони

Назва сорту **–** це офіційне ідентифікуюче найменування, або сортова назва, яка присвоюється новому сорту рослин після його створення та до подання заявки на правову охорону. Назва сорту є невід'ємною частиною ідентифікації сорту й має відповідати визначеним вимогам. Вона повинна бути унікальною, тобто не дублювати назви інших сортів того ж виду або споріднених видів, які вже зареєстровані або є загальновідомими. Окрім того, назва має бути оригінальною, легко запам'ятовуватися, не вводити в оману споживачів щодо характеристик сорту, його походження, якостей або особи селекціонера. Вона також не повинна бути тотожною назві вже існуючих сортів або мати ознаки, що можуть бути сприйняті як образливі чи такі, що суперечать суспільній моралі [1]. Назва сорту є його «візитною карткою» на ринку й у науковому обігу, тому її правильний вибір і реєстрація є важливим елементом правової охорони.

Окремі елементи сорту. Ця категорія виключає з-під правової охорони окремі частини рослини, її окремі органи (наприклад, окремий листок, квітка, плід) або її ознаки (наприклад, лише колір квітки без урахування інших характеристик), які не є суттєвими та визначальними для всього сорту загалом. Якщо ця частина або ознака сама собою не дозволяє ідентифікувати рослину як конкретний сорт або не є результатом унікальної селекційної роботи, що веде до створення нового сорту, вона не підлягає самостійній правовій охороні. Правова охорона надається сорту як цілісному, інтегрованому біологічному об'єкту, а не його фрагментам.

Способи вирощування рослин. Ця категорія стосується агротехнічних прийомів, методів і технологій, що використовуються для культивування рослин. До них належать, наприклад, методи підготовки ґрунту, системи зрошення, застосування добрив, схеми посіву або посадки, способи боротьби зі шкідниками та хворобами тощо. Ці агротехнологічні операції, хоча і є невід'ємною частиною виробничого процесу в сільському господарстві, відносять до сфери технологій та ноу-хау, а не до самого сорту як біологічного об'єкта. Вони можуть бути предметом інших видів правової охорони (наприклад, патентів на винаходи або корисні моделі), але не об'єктами правової охорони сорту рослин.

- *Теоретичні відкриття та наукові принципи.* Ця категорія включає фундаментальні наукові знання, абстрактні ідеї, концепції, гіпотези та наукові принципи, які є результатом наукових досліджень. Ці відкриття та принципи не мають безпосереднього матеріального або біологічного втілення в конкретному новому сорті. Правова охорона у сфері сортів рослин надається лише завершеному результату селекційної діяльності – новому, ідентифікованому та відтворюваному сорту, який є конкретним біологічним об'єктом. Самі собою наукові теорії чи відкриття, що лежать в основі селекції, не патентуються як сорти.
- *Звичайні сільськогосподарські культури.* До цієї категорії належать сорти, які не пройшли відповідну державну реєстрацію та не мають унікальних властивостей, що відповідають критеріям відмітності, однорідності та стабільності, установленим законодавством для надання правової охорони. Це також стосується сортів, які є загальновідомими та поширеними в аграрній практиці без будь-якої спеціальної правової охорони, оскільки вони не є новими або не відповідають іншим умовам патентоспроможності. Такі сорти вільно використовуються і не є предметом виключних прав.

8.3. Суб'єкти права інтелектуальної власності на сорт рослин

У системі правового регулювання інтелектуальної власності на сорти рослин ключову роль відіграють суб'єкти, які володіють відповідними правами. Ці суб'єкти – це особи, як фізичні, так і юридичні, які мають легітимні повноваження та права на створення, подальше використання, комерціалізацію або розпорядження сортом. Їхній правовий статус чітко визначений у законодавстві України, зокрема в Законі України «Про охорону прав на сорт рослин» [1]. Основні категорії таких суб'єктів зображено на рисунку 8.1 (див. с. 229).

Селекціонер (автор сорту). Ця категорія є фундаментальною, оскільки саме селекціонер є первинним творцем нового сорту. Селекціонером визнається фізична особа, яка в результаті своєї творчої, інтелектуальної та цілеспрямованої діяльності безпосередньо створила, вивела або виявила новий сорт рослин. Цей процес може включати схрещування, відбір, мутагенез або інші методи селекції, результатом яких є отримання генетично унікального та стабільного сорту. Однак поняття «селекціонер» може поширюватись і на юридичну особу. Це відбувається тоді, коли сорт створено її працівниками

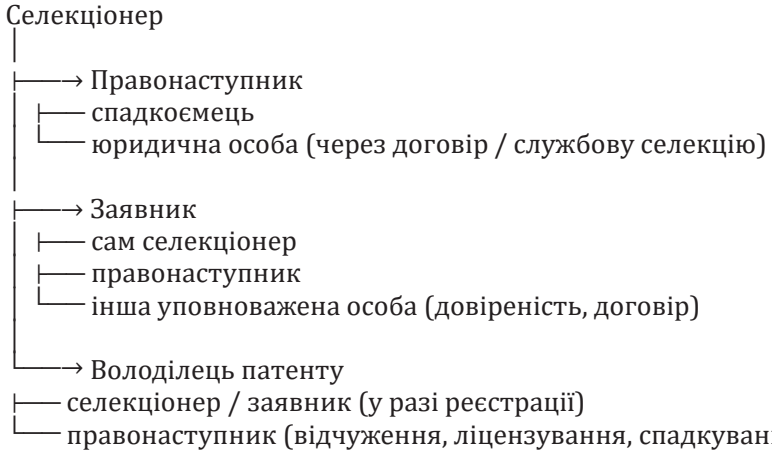


Рисунок 8.1 – Основні категорії суб'єктів права інтелектуальної власності на сорт рослин

у процесі виконання ними своїх службових обов'язків, які безпосередньо стосуються селекційної роботи (так звана службова селекція), або якщо права на сорт були передані юридичній особі на законних підставах, наприклад за відповідним цивільно-правовим договором, що передбачає відчуження цих прав. Селекціонер є тим, хто формує нове селекційне досягнення, що стає основою для подальшої правової охорони та комерціалізації [1]. Це підкреслює значення творчої праці й інвестицій у розвиток нових сортів.

Правонаступник селекціонера. Ця категорія суб'єктів охоплює особу, до якої майнові права інтелектуальної власності на сорт рослин переходять від первинного селекціонера або попереднього правовласника. Цей перехід прав є юридично значущою подією та може відбуватися різними законними шляхами, кожен із яких має свої специфічні юридичні особливості та процедури оформлення. Для фізичних осіб основним шляхом переходу прав є спадкування, коли права на сорт передаються в порядку, детально визначеному цивільним законодавством України, згідно із заповітом або законом. Щодо юридичних осіб, перехід прав може бути безпопосереднім результатом таких корпоративних дій, як реорганізація (наприклад, злиття, поглинання, поділ, приєднання), або ж ліквідації юридичної особи, коли її активи, зокрема й права інтелектуальної власності, і обов'язки переходять до іншого суб'єкта, що визначений правонаступником. Окрім того, майнові права можуть бути передані на підставі договірних відносин, тобто за взаємною згодою сторін, що оформляється відповідними цивільно-правовими документами. Прикладами таких договорів є договір відчуження прав на сорт (який, по суті, є актом продажу або передачі прав власності), ліцензійний договір (у частині передачі обмежених прав користування на визначений строк і зазначених умовах), або ж інші цивільно-правові угоди, що передбачають легітимну передачу майнових прав інтелектуальної власності. Правонаступник, отримавши ці права, набуває всіх або частини тих повноважень, якими володів попередній суб'єкт, і може повноцінно

здійснювати їх захист, розпорядження та використання, зокрема й комерційну експлуатацію сорту [1]. Це забезпечує безперервність правової охорони та дозволяє сорту продовжувати приносити економічну вигоду.

Заявник – це особа, яка офіційно ініціює весь комплекс процедур державної реєстрації сорту рослин та подальшого отримання патенту на нього. Роль заявника є критично важливою, оскільки саме він є тією стороною, яка подає відповідну заявку та повний пакет необхідних документів до уповноваженого державного органу. В Україні таким центральним органом є Український інститут експертизи сортів рослин (далі – УІЕСР), який відповідає за проведення всіх необхідних експертиз і реєстрацію. Заявником може виступати безпосередньо сам селекціонер, якщо він є і фізичною особою, і бажає оформити всі права на своє ім'я. Також заявником може бути його правонаступник, який отримав права на сорт в установленому законом порядку. Окрім того, інша фізична або юридична особа, яка має законні підстави для подання такої заявки, наприклад, на підставі офіційно оформленої довіреності від селекціонера чи його правонаступника, або ж за умовами договору про співпрацю, також може виступати заявником. Заявник є першою, ініціативною ланкою в усьому процесі офіційного визнання та правового захисту нового сорту, несучи відповідальність за достовірність поданих відомостей і своєчасність виконання процедур [1]. Це є важливим етапом для початку юридичного захисту селекційного досягнення.

Володілець патенту – це особа, яка отримала офіційний патент на сорт рослин і, відповідно, офіційно та законно володіє всіма виключними майновими правами інтелектуальної власності на нього. Патент є основним, юридично значущим охоронним документом, що засвідчує ці права та надає його власнику монополію на використання сорту. Володільцем патенту може бути як сам селекціонер, який успішно пройшов усі етапи державної реєстрації та кваліфікаційної експертизи, так і заявник, якщо він не є безпосередньо селекціонером, але був уповноважений на отримання патенту та реєстрацію прав. Окрім того, володільцем патенту може стати їхній правонаступник, до якого майнові права перейшли шляхом спадкування (для фізичних осіб), правонаступництва юридичних осіб у результаті реорганізації, або ж за умовами договірної передачі (наприклад, купівлі-продажу патенту). Володілець патенту отримує найширший спектр прав, що дозволяють йому контролювати використання сорту в комерційних цілях, отримувати економічну вигоду від його експлуатації та ефективно захищати свої права від будь-яких порушень за допомогою всіх доступних правових механізмів [1]. Це забезпечує інвестиційну привабливість селекційної діяльності.

8.4. Зміст права інтелектуальної власності на сорт рослин

Право інтелектуальної власності на сорт рослин є надзвичайно комплексним, багатоаспектним юридичним явищем, що охоплює сукупність взаємопов'язаних повноважень та можливостей, наданих законом власнику патенту.

Воно об'єднує як моральні, так і економічні аспекти творчої діяльності. Цей комплекс прав традиційно складається із двох основних, але принципово різних по своїй суті груп прав: особистих немайнових прав і майнових прав [1]. Такий поділ є універсальним для всієї сфери інтелектуальної власності та чітко відображає дуалістичну природу творчого досягнення, що поєднує як особистий внесок творця, так і його комерційний потенціал.

Особисті немайнові права інтелектуальної власності – це права, що не мають безпосереднього економічного вираження і є нерозривно пов'язаними з особистістю їхнього власника – селекціонера. Вони є невід'ємними від особистості творця, не можуть бути передані іншій особі (тобто є невідчужуваними), продані, подаровані або відчужені будь-яким іншим способом. Ці права є вічними, що означає їхню безстрокову дію, та невідчужуваними. Це забезпечує постійне визнання творчого внеску селекціонера, незалежно від зміни власників майнових прав. До них належать:

— *право бути визнаним автором сорту (право авторства).* Це фундаментальне й найважливіше немайнове право селекціонера. Воно полягає в його невід'ємному та беззаперечному праві на офіційне визнання його творцем нового сорту рослин. Незалежно від того, хто є поточним володільцем патенту на сорт або хто здійснює його комерційну експлуатацію, ім'я (або назва) фізичної особи, яка безпосередньо здійснила творчу, інтелектуальну та селекційну діяльність, завжди буде офіційно асоціюватися із цим сортом у всіх реєстрах, публікаціях і документах. Це право є вічним, тобто воно діє безстроково, протягом необмеженого часу, і невідчужуваним, тобто селекціонер не може відмовитися від нього, передати його іншій особі, продати або ліцензувати. Це забезпечує моральне визнання, належне вшанування та історичну ідентифікацію творчої праці селекціонера, підкреслює його унікальний внесок у розвиток аграрної науки та виробництва [1];

— *право на недоторканність сорту.* Це важливе немайнове право селекціонера, яке надає йому можливість захищати свій сорт від будь-яких неправомірних змін, спотворень, перекручень або інших посягань, які можуть потенційно зашкодити репутації селекціонера як автора, або ж сутності сорту, його оригінальним і відмітним характеристикам. Це право гарантує, що його твір, унікальний сорт, не буде модифікований, адаптований або використаний таким чином, що це спотворить його первинні ознаки, погіршить його якісні характеристики або ж знизить його цінність. Окрім того, це право також включає можливість селекціонера активно перешкоджати будь-яким діям, що можуть призвести до неправильного приписування авторства (коли хтось інший намагається видати себе за автора сорту) або ж до заперечення авторства оригінального селекціонера. Захист від таких порушень дозволяє зберегти автентичність селекційного досягнення, його наукову та культурну цінність, а також репутацію творця [1].

Майнові права інтелектуальної власності – це права, що, на відміну від немайнових, мають чіткий економічний вимір і є об'єктом цивільного обігу. Вони можуть бути передані іншій особі на підставі договірних відносин (ліцензія, відчуження), успадковані або відчужені іншими законними способами.

Саме ці права дозволяють володільцю патенту отримувати значну комерційну вигоду від створення та використання сорту, що стимулює інвестиції в селекційну діяльність (рис. 8.2).



Рисунок 8.2 – Дозволені дії володільцю патенту щодо використання сорту

— *виключне право на використання сорту.* Це одне з найважливіших і центральних майнових прав, що надається володільцю патенту. Воно означає, що лише володілець патенту має монопольне, абсолютне право здійснювати всі дії, пов'язані з комерційним і будь-яким іншим використанням сорту, за винятком тих, що прямо передбачені законодавством як винятки. Це право є всеосяжним і включає (але не обмежується) такі дії, як:

- *виробництво або відтворення розмножувального матеріалу сорту:* створення насіння, саджанців, живців, бульб, цибулин, розсади або будь-яких інших частин рослини, які здатні відтворювати сорт. Це охоплює як промислове, так і дрібнотоварне виробництво з метою розмноження;
- *доведення сорту до стану, придатного для розмноження.* Ця дія включає всі етапи підготовки рослинного матеріалу (наприклад, очищення, калібрування, протруювання насіння; вигонка саджанців; обробка живців; вегетативне розмноження *in vitro*) таким чином, щоб його можна було успішно використовувати для подальшого відтворення сорту з максимальною ефективністю;
- *продаж, експорт, імпорт або інше розповсюдження розмножувального матеріалу сорту.* Будь-які комерційні операції з розмножувальним матеріалом сорту, що передбачають передачу прав власності або фактичну передачу матеріалу іншим суб'єктам. Це охоплює внутрішню торгівлю, міжнародний обіг (експорт, імпорт), а також інші форми розповсюдження, як-от дарування, обмін, передача в оренду тощо;
- *зберігання розмножувального матеріалу сорту з метою, пов'язаною з його розмноженням або розповсюдженням.* Навіть зберігання значних обсягів матеріалу з подальшою метою комерційного використання або розмноження без дозволу може бути розцінено як порушення, оскільки це створює потенційну загрозу його виключним правам;
- *використання зібраного врожаю, отриманого з неправомірно розмноженого матеріалу.* Цей пункт є важливим для повного контролю над комерційним ланцюжком. Він дозволяє патентовласнику контролювати не тільки розмножувальний матеріал, але й кінцеву продукцію, якщо вона була отримана в результаті незаконного використання сорту;

• а також будь-які інші види використання, що виходять за межі особистих, некомерційних потреб, як-от приватне використання для власних потреб без мети отримання прибутку [1]. Будь-яка комерційна діяльність, пов'язана із сортом, потребує дозволу патентовласника;

— *виключне право дозволяти використання сорту іншим особам (ліцензування).* Це право надає володільцю патенту гнучкий інструмент для комерціалізації свого селекційного досягнення. Він має виключне право надавати дозвіл (ліцензію) іншим фізичним або юридичним особам на використання сорту на чітко визначених умовах, що закріплюються в ліцензійному договорі. У такому договорі детально зазначаються обсяги дозволеного використання (наприклад, виробництво насіння, вирощування товарного врожаю), строки, протягом яких діє дозвіл, територія, на якій дозволено використання, а також розмір і порядок виплати винагороди (роялті), яку ліцензіат сплачує ліцензіару (володільцю патенту) за право використання сорту. Ліцензування є ключовим механізмом масштабування комерціалізації селекційних досягнень, дозволяє розширити присутність сорту на ринку через залучення інших виробників [1];

— *виключне право перешкоджати неправомірному використанню сорту.* Це право є інструментом захисту та примусового дотримання виключних прав володільця патенту. Він має право активно вживати всіх законних заходів для припинення будь-яких дій, що порушують його права, як-от незаконне розмноження, продаж, імпорт чи інші форми використання сорту без належного дозволу. Це може включати звернення до суду з позовами про заборону порушення, стягнення компенсації за завдані збитки (зокрема, упущену вигоду), вилучення та знищення неправомірно виготовленої продукції, а також інші форми цивільно-правового захисту [1];

— *право передавати майнові права інтелектуальної власності на сорт іншим особам (відчуження патенту).* Володілець патенту має повне право цілком або частково передати свої майнові права на сорт іншій фізичній або юридичній особі. Це може бути здійснено шляхом укладення договору про передачу (відчуження) патенту. Такий договір, по суті, є актом купівлі-продажу, дарування, міни або іншої форми відчуження прав власності на інтелектуальну власність, аналогічно до відчуження будь-якого іншого майна. Договір оформляється відповідно до чинного законодавства, може потребувати нотаріального посвідчення та/або державної реєстрації. Після належного оформлення та реєстрації такого договору новий набувач стає повноправним володільцем патенту з усіма виключними правами, що із цього випливають [1]. Це забезпечує гнучкість у розпорядженні інтелектуальною власністю та створює ринок для селекційних досягнень.

8.5. Умови надання правової охорони сорту рослин

Надання правової охорони сорту рослин, що офіційно підтверджується видачею відповідного охоронного документа – патенту, є складним юридичним процесом, який можливий лише за умови беззаперечної відповідності сорту чітко встановленим критеріям. Ці критерії не є довільними; вони є універсальними та гармонізованими з міжнародними стандартами у сфері охорони прав інтелектуальної власності на нові сорти рослин, забезпечують таким чином справедливу, прозору й ефективну систему охорони прав інтелектуальної власності у сфері селекції [1; 6].

Таблиця 8.3 – Характеристика сорту, що перевіряється

Ознака	Вимоги
Відмітність	Сорт чітко відрізняється від інших відомих сортів.
Однорідність	Рослини сорту є досить однорідними.
Стабільність	Основні ознаки сорту залишаються незмінними.
Господарська цінність	Сорт має вищі показники порівняно з контрольним сортом.

Їх дотримання є обов'язковою передумовою для отримання юридичного захисту селекційного досягнення.

Новизна сорту. Цей критерій є одним із найважливіших і фундаментальних для визнання сорту патентоспроможним. Сорт уважається новим, якщо його розмножувальний матеріал (тобто насіння, саджанці, живці, бульби, цибулини або будь-які інші частини рослини, придатні для відтворення сорту) або зібраний урожай, який є безпосереднім результатом його вирощування (наприклад, зерно, плоди, овочі, коренеплоди), не були продані, відчужені або іншим чином передані третім особам з метою комерційного використання. Водночас ураховуються такі часові рамки:

— *на території України:* таке комерційне використання не повинно було мати місце раніше ніж за один рік до дати подання офіційної заявки на сорт до уповноваженого державного органу. Це надає селекціонеру визначений період часу для підготовки документів і виходу на ринок;

— *на території інших держав:* для міжнародного захисту строки є довшими. Для деревних і виноградних культур, які мають тривалий цикл розвитку та введення в обіг, комерційне використання не повинно було відбутися раніше ніж за шість років до дати подання заявки. Для всіх інших культур (однорічні, дворічні, більшість багаторічних трав'янистих культур) цей строк становить чотири роки. Цей критерій суворо гарантує, що патент не буде виданий на сорт, який вже перебуває в широкому комерційному обігу, отже, став загальнодоступним до миті подання заявки. Метою цього положення є стимулювання селекціонерів до своєчасної реєстрації своїх досягнень і запобігання монополізації вже існуючих і використовуваних сортів [1]. Це правило забезпечує, що патент надається лише за справді нове селекційне досягнення.

Відмітність сорту. Цей критерій є центральним для ідентифікації унікальності сорту. Сорт має бути чітко, однозначно та беззаперечно відмінним

від будь-якого іншого сорту, існування якого було загальновідомим на дату подання заявки на сорт. «Загальновідомим» уважається сорт, який був описаний в офіційних виданнях (наприклад, каталогах, бюлетенях), унесений до національних або міжнародних баз даних сортів, широко використовувався в комерційному виробництві або був предметом загальнодоступних публікацій. Це означає, що сорт повинен мати щонайменше одну або кілька значущих, стабільних і відтворюваних морфологічних (наприклад, форма листка, колір квітки, будова плода), фізіологічних (наприклад, стійкість до якоїсь хвороби, час цвітіння), біохімічних (наприклад, уміст окремих речовин) або інших ознак, які дозволяють його безпомилково ідентифікувати та відрізнити від усіх інших сортів, що існують. Навіть незначних, але стабільних і відтворюваних відмінностей може бути досить для відповідності цьому критерію. Експертиза на відмінність є однією з найскладніших і найважливіших частин кваліфікаційної експертизи, що передбачає порівняння нового сорту з великою кількістю референтних сортів [1; 6]. Цей критерій є запорукою того, що патент не буде виданий на сорт, що є лише незначною варіацією того, що вже існує.

Однорідність сорту. Критерій однорідності відображає генетичну чистоту та стабільність сорту в межах його популяції. Рослини, що належать до даного сорту, мають бути досить однорідними за своїми основними ознаками, які використовуються для його офіційного опису й ідентифікації. Це означає, що варіації між окремими рослинами одного сорту мають бути мінімальними й у межах, що допускаються біологічною природою розмноження даного виду рослин. Допускаються лише незначні відхилення, що можуть бути наслідком особливостей біологічного розмноження сорту (наприклад, незначна природна мінливість) або його гібридної природи (якщо це гібрид F_1, то його однорідність визначається однорідністю батьківських ліній). Важливо, щоб ці відхилення не впливали на загальну ідентифікацію сорту, його основні характеристики та його господарсько цінні показники. Експертиза на однорідність є критично важливою для підтвердження того, що сорт є стабільною біологічною одиницею, а не просто сумішшю різноманітних генетичних форм [1; 6]. Забезпечення однорідності є необхідним для прогнозованості агротехнічних показників і якості продукції.

Стабільність сорту. Цей критерій є логічним продовженням критерію однорідності та гарантує, що сорт збереже свої визначені властивості протягом тривалого періоду. Сорт має зберігати свої основні, визначальні ознаки незмінними після послідовних розмножень. Це означає, що в кожному новому поколінні рослини сорту мають відтворювати ті самі відмітні й однорідні характеристики, що були встановлені під час первісної кваліфікаційної експертизи. У разі, якщо сорт розмножується за допомогою особливого циклу (наприклад, гібриди F_1, які потребують періодичного оновлення батьківських ліній, або сорти, що розмножуються вегетативно, але можуть накопичувати мутації), стабільність має зберігатися після кожного такого циклу розмноження. Тобто, незалежно від способу розмноження, сорт має демонструвати стійке успадкування своїх ключових ознак. Цей критерій гарантує, що сорт буде відтворюваним, його властивості будуть прогнозованими, він збереже свою

агрономічну цінність і унікальність протягом усього строку дії правової охорони. Експертиза на стабільність часто проводиться паралельно з експертизою на однорідність протягом кількох вегетаційних періодів [1; 6].

Назва сорту. Назва сорту є його офіційним ідентифікатором і також підлягає ретельній перевірці. Назва сорту має відповідати суворо визначеним вимогам, щоб уникнути плутанини та забезпечити чітку ідентифікацію. Вона має:

— *бути оригінальною та унікальною.* Назва не повинна бути тотожною назві вже існуючих, зареєстрованих або загальновідомих сортів того ж виду або споріднених видів, щоб уникнути плутанини на ринку;

— *не вводити в оману.* Назва не має створювати хибне уявлення щодо характеристик сорту (наприклад, «Суперурожайний» для сорту з низькою врожайністю), його походження, якості, генетичної природи або особи селекціонера;

— *не бути образливою або суперечити нормам моралі.* Назва не має містити непристойні слова, символи або вирази, які можуть спричинити негативну реакцію або порушувати етичні норми;

— *легкою для вимови та запам'ятовування.* Хоча це не є юридичною вимогою, але бажаною характеристикою. Дотримання цих вимог до назви є важливим для підтримки порядку в реєстрі сортів і для захисту інтересів споживачів [1]. Правильно вибрана та зареєстрована назва сорту є невід'ємною частиною його правової охорони.

8.6. Набуття права інтелектуальної власності на сорт рослин

Набуття права інтелектуальної власності на сорт рослин є складним, багатоетапним і юридично значущим процесом, який суворо регулюється чинним національним законодавством України. Цей процес не є одномоментним актом, а включає декілька послідовних стадій, кожна з яких має свою мету та вимоги. Завершенням цього комплексного процесу є офіційна державна реєстрація сорту в Державному реєстрі сортів рослин України й урочиста видача патенту, що є офіційним охоронним документом. Цей патент не лише підтверджує факт реєстрації сорту, але й засвідчує виключні права його володільця, надає йому юридичну монополію на використання та розпорядження цим селекційним досягненням [1]. Увесь цей механізм покликаний забезпечити баланс між інтересами селекціонерів і суспільства, стимулювати створення нових, покращених сортів.

Процес набуття прав інтелектуальної власності на сорт рослин включає такі обов'язкові та послідовні етапи (рис. 8.3, див. с. 237):

1. ***Подання заявки на сорт.*** Цей етап є початковою точкою всього юридичного процесу отримання правової охорони. Він передбачає офіційне звернення по захист прав. Заявник, яким може бути безпосередньо сам селекціонер (фізична особа, яка є творцем сорту), його законний правонаступник (наприклад, спадкоємець або юридична особа, якій були передані права), або ж інша

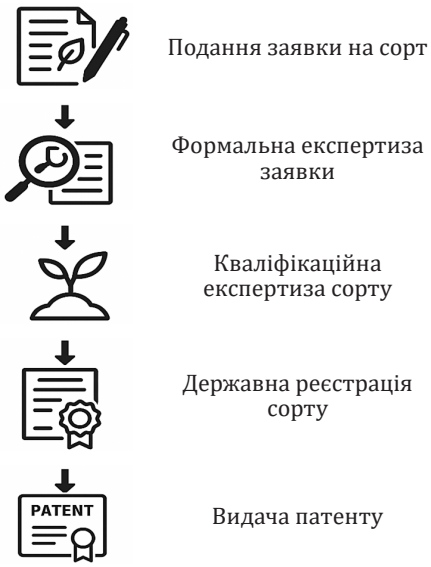


Рисунок 8.3 – Етапи процесу набуття прав інтелектуальної власності на сорт рослин

уповноважена особа (наприклад, патентний повірений, який діє за довіреністю), подає до відповідного уповноваженого державного органу. В Україні таким центральним органом є Український інститут експертизи сортів рослин (УІЕСР), який відповідає за проведення всіх необхідних експертиз і реєстрацію. Заявник зобов'язаний надати повний комплект необхідних документів, склад яких детально регламентується нормативно-правовими актами. Ці документи повинні містити всю вичерпну та достовірну інформацію про новий сорт, зокрема, його повну назву, ботанічний опис (морфологічні та біологічні характеристики), дані про походження (батьківські форми, метод селекції), відомості про автора (селекціонера), а також інші відомості, передбачені чинним законодавством для всебічної ідентифікації та оцінювання сорту [1]. Якість і повнота поданої заявки значно впливають на подальші етапи процесу.

2. ***Формальна експертиза заявки.*** Після офіційного отримання заявки уповноважений державний орган розпочинає етап її формальної експертизи. Цей етап є первинною перевіркою відповідності поданих документів. На цьому етапі перевіряється відповідність заявки та всіх супровідних документів установленим формальним вимогам: наявність усіх обов'язкових форм, правильність їх заповнення, повнота комплекту документів (чи всі необхідні додатки, креслення, фотографії подано), правильність їх оформлення згідно із чинними інструкціями та наявність усіх обов'язкових відомостей (наприклад, підписів, печаток, квитанцій про сплату зборів). Також перевіряється дотримання строків подання заявки. У разі виявлення будь-яких недоліків або невідповідностей формальним вимогам заявнику надається офіційне повідомлення із зазначенням виявлених помилок і встановлюється термін для їх усунення. Якщо заявник усуває недоліки в установлений термін, заявка вважається такою,

що відповідає формальним вимогам, і процес продовжується [1]. Це етап «фільтрації» для забезпечення порядку в документообігу.

3. ***Кваліфікаційна експертиза сорту.*** Цей етап є найбільш відповідальним, трудомістким і тривалим у всьому процесі набуття прав. Він є основою для ухвалення рішення про патентоспроможність сорту. Після успішного проходження формальної експертизи розпочинаються масштабні польові та лабораторні дослідження сорту, що проводяться на спеціалізованих сортовипробувальних станціях і в наукових лабораторіях. Метою цих досліджень є всебічна, науково обґрунтована перевірка сорту на відповідність ключовим критеріям правової охорони, які були детально описані раніше: новизні (чи не був сорт комерційно використаний раніше встановлених термінів), відмінності (чи є він унікальним серед сортів що існують), однорідності (чи є рослини сорту досить подібними одна до одної) та стабільності (чи зберігає сорт свої ознаки після розмножень) [1; 6]. Ці дослідження проводяться за спеціально розробленими, уніфікованими методиками, що забезпечують максимальну об'єктивність, достовірність та відтворюваність результатів. Процес може тривати від двох до трьох вегетаційних періодів (а для деяких культур і більше), щоб оцінити поведінку сорту в різних кліматичних умовах і перевірити стабільність його ознак протягом кількох поколінь. На підставі отриманих даних формується експертний висновок.

4. ***Державна реєстрація сорту.*** У разі отримання позитивного висновку за результатами кваліфікаційної експертизи, що беззаперечно підтверджує відповідність сорту всім установленим критеріям патентоспроможності (новизна, відмітність, однорідність, стабільність), сорт офіційно реєструється в Державному реєстрі сортів рослин України. Ця реєстрація є надзвичайно важливою подією, оскільки вона є публічною, тобто інформація про новий сорт стає доступною для широкого загалу, та свідчить про його офіційне визнання на державному рівні. Відтоді сорт набуває юридичного статусу та може бути законно поширений і використаний на території країни. Інформація про зареєстрований сорт, включаючи його назву, основні характеристики, дані про селекціонера та володільця патенту, вноситься до Реєстру та публікується в офіційних бюлетенях [1]. Це забезпечує прозорість та доступність інформації для всіх зацікавлених сторін.

5. ***Видача патенту.*** Після успішної державної реєстрації сорту заявнику видається офіційний патент на сорт рослин. Патент є основним юридично значущим охоронним документом, що підтверджує виключні майнові права інтелектуальної власності володільця патенту на даний сорт. З моменту офіційної видачі патенту його володілець отримує повний спектр прав на використання (виробництво, розмноження, продаж тощо), розпорядження (ліцензування, відчуження) та захист сорту від будь-яких неправомірних посягань. Патент є гарантією монопольного використання сорту протягом визначеного строку [1]. Цей документ є кульмінацією всього процесу та надає власнику юридичні інструменти для комерціалізації селекційного досягнення.

Строк дії майнових прав інтелектуальної власності на сорт рослин є обмеженим у часі, що є характерною рисою патентного права. Згідно із чинним

законодавством України, цей строк зазвичай становить 30 років. Однак для окремих видів культур, які мають тривалий цикл розвитку та життєдіяльності, зокрема для деревних і виноградних культур, цей строк є довшим і становить 35 років. Це враховує специфіку їх вирощування та економічної віддачі. Важливо відзначити, що відлік строку дії патенту починається не з дати подання заявки або фактичного створення сорту, а з першого січня року, що настає за роком державної реєстрації сорту. Наприклад, якщо сорт зареєстровано в жовтні 2024 р., строк дії патенту почне відлік з 1 січня 2025 р. Протягом цього періоду володілець патенту має виключні права, будь-яке використання сорту без його дозволу вважатиметься порушенням, що призводить до юридичної відповідальності [1]. Після закінчення строку дії патенту сорт переходить у суспільне надбання і може вільно використовуватися будь-ким.

8.7. Припинення чинності майнових прав інтелектуальної власності на сорт рослин

Чинність майнових прав інтелектуальної власності на сорт рослин, незважаючи на їхню важливість для селекціонера й інноваційного розвитку аграрного сектору, є обмеженою в часі та не є абсолютною. Ці права, надані патентом, можуть бути припинені за наявності деяких обставин, які чітко передбачені та регламентовані чинним законодавством України у сфері охорони прав на сорти рослин. Припинення дії патенту означає повну або часткову втрату володільцем патенту його виключних прав на сорт, що приводить до переходу сорту в суспільне надбання або втрати його правового захисту [1]. Це важливий механізм, що забезпечує баланс між монопольними правами та суспільними інтересами, дозволяє вільне використання сорту після закінчення терміну дії патенту або в разі порушення його власником визначених умов (рис. 8.4, див. с. 239).

Основні причини та підстави для припинення чинності майнових прав інтелектуальної власності на сорт такі:

— *закінчення строку дії патенту.* Це є найбільш поширеною, природною та передбачуваною причиною припинення чинності майнових прав. Патент на сорт рослин надається на чітко визначений строк, який зазвичай становить 30 років. Проте для окремих видів культур, які характеризуються довшим життєвим циклом, повільнішим розвитком і введенням у комерційний обіг (зокрема, для деревних і виноградних культур), цей строк є дещо довшим і становить 35 років. Відлік цього строку починається з 1 січня року, що настає за роком державної реєстрації сорту. Якщо строк дії патенту не був своєчасно продовжений згідно з установленою законодавством процедурою (наприклад, шляхом подання відповідної заяви та сплати всіх необхідних зборів за продовження), права припиняються автоматично після закінчення цього строку. Після припинення дії патенту із цієї причини сорт переходить у суспільне надбання, будь-яка особа може вільно використовувати його без дозволу колишнього володільця патенту та без сплати винагороди [1];

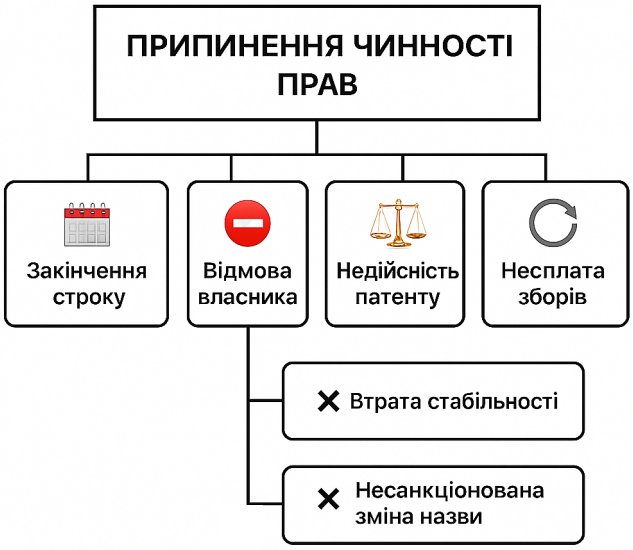


Рисунок 8.4 – Основні причини для припинення чинності прав інтелектуальної власності на сорт

— *відмова володільця патенту від своїх прав.* Володілець патенту, з тих чи інших причин (наприклад, економічна недоцільність подальшого підтримання патенту, утрата інтересу до сорту, виведення більш досконалого сорту), має повне право добровільно відмовитися від своїх майнових прав на сорт. Для цього він повинен подати відповідну офіційну заяву до уповноваженого державного органу (в Україні – до УІЕСР). Ця заява має бути оформлена з дотриманням установлених вимог та чітко висловлювати намір відмовитися від прав. Після офіційної реєстрації такої заяви державним органом і внесення відповідних відомостей до Реєстру сортів рослин майнові права на сорт уважаються припиненими. Важливо зазначити, що така відмова є безповоротною і означає перехід сорту в суспільне надбання, з усіма наслідками, що із цього випливають [1];

— *визнання патенту недійсним.* Патент на сорт рослин, який уже був виданий, може бути визнаний недійсним у судовому порядку. Це відбувається якщо буде доведено, що сорт не відповідав одному або кільком критеріям правової охорони (новизни, відмітності, однорідності або стабільності) на момент подання заявки або на момент безпосередньої видачі патенту. Наприклад, якщо згодом з'ясується, що сорт уже був комерційно використаний до «пільгового» періоду новизни, або що він не відрізняється від раніше відомого сорту, або ж його ознаки виявилися нестабільними. Процедура визнання патенту недійсним здійснюється шляхом подання позову до суду зацікавленою стороною. У разі ухвалення судом рішення про визнання патенту недійсним, таке рішення має ретроактивний (зворотний) характер. Це означає, що вважається, що патент ніколи не був дійсним від початку, отже, виключні права,

які він нібито надавав, ніколи не виникали. Усі дії, що здійснювалися на підставі такого патенту, можуть бути оскаржені, а також може бути порушено питання про відшкодування збитків [1];

— *несплата щорічних зборів.* Підтримання чинності патенту на сорт рослин вимагає від його володільця щорічної сплати встановлених законодавством зборів. Ці збори є платою за підтримку правового захисту й обробку даних у Реєстрі. Володілець патенту зобов'язаний щорічно, у встановлений законодавством строк (зазвичай до визначеної дати кожного року дії патенту), сплачувати ці збори. У разі несплати цих зборів у встановлений строк дія патенту може бути припинена. Зазвичай законодавство передбачає пільговий період для сплати зборів із застосуванням штрафних санкцій. Якщо ж збори не сплачені навіть у пільговий період, патент може бути анульований. Припинення чинності патенту із цієї причини також веде до переходу сорту в суспільне надбання [1];

— *відсутність стабільності або однорідності сорту.* Ці критерії, як уже зазначалося, є основними умовами для надання правової охорони. Якщо після державної реєстрації сорту та видачі патенту буде виявлено, що сорт утратив свою стабільність (тобто його ознаки перестали бути відтворюваними після розмножень) або однорідність (тобто рослини сорту стали занадто різноманітними за основними ознаками), на підставі яких була надана правова охорона, патент може бути анульований у встановленому порядку. Це може бути виявлено під час контрольних перевірок, проведених державним органом, або за зверненням зацікавлених третіх осіб. Процедура анулювання відбувається відповідно до адміністративних або судових механізмів, передбачених законодавством. Це положення є важливим для забезпечення якості та достовірності інформації про зареєстровані сорти, оскільки втрата цих характеристик робить сорт непередбачуваним для сільськогосподарського виробництва [1; 6];

— *зміна назви сорту без належного оформлення.* Назва сорту є його офіційним ідентифікатором і невід'ємною частиною правової охорони. Якщо назва сорту була змінена без належного оформлення і офіційної реєстрації цих змін у відповідному державному реєстрі (наприклад, Державний реєстр сортів рослин України), це може стати підставою для припинення дії патенту. Це відбувається тому, що офіційна назва сорту є одним із критеріїв його ідентифікації та елементом публічного обігу. Несанкціонована зміна назви може призвести до плутанини, порушення публічного порядку та неможливості ідентифікувати сорт, що був зареєстрований. Таке порушення правил може призвести до втрати правового захисту, оскільки назва є ключовим атрибутом, за яким сорт відрізняється від інших [1].

8.8. Порушення прав на сорт рослин

Порушенням прав на сорт рослин уважаються будь-які дії, що здійснюються без отримання відповідного попереднього дозволу, ліцензії або згоди від володільця патенту, за винятком тих випадків, які прямо передбачені чинним законодавством України як винятки з патентних прав (наприклад, використання сорту для наукових досліджень, для селекції нового сорту, використання приватними особами для некомерційних цілей тощо). Такі неправомірні дії безпосередньо підривають виключні майнові права патентовласника, надані йому патентом, і можуть завдати йому значних, а іноді й непоправних збитків, як матеріальних (упущена вигода, реальні збитки), так і репутаційних. Важливо розуміти, що патент на сорт рослин надає монополію на його комерційне використання, і будь-яке посягання на цю монополію є правопорушенням [1] (рис. 8.5).



Рисунок 8.5 – Найбільш поширені дії, що відносяться до порушення прав на сорти рослин

До типових, найбільш поширених і визнаних законодавством дій, що вважаються порушенням прав на сорт рослин, належать:

— *виробництво або відтворення розмножувального матеріалу сорту.* Це одне з найбільш частих і значущих порушень. Воно охоплює будь-які дії, спрямовані на штучне або біологічне збільшення кількості розмножувального матеріалу сорту без дозволу патентовласника. До такого матеріалу належать: насіння, бульби, цибулини, саджанці, живці, розсада, міцелій, а також культури тканин і клітин, з яких можна відновити цілу рослину даного сорту.

Наприклад, якщо фермер розмножує насіння запатентованого сорту для продажу, не маючи на це ліцензії, це є прямим порушенням. Також це стосується вирощування рослин з метою отримання їхніх частин для подальшого комерційного розмноження [1];

— *доведення сорту до стану, придатного для розмноження.* Це порушення стосується підготовчих етапів, що передують безпосередньому розмноженню або поширенню. Воно охоплює підготовку рослинного матеріалу таким чином, щоб його можна було використовувати для подальшого розмноження сорту. Прикладами таких дій є: очищення, калібрування, протруювання, пакування насіння; спеціальна обробка живців для вкорінення; вигонка розсади; підготовка бульб для посадки. Навіть якщо розмноження ще не відбулося, але матеріал уже підготовлений для цього з комерційною метою, і це відбувається без дозволу, це вважається порушенням [1];

— *продаж, експорт, імпорт або інше розповсюдження розмножувального матеріалу сорту.* Це порушення стосується комерційного обігу. Будь-які комерційні операції, пов'язані з розмножувальним матеріалом сорту, що здійснюються без дозволу володільця патенту, є прямим порушенням його виключних прав. Це включає:

- *продаж:* реалізацію розмножувального матеріалу на внутрішньому ринку;
- *експорт:* вивезення розмножувального матеріалу за межі національної території;
- *імпорт:* увезення розмножувального матеріалу з інших країн;
- *інше розповсюдження.* Це поняття охоплює широкий спектр дій, як-от обмін, дарування з комерційною метою, передача в оренду, лізинг, будь-яке інше відчуження або надання доступу до розмножувального матеріалу, що має комерційну спрямованість. Якщо ці дії здійснюються без належної ліцензії або дозволу, вони є порушенням [1];

— *зберігання розмножувального матеріалу сорту з метою, пов'язаною з його розмноженням або розповсюдженням.* Навіть зберігання значних обсягів розмножувального матеріалу запатентованого сорту, якщо воно здійснюється із чітко визначеною метою його подальшого комерційного використання або розмноження без дозволу володільця патенту, може бути розцінено як порушення. Це положення спрямоване на запобігання накопиченню незаконно отриманого матеріалу для подальшої реалізації або розмноження. Це не стосується зберігання для особистих, некомерційних цілей або в рамках наукових досліджень [1];

— *використання сорту для створення інших сортів (залежний сорт).* Цей аспект порушення стосується так званих «залежних» сортів. Якщо сорт, що охороняється патентом, використовується як вихідний матеріал (наприклад, як батьківська лінія для гібрида) для створення іншого сорту, і цей новий сорт не відповідає критеріям «істотно похідного сорту» або не підпадає під винятки, прямо передбачені законодавством (наприклад, використання для наукових досліджень або для створення нового сорту, який сам є принципово новим і не є суттєво похідним від патентованого), то таке використання є порушенням прав патентовласника. Це означає, що для використання

запатентованого сорту як основи для подальшої селекції може знадобитися дозвіл (ліцензія) від його володільця, особливо якщо новий сорт є «істотно похідним» від оригінального [1]. Концепція «істотно похідного сорту» спрямована на захист оригінальних селекційних досягнень від незначних модифікацій, які обходять патент;

— *будь-яке інше використання сорту, що порушує виключні майнові права володільця патенту.* Цей пункт є загальною клаузулою, яка охоплює широкий спектр дій, які, хоча й не вказані прямо в попередніх переліках, але фактично обмежують або порушують виключні майнові права патентовласника на використання свого сорту. Це можуть бути, наприклад, виготовлення або комерційна реалізація продуктів, отриманих з неправомірно вирощених рослин сорту, або використання сорту способами, що прямо заборонені ліцензійною угодою. Судова практика постійно адаптується до нових методів порушень, тому ця широка категорія дозволяє захищати права володільця патенту від інноваційних способів обходу закону [1].

Порушення прав на сорт рослин приводить до настання юридичної відповідальності, яка може бути цивільно-правовою (відшкодування збитків, припинення порушення), адміністративною або навіть кримінальною, залежно від характеру та масштабу порушення. Володілець патенту має право звернутися до суду для захисту своїх інтересів і припинення незаконного використання сорту.

8.9. Захист прав на сорт рослин

Захист прав на сорт рослин є одним із найважливіших і невід'ємних складників усієї системи інтелектуальної власності у сфері аграрного сектору. Його головна мета полягає в забезпеченні ефективного відновлення порушених прав володільця патенту, компенсації завданих йому збитків, а також у притягненні порушників до юридичної відповідальності, що передбачена чинним законодавством. Цей механізм захисту покликаний не лише карати за порушення, але й запобігати їм у майбутньому, стимулювати дотримання правил і повагу до інтелектуальної власності. Захист може здійснюватися різними шляхами: як в адміністративному порядку (через уповноважені державні органи), так і в судовому порядку (шляхом звернення до судів загальної юрисдикції або господарських судів), залежно від характеру порушення, його масштабу, завданих збитків і вибраних володільцем патенту механізмів захисту [1] (рис. 8.6, див. с. 245).

Володілець патенту, права якого були порушені, має повне та законодавчо гарантоване право на вжиття таких ефективних заходів для їх захисту:

— *вимагати припинення порушення його прав.* Це є першим і часто найоперативнішим кроком у захисті прав. Володілець патенту має право висунути вимогу (письмову претензію, або ж через суд) про негайне та безумовне припинення незаконного використання сорту. Це може стосуватися таких дій, як:



Рисунок 8.6 – Шляхи здійснення захисту прав на сорт рослин

• неправомірне виробництво або відтворення розмножувального матеріалу сорту (наприклад, незаконне вирощування насіння для подальшої реалізації);

• незаконне розповсюдження або комерційна реалізація розмножувального матеріалу (наприклад, продаж саджанців без ліцензії);

• використання сорту для створення «залежних» сортів без дозволу патентовласника;

• зберігання великих партій розмножувального матеріалу з метою подальшого незаконного використання. Така вимога може бути надіслана безпосередньо порушнику, а в разі ігнорування – реалізована через судовий припис (судову заборону), що зобов'язує порушника негайно припинити протиправну діяльність. Це дозволяє зупинити подальше завдавання збитків і ерозію виключних прав [1];

— *вимагати відшкодування завданих збитків, упущеної вигоди також.* Це є одним з основних способів компенсування матеріальної шкоди, завданої порушенням. Володілець патенту має повне право отримати грошову компенсацію за матеріальні збитки, яких він зазнав через порушення його прав. Ці збитки можуть включати:

• *реальні збитки (фактичні збитки):* витрати, яких зазнав володілець патенту у зв'язку з порушенням (наприклад, витрати на проведення експертиз, оплата юридичних послуг, вартість знищеного або пошкодженого майна внаслідок неправомірного використання сорту);

• *упущена вигода:* це потенційний прибуток, який володілець патенту міг би реально отримати, якби його права не були порушені і якби він сам здійснював комерційне використання сорту або надавав ліцензії. Розрахунок упущеної вигоди може базуватися на середньоринкових цінах на ліцензії, на прибутку, отриманому порушником, або на інших економічних показниках. Розмір збитків визначається судом на підставі наданих доказів. Важливо, що законодавство України дозволяє стягувати не лише фактичні збитки,

а й компенсацію, розмір якої може бути визначений судом замість доведення розміру збитків, якщо це передбачено законом або угодою [1];

— *вимагати вилучення та знищення продукції, що була виготовлена або розповсюджена з порушенням прав.* Це радикальний, але часто необхідний захід для цілковитого усунення наслідків порушення. Володілець патенту має право вимагати від суду або відповідних органів влади вилучення із цивільного обігу та подальшого знищення всієї продукції, яка була виготовлена, розмножена або розповсюджена з порушенням його прав. Це стосується:

• *розмножувального матеріалу:* насіння, саджанців, живців, бульб і будь-якого іншого матеріалу, що був неправомірно вироблений або розповсюджений;

• *зібраного врожаю:* продукції (зерно, плоди, овочі, коренеплоди), отриманої в результаті неправомірного використання сорту. Метою цього заходу є не лише покарання порушника, але й запобігання подальшому комерційному використанню незаконно отриманої продукції, що може підривати ринок і права патентовласника [1];

— *звертатися до суду з позовом про визнання патенту недійсним.* Цей механізм захисту використовується, коли володілець патенту вважає, що його права були порушені неправомірним отриманням патенту на сорт іншою особою. Це може статися, якщо інша особа отримала патент на сорт, який насправді не відповідає критеріям новизни, відмітності, однорідності або стабільності на момент подання заявки, або ж якщо патент був отриманий шляхом недобросовісної конкуренції. У такому разі володілець патенту (або будь-яка інша зацікавлена особа) може звернутися до суду з вимогою про визнання такого патенту недійсним. У разі задоволення позову патент уважається недійсним з моменту його видачі (ретроактивна дія), що відновлює порушені права й усуває незаконну монополію [1] (рис. 8.7);

— *звертатися до правоохоронних органів для притягнення порушників до відповідальності.* Коли порушення прав на сорт рослин має ознаки злочину (наприклад, широкомасштабна підробка насіння, що завдала значних збитків або створила загрозу продовольчій безпеці), володілець патенту може звернутися до поліції, Служби безпеки України або інших правоохоронних органів для порушення кримінальної справи. Це може привести до притягнення винних осіб до кримінальної відповідальності, передбаченої законом, що передбачає штрафи, обмеження або позбавлення волі, залежно від тяжкості злочину. Звернення до правоохоронних органів є крайнім заходом і застосовується тоді, коли цивільно-правових механізмів захисту не досить або коли порушення має суспільно небезпечний характер [1].

Отже, система захисту прав на сорти рослин в Україні пропонує широкий спектр інструментів для ефективного відновлення справедливості та забезпечення належного функціонування ринку насіннєвого матеріалу, стимулює інновації та інвестиції в селекцію.



Рисунок 8.7 – Типи порушень і дії власника прав на сорт рослин

8.10. Умови збору за підтримання чинності майнових прав інтелектуальної власності на сорт рослин або на його поширення

Для забезпечення безперервності та правомірності функціонування системи охорони прав інтелектуальної власності у сфері рослинництва, а також для фінансової підтримки діяльності державних органів, що здійснюють реєстрацію та експертизу сортів, передбачена обов'язкова сплата щорічних зборів. Ці збори є невід'ємною умовою для підтримання чинності майнових прав інтелектуальної власності на сорт рослин, наданих патентом, а також за право його поширення та комерційного використання на всій території України. Механізм нарахування, розмір цих зборів, порядок їх сплати, а також чіткі строки внесення коштів детально регулюються відповідними законодавчими актами та численними нормативно-правовими документами. Основним регуляторним документом, що встановлює ці вимоги, є Закон України «Про охорону прав на сорт рослин» [1], а також зміни до нього, унесені пізніше [2; 3], які уточнюють і адаптують положення до сучасних реалій.

Важливою особливістю цих зборів є їхня щорічна періодичність. Це означає, що володілець патенту зобов'язаний щороку, протягом усього строку дії патенту, вносити встановлену суму до державного бюджету або на рахунок уповноваженого органу. Розмір цих зборів може змінюватися залежно від виду культури, періоду дії патенту (наприклад, збори можуть зростати з кожним наступним роком, що стимулює швидке впровадження сорту або його ліквідацію в Реєстрі, якщо він втрачає актуальність), а також від статусу володільця патенту (наприклад, для наукових установ або малих фермерських господарств можуть передбачатися пільги, хоча це потребує додаткового уточнення в актуальному законодавстві). Інформація про конкретні розміри зборів і порядок їх сплати зазвичай публікується на офіційних вебсайтах відповідних державних установ, зокрема Українського інституту експертизи сортів рослин (УІЕСР) [4] (рис. 8.8).



Рисунок 8.8 – Порядок сплати щорічного збору за підтримання чинності прав на сорт

Несплата встановлених зборів у визначений строк може мати надзвичайно серйозні та далекосяжні наслідки для володільця патенту, аж до припинення дії останнього. Зазвичай законодавство передбачає деякий «пільговий» період для сплати зборів після настання офіційного терміну, але така сплата часто

супроводжується застосуванням додаткових штрафних санкцій або збільшенням розміру збору. Якщо ж і після закінчення цього пільгового періоду щорічний збір не буде сплачений, дія патенту може бути припинена в автоматичному або спрощеному порядку, що призведе до остаточної втрати виключних прав володільцем патенту на даний сорт. У такому разі сорт переходить у суспільне надбання, будь-яка особа може вільно використовувати його без будь-яких дозволів чи відрахувань.

Тому своєчасність та повнота сплати цих щорічних зборів є критично важливим аспектом для збереження правової охорони сорту. Володільці патентів повинні ретельно відстежувати строки сплати та забезпечувати належне виконання своїх фінансових зобов'язань. Це не лише підтримує функціонування системи охорони прав інтелектуальної власності, а й забезпечує стабільність аграрного ринку, дозволяє селекціонерам отримувати винагороду за свої інновації та стимулює подальший розвиток селекції.

Окрім безпосередньої сплати щорічних зборів, за визначених умов можуть існувати додаткові фінансові зобов'язання, пов'язані з підтриманням прав або внесенням змін до Реєстру, хоча основним джерелом підтримки є саме щорічний збір. Володільцям патентів рекомендується регулярно звертатися до актуальних законодавчих і нормативних актів, а також до офіційних джерел інформації, як-от бюлетені УІЕСР [4], для уточнення всіх деталей щодо розмірів, строків і процедур сплати зборів, щоб уникнути втрати прав через недотримання цих фінансових вимог.

Терміни та визначення

Автор сорту (селекціонер) – фізична особа, яка є творцем або вивела новий сорт рослин у результаті своєї творчої діяльності. Це може бути як індивідуальний дослідник, так і член колективу, що працював над створенням сорту.

Відмінність сорту – критерій, що означає наявність чітких, визначених і відтворюваних ознак, які дозволяють однозначно відрізнити даний сорт від будь-якого іншого загальновідомого сорту. Ця відмітність має бути суттєвою і стійкою.

Володілець патенту – особа, якій на законних підставах належать виключні майнові права інтелектуальної власності на сорт рослин, що офіційно підтверджені виданим патентом. Це може бути як фізична, так і юридична особа.

Гібрид – сорт рослин, що отримується шляхом схрещування двох генетично відмінних батьківських форм. Гібридизація є поширеним методом у селекції для поєднання бажаних ознак.

Господарсько цінні ознаки сорту – сукупність різноманітних морфологічних (зовнішніх), біологічних (життєвих процесів), фізіологічних (функціональних) та інших властивостей сорту, які безпосередньо визначають його продуктивність, стійкість до несприятливих факторів (хвороб, шкідників, стресів), якість отриманої продукції та інші показники, що є важливими для ефективного сільськогосподарського виробництва.

Заявка на сорт – офіційний комплект документів, що подається до уповноваженого державного органу з метою ініціювання процедури державної реєстрації сорту та подальшого отримання патенту на нього. Заявка є основою для проведення експертизи.

Кваліфікаційна експертиза сорту – комплекс ґрунтовних науково-дослідних робіт, що проводяться для всебічного встановлення відповідності сорту встановленим критеріям відмітності, однорідності, стабільності, а також для оцінювання його господарської цінності. Результати експертизи є вирішальними для реєстрації.

Ліцензія на використання сорту – офіційний дозвіл, що надається володільцем патенту іншій особі (ліцензіату) на використання сорту на умовах, визначених у ліцензійному договорі. Зазвичай за надання ліцензії передбачається виплата винагороди (роялті).

Майнові права інтелектуальної власності на сорт – виключні економічні права, що надають володільцю патенту можливість використовувати сорт за власним розсудом, надавати дозволи на його використання іншим особам, а також ефективно перешкоджати будь-якому неправомірному використанню. Ці права є відчужуваними.

Назва сорту – унікальне й офіційно зареєстроване найменування, що слугує для чіткої ідентифікації конкретного сорту рослин. Назва має бути легко впізнаваною та не вводити в оману.

Новизна сорту – одна із ключових умов надання правової охорони, згідно з якою сорт не повинен був комерційно використовуватися (продукти його розмноження або врожай не продавалися) до дати подання заявки в межах установлених законодавством строків.

Об'єкт правової охорони – конкретний сорт рослин або його назва, що відповідає всім установленим критеріям та підлягає правовій охороні згідно із чинним законодавством.

Однорідність сорту – стан, за якого рослини одного сорту є досить схожими за своїми основними морфологічними, біологічними й іншими ознаками, з допустимими незначними відхиленнями, що не впливають на загальну характеристику сорту.

Особисті немайнові права інтелектуальної власності на сорт – невідчужувані права, що не мають економічного вираження, як-от право бути визнаним автором сорту (право авторства) та право на недоторканність сорту.

Патент на сорт рослин – офіційний державний охоронний документ, що є юридичним підтвердженням виключних майнових прав інтелектуальної власності на конкретний сорт рослин.

Реєстр сортів рослин України – централізований державний реєстр, що містить повну й актуальну інформацію про всі сорти рослин, які офіційно визнані придатними для поширення на території України.

Розмножувальний матеріал – будь-який рослинний матеріал (насіння, саджанці, живці, бульби, цибулини тощо), що може бути використаний для відтворення та розмноження сорту.

Селекція – цілеспрямована діяльність, спрямована на створення нових, покращених сортів рослин або на значне покращення сортів, що існують, шляхом відбору, схрещування та за допомогою інших біотехнологічних методів.

Селекційний доробок – загальний результат селекційної діяльності, що охоплює всі створені та виведені сорти рослин, а також пов'язані з ними наукові розробки.

Сорт рослин – ботанічна таксономічна одиниця, що є найнижчою у відомому ранзі, яка відрізняється за деякими ознаками від інших груп і зберігає свої унікальні характеристики після послідовних розмножень.

Стабільність сорту – здатність сорту зберігати свої основні, визначені та відтворювані ознаки незмінними після послідовних розмножень, а в разі особливих циклів розмноження – після кожного такого циклу.

Суб'єкти права інтелектуальної власності – особи (фізичні або юридичні), яким належать права на сорт рослин, це може бути селекціонер, заявник або володілець патенту.

Охоронний документ – загальний термін, що позначає будь-який офіційний документ (наприклад, патент), який підтверджує наявність права інтелектуальної власності на сорт рослин.

Вихідний сорт – сорт рослин, який був використаний як один із батьківських компонентів або як основа для створення нового сорту у процесі селекції.

Завдання та питання для самостійної роботи

1. *Основа, на якій базується законодавство України про права на сорти рослин та його складники.*
2. *Суб'єкти права інтелектуальної власності на сорт рослин.*
3. *Повноваження Кабінету Міністрів України (Компетентний орган) у сфері охорони прав на сорти рослин.*
4. *Повноваження Центрального органу виконавчої влади щодо державного нагляду (контролю) у частині охорони прав на сорти рослин.*
5. *Застосування норм міжнародних договорів у сфері охорони прав на сорти рослин.*
6. *Визначення термінів: «ботанічний таксон», «сорт», «ознаки», «зібраний і посадковий матеріал», «реєстр сортів і патентів».*
7. *Умови придатності сорту для набуття права на нього як на об'єкт інтелектуальної власності.*
8. *За яких умов сорт уважається новим і не втрачається його новизна?*
9. *Строк чинності майнових прав інтелектуальної власності на сорт. Тимчасова правова охорона.*
10. *Умови державної реєстрації сорту.*
11. *Документи, які подаються до Компетентного органу щодо набуття в Україні права на сорт.*
12. *Заявка на сорт та її складники.*

13. *Мета й порядок проведення формальної експертизи. Відповідність формальних ознак заявки.*
14. *Мета й порядок проведення кваліфікаційної експертизи. Експертний висновок щодо можливості державної реєстрації сорту й видачі патенту.*
15. *Дії Компетентного органу щодо заперечення третіх осіб щодо реєстрації сорту.*
16. *Права автора сорту й роботодавця за подання заявки на сорт.*
17. *Майнові права інтелектуальної власності на сорт.*
18. *Виключне право на дозвіл чи заборону на використання сорту.*
19. *Визначення понять: «похідний сорт», «вихідний сорт».*
20. *Умови збору за підтримання чинності майнових прав інтелектуальної власності на сорт рослин або на його поширення.*

Перелік джерел до розділу 8

1. Про охорону прав на сорт рослин : Закон України від 21.04.1993 № 3117-XII.
2. Про внесення змін до Закону України «Про охорону прав на сорти рослин : Закон України від 17.01.2002 № 2986-III.
3. Про внесення змін до Закону України «Про охорону прав на сорти рослин» : Закон України від 02.11.2006 № 311-V.
4. Охорона прав на сорти рослин : бюлетень / Укр. ІЕСР. URL: http://www.minagro.gov.ua/System/files/2017(1.2)_0.pdf
5. Василюк П. М. Етапи формування національних сортових рослинних ресурсів у системі державного законодавчого регулювання України. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. Київ : ІЕСР, 2013. № 4 (21). С. 75–80.
6. Методика проведення експертизи сортів рослин картоплі та груп овочевих, баштанних, пряно-смакових на придатність до поширення в Україні (ПСП) / за ред. С. О. Ткачик. Київ : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2014. 96 с.
7. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні. URL: http://www.minagro.gov.ua/rating/files/r3.pdf
8. Державний реєстр патентів сортів рослин. URL: http://sops.gov.ua/reestratsiya-prav/reiestry/reiestr-patentiv
9. Державний реєстр заявок на сорти рослин. URL: http://sops.gov.ua/pdfbooks/09.reestry/pANDz/2017/1.pdf

Розділ 9

ОРГАНІЗАЦІЯ ВЕДЕННЯ НАСІННИЦТВА

9.1. Правові засади організації насінництва в Україні

Основне місце у правовому регулюванні запровадження насінництва в Україні посідає Закон України «Про насіння і садивний матеріал» [13]. У ст. 4 закріплено, що «законодавство України у сфері насінництва та розсадництва базується на Конституції України [14] та складається із цього Закону, законів України «Про адміністративну процедуру» [15], «Про охорону прав на сорти рослин» [16], «Про карантин рослин», інших законів та нормативно-правових актів, прийнятих відповідно до них».

Згідно зі ст. 1 цього Закону, насінництво належить до рослинництва, йому відводиться роль у розмноженні насіннєвого матеріалу до визначених обсягів зі збереженням їхніх сортових якостей, зокрема й урожайних, доведення насіння до посівних кондицій на основі сортового та насіннєвого контролю.

До насіння, згідно із Законом, належать справжнє насіння, навколоплідники, плоди та супліддя, які його містять. До насіння також належать бульби картоплі. Згідно із Законом уживання в їжу й інше використання насіннєвого матеріалу заборонено.

У ст. 9 Закону систему насінництва визнано такою, що «включає категорії добазового, базового і сертифікованого насіння, вихідного, базового та сертифікованого садивного матеріалу, державний резервний насіннєвий фонд, колекційні маточні насадження багаторічних рослин».

Натепер виділено три категорії насіння: добазове, базове та сертифіковане. У попередній редакції цим категоріям відповідали оригінальне, елітне та репродукційне насіння. Загалом, за винятком розсадників другого року розмноження, які належали до категорії еліти, а нині до базового насіння, жодних відмінностей у генераціях насіння не відбулося. Однак поняття первинного насінництва, яке охоплювало дві категорії, оригінального й елітного, в останній редакції замінено на термін «первинні ланки насінництва». Що виключило з поняття «первинне насінництво» категорію базового насінництва.

Отже, було мимоволі порушено систему первинного насінництва, що існувала раніше, у якій оригінатори сортів працювали спільно з виробниками еліти, передаючи до розмноження розсадники розмноження першого та другого року. Тепер виробники еліти, за ідеєю, мають купувати в оригінаторів тільки супереліту, що часто економічно невигідно, оскільки лише два етапи розмноження позбавляють маневреності елітгоспів у виробництві обсягів еліти, які об'єктивно потрібні на ринку насіння.

Відповідно до Закону зменшилася кількість репродукцій (генерацій) насіння, що використовується для внутрішньогосподарських цілей. Раніше

масовою вважалася 4 репродукція, зараз 3 генерація сертифікованого насіння. Та й саме поняття внутрішньогосподарського насінництва виключено із Закону, хоча двічі трапляється поняття «внутрішньогосподарський контроль» без будь-якого пояснення цього терміна.

До об'єктів насінництва (ст. 2 Закону «Про насіння і садивний матеріал») віднесені: вид рослин; сорти (клон, лінія, гібрид F_1, популяція); насіння; насіннєві посіви. Суб'єкти насінництва поділяються на виробників і постачальників. Вимоги, які висуваються до цих категорій, різні. Якщо виробники відповідають за виробництво і реалізацію насіння, то постачальники можуть вибрати один із запропонованих напрямів, як-от розмноження насіння, виробництво, зберігання, уведення в обіг або імпорт насіння.

Варто зазначити, що в Україні насінням визнається матеріал, який пройшов процедуру сертифікації. На підставі відповідності якості насіннєвих посівів вимогам ДСТУ 2240-93 [17] та проведення польового інспектування (або інших методів сортового контролю) видається сертифікат, який підтверджує сортові якості. Посівні якості визначаються згідно з ДСТУ 4138-2002 [18], підтверджуються на основі відповідності результатів лабораторного аналізу вимогам ДСТУ 2240-93.

Сертифікація здійснюється згідно з «Порядком проведення сертифікації насіння, видачі та скасування сертифікатів на насіння», який затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2023 р. № 1210 [19].

9.2. Організаційно-економічні аспекти

Досвід країн з розвиненою ринковою економікою свідчить про те, що впровадження результатів науково-технічних досягнень у виробництво є важливою рушійною силою в підвищенні ефективності сільськогосподарського виробництва. Отже, стабілізація і подальший прискорений розвиток АПК неможливі без інтеграції науки та виробництва.

Інтеграція науки та виробництва є динамічною багатокомпонентною системою. Кожній ланці системи відповідають зв'язки, у яких виражається індивідуальна форма інтеграції. Перспективи становлення України як потужної науково-технологічної аграрної держави визначаються розвитком інтелектуального потенціалу.

Упродовж останніх років однією з найважливіших проблем світової спільноти в сільському господарстві залишається збільшення виробництва зерна – одного з головних гарантів продовольчої безпеки будь-якої суверенної держави.

Аналіз дав змогу виокремити три групи чинників, що визначають зростання ефективності виробництва насіння зернових культур і становлять основу мотиваційного управління розвитком інтеграційних процесів у насінництві зернових культур:

— зовнішні та регіональні макроекономічні чинники;

— чинники управління виробничими процесами всередині інтегрованих формувань;

— чинники, що визначають стан і перспективи розвитку загалом зернового господарства регіону.

Аналіз основних напрямів підвищення економічної ефективності виробництва зерна дозволив виокремити значущість сорту й сортової агротехніки в системі технологічних напрямів зростання врожайності та зниження собівартості зерна на рівні 40 % впливу всіх технологічних чинників.

Серед організаційно-економічних чинників зростання ефективності виробництва фуражного й товарного зерна залишаються концентрація та інтенсифікація виробництва. Так, перевищення середніх регіональних показників розмірів зернових культур в 1,9 раза, а витрат на 1 га посівів у 1,2 раза дало змогу підвищити врожайність зернових культур на 15 %, знизити собівартість продукції на 2 %. Дослідження показали, що потенціал зростання концентрації та спеціалізації виробництва в господарствах Лісостепу України, отже, інтеграційних процесів, не вичерпано.

Однак кількість насінницьких посівів в Україні постійно знижується. Це насамперед пов'язано з незахищеністю українського ринку від напливу імпортного насіння. Так, згідно з даними, наведеними на сайті Агропорталу від 16 лютого 2025 р. у минулому (2024) році в Україну імпортовано насіння на суму 400 млн дол. Водночас у країні було вирощено кондиційного насіння іноземної селекції приблизно на цю саму суму [20].

Необхідно визнати, що імпортне насіння в загальному обсязі превалює невипадково. Причина полягає в його вищих споживчих властивостях, а не у відсутності патріотизму вітчизняних сільгоспвиробників. Тому логічно було б спрямувати зусилля держави на підтримку тих селекціонерів і насіннєводів, які забезпечують виробництво конкурентоспроможного насіння з вищими споживчими властивостями.

Така експансія призводить до порушення строків як сортозміни, так і сортооновлення. В одних випадках вони відбуваються рідше від нормативних строків через високу ціну сортового матеріалу й через порушену систему насінництва, що обривається зазвичай на ланці оригінального насінництва. В інших випадках щоразу використовується новий сортовий матеріал, що пов'язано з контрактними зобов'язаннями, метаннями у виборі більш економічно вигідних нішевих культур, відсутністю матеріальної бази для насінництва різних культур, а також фахівців у галузі насінництва. Останнє пов'язано зі значним упровадженням культур, представлених гібридним насінням, під час вирощування яких відсутня потреба у веденні внутрішньогосподарського насінництва. Водночас зміни до законодавчих і підзаконодавчих актів останнім часом значні. Курси підготовки насіннєводів відсутні, семінари, що проводяться в розрізі питань насінництва, не можуть повною мірою замінити їх. Тобто досвідченні насіннєводи втрачають кваліфікацію через відсутність знань про зміни в законодавстві, а нове покоління не має не тільки знань у галузі насінництва, а й практичних навичок.

Однією з можливих стратегій розвитку насінництва та розбудови насінництва зернових культур і економічних взаємин між економічними суб'єктами, що ними визначаються, є такі, що ґрунтуються на трьох рівнях розвитку галузі, як-от: звужене, просте та розширене відтворення.

Розвиток насінництва зернових культур спрямований на поетапний перехід від звуженого до розширеного відтворення насіння, в основі якого інтенсифікація галузі, скорочення строків сортооновлення, зростання пластичності регіонального насінництва, підвищення доступності оригінального насіння кінцевому споживачеві. Стратегія розвитку насінництва шляхом розширеного відтворення галузі передбачає: аспекти вдосконалення системи насінництва та можливості їх реалізації; концепцію наступальної стратегії в розвитку насінництва зернових культур, яка містить чотири основні блоки, що мають різне функціональне призначення та дають змогу забезпечити ефективний розвиток галузі.

Основу кластера становить його ядро, яке об'єднує виробників і споживачів насіння, що формують кластерну політику виробництва насіння, сортозміни та сортооновлення, визначає економічні взаємини між суб'єктами кластера, формує його зовнішню політику. Блок координації кластерної діяльності складається з делегованих регіональних систем управління розвитком зернового господарства в суб'єктах кластера. У ньому презентуються регіональні особливості кластерної концепції розвитку насінництва, механізми вдосконалення насінництва, насінництва сільськогосподарських культур (просторовий розвиток, правове й інформаційне забезпечення, розвиток організаційних форм і форм власності суб'єктів господарювання та інше), етапів і механізмів реалізації концепції. Блок зв'язку кластера з аграрною наукою та освітою, а також суміжними системами слугує для координації загальних тенденцій розвитку науки й освіти стосовно зон впливу кластера. Нарешті, блок зв'язку зі структурами, що забезпечують координацію і правову, організаційну, консультаційну, технічну, енергетичну й інші види підтримки у функціонуванні кластера.

Місія регіонального кластера – розвиток і вдосконалення насінництва та насінництва зернових культур, що вирізняються стійкими якостями та високою економічною ефективністю вироблених сортів, для максимально широкого кола економічних суб'єктів різних адміністративних формувань. Головна мета кластера – забезпечення максимуму прибутку від насінництва зернових культур для всіх економічних суб'єктів, об'єднаних у ньому економіко-технологічними зв'язками, стійке зростання конкурентоспроможності кластерної продукції.

З метою успішної реалізації моделі науково-виробничого кластера, що формується, необхідно сформувати організаційно-економічний механізм управління інтеграційними процесами насінництва зернових культур у кластері, що формується, який складається із двох основних систем: організаційно-правових засад управління інтеграційними процесами та засад механізму реалізації управління процесами інтеграції організацій регіону.

Як один із найважливіших елементів організаційно-економічного механізму функціонування кластера насінництва та розсадництва зернових культур варто виокремити формування стабілізаційного інвестиційного фонду, що спрямований на збереження фінансової стійкості та нерозривність економічних суб'єктів, які становлять ядро кластера. У такому разі стабілізаційний фонд виконує функцію підвищення стійкості зв'язків між учасниками кластера

у процесі передачі насіннєвого матеріалу по етапах його розмноження незалежно від економічної ситуації, що складається для суб'єкта кластера.

Другим важливим організаційно-економічним елементом успішної реалізації насінництва та насінництва зернових культур є визначення оптимальних розмірів і спеціалізації господарств, що входять до кластера. Дослідження та практичний досвід функціонування насінницьких господарств дозволили виокремити параметри насінницьких господарств ядра насінницького кластера. Успішний розвиток насінництва зернових культур можливий як у вузькоспеціалізованих, так і в багатогалузевих господарствах. Цей підхід дасть змогу зробити висновок про те, що тільки комплексне й системне розв'язання проблем інтегрованої взаємодії аграрної науки та виробництва дасть змогу організувати територіально взаємопов'язані підприємства, об'єднані навколо науково-виробничого центру, з метою підвищення конкурентоспроможності сільськогосподарських організацій і області загалом.

9.3. Техніко-технологічні аспекти

Останніми роками стало остаточно очевидно, що тривале запозичення техніко-технологічних інновацій без паралельного формування власного технологічного суверенітету в різних галузях економіки є надзвичайно небезпечним і потребує якнайшвидшого реагування, зокрема й в агропромисловому комплексі, без чого загрози нашій продовольчій і національній безпеці стрімко наростатимуть.

З огляду на це необхідно максимально використовувати можливості міжнародного технологічного обміну та трансферу закордонних інновацій, адаптувати їх до національних особливостей і використовувати у власних наукових дослідженнях і розробках. Водночас серйозно розраховувати на довгострокове співробітництво в цьому напрямі із провідними західними компаніями, на наш погляд, не варто було б, щоб остаточно не втратити національну селекцію, а разом з нею і насінництво як науку.

Прикладом технологічних аспектів може слугувати заміна сортів і використання насіння різних генерацій. Відомо, що насінництво ґрунтується на систематичному сортооновленні та сортозаміні. Їхня суть полягає у використанні у виробництві поліпшених і нових високоврожайних сортів (гібридів) зернових культур. Насінництво органічно пов'язане зі створенням нових сортів і гібридів, воно реалізує досягнення селекції у процесі розмноження насіння. Добре організоване насінництво забезпечує своєчасну заміну вирощуваних сортів зернових культур новими, продуктивнішими та ціннішими за якістю (сортозаміна), а також заміну (за 3–4 роки) сортів, що погіршили свої господарські та біологічні якості, кращим насінням того ж сорту (сортооновлення) – необхідна умова виробництва зерна. Про можливий економічний ефект свідчить той факт, що високоврожайні сорти та високоякісне насіння можуть забезпечити прибавку врожайності від 50 до 70 %.

Значущість сорту (гібрида) і технології залежно від тих чи інших економічних умов виробництва змінюється. Так, якщо в роки застосування інтенсивних технологій частка сорту (гібрида) у приростi врожайності змінювалася від 20 до 27 %, то нині вона зросла до 50 %. Це пов'язано з тим, що в роки «реформ» сортозаміна стала одним з основних чинників інтенсифікації сільськогосподарського виробництва.

Сортозміна виникає не сама по собі, не за примхою сільгосптоваровиробників. Вона завжди зумовлена низкою об'єктивних причин природно-кліматичного, біологічного або економічного характеру.

До природно-кліматичних причин, що зумовлюють необхідність сортозміни, належать часто повторювані посухи або вологі роки з великою кількістю опадів чи з високою температурою повітря, що припадають на період цвітіння і наливу зерна. Така ситуація зумовлює необхідність створення та впровадження нових сортів, стійких до екстремальних погодних умов. У зв'язку з порушенням екологічної ситуації та частим виникненням екстремальних кліматичних коливань селекційний процес у цьому напрямі йде практично весь час.

Біологічні причини пов'язані із часто повторюваними епіфітотіями хвороб зернових рослин, розширенням спектра пристосовності комах-шкідників, у рослинах відбуваються накопичення інфекції, постійна втрата стійкості до основних хвороб, що, своєю чергою, зумовлює необхідність створення нових толерантних сортів до цих несприятливих чинників середовища.

Кризовий стан сільськогосподарського виробництва кінця 2010 р. є яскравим прикладом проведення сортозаміни через причини економічного характеру. Нестача засобів хімізації, техніки, паливно-мастильних матеріалів, їхня дорожнеча, змусили сільгосптоваровиробників вдатися до оновлення сортового складу посівів зернових культур, що дає змогу за низьких фонів мінерального живлення та мінімальної кількості хімічних обробок одержувати досить стійкі врожаї зернових культур.

Однак на сучасному етапі виробництва продукції рослинництво показало, що стабільне підвищення валових зборів зерна можливе шляхом підвищення врожайності та зниження її варіювання на основі інтенсифікації зернової галузі. Залучення нових орних земель, що було притаманне на попередньому етапі (за наявності значної кількості невикористаних, покинутих, занедбаних посівних площ) натепер є вкрай обмеженим. Сучасний підхід удосконалення структури посівних площ – це розширення посівів найбільш урожайних, а також особливо запитуваних ринком культур у межах заданої площі. Це не пов'язано з великими капіталовкладеннями, але дає змогу більш продуктивно використовувати земельну площу й матеріальні ресурси. Однак усе це призводить до утруднення дотримання науково обґрунтованих строків сортооновлення і сортозаміни. Здавалося купівля насіння менш затратна, ніж підтримка та ведення власного насінництва. Але вже нині йдеться щонайменше про підвищення ціни реалізації на 10 % для насіннєвого матеріалу у 2025 р.

Треба, зокрема, розвивати всередині країни виробництво малогабаритної насінницької техніки та складного лабораторного обладнання, що становить

основу матеріально-технічної бази сучасної селекції та насінництва й забезпечує використання інноваційних методів маркерної, гетерозисної та гаплоїдної селекції. Таке обладнання нині зазвичай виробляється тільки за кордоном. З урахуванням реалій воєнного стану, який тривалий час уведено на всій території України, та подальшого відновлення народногосподарського комплексу здебільшого коштом агропромислового комплексу, можливо, технічна забезпеченість насінництва тривалий час буде шляхом імпортних поставок. А ось цифровий супровід, заснований на останніх розробках у військовій галузі, імовірно, буде вітчизняним.

9.4. Інформаційно-консультаційні аспекти

Нині доступна інформація про джерела та структуру використання насіння різного походження та якості в Україні, усупереч змінам у законодавстві, що спрямовані саме на відкритість і прозорість ринку насіння, усе ж таки, імовірно, має досить фрагментарний характер, що ускладнює процеси управління розвитком національної селекції та насінництва. У 2022–2025 рр. у зв'язку з воєнним станом у країні було закрито низку обов'язкових реєстрів відповідно до Закону України «Про насіння та садивний матеріал». Хоча вже кілька років планується здійснити серйозну інформаційно-цифрову модернізацію для підвищення прозорості внутрішнього ринку насіння, нинішній стан інформаційного забезпечення залишається на рівні початку 2000-х рр. Надія, що створювані із цією метою реєстри посилять контроль і відповідальність учасників ринку, підвищать захищеність товаровиробників від купівлі фальсифікованого насіння, виявилася невиправданою у зв'язку з обмеженістю інформації про стан українського ринку, на відміну від тієї, яка в ньому накопичується. Для повноти картини система повинна мати досить високий рівень деталізації щодо насіння найбільш важливих сільськогосподарських культур, незалежно від його походження і генерації, використання його в первинному насінництві або для внутрішньогосподарських цілей. Особливу увагу необхідно приділити появі на ринку ГМО насіння, і розробити заходи виключення його на основі цифрових технологій.

Можливості інформаційно-комунікаційних технологій варто використовувати також для розповсюдження реальних позитивних результатів використання в посівах сільськогосподарських культур насіння сортів і гібридів для підвищення попиту на них у товаровиробників.

9.5. Інноваційні методи досліджень у насінництві

У зв'язку з розвитком цифрових технологій і значним здешевленням апаратури одним з інноваційних методів дослідження насіння є використання рентгенографічного методу дослідження стану насінини. Відомо, що багаторазовий силовий вплив на зерно різних машин і механізмів, багаторазові удари, стиснення, тертя тощо травмують зерно. Дослідження щодо уникнення травмування там, де це можливо, нині можна здійснити за допомогою компактних рентгенівських установок. Також за допомогою цих установок можна встановити зараженість зерна шкідникам.

Рентгенографічний метод є досить ефективним та інформативним методом аналізу якості насіння за інтроскопічними показниками. Він включений до міжнародних стандартів КО 6639-4:1987 і вже знаходить широке застосування. Однак у процесі автоматизації цього методу й чисельного оцінювання рентгенографічних показників стає очевидним, що для точного, адекватного й добре обґрунтованого застосування цього методу необхідно розв'язати цілу низку теоретичних і практичних завдань, які й будуть розглянуті нижче.

Метод рентгенівського знімання, що використовувався раніше, заснований на використанні фотопластин із подальшим їх проявом і зацифруванням, хоча й забезпечував високу якість знімків, був досить складним і трудомістким. Тому рентгенографічний метод не набув широкого й ефективного застосування. Нині з'явилася можливість використовувати сучасну знімальну апаратуру, здатну оперативно отримувати зацифровані знімки. Особливості застосування цієї апаратури будуть розглянуті тут на прикладі Комплексу рентгенівського діагностичного (далі – КРД) "INDIagraf-02" пересувного (вартістю 100 тис. грн). Окрім очевидних переваг (простота й оперативність знімання, задовільна візуальна якість знімків), цей спосіб має низку недоліків, серед яких можна назвати досить високий рівень зашумленості, похибки в розподілі світлового потоку й наявність на знімку додаткових деталей і візуальних артефактів знімання.

Через згадану просторову нерівномірність потоку випромінювання під час знімання виділення об'єктів на знімку здійснюється ітеративно з уточненням параметрів світлового потоку на кожному кроці. Області об'єктів задаються кодами довжин серій із завданням між ними відношення суміжності за вертикаллю. Отже, дані коди довжин серій можна розглядати як неорієнтований граф, а завдання виділення окремих об'єктів доцільно вирішувати як завдання виділення компонент зв'язності неорієнтованого графа. Для чисельного розв'язання цієї задачі було розроблено й програмно реалізовано досить ефективний і швидкий чисельний метод.

Після того як об'єкти виділено, необхідно визначити просторову орієнтацію об'єкта. Для цього є кілька поширених способів, зокрема, для зернівок, з огляду на їхню форму, ідеально підходить спосіб, що ґрунтується на побудові для кожної з них еліпсоїда інерції. Для подальшого аналізу зернівки можна розгорнути за головними осями еліпсоїда інерції. Для зернівок пшениці на основі їхніх контурних характеристик показано також можливість виділення зони зародку.

Однією з важливих інтроскопічних характеристик зернівки, що виявляються рентгенографічним методом, є прихована травмованість (тріщинуватість). На основі аналізу градієнтів функції яскравості можна запропонувати низку досить надійних методів автоматичного виявлення ділянок тріщин за зацифрованим знімком як вузьких темних смуг на ендоспермі. Адекватним кількісним показником прихованої травмованості (Т) можна вважати сумарне падіння яскравості за всіма точками тріщин із масштабувальним множником, залежним від площі фронтальної проєкції зернівки.

У дослідженні зображення зернівок із різними значеннями показника Т можна бачити, що обчислені автоматично значення рівня прихованої травмованості добре узгоджуються і з візуальною оцінкою тріщинуватості зернівок.

У загальному вигляді локалізація та аналіз великих дефектів зернівки проводяться таким чином. За контуром зернівки й значеннями яскравості в опорних точках її нутрощів проводиться реконструкція образу зернівки без дефектів, потім потенційно дефектні області відокремлюються як ділянки найбільшого відхилення від реконструйованого нормального образу. Такий підхід дає змогу не тільки локалізувати дефектні ділянки, а й виміряти їхню кількісну характеристику (потужність дефекту) як сумарне відхилення яскравості від побудованого еталона, масштабоване за сумарною яскравістю зернівки.

Для виділених аномальних ділянок обчислюють низку характеристик, як-от показники яскравої різкості контуру дефекту, величина падіння яскравості та її дисперсія в ділянці дефекту, коефіцієнт форми дефекту, а також низку нетривіальних характеристик, що стосуються геометрії аномальної ділянки та її локалізації всередині об'єкта. Отже, завдання визначення і класифікації дефектів зводиться до завдання класифікації у просторі даних ознак. Згідно із численними експериментами, це завдання може бути досить ефективно вирішене застосуванням класифікаторів баєсівського типу і методів, заснованих на технології нейронних мереж.

Після отримання значення показників, що цікавлять, для кожної зернівки окремо, неважко обчислити відповідні загальні показники для всієї проаналізованої вибірки – середній розмір зернівки, середню кількісну характеристику прихованої травмованості, відсотковий вміст зернівок з тим чи іншим дефектом. Однак однією з кінцевих цілей автоматичного аналізу проби має бути оцінювання цих характеристик не тільки для цієї проби, а й для всієї партії загалом. Природно, це завдання доцільно вирішувати у припущенні, що методика відбору проб забезпечує належну репрезентативність вибірки. Також необхідно визначати вірогідність такої оцінки для аналізованої партії і достатність накопичених у процесі аналізу проби даних для отримання оцінок необхідної вірогідності.

Для показників, що оцінюються кількісно для кожної зернівки (розміри, ступінь прихованої травмованості тощо), це завдання можна вирішити обчисленням довірчих інтервалів для цих параметрів і вважати оцінку вірогідною, якщо розміри отриманих довірчих інтервалів не перевищують наперед заданих значень. Було проаналізовано послідовно десять рентгенограм, по сто зернівок у кожній. Емпірично встановлено, що для показника тріщинуватості критичним значенням розміру довірчого інтервалу можна прийняти

величину 0,1. Для забезпечення необхідної вірогідності оцінки прихованої травмованості партії в цьому разі досить проаналізувати 7–8 рентгенограм (700–800 зернівок).

Для оцінювання імовірності вибірки також доцільно контролювати однорідність проаналізованих рентгенограм і вважати результати аналізу досить імовірними, якщо дані проаналізованих рентгенограм задовольняють на заданому рівні значущості відомим статистичним критеріям однорідності вибірок (згідно з експериментами, досить адекватні результати забезпечує застосування критерію однорідності ×2 на рівні значущості 0,05).

Характеристикою зараженості зерна шкідниками є сумарна щільність зараженості (далі – СЗЗ), яка вимірюється в екземплярах (шкідників) на кілограм зерна. Для кожного виду шкідників установлено максимально допустимі рівні (далі – МДУ) зараженості. Так, для комах, що дають приховану зараженість, яку особливо ефективно виявляють рентгенографічним методом, показники МДУ становлять: для рисового довгоносика – 7,5 екз./кг, для комірного довгоносика – 15 екз./кг. З огляду на очевидну кореляцію між вмістом комах у зерні та кількістю зернівок із виявленим рентгенографічним методом ураженням комахами, цей показник можна розглядати в тій самій термінології (СПЗ розуміти як кількість ушкоджених шкідниками зернівок) і з тими самими значеннями МДУ.

Для оцінювання зараженості партії за проаналізованою пробою виявлення заражених шкідниками зернівок необхідно змоделювати схемою незалежних випробувань Бернуллі. Якщо вважати частку заражених зернівок у партії такою, що дорівнює d0 (очевидно, вона дорівнює відношенню СПЗ до кількості зернівок у кілограмі), імовірність виявлення у пробі з N зернівок рівно T заражених у цьому разі дорівнює P (T, d0)=Cmd0T (1–d0), а ймовірність натрапити хоча б на одну: P=(1–(1–d0), N). За допомогою даних виразів нескладно отримати оцінки точності рентгенографічного методу виявлення зараженості шкідниками за даною кількістю зернівок у пробі для різних фактичних значень густини зараження. Такий підхід можна також використовувати для оцінювання сумарної щільності зараження партії. Припустимо, що з N проаналізованих зернівок T виявилися зараженими, розглянемо задачу про те, чи не перевищує СПЗ партії заданого рівня 5. Нескладно отримати розв'язання цього завдання, як завдання перевірки статистичної гіпотези СПЗ=5 проти альтернативної СПЗ>5 на деякому рівні значущості a.

Серед наукових публікацій є низка цікавих досліджень, які, наче детектив, відкривають таємниці насінницьких партій. Одним із таких є використання комплексного оцінювання якості насіння для ідентифікації року його формування.

Натепер справді немає прямих методик ідентифікації року формування насіння. Імовірно, про це судили за комплексом визначуваних у лабораторних умовах таких ознак, як маса 1000 насінин, енергія проростання, схожість, морфометричні показники кореня й паростка, зараженість грибами, наявність домішок, а також уміст прихованих дефектів і зараженість комахами, що визначаються рентгенівським методом.

В основі теоретичного обґрунтування цього методу лежить класифікація насіння за біологічним довголіттям. Воно поділяється на 3 класи: макробіотики – із тривалістю життя насіння до 3-х років, мезобіотики – від 3-х до 15-ти років, макробіотики – понад 15 років. Насіння пшениці та кукурудзи належить до мезобіотиків, тобто насіння у 2025 р. врожаю 2022 р. ще життєздатне. З іншого боку, свіжозібране насіння, яким є насіння 2025 р., може слабко проростати або не проростати зовсім, оскільки впадає у стан спокою і має пройти період післязбирального дозрівання. Для насіння пшениці він триває до 2-х і більше місяців. У насіння кукурудзи період післязбирального дозрівання короткий – лише кілька днів. Важливо враховувати погодні умови формування насіння. Відомо, що насіння хорошої якості виходить тоді, коли в період формування і дозрівання зернівок стоїть тепла й волога погода. За умов високої температури та дефіциту вологи різко скорочується період зерноутворення і насіння виходить щуплим і недорозвиненим. За низьких температур затягується період сходів, що є однією із причин різноякісності рослин і неоднорідності сформованого на них насіння. Доведено, що насіння, сформоване за знижених температур, має більшу абсолютну вагу та розміри, але має меншу енергію проростання та схожість, ніж насіння, сформоване за оптимальних температур. Окрім цього, якість сформованого насіння визначається культурою виробництва конкретного господарства, яка в низці випадків може перекривати відмінності, зумовлені погодними умовами.

Розглянемо методику визначення на конкретному прикладі.

Необхідно було встановити конкретний рік формування насіння із трьох – 2020, 2024 і 2025 рр. – для зразків насіння пшениці, із двох – 2024 і 2025 рр. – для зразків насіння кукурудзи. Згідно з метеозведенням про умови, де були сформовані отримані зразки насіння, 2024 р. був спекотний і посушливий; 2020 р. – більш холодний, 2025 р. – оптимальний з усіх трьох.

Для проведення досліджень було взято зразки з різних партій насіння.

Насіння пшениці. Згідно з даними, за показником маси 1000 насінин зразки за убуванням розташувалися так: №№ 3 і 8 – великі, потім середні – №№ 1, 2, 4 і 7, дрібні – №№ 5 і 6. Спираючись на літературні дані про те, що в суху і спекотну погоду формується більш дрібне насіння, згідно із цим (показником), можна припустити, що зразки №№ 5 і 6 були сформовані в посушливому 2024 р.

Найвища схожість (92 %) у зразків №№ 1 і 5. У решти схожість нижча за 90 %. Найнижча схожість (75 %) у зразка № 4, що дає змогу віднести його за цим показником до 2025 р. як зразок, що не закінчив період післязбирального дозрівання. Підтвердженням цьому може слугувати й високе значення довірчого інтервалу за масою 1000 насінин, що свідчить про високу неоднорідність усередині партії, що може бути наслідком поступового виходу насіння зі стану спокою.

Додатково проводилися дослідження з вимірювання довжини (Ц) паростка й кореня пророслого насіння на 7-му добу – день визначення схожості. Цей показник дає змогу судити про інтенсивність початкового росту. Як видно, найвищі значення спостерігаються у зразків №№ 5 і 6. Згідно з літературними джерелами, насіння, сформоване у стресових умовах (а такими могли

бути підвищені температури 2024 р.), виявляє під час пророщування вищі показники росту, ніж сформоване в оптимальних умовах. Це теж може слугувати аргументом на користь віднесення зразків №№ 5 і 6 до посушливого 2024 р. У зразка № 4 виявлено найнижчі значення (поряд із № 1) цих показників, що в першому випадку може свідчити про їхній загальмований стан, у другому – це радше віддзеркалення нижчої якості.

Під час визначення зараженості грибною інфекцією насіння найкращим показав себе зразок № 6, що підтверджує наше припущення – формувався у 2024 р.; насіння досить сухе, отже, меншою мірою може піддаватися грибним впливам. Зразки №№ 3, 7 і 8 більшою мірою, ніж решта, уражені мукором, що може свідчити про більш тривале зберігання або погані умови зберігання, або ж насіння було закладено на зберігання з підвищеною вологістю.

Результати проведеного аналізу домішок не дають можливості судити про конкретний рік формування, але можна виявити відмінності між партіями. Найчистішим (було виявлено в єдиному екземплярі насіння ячменю та вівса) виявився зразок № 8. Деяку схожість виявляють зразки №№ 5 і 6. В обох зразках, окрім домішок насіння ячменю, спостерігалося й насіння соняшнику. Зразок № 2 містить, окрім насіння ячменю, насіння вівса, а зразок № 3 – насіння кукурудзи. Велика наявність битого насіння у зразку № 4 може свідчити про те, що насіння було свіжозібраним і не пройшло належним чином сепарацію.

Розв'язання поставленого завдання з використанням рентгенографії ускладнюється тим, що рентгенографічний аналіз виявляє дефекти, отримані не тільки під час формування насіння в полі, а й під час збирання, транспортування, сушіння, зберігання та іншого. Так, найнижчий відсоток тріщинуватості (12 %) зафіксовано у зразків №№ 1 і 8; найвищий (від 37 до 50 %) – у зразків №№ 3–6. За кількістю щуплого насіння найвищий відсоток (19 %) у зразка № 6, що деяким чином підтверджує наше припущення щодо формування його в посушливому 2024 р. Водночас невеликий відсоток (3 %) щуплого насіння у зразку № 5 не виключає можливості його віднесення до 2024 р., оскільки насіння цього зразка може бути загалом дрібнішим і представляє більш однорідну партію. Так, довірчий інтервал за масою 1000 насінин зразка № 5 приблизно в 7 разів менший, ніж зразка № 6, що свідчить про значно меншу його неоднорідність. Рентгенографія насіння дала змогу також виявити зараженість комахами у зразках №№ 2, 4, 5 і 7, які бажано довго не зберігати, оскільки вони можуть зіпсуватися.

Отже, на підставі непрямих показників якості насіння, отриманих у лабораторних дослідженнях, можна зробити такі припущення. Зразки №№ 1–3, 7 можна віднести до більш раннього й більш холодного 2020 р. Зразки №№ 5 і 6 – до більш посушливого 2024 р. Зразок № 4 до останнього 2024 р., як свіжозібраний, що цілком не пройшов період післязбирального дозрівання. Найскладнішим для аналізу виявився зразок № 8 – віднесення його до 2020 або 2025 рр. практично рівноймовірно.

Насіння кукурудзи. За значеннями маси 1000 насінин зразки розташувалися у спадному порядку так: № 1 – № 2 і № 3. Однак відмінності між ними

невеликі порівняно з результатами ранніх досліджень. У зв'язку із цим визнали, що для визначення року формування замало орієнтуватися тільки на масу 1000 насінин. Проведений візуальний аналіз отриманих зразків засвідчив, що у зразка № 3, по-перше, спостерігається темніший, ніж в інших зразків, відтінок у забарвленні; по-друге, у більшості насінин цього зразка біля самої основи зерен збереглися плівки (квіткові луски).

Найвищий показник схожості було виявлено в насіння зразка № 3 – 52 %, у цього ж зразка найнижча різниця між енергією проростання і схожістю (5 %), що свідчить про його кращу якість. У зразка № 1 найнижча схожість (42 %) і велика розбіжність з енергією проростання (12 %). У зразка № 2 схожість дещо вища, ніж у зразка № 1, але нижча, ніж у № 3; різниця між схожістю та енергією проростання висока (14 %). За цими показниками зразки №№ 1 і 2 виявляють деяку схожість. Довжина паростка у проростків насіння зразка № 3 вища на 20 %, а кореня – на 16 і 6 % порівняно з такою у зразків №№ 1 і 2. Відмінності за цими показниками між зразками №№ 1 і 2 несуттєві. Отже, за показниками схожості й інтенсивності початкового росту найкращим показав себе зразок № 3.

Виявилося, що всі зразки насіння заражені фузаріумом – *Fusarium mornliform*. Зараження насіння грибом відбувається в полі та може поширюватися під час зберігання, якщо у сховищах підвищені температура й вологість. Окрім того, усі зразки виявили зараженість пліснявими грибами – мукором. В обох випадках найкращим показав себе зразок № 3. Так, зараженість фузаріумом у нього у 2,7 менша, ніж у зразка № 1, в 1,8, ніж у № 2. Вищі показники зараженості насіння як фузаріозом, так і цвілевими грибами зразків №№ 1 і 2 можуть свідчити про більш тривале зберігання.

За наявністю домішок деяку схожість показали зразки №№ 1 і 2. Так, у них виявлено велику кількість битого та подрібненого насіння кукурудзи. Зразок № 3, навпаки, містить поодинокі екземпляри подрібненого насіння, але в ньому трапляється ще насіння іншої культури – соняшнику, а також рослинні рештки.

За даними рентгенографічного аналізу зразки №№ 1 і 2 цілком ідентичні за вмістом зерен із прихованими дефектами зародку. У зразку № 3, навпаки, уміст таких зерен в 1,3 раза менший, що свідчить про його вищу якість. Значні відмінності між зразками спостерігаються за показником тріщинуватості ендосперму. У зразку № 3 спостерігаються практично поодинокі екземпляри із травмованим зерном, на відміну від зразка № 1 (80 %) і зразка № 2 (33 %), що може свідчити на користь того, що цей зразок представляє свіже насіння, яке не зазнало додаткових механічних впливів післязбирального доопрацювання під час закладання на зберігання.

Отже, на підставі комплексного аналізу отриманого насіння кукурудзи вважаємо, що зразки №№ 1 і 2 можна віднести до одного, більш раннього року – 2024 р., а зразок № 3, як свіжозібраний, – до 2025 р.

Завдання та питання для самостійної роботи

1. *Визначіться з терміном «насінництво».*
2. *Частиною якої галузі є насінництво?*
3. *Значення галузі насінництва для національної безпеки.*
4. *Зазначте час становлення насінництва в Україні.*
5. *Який українській учений був одним з організаторів промислового насінництва?*
6. *Скільки етапів становлення насінництва існувало до 1991 р.?*
7. *У чому полягає поняття «промислове насінництво»?*
8. *У чому перевага зонального розміщення насінницьких посівів?*
9. *У чому причина відступу від прийнятих схем організації насінництва у двохтисячні роки?*
10. *Чи є проблеми з експансією імпортного насіння в Україну?*
11. *Чим відрізняється організація насінництва в Україні від економічно розвинених країн?*
12. *Чи є необхідність у реорганізації виробництва та реалізації насіння?*
13. *На основі яких законодавчих актів будується система насінництва в України?*
14. *Що входить в поняття системи насінництва в Україні?*
15. *Який орган здійснює державний контроль у галузі насінництва в Україні?*
16. *Який орган визначає державну політику в галузі насінництва?*
17. *Чи є потреба в державному регулюванні ринку насіння в Україні?*
18. *Чи важливо в державі вести насінництво сортів і гібридів власної селекції?*
19. *Чи є державна підтримка селекційно-насінницьких центрів обов'язковою умовою національної продовольчої безпеки?*
20. *У зв'язку з ринковими відношеннями в галузі насінництва є доцільність у Державному резервному насіннєвому фонді?*
21. *Чи повинна держава втручатися в систему насінництва на території держави?*
22. *У чому цінність наукових підходів до строків сортозаміни та сортооновлення?*
23. *Скільки генерацій передбачено Законом України «Про насіння та садивний матеріал»?*
24. *До якої категорії відносять елітне насіння?*
25. *Яким чином установлюється відповідність посівів параметрам сортовою якості?*
26. *Чи має стосунок до насінництва насіннєзнавство (одним із розділів якого є визначення придатності насіння до посіву)?*
27. *Чи має значення матеріально-технічна база в організації ведення насінництва у визначеному господарстві?*
28. *Чи є можливість підтвердити, що представлений сертифікат нефальшивий?*
29. *У чому полягає потреба розвитку інформаційно-комунікаційних систем у насінництві?*

Перелік джерел до розділу 9

1. Roll-hansen N. The Lysenko effect: undermining the autonomy of science. *Endeavour*. 2005. № 29 (4). P. 143–147.
2. Василюк П. М. Етапи формування національних сортових рослинних ресурсів в системі державного законодавчого регулювання України (1923–2013 рр.). Сортовивчення та охорона прав на сорти. 2013. № 4 (21). С. 75–79. DOI: 10.21498/2518-1017.4(21).2013.57154
3. Піпан Х. Усеукраїнське товариство насінництва: історія заснування, структура та напрями діяльності. *Історія освіти, науки і техніки в Україні* : матеріали VIII Всеукраїнської конференції молодих учених та спеціалістів. До 150-річчя із дня народження академіка В. І. Вернадського, 21 травня 2013 р. НААН, ННСГБ. Київ, 2013. С. 101–104.
4. Tauger M. B. Pavel Pantelimonovich Luk'ianenko and the origins of the Soviet green revolution. *The Lysenko Controversy as a Global Phenomenon.* Volume 1 : Genetics and Agriculture in the Soviet Union and Beyond. 2017. P. 97–127.
5. Панченко П., Шмарчук В. Аграрна історія України. Київ : Знання, 2000. 342 с.
6. Сергій Бут про ринок «сірого» насіння, повернення кукурудзи та чому скептично відноситься до вирощування соняшника у західних областях. *Latifundist.com.* 11 лютого 2025 р. URL: https://latifundist.com/interview/818-sergij-but-pro-nasinnya-u-bilih-mishkah-povernennya-kukurudzi-ta-chomu-skeptichno-vidnositsya-do-viroshchuvannya-sonyashnika-na-zahodi
7. Гусарова А. Вітчизняне насінництво: стан галузі, ціноутворення та потреба в держпідтримці. *SuperAgronom.* 20 грудня 2021 р. URL: https://superagronom.com/articles/581-vitchiznyane-nasinnitstvo-stan-galuzi-tsinoutvorennya-ta-potreba-v-derjpidtrimtsi
8. Ярошенко А. Ретроспективний аналіз адміністративно-правового регулювання у сфері насінництва в Україні. *Науковий вісник Херсонського державного університету.* 2017. Вив. 5. Т. 2. С. 78–81.
9. Захарчук О. Світовий ринок насіння та місце України в ньому. *Економіка АПК*. 2020. № 4. С. 16–26.
10. Козаченко А. Виробники насіння в умовах війни інвестують в Україну десятки мільйонів євро: які перспективи у галузі. *Delo.ua*. 18 квітня 2023 р. URL: https://delo.ua/agro/nasinnjevi-kompaniyi-investuyut-v-ukrayinu-popri-viinu-desyatki-milioniv-jevro-yaki-perspektivi-u-galuzi-414716/
11. Zakharchuk O., Matsybora T., Melnyk S., Tkachyk S. Kovalev S. Seed production system in Ukraine: Trends, challenges, and threats. *Scientific horizons.* 2024. Vol. 27. № 3. P. 106–115.
12. Про внесення змін до законів України «Про охорону прав на сорти рослин» та «Про насіння і садивний матеріал» : Закон України від 10.06.2023 № 2763-IX. *Відомості Верховної Ради України.* 2023. № 52. Ст. 151. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2763-20#Text
13. Про насіння і садивний матеріал : Закон України від 04.10.2018. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/411-15#Text

14. Конституція України, прийнята на п'ятій сесії Верховної Ради України 28 червня 1996 р. № 1875-IV. Відомості Верховної Ради України. URL: http://zakon4.rada.gov.ua/rada/show/1875-IV
15. Про адміністративну процедуру : Закон України від 17.02.2022. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2073-IX#Text
16. Про охорону прав на сорти рослин : Закон України від 21.04.1993 № 3116-XII. Відомості Верховної Ради України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3116-12#Text
17. ДСТУ 2240-93. Насіння сільськогосподарських культур. Сортові та посівні якості. Технічні умови. [Чинний від 01.07.1994]. Київ : Держстандарт України, 1993. 74 с.
18. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. ДСТУ 4138-2002. [Чинний від 01.01.2004]. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 173 с.
19. Порядок проведення сертифікації насіння, видачі та скасування сертифікатів на насіння : постанова Кабінету Міністрів України від 17.11.2023 № 1210. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1210-2023-п/print
20. Стрижеус А. В Україні насіння іноземної селекції продається щорічно майже на мільярд доларів. *AgroPortal.ua.* 16 лютого 2025 р. URL: https://agroportal.ua/news/eksklyuzivy/v-ukrajini-nasinnya-inozemnoji-selekciji-prodayetsya-shchorichno-mayzhe-na-milyard-dolariv

Розділ 10

ГІБРИДИЗАЦІЯ, МУТАГЕНЕЗ, ПОЛІПЛОЇДІЯ, ГАПЛОЇДІЯ В РОСЛИННИЦТВІ

10.1. Поняття «генна інженерія», «генетична інженерія»

Наука як сфера діяльності людини не допускає відносності, тому трактування окремих фактів постійно уточнюється із застосуванням нових методів і підходів. Це особливо важливо для нових напрямів досліджень, де часто бракує однозначних визначень термінів, зокрема таких, як «генна інженерія». Деякі дослідники вважають терміни «генна інженерія» та «генетична інженерія» синонімами та визначають їх як сфери генетичних досліджень, що передбачають розроблення методів перебудови геному організму для зміни його спадкової інформації. Водночас інші дослідники, наприклад Молоцький, Васильківський і Князюк, розглядають генну інженерію як частину генетичної інженерії, яка здійснює генетичне конструювання на молекулярно-біологічному рівні для отримання рекомбінантних молекул [1–5].

Генна інженерія – це комплекс засобів і методів, спрямованих на зміну спадкових властивостей організму шляхом переносу або модифікації генів, які визначають конкретні генетичні ознаки.

Генна інженерія – це напрям досліджень зі змінами генів, що дозволяє отримати нові спадкові фактори [6; 11].

На відміну від генної інженерії, генетична – це зміна спадкових властивостей організмів, які зумовлені оперуванням з геномом.

Основні напрями досліджень у галузях генної і генетичної інженерії

Основні напрями:

1) синтезу генів поза організмом;
2) виділення із клітин окремих генів або спадкових структур;
3) цілеспрямована перебудова виділених структур;
4) копіювання та розмноження виділених (синтезованих) генів чи генетичних структур;
5) об'єднання різних геномів в одній клітині, сюди ж можна віднести метод пересаджування ядра соматичних клітин в енуклейованій яйцеклітині (рис. 10.1, див. с. 270).

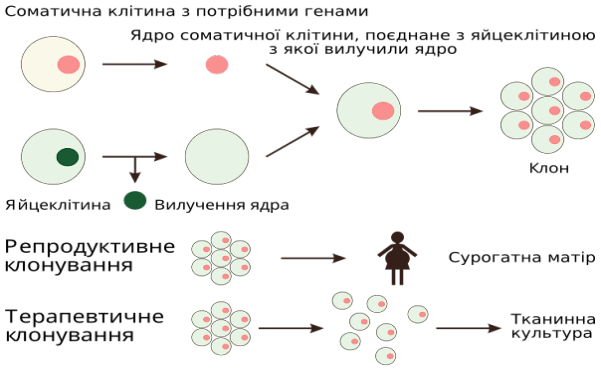


Рисунок 10.1 – Пересадка ядер соматичних клітин

Джерело: Вікіпедія, URL: https://surl.li/iyzuzx

Синтез генів поза організмом або в організмі

До генної інженерії повною мірою можна віднести лише перший напрям досліджень – синтез генів поза організмом. Поняття «ген» запропонував у 1909 р. датський учений Вільгельм Йогансен. Уперше дослідження із синтезу генів провів Г. Корана в 1967–1969 рр. (рис. 10.2). Об'єктом була відома послідовність нуклеотидіваланінової т-РНК дріжджів.



Рисунок 10.2 – Хар Гобінд Корана

Робота виконана в декілька етапів:

1) отримання однонитчастих дезоксиолігонуклеотидів;

2) одержання двонитчастих фрагментів дезоксиолігонуклеотидів довжиною 8–12 п. п., сусідні фрагменти мали однонитчасті комплементарні ділянки;

3) «зшивання» фрагментів ковалентними зв'язками з використанням полінуклеотид-лігази. Синтезований ген мав довжину 77 нуклеотидів, але не характеризувався експресією, бо немав регуляторних ділянок [7–8].

Надалі Х. Г. Корана продовжив дослідження в цьому напрямі, але першість у синтезі повноцінного гена належить Полу Бергу. Він одержав *in vitro* першу рекомбінантну ДНК шляхом об'єднання лінійних фрагментів ДНК за допомогою штучних «липких» кінців. Для синтезу використані: геном онкогенного вірусу мавпи (SV40), частина геному бактеріофага λ (лямбда) і гени лактозного оперона кишкової палички *Esckerichia coli*. Оскільки ген мав структурну регуляторну частини, він індукував у бактеріальній клітині тваринний гормон сомастатин.

У 1972 р. він отримав першу рекомбінантну ДНК, що стало важливою віхою для наукового співтовариства. Генна інженерія дозволила глибоко аналізувати геном і змінювати його в лабораторних умовах для впровадження в організми. Ці досягнення також започаткували нову галузь – ДНК-технології [9; 12].

У 1976 р. Х. Г. Корану, який продовжував свої дослідження, вдалося синтезувати ген тирозинової т-РНК кишкової палички. Він складався зі структурної частини (126 нуклеотидів), регуляторної (промотора) – 52 нуклеотиди, термінатора – 21 нуклеотид. На відміну від попередніх досліджень, цей штучно створений ген мав усі необхідні складники, коли був уведений у бактеріальну клітину, функціонував як природний.

Розвиток методик синтезу штучних генів тривав завдяки праці таких учених, як Говард Темін і Девід Балтімор. Вони відкрили механізм зворотної транскрипції, завдяки якому спадкова інформація може передаватися з РНК на ДНК за допомогою ферменту зворотної транскриптази [9; 10].

Практично ферментативний синтез здійснюють *in vitro*, з використанням зворотної транскриптази на матричній РНК синтезується комплементарна їй ДНК (одна нитка). Потім вона подвоюється і стає двонитчастою. Після цього м-РНК руйнується рибонуклеазою. Оскільки синтезована ДНК не є такою, що міститься в ядрі, вона називається ДНК-копією (далі – кДНК). Особливість її – відсутність інтрогенів, тобто за структурою вона не відрізняється від бактеріального гена.

Створений таким способом ген може функціонувати в бактеріальній клітині. На ньому синтезується мРНК, за кодом якої утворюється білок. Створений під керівництвом В. М. Енгельгарда ген, який уведений у фаг, зумовлював синтез β-галактозидази. Пізніше синтезовані гени, що керують утворенням гемоглобіну людини, кроля, голуба, гени мітохондрій печінки щура тощо. Цим способом також отриманий клонований їм експресований у клітинах бактерій генів інтерферону людини для боротьби з вірусною інфекцією.

Синтезовані гени з використанням зворотної транскрипції через відсутність регуляторної частини й промотора не можуть функціонувати у клітинах еукаріотів. Водночас, за перенесення в мікробну клітину, до них приєднується промотор, добутий з неї, що забезпечує експресію гена. Так були синтезовані гени, які контролюють синтез інсуліну, а в інших дослідах – нітрогормони.

Перспективність ферментативного синтезу генів у можливості транскрибування будь-яких генів із мРНК. Проте відсутність регуляторних генів обмежує і навіть унеможливлює практичне використання таких генів, у них відсутні також інтрони.

Наступні етапи досліджень стосуються ***генетичної інженерії***, саме в 1969 р. під керівництвом Дж. Беквіта вперше здійснено виділення гена – це ген лактозного оперона кишкової палочки *Escherichia coli*. У дослідження залучали два бактеріофаги: λ і φ (фі) 80, у яких орієнтація Lac-оперона протилежна щодо власних генів. У фага λ послідовність структурних генів така: a, y, z, o, p, i, а фага φ протилежна – i, p, o, z, y, щоб звільнитися від генів фагів проводили гібридизацію важних ниток ДНК (багатих Г-Ц-парами) обох фагів. У результаті комплементарність генів мала місце лише на ділянці lac-оперона. Однонитчасту ДНК, розташовану обабіч гібридної ДНК, вирізали специфічною ДНК дезоксирибонуклеазою, виділеною з N.crassa, таким чином був отриманий lac-оперон у чистому вигляді.

За такою схемою виділені групи генів тРНК, рибосомної РНК, гістонові гени. Спрямовану перебудову виділених або створених структур здійснюють з використанням останнього етапу ДНК-технологій, або технологій рекомбінантних ДНК.

Виділення генів здійснюється з використанням трьох видів ферментів: *рестриктаз*, *лігаз*, *зворотних транскриптаз*.

Рестриктаза (різновид дезоксирибонуклеаз) – це бактеріальні ферменти, які розрізають ДНК на відрізки, їхня особливість у специфічності розрізання ДНК у визначеному місці залежно від того, яка рестриктаза використовується. Це здійснюється в так званих **сайтах рестрикції** (*сайт* – найменший участок гена, здатний незалежно від інших участків мутувати й рекомбінуватися). Відомо більше 100 рестриктаз, що дозволяє розрізати ДНК в різних місцях.

Лігази – ферменти, які «зшивають» вільні кінці ДНК шляхом утворення фосфодіефірного зв'язку між 5-м кінцем одного полінуклеотиду й 3-м кінцем іншого. У результаті утворюється більший полінуклеотид. Ці ферменти беруть участь у синтезі ДНК під час ренлікації, рекомбінації та репарації.

Зворотні транскриптази (також відомі як РНК-залежні ДНК-полімерази, або ревертази) – це ферменти, схожі за функцією на ДНК-полімерази, проте їхня основна особливість полягає в тому, що вони синтезують ДНК на основі матриці РНК, а не ДНК.

Процедура створення рекомбінантних ДНК така. Для розроблення нового гена або приєднання чужорідної ДНК до вектора необхідно забезпечити взаємодію між кінцями фрагментів ДНК. Це досягається шляхом утворення ковалентних зв'язків, які з'єднують ці кінці (так зване «зшивання»). Успішний перебіг цього процесу залежить від правильної підготовки фрагментів ДНК до з'єднання.

Рестриктуючі ендонуклеази (або рестриктази) виконують захисну функцію в бактеріальних клітинах, перешкоджають проникненню чужорідної генетичної інформації. Вони «розрізають» ДНК на конкретні ділянки відповідно до впізнання окремих послідовностей нуклеотидів. Важливою особливістю рестриктаз є утворення ступінчастих розривів, за яких формуються короткі комплементарні однонитчасті ділянки, відомі як «липкі кінці». Наприклад, рестриктаза Eco R1 розщеплює обидва ланцюги дволанцюгової ДНК в різних місцях по обидва боки від паліндромної послідовності (сайту дії рестриктаз).

Після дії рестриктаз фрагменти ДНК, прилеглі до сайту-мішені, відокремлюються. Завдяки зміщенню точок розриву кожного ланцюга формуються комплементарні одноланцюгові ділянки, що випинаються, які називають «липкими кінцями». Їх взаємне комплементарне зв'язування можливе завдяки взаємодії основ цих ділянок. У результаті можна отримати рекомбінантну плазміду. Однак така структура буде нестабільною без утворення ковалентних зв'язків між векторною і чужорідною ДНК. Ці зв'язки забезпечує фермент ДНК-лігаза. Інший метод дозволяє використовувати будь-який кінець ДНК для рекомбінації із плазмідою.

Під час розрізання плазміди рестриктазами не завжди утворюються ідентичні кінці. У такому разі «липкі» кінці створюються штучно. Спочатку фрагменти ДНК обробляються ендонуклеазою, яка скорочує фрагменти із двох боків, а потім за допомогою ферменту – термінальної трансферази (полінуклеотидтрансферази) – додаються до кінців аденілові та тимідилові послідовності (poly (dA), poly (dT)). Довжина цих «липких» кінців незначна (50–100 нуклеотидів), але її досить для отримання гібридних структур із фрагментів двох різних ДНК. Важливо, щоб до кінця одного фрагмента ДНК було додано poly (dA), а до іншого – poly (dT).

Іншим підходом до «зшивання тупих кінців» є використання ДНК-лігази Т4, яка може «зшивати» саме тупі кінці. Перед цим необхідно «розрізати» ДНК рестриктазами обох ланцюгів в одній точці. Цей метод застосовують тоді, коли потрібно «зшити» дві конкретні послідовності без додавання між ними чужорідного матеріалу.

Ще один спосіб «зшивання» фрагментів ДНК полягає в обробці їх іРНК гена, який хочуть виділити. Молекули іРНК приєднуються лише до тих фрагментів ДНК, що містять цей ген. Зазвичай молекули іРНК містять на кінці ділянку poly (dA). Пропускають розчин фрагментів ДНК через колонку, заповнену гранульованою речовиною, на зернах якої адсорбуються молекули poly (dU), комплементарні poly (dA), інші фрагменти вимиваються з колонки.

Четвертим етапом генетичної модифікації для отримання трансгенних форм є копіювання та розмноження генетичних структур. Щоб отримати потрібну кількість фрагмента ДНК, його потрібно інтегрувати у вектор і розмножити. Вектор – це молекула ДНК або РНК, що складається з векторної частини (носія) та клонованого чужорідного гена.

Він має відповідати визначеним вимогам, а саме:

1) мати невеликий розмір, щоб у його ДНК можна було включити бажані гени чужерідної ДНК;

2) декілька унікальних сайтів рестрипції, для вбудовування чужорідної ДНК;

3) автономно реплікуватися для стабільного перебування у клітині-господарі чужерідної ДНК;

4) бути здатним для ампліфікації з утворенням великої кількості копій;

5) мати маркери, за якими легко виявляють трансформовані клітини, а введення чужерідного гена не повинно порушувати спадкових функцій вектора;

6) гарантувати роботу чужерідної ДНК, яка включена в ДНК вектора;

7) мати здатність передавати виділений ген у клітини відповідного організму.

Відповідними векторами для дотримання зазначених вимог є бактеріофаг λ або частини його геному, окремі онкогенні віруси тварин, бактеріальні плазміди й епісоми. Бактеріофаг λ може слугувати акцептором чужорідних ДНК-фрагментів. Він має один сайт-мішень для прикріплення сторонньої ДНК і називається інсерційним вектором. Вектори із двома сайтами, які дозволяють інтеграцію чужорідної ДНК, називаються переміщуваними векторами, або векторами заміщення. Серед онковірусів тварин часто використовується вірус мавп SV40.

Для трансгенезу рослин перспективними вважаються вектори на основі плазмід, як-от Ті-плазміди *Agrobacterium tumefaciens* і Ri-плазміди *Agrobacterium rhizogenes*. У першому випадку їхня взаємодія із дводольними рослинами спричиняє утворення корончатих галів, у другому – появу «бородатих коренів».

Корончаті гали на шийці кореня виникають через проникнення бактерій *A. tumefaciens* у пошкодження тканин і трансференцію генів у геном рослини. Ті-плазміди (tumor-inducing) – це позахромосомні кільцеві молекули ДНК масою приблизно $1{,}2 \times 10^8$ одиниць, що становить 3–5 % обсягу хромосоми агробактерії. Ці молекули автономно розмножуються в бактеріальних клітинах завдяки незалежній реплікації.

Пухлини в рослин з'являються через інтеграцію фрагмента Ті-плазміди (тДНК) у її геном. Праве та ліве повторення із 25 пар основ у тДНК подібні до транспозонів. Гени Ті-плазмід спричиняють надмірний синтез фітогормонів і сполук амінокислотної природи – опінів, які бактерії використовують як джерела вуглецю й азоту для життєдіяльності.

Ті-плазміди можуть містити один (нокалінові штами) або два (октонінові штами) фрагменти тДНК. У плазмідах із двома ділянками їх розрізняють як ліву (Th) і праву (TR). Перенесення тДНК в геном рослини потребує участі vir-ділянки плазміди, яка складається з восьми оперонів і 24 генів. Ця ділянка розташована поза межами тДНК, ліворуч від неї, окремо розташовані й гени для катаболізму опінів.

Мапування тДНК дало змогу визначити локалізацію її генів. У клітинах октонінових штамів вона містить сім генів, кожен із яких утворює унікальну РНК без перекривання послідовностей. Така структура генів і наявність власного промотора забезпечують їхню незалежну транскрипцію (рис. 10.3, див. с. 275).

Експресія генів, або **реалізація генетичної інформації**, проходить у декілька етапів, як-от: транскрипція, посттранскрипційні модифікації РНК, трансляція і посттрансляційні перетворення білка. Іноді експресія обмежується першими двома етапами.

Транскрипція. Для здійснення експресії гена, тобто синтезу закодованих у ньому білків, послідовність нуклеотидів кодуючого ланцюга ДНК має бути декодована в амінокислотну послідовність. Оскільки ДНК не бере участі в синтезі білка, інформація, що зберігається в ядрі, має бути перенесена на рибосоми, де власне й здійснюється біосинтез білків. Для цього відповідна ділянка кодуючого ланцюга ДНК прочитується (транскрибується) з уворенням гетерогенної ядерної РНК (гяРНК, англ. hnRNA), тобто послідовність цієї РНК комплементарна кодуючому ланцюгу ДНК.

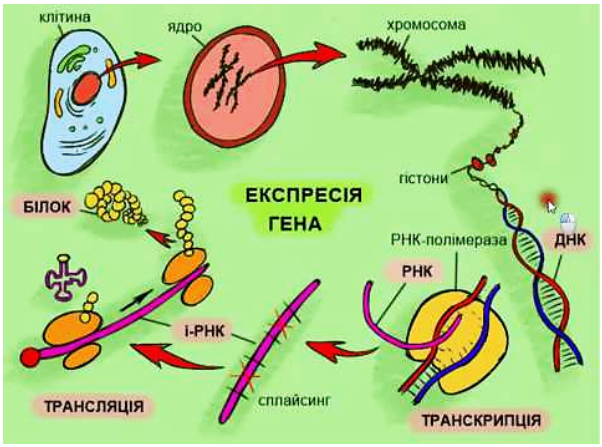


Рисунок 10.3 – Експресія гена

Частина (4–5) генів тДНК пригнічує диференціацію пухлинних клітин з утворенням пагонів і коренів. Один ген кодує синтез опіну, інші спричиняють пригнічення утворення коренів. Саме через це клітини корончатих галів у культурі *in vitro* характеризуються відсутністю диференціації (утворюється тканина типу калюсної). Через здатність індукувати гормони ріст *in vitro* в них відбувається нормально на середовищі без них. Дисбаланс регуляторів росту через пригнічення диференціації зумовлює пухлинний тип росту.

Цілком механізм перенесення тДНК у рослинну клітину не вивчений. Проте відомо, що після поранення в рослинних клітинах утворюються фенольні й інші сполуки, які можуть активізувати гени vir – ділянки плазміди. Її активність спричиняє утворення одноланцюгових молекул тДНК (іноді дволанцюгових), які й переносяться у клітину рослин. Для здійснення процесу потрібна наявність правого повтору із 25 п. н. Він забезпечує перенесення тДНК як у цис-, так і у трансположення щодо vir-ділянки.

Перші перенесення чужерідних генів у рослину стосувалися бактеріальних генів, які контролюють стійкість проти антибіотиків (метатриксату, панаміцину, неоміцину). Надалі ці гени використовувалися як маркерні під час трансформування клітин на селективних середовищах.

У результаті одержання інсерційних мутантів *A. tumefaciens* вдалося довести, що ***делеція генів*** (від лат. *deletio* – знищення) – хромосомні перебудови, за яких відбувається втрата ділянки хромосоми), які контролюють утворення пухлин, не впливає на ефективність трансформації генів тДНК у клітини рослин. Це дало змогу створювати «обеззброєні» вектори на основі Ті-плазмід, які мають видалену тДНК або частину онкогенів, що спричиняють утворення корончатих галів, але залишають інші послідовності тДНК. Отже, стала можливою трансформація рослин без морфологічних змін і аномалій.

Використання таких векторів дозволяє:

1) передавати генетичну інформацію в рослини без зміни їхнього росту та розвитку;

2) перевіряти експресію перенесених генів in vitro в умовах повного функціонування життєздатності рослин.

Ці чинники відкрили можливості для практичного застосування генетичної інженерії – використання трансгенних рослин з потрібними характеристиками.

Оцінено переваги застосування бінарних (транс) векторів. Вони можуть завдяки ділянці vir у транспозиції вводити в геном рослини ДНК, обмежену Т-ділянковими повтореннями. Із цією метою розроблені вектори із двома плазмідами в одній агробактерії: одна плазміда зберігає інтактну вірусну зону, тоді як інша містить селективний ген і полілінкер, що має багато сайтів для транскрипції.

Перевага бінарних векторів полягає в можливості відбирати трансформанти (завдяки селективному гену) та інтегрувати будь-який необхідний ген разом із селективним, завдяки полілінкеру. Функціонування генів vir в одній із плазмід сприяє перенесенню в рослинні клітини ДНК з іншої плазміди, що є обмеженою повтореннями Т-ділянки.

Чужерідні гени, уведені за допомогою Ті-плазмідних векторів, здебільшого не експресуються, що підтверджується експериментами з бактеріальними генами стійкості до антибіотиків, генами тварин і неспорідненими рослинними генами в тютюні. Для їхньої експресії необхідний специфічний промотор із тДНК, як-от ген нокалінсинтетази (NOS-ген). Його промоторна ділянка функціонує у клітині та легко об'єднується з кодуючою послідовністю чужорідного гена, забезпечує його експресію в калюсах та інших органах рослин, спадковість здійснюється за законами Менделя.

Вектором можуть слугувати Ri-плазміди іншої ґрунтової бактерії *Agrobacterium rhizogenes*. Вони спричиняють хворобу «бородатий корінь», симптомами якої є прискорене розмноження коренів у пораненій тканині. Подібно до попередньої бактерії, такі корінці активно ростуть у культурі без бактерій, тобто відбулася генна трансформація Ri-плазміди.

На відміну від корончатих галів, ці трансформовані клітини корінців з легкістю регенерують здорові рослини, хоча в їхніх листках і коренях присутні опініни. Окрім того, їхня тДНК передається потомству статевим шляхом.

Наприклад, інфікований бактерією корінь моркви утворює безліч кореневих волокон. За перенесення їх на тверде агарне середовище утворюється калюс, а подальше його перенесення на рідке середовище дозволяє отримати вироїди для регенерації нових рослин.

Перевага використання Ri-плазмід у можливості отримання здорових трансгенних рослин, а також у культивуванні більшою мірою органів, ніж тканин, що має значення у збереженні вихідного рівня плоїдності.

Для введення генетичних конструкцій на основі плазмід у рослинну клітину використовують декілька методів. Найпростішим способом є використання природного механізму проникнення бактерії в рослину. Це досягається шляхом інокуляції штамів із тДНК у пошкоджених ділянках рослин. Інший підхід передбачає кокультивування протопластів разом з агробактеріями.

Кокультивування можна розглядати як процес індукції пухлин у лабораторних умовах. Трансформація відбувається за наявності новоутворених

клітинних стінок у протопластів. Якщо використовуються лише свіжоізольовані або одноденні протопласти, бактерії не приєднуються. За дотримання цієї умови та кокультивування тривалістю понад добу спостерігається формування агрегатів із протопластів і бактерій. Після цього клітини вирощують на штучному поживному середовищі з додаванням гормонів. За 3–4 тижні отримані колонії переносять на безгормональне середовище, де виживають лише трансформовані клітини. Ефективність кокультивування зростає в разі використання індукторів злиття клітин, як-от поліетиленгліколь (далі – ПЕГ), або іони кальцію. Завдяки цьому методу вже отримано трансформанти тютюну та петунії.

10.2. Вектори для переносу рекомбінантної ДНК

Векторами, які відповідають цим вимогам, можуть бути: бактеріофаг λ або частини його геному, окремі онкогенні віруси тварин, бактеріальні плазміди й епісоми.

Фаг λ, як акцептор чужерідних фрагментів ДНК, може мати один сайт-мішень, до якого прикріплюється чужерідна ДНК, називається ***інсерціонним вектором***. А вектори, які мають пару сайтів, де можна вмонтувати фрагмент чужерідної ДНК, називаються переносними векторами, або векторами заміщення. Серед онковірусів тварин як вектор широко використовується онковірус мавпи SV40.

Перспективними для трансгенозу (перенесення генів як фрагментів молекул ДНК від однієї клітини до іншої в межах одного або різних видів, яке не пов'язане із природною взаємодією генів (статевим процессом або його еквівалентом у бактерій)) у рослини є вектори на основі плазмід: ***Ti-плазміди*** *Agrobacterium tumefaciens* і ***Ri-плазміди*** – *Agrobacterium rhirogenes* (рис. 10.4, див. с. 278).

Процес агробактеріальної трансформації умовно поділяємо на 4 етапи:

1) прикріплення бактерії до стінки рослинної клітини;
2) вирізання Т-ДНК та проникнення її в середину рослинної клітини;
3) інтеграція Т-ДНК в геном рослини;
4) експресія Т-ДНК.

У першому випадку взаємодія між ґрунтовою бактерією і дводольними рослинами призводить до формування корончатих галів, у другому – до утворення так званих «бородатих коренів». Формування корончатих галів на кореневій шийці відбувається внаслідок проникнення бактерій *A. tumefaciens* через пошкоджені ділянки рослини. Ці бактерії трансформують гени, які відповідають за синтез бактеріальних білків, інтегрують їх у геном рослини.

Ti-плазміди (tumor-inducing) – це позахромосомні кільцеві молекули ДНК, маса яких приблизно дорівнює $1{,}2\times10^8$ і становить 3–5 % від розміру хромосоми агробактерії (рис. 10.5, див. с. 278). Вони розмножуються автономно у клітинах бактерій, тобто мають незалежну реплікацію.

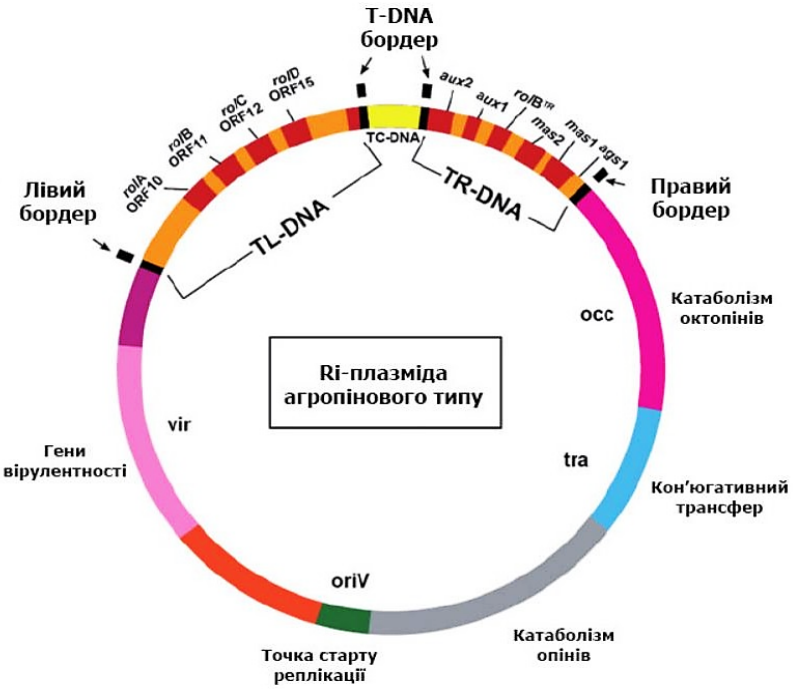


Рисунок 10.4 – Схема Ri-плазміди агропінового типу *Agrobacterium tumefaciens*

Джерело: [13]

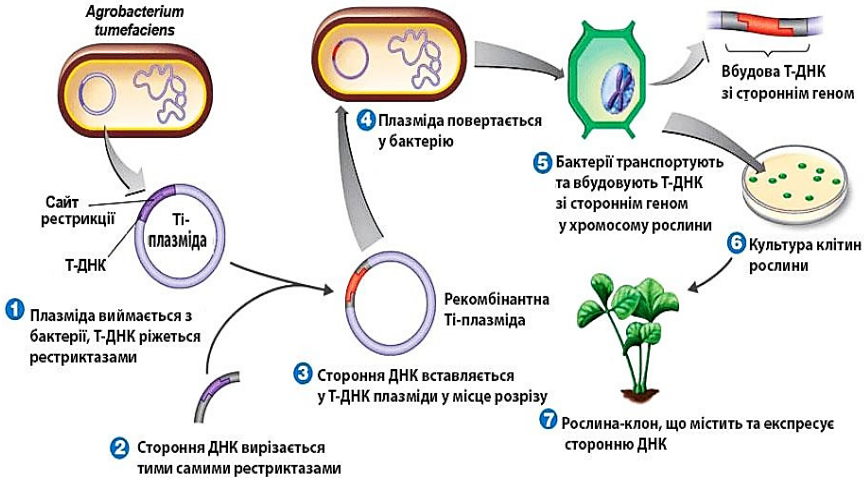


Рисунок 10.5 – Схема трансформації рослин опосередкованим методом за допомогою агробактерії *Agrobacterium tumefaciens*

Джерело: URL: https://biomolecula.ru/articles/12-metodov-v-kartinkakh-gennaia-inzheneriia-chast-ii-instrumenty-i-tekhniki

Пухлинні утворення на рослинах виникають через включення фрагмента Ті-плазміди – тДНК – у геном рослини. Праві і ліві ділянки тДНК, що мають повторення по 25 пар нуклеотидів, подібні до транспозонів. Реалізація генів Ті-плазмід проявляється в надлишковому синтезі фітогормонів і похідних амінокислот – опінів, які бактерії використовують як джерело азоту та вуглецю для своєї життєдіяльності.

Ті-плазміди можуть містити одну або дві ділянки тДНК. У штамах із двома ділянками їх називають лівою (Th) і правою (TR). Перенесення тДНК в геном рослини здійснюється за участю vir-ділянки плазміди, яка містить 8 оперонів, об'єднаних у 24 гени. Ця ділянка розташована зовні тДНК, зліва від неї. Окрім цього, також відзначені гени, що відповідають за катаболізм опінів.

Картографування тДНК дозволило дослідити розташування її генів. У штамах із двома ділянками тДНК складається із семи генів, кожен із яких транскрибує унікальну РНК. Ці гени мають власні промотори, що забезпечує їхню незалежну транскрипцію. Частина генів регулює процеси диференціації пухлинних клітин, пригнічує формування пагонів і коренів. Один із генів кодує синтез опіну, а інші пригнічують формування коренів. Через це клітини корончатих галів, вирощені *in vitro*, характеризуються відсутністю диференціації та утворенням тканини типу калюсної. Їхня здатність індукувати синтез власних гормонів росту дозволяє нормально функціонувати навіть без додавання регуляторів у середовище. Дисбаланс регуляції росту через пригнічення диференціації спричиняє пухлинний тип розвитку.

Механізм перенесення тДНК до рослинної клітини нині вивчено не досить. Проте встановлено, що після пошкодження рослинних клітин виділяються фенольні й інші сполуки, які активують гени vir-ділянки плазміди. У результаті утворюються одноланцюгові молекули тДНК (рідше дволанцюгові), які потрапляють у клітину рослини. Наявність правого повтору із 25 пар нуклеотидів є важливою умовою для перенесення тДНК, що забезпечує цис- або транспозицію щодо vir-ділянки.

Перші перенесення чужерідних генів у рослину стосувалися бактеріальних генів, які контролюють стійкість проти антибіотиків (метатриксат, панаміцин, неоміцин). Надалі ці гени використовувалися як маркерні у трансформуванні клітин на селективних середовищах.

У результаті одержання інсерційних мутантів *A. tumefaciens* вдалося довести, що делеція генів, які контролюють утворення пухлин, не впливає на ефективність трансформації генів тДНК у клітини рослин. Це дозволило створювати «обеззброєні» вектори. Це такі вектори на основі Ті-плазмід, у яких тДНК або частина онкогенів, що індукують утворення корончатих галів, видалена, а інші послідовності тДНК залишені. Це зумовило можливість трансформації без морфологічних змін і аномалій у рослин.

Використання обеззброєних векторів дозволило: 1) переносити генетичну інформацію в рослини без зміни їхнього росту та розвитку; 2) перевіряти експресію перенесених генів *in vitro* за функціонування повної програми життєздатності рослин. Ці чинники зумовили практичне використання генетичної інженерії – використання трансгенних рослин із заданими ознаками.

Цінність бінарних (транс)векторів полягає в їхній здатності забезпечувати перенесення ДНК-послідовностей, обмежених прямими повтореннями Т-ділянки, у геном рослини. Це досягається завдяки функціонуванню vir-ділянки у транспозиції. На основі цього принципу були створені бінарні вектори, які містять дві плазміди в межах однієї агробактерії.

Перша плазміда модифікується шляхом видалення Т-ділянки, але зберігає функціональну й інтактну vir-ділянку. У другій плазміді між лівим і правим Т-повторами розташовуються селективний ген і полілінкер – фрагмент ДНК, що містить численні сайти для інтеграції інших генів. Завдяки селективному гену бінарні вектори забезпечують можливість добору трансформантів і впровадження будь-якого бажаного гена, який буде переноситися разом із селективним. Це досягається за підтримки полілінкера.

Активність генів vir-ділянки на першій плазміді відповідає за перенесення ДНК-послідовностей другої плазміди (обмежених Т-повторами) до клітин рослини, що робить цей механізм універсальним і ефективним інструментом у генетичній інженерії.

Особливість чужерідних генів, уведених у рослину з використанням Ті-плазмідних векторів, полягає в тому, що зазвичай вони не експресуються. Це підтверджено численними дослідженнями за участю бактеріальних генів, які забезпечують стійкість до антибіотиків, а також генів тварин і неспоріднених рослинних генів, упроваджених у геном тютюну. Важливо зазначити, що Ті-плазміди адаптувалися зі своїми промоторними послідовностями. Для ефективної експресії перенесених генів необхідний специфічний промотор із тДНК. Таким промотором став ген Ті-плазміди, що відповідає за синтез нокаліну (NOS-ген). У цьому гені було виявлено промоторну ділянку, яка активно функціонує у клітині та без ускладнень зв'язується з кодуючою послідовністю чужого гена. Особливістю цього промотора є його здатність забезпечувати стабільну роботу в калюсах і більшості органів рослин. Успадкування таких генів підкоряється законам Менделя.

Як вектори використовуються плазміди іншої ґрунтової бактерії – *Agrobacterium rhizogenes* – Рі-плазміди. Ці плазміди спричиняють хворобу, відому як «бородатий корінь», основним симптомом якої є інтенсивне розмноження коренів у пошкоджених тканинах під час зараження бактеріями. Як і з попередньою бактерією, утворені корінці продовжують активно рости в культурі навіть за відсутності бактерій, що свідчить про успішну трансформацію генів Ri-плазміди. На відміну від корончатих галів, трансформовані клітини «бородатого кореня» здатні регенерувати здорові рослини. Однак у листках і коренях таких рослин присутні опініни, а їхня тДНК передається у спадок через статеве розмноження.

Наприклад, інфікований бактерією корінь моркви утворює численні кореневі волокна (рис. 10.6, див. с. 281).

За перенесення їх на тверде агаризоване середовище утворюється калюс. Наступне садіння його на рідке середовище дозволяє отримати віброїди, з яких регенерують рослини.

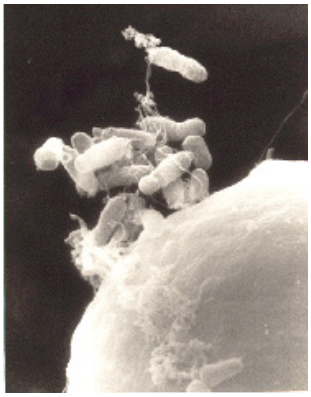


Рисунок 10.6 – Електронна мікрофотографія *A. tumefaciens* у процесі інфікування клітини моркви

Перевага використання Ri-плазмід полягає в можливості отримання здорових трансгенних рослин, а також у культивуванні більшою мірою органів, ніж тканин, що має значення для збереження вихідного рівня плоїдності.

10.3. Поліплоїдія та гаплоїдія

Геном – сукупність хромосом гаплоїдного набору, який характерний для виду й позначається буквою «n», а в соматичних клітинах – «2n». Основне число хромосом, яке характерне для гамет данного виду, позначається «x». Залежно від гаметної кількості хромосом вирізняють: триплоїди (2n=3x), тетраплоїди (2n=4x). Поліплоїди з парним числом хромосом називають збалансованими, а непарним – незбалансованими. Останні часто стерильні, або з порушеннями в мейозі. Організми з одним основним набором хромосом або кратним його повторенням називають еуплоїдами, а із зайвими або браком хромосом – анеуплоїди.

За походженням вирізняють автополіплоїди й алополіплоїди. Перші отримують кратним збільшенням кількості хромосом одного виду: від АА – АААА. Алополіплоїди та гібридні поліплоїди одержують подвоєнням хромосом різних видів: від A_1A_2 – $A_1A_1A_2A_2$.

Автополіплоїди отримують різними методами, залежно від чого вони поділяються на *мітотичні поліпоїди* (подвоєння хромосом у соматичних клітинах) і *мейотичні поліпоїди* – шляхом блокування переміщення хромосом за першого або другого ділення мейозу. Гамети, які утворюються, називаються нередукованими.

Автополіплоїди утворюються під впливом високої або низької температури, деяких хімічних речовин, механічних пошкоджень тканин, наприклад щеплення. Часто поліплоїдними бувають калюсні тканини. Іноді

автополіплоїдизація спричиняє підвищенню маси рослин, продуктивності. З хімічних препаратів дуже ефективним є колхіцин, який блокує розходження хромосом у мітозі. Він також використовується в мейозі.

Використовують різні методи одержання автополіплоїдів. Під час обробки колхіцином не в усіх клітинах подвоюються хромосоми. Дуже часто утворюються міксоплоїдні тканини.

Мейоз і генетичний аналіз в автополіплоїдів. Квадривалентна кон'югація – обов'язкова умова утворення збалансованих гамет. Але можуть утворюватись і незбалансовані гамети, що призводить до зниження життєздатності рослин. Через це у природі виживають рослини з парним набором хромосом. Максимальні відхилення в мейозі відбуваються в незбалансованих автополіплоїдів, наприклад триплоїдів.

Характер розщеплення в поліплоїдів залежить від кількості гомологічних хромосом. У тетраплоїдів АААА х аааа F_1 ААаа АА, Аа, Аа, Аа, Аа, аа 1:8:18:8:1. За двома парами алелей у диплоїдів F_2 9:3:3:1, а в автотетраплоїдів 1225:35:35:1. Залежно від кількості домінантних алелів тетраплоїди називаються: квадриплексами, триплексами, дуплексами, симплексами, нуліплексами.

В автотетроплоїдів вищий рівень гетерозиготності, ніж у диплоїдів, а також продуктивність, розмір насіння, габітус.

Переваги тетра в конюшини червоної, жита, триплоїдні цукрові буряки.

Алополіплоїдія (гібридна поліплоїдія). Справжні алоплоїди можливі лише в результаті гібридизації видів, хромосоми яких через віддаленість не здатні кон'югувати, але за кратного збільшення кількості хромосом у міжвидових, міжродових схрещуваннях гібриди утворюються – ААВВС (поєднання та множення).

Амфідиплоїди – загальне позначення всіх типів поліплоїдії від схрещування двох або кількох диплоїдних видів, ізольованих один від одного стерильністю гібридів. Диплоїд АВ від схрещування АА х ВВ зазвичай характеризується цілковитою стерильністю. Подвоєння хромосом гібрида дозволяє кон'югувати в межах кожного виду.

Уперше одержання плодючого амфідиплоїда між редькою і капустою продемонстрував Карпеченко на початку 20-х рр. минулого століття. Кожний вид мав по 18 хромосом, а гамети по 9. Гібриди були життєздатними (2n=18), але стерильними. В окремих клітинах кількість хромосом подвоювалась, що спричиняло утворення фертильних форм. Кожен вид мав парну хромосому.

Перший гібрид, батьківськими формами якого є пшениця (*Triticum* L.) та жито (*Secale* L.), був охарактеризован ботаніком С. А. Вільсоном у 1875 р. Наприкінці дев'ятнадцятого століття питанням гібридизації пшениці із житом було присвячено низку досліджень вітчизняних і зарубіжних учених. Однак отримати фертильні пшенично-житні гібриди шляхом звичайної гібридизації виявилося неможливим, через цілковиту стерильність гібридів першого покоління, що пояснювалося відсутністю генетичної спорідненості між хромосомами геномів пшениці та жита. Із часом Е. С. Кармен отримав у США такі гібриди, які характеризувалися опушенням під колосом і низькою фертильністю (1,9 зерна в колосі).

Синтез і ґрунтовне вивчення пшенично-житніх гібридів у 1934 р. розпочав відомий шведський генетик і селекціонер А. Мюнтцінг. У 1935 р. шведським ученим було отримано 15 гібридних комбінацій і цитологічно ідентифіковано амфідиплоїдну природу тритикале В. Рімпау. А. Мюнтцінг уперше отримав лінію тритикале шляхом самозапилення 28-хромосомного гібрида F_1. Ця лінія тритикале вже понад 100 років відтворюється насіннєвим шляхом і є основою, не розщеплюється на вихідні батьківські види, є першим еталоном нової злакової культури тритикале, дотепер зберігається в національних колекціях провідних держав. У 1939 р. А. Мюнтцінг вивчав кілька октоплоїдів різного походження. Ним були детально досліджені питання біології, цитології, генетики та селекції тритикале. А. Мюнтцінг розробив нові методи отримання тритикале: шляхом самозапилення гібридів F_1 пилком існуючих ліній тритикале та гібридизацією між первинними лініями різного походження з подальшим відбором найкращих рекомбінантних форм.

В історії гібридизації пшениці із житом чільне місце належить дослідженням вітчизняних учених. Перший пшенично-житній амфідиплоїд (гібридний організм, що містить повний подвійний хромосомний набір обох батьківських форм), з гексаплоїдним набором хромосом, синтезований у 1932 р. А. І. Державіним на основі гібрида пшениці твердої дворучки Леукурум 1364/1 із диким багаторічним житом *S. Montanum Guss* із Вірменії. Перше гібридне покоління було стерильне. У результаті повторного запилення гібрида житом багаторічним було отримано багаторічну фертильну рослину, що дало початок гексаплоїдними амфідиплоїдами. Гексаплоїдне тритикале із 42 хромосомами, 28 – від твердої пшениці, 14 – від жита, за вмістом лізину конкурувало із пшеницею, створення на його основі нових сортів мало вирішальне значення.

Залежно від виду пшениці *Tr. Aestivum* (2n=42), *Tr. Durum* (2n=28), які використовувались материнськими формами, отримували різне потомство:

1. (2n=42, AABBCC x (2n=14) RR) утворюється гібрид ABCR. Цей гібрид обробляли колхіцином і утворювався амфіоктаплоїд (2n=56) – AABBCCRR.

2. Материнською формою використовувалась тверда пшениця (2n=28) – AABB. У результаті схрещування із житом утворювався гібрид ABR, який після колхіцинування перетворювався на гексаплоїд – AABBRR. Вони мають перевагу за продуктивністю перед октоплоїдами.

Отримують вторичні тритикале від схрещування названих, проте серед їхнього потомства в кінці вищеплюються вихідні форми.

Отримують також насичені тритикале в результаті схрещування його із пшеницею або житом. Одержані гібриди, які проявляли властивості твердої та м'якої пшениці та жита.

Алополіплоїди одержують не лише штучно, вони виникають спонтанно у природі. Існує велика кількість так званих гібридогенних видів. Наприклад, у природі немає диких видів сливи, а культура з'явилась у результаті схрещування аличі й терну з наступним подвоєнням хромосом. Такі дослідження підтверджують велике значення алополіплоїдії в еволюції.

Анеуплоїди. Отримують у результаті некратного збільшення кількості хромосом через наявність хромосом, що не здатні до кон'югації. Вони можуть

виникати під дією екстремальних природних чинників або в результаті міжвидової чи міжродової гібридизації.

Трисоміки – організми із зайвою однією хромосомою (2n+1), трисоміки подвійні – дві різні додаткові хромосоми. Трисоміки в мейозі утворюють триваленти, але розходження за полюсами 2 і 1.

Моносоміки (2n–1) – зазвичай життєздатні, проте це найчастіше стосується яйцеклітин.

Дуже низькою життєздатністю характеризуються нулісоміки (2n–2), це додатково пояснюється відсутністю двох гомологів окремої хромосоми.

Гаплоїдія замість 2n. Уперше в 1921 р. в дурману. Вирізняють моногаплоїди, коли походять від диплоїдів, а якщо від поліплоїдів, то полігаплоїди. Залежно від генетичної будови гаплоїди діляться на: матроклінні – розвиваються з редукованої яйцеклітини й мають ядро та цитоплазму однієї особини; андрогенні – розвиваються з яйцеклітини або будь-якої клітини зародкового мішка, у яких власні хромосоми заміщені від спермія; андроклінні – розвиваються із клітин чоловічої статевої сфери (пилку) і мають цитоплазму і ядро однієї особини.

Особливості гаплоїдних рослин. Гаплоїди мають одинарний набір хромосом і характеризуються незбалансованою генетичною системою, звідси й відсутність кон'югацій у мейозі.

Методи одержання, виявлення і використання. Спонтанне виникнення гаплоїдів у природі дуже рідке явище, тому запропоновані методи їх штучного одержання:

1. Затримання запліднення, у результаті чого яйцеклітина починає ділитись без запліднення.
2. Запилення пилком, ядра якого нежиттєздатні внаслідок опромінювання.
3. Запилення пилком іншого виду.
4. Близнюків метод, коли в одній насінині утворюються два або більше зародки, один із них може бути гаплоїдним.

Водночас згадані методи малоефективні, тому запропоновано нові: використання гаплопродюсера, а також методом культивування ізольованих пиляків. Перспективність використання гаплопродюсера виду *Hordeum bulbosum* під час схрещування з видом *H. vulgare* відмічав Девіс у 1974 р. та пояснював це процесом андрогенезу.

Цитологічні експерименти Ланга довели, що запліднення між видами відбувається нормально, починаючи із 3-ї доби відбувається поступова елімінація хромосом *Hordeum bulbosum*, на 11-ту добу вже 93,7 % клітин зародку мали гаплоїдну кількість хромосом.

Ефективним методом одержання гаплоїдів є використання культури in vitro пиляків. Цим методом уже одержано гаплоїди у 247 видів рослин. Частота виходу дигаплоїдів порівняно невелика (у тютюну 0,5–5,0 %), зважаючи на наявність великої кількості пилку, метод широко використовується в науці та практиці. Підвищення результативності методу досягається обробкою пиляків радіоактивним опроміненням (100 крад), витримуванням перед унесенням у середовище в умовах низьких температур (4…5 °С).

10.4. Мінливість спадковості у процесі онтогенезу й еволюції. Модифікації та норма реакції

Мінливість – одна з форм існування живих організмів. Її причиною можуть бути генетичні зміни, зовнішні умови, згідно із цим вирізняють *генотипічну* та *модифікаційну мінливості*.

Генотипічна зумовлена змінами генетичного матеріалу, відтворенням цих змін у потомстві. Вона поділяється на *комбінаційну* та *мутаційну*.

Комбінаційна (гібридна) мінливість характеризується появою новоутворень у результаті сполучення і взаємодії генів батьківських форм, хоча за такої мінливості нові гени не виникають, проте проявляються ознаки по-іншому.

Мутаційна мінливість є результатом структурних змін генів і хромосом, що спричиняє появу нових ознак.

Модифікаційна (фенотипічна) мінливість пов'язана з реакцією генів на мінливість зовнішніх умов. Той самий генотип проявляється в різних фенотипах. ***Модифікації*** – фенотипові відмінності, спричинені зовнішніми чинниками в однакових за спадковістю організмів. Модифікації проявляються в однозначних реакціях організмів на зовнішні умови, чим і відрізняються від мутацій (відсутність спрямованості).

Кишкова паличка засвоює молочний цукор (лактозу) за допомогою трьох ферментів. Проте вони не будуть вироблятися, коли зміниться джерело живлення, наприклад виноградний цукор (глюкоза), або вирощування рослин одного сорту на багатих і бідних поживними речовинами ґрунтах. У китайської примули за температури 30 °С і більше колір квіток білий, а за нижчої – рожевий.

Ступінь вираження модифікацій пропорційний силі та тривалості дії зовнішнього чинника.

Адаптивність модифікацій. Адаптивними бувають тільки ті модифікації, які зумовлені звичайними змінами природних умов, що трапляються багато разів в особин упродовж минулої їхньої еволюції. Тривалі модифікації можуть зберігатись у низці поколінь, але тільки вегетативних.

Прищеплювали білоплідну черешню на червоноплідну. У прищепи колір ягід був рожевий, що можна пояснити химерністю в рослин – прищепа складалась частково із тканин підщепи, а частково із тканин прищепи, або причина у фізіологічному впливі через речовини, які надходять з підщепи.

«Модифікація» та «мутація» – різні поняття. Пеніцилін гальмує утворення одного з компонентів бактеріальної стінки, тому вона стає тонкою і розривається. Проте знайдено гени бактерії, які мутують у бік стійкості проти пеніциліну, він втрачає свою дію. Причому ці мутації (10^{-7}) не залежать від присутності пеніциліну.

За чинниками, які зумовлюють мінливість, вирізняють природну (еволюційну) та штучну (антропологічну) мінливість. Остання може не бути корисна для збереження організмів через гіпертрофічний розвиток окремих органів рослин, у чому зацікавлені люди. Водночас, на нашу думку, потрібно по-іншому підходити навіть до вислову І. В. Мічуріна: «Ми не можемо чекати милостей

від природи, узяти що нам потрібно від неї – наше завдання». Брати варто дуже обережно. Значне втручання у природний баланс може негативно відбитись на всьому живому на Землі, тому кращий девіз такий: ми можемо втрутитись у природу (еволюцію) лише підкорившись її законам.

Модифікаційна мінливість. Це зміни зовнішніх і внутрішніх ознак організмів зумовлені впливом навколишнього середовища без змін генетичного апарату, тому вони не успадковуються. У примули китайської за температури 15…20 °С розвиваються рожеві квітка, а зв 30…35 °С – білі. Характерними для рослин є однакові реакції організмів на деякі умови (рис. 10.7).



Рисунок 10.7 – Примула китайська

За тривалістю модифікації діляться на адаптивні, короткочасні та тривалі. Серед модифікаційних змін найчастіше проявляються адаптивні модифікації. Основний їх напрям – забезпечити виживання організмів у несприятливих умовах. Засуха зумовлює формування більш дрібних листків, менших рослин, прискорюється онтогенез тощо. Усі ці зміни відбуваються в межах норми реакції генотипу, зазвичай мають однотипний характер.

Не мають адаптивного значення модифікації, спричинені інтенсивною дією багатьох чинників, з якими організм не взаємодіяв у природному середовищі, такі зміни називаються морфозами. Наприклад, у результаті дії на пшеницю високими концентраціями пестицидів утворюється деформоване колосся. Деякі морфози можуть нагадувати фенотипові прояви відомих мутацій і називаються *фенокопіями*.

Модифікації можуть зникати після припинення впливу чинника. Рідше вони зберігаються в поколіннях і називаються *тривалими*. Тривалим модифікаціям сприяє поступове зростання інтенсивності дії чинника. Це часто використовується в культурі соматичних клітин, а передача ознаки потомству дістала назву епігенетичного успадкування, тобто успадкування негенетичних змін.

Незважаючи на відмінності в адаптивних змінах, виявлені неспецифічні реакції на дію різних екстремальних чинників (посуха, висока температура, засоленість ґрунту тощо). Найбільш досліджений універсальний механізм адаптивних модифікацій – синдром теплового шоку. Доведено, що за теплового шоку в організмі відбуваються процеси, подібні до тих, що спричиняють

синтез стресових білків. Останнє може спостерігатися в результаті впливу не лише високої температури, а й інших чинників, як-от хімічні препарати. Особливість процесу у припиненні синтезу мРНК, проте на утворення інших РНК це не впливає. Білки теплового шоку мають багато спільного із хроматином і можуть мігрувати в ядро та зв'язуватись із хромосомами.

Причиною модифікацій можуть бути порушення експресії генетичної інформації. Частка мінливості прояву ознак під впливом зовнішнього середовища може сягати 50 % загальної мінливості.

Адаптацію називають ***онтогенетичною***, з неї виділяють *генотипну адаптацію*, коли відбувається відбір спадково детермінованої пристосованості, та *фенотипну* – коли модифікація обмежена нормою реакції генотипу. *Адаптивна цінність генотипу (W)* визначається часткою потомства, яка залишилась після цієї особини під час формування майбутньої популяції. Наприклад, після особин із генотипом аа залишилось на 20 % менше потомства, тоді як АА й Аа становлять 1, тому можна визначити коефіцієнт селекції Аа-W=1–0,2=0,8.

Фенотип визначається як результат взаємодії генотипу й умов середовища, у якому він реалізується. Генотип визначає послідовність етапів синтезу різних речовин, а оскільки це відбувається в зовнішніх умовах, то відзначається мінливість фенотипу – норма реакції генотипу. Вона визначається крайніми модифікаціями, позитивними і негативними, кількісних ознак і присутністю чи відсутністю якісних ознак. Отже, успадковується не ознака, а норма реакції генотипу на навколишнє середовище.

У виробництві необхідно створювати умови для прояву позитивних модифікацій, тим самим позитивно впливати на прояв ознак. У процесі сортовипробування можна виділити сорти із широкою нормою реакції генотипу, що позитивно впливає на поширення сорту у виробництві. Цим же визначаються найбільш сприятливі умови для реалізації генотипу – рекомендована зона для вирощування сорту.

Статистичний аналіз мінливості. Існує декілька статистичних показників, які характеризують мінливість прояву кількісних ознак. Один із найпростіших – розмах варіювання ознаки, або ліміти прояву ознаки (lim). У процесі порівняння потенціалу адаптивності між сортами й іншим використовується середня арифметична.

Варіювання ознак також відображає варіанта – σ^2, або середнє квадратичне відхилення – σ.

Часто використовуються показник:

— коефіцієнт варіації:

$$V\sigma = \sigma / X\text{сер} \times 100\ \%;$$

— похибка середньої арифметичної:

$$S = \pm VS^2 / n;$$

— довірчий інтервал, $\pm tS$.

Реалізація генетичної інформації в багатоклітинних організмів здійснюється у складних процесах росту та диференціації, визначається запрограмованим у геномі порядком включення і виключення генів. На останні процеси

значний вплив мають умови зовнішнього середовища, що відображається нормою реакції генотипу. Водночас морфологічні та біохімічні ознаки проявляються через взаємодію клітин одна з одною в низці поколінь.

Фенотип визначається, з одного боку, генотипом, з іншого – тими зовнішніми умовами, у яких перебуває рослина. На прояв одних ознак більше впливає генотип, інших – зовнішні умови. Водночас спостережені однакові реакції модифікаційного типу на дію зовнішніх чинників, тобто норма реакції завжди зумовлена генотипом.

Завдання та питання для самостійної роботи

1. *У чому різниця між генною та генетичною інженерією?*
2. *Назвіть сновні напрями досліджень з генної та генетичної інженерії?*
3. *Дайте характеристику синтезованому гену.*
4. *Охарактеризуйте метод «зшивання "тупих кінців"».*
5. *Розкрийте поняття «адаптивність модифікацій».*
6. *Охарактеризуйте статистичний аналіз мінливості.*
7. *У чому полягає реалізація генетичної інформації в багатоклітинних організмів?*
8. *Чим зумовлені однакові реакції модифікаційного типу на дію зовнішніх чинників?*
9. *Розкрийте поняття «фенотип».*

Перелік джерел до розділу 10

1. Орлюк А. П., Базалій В. В. Генетичний аналіз : навчальний посібник. Херсон : Олді-плюс, 2013. 218 с.
2. Тоцький В. М. Генетика. Одесса : Астропринт, 2002. 710 с.
3. Рябовол Л. О., Рябовол Я. С., Любченко А. І. Поліплоїдія в селекції рослин. Умань, 2015. 28 с.
4. Герасименко В. Г. Біотехнологія : підручник. Київ : Інкос, 2016. 647 с.
5. Фактори експериментальної еволюції організмів : збірник наукових праць / за ред. М. В. Роїка. Київ : Логос, 2021. 683 с.
6. Haring V. Self-incompatibility: a self-recognition system in plants. *Science*. 1990. V. 250. № 91842. P. 937–941.
7. Heslop-Harrison J. Self-incompatibility: phenomenology and physiology. *Proc. Roy. Soc. B.* London, 1983. V. 218. P. 371–395.
8. Hogenboom N. G. Incompatibility and incongruity: two different mechanisms for the non-functioning of intimate partner relationship. *Proc. Royal Soc. B. Biological Sci.* London, 1995. V. 188. P. 361–375.
9. Пузік В. К. Алелопатична дія екзометаболітів культурних злаків у агрофітоценозах : автореф. дис. … докт. с.-г. наук : 03.00.16. Київ, 2004. 35 с.

10. Криштоп Є. А. Віддалена гібридизація ярих злаків і її модифікація низькою температурою : автореф. дис. … канд. с.-г. наук : 06.01.05. Харків, 2009. 19 с.
11. Giannelos P. N., Zannikos F., Stournas S., Lois E., Anastopoulos G. Tobacco seed oil as an alternative diesel fuel: physical and chemical properties. *Industrial Crops and Products.* 2002. Volume 16. Issue 1. P. 1–9. DOI: 10.1016/S0926-6690(02)00002-X
12. Grisan S., Polizzotto R., Raiola P. et al. Alternativeuse of tobacco as a sustainable crop for seed oil, biofuel, and biomass. *Agron. Sustain. Dev.* 2016. № 36. P. 55. DOI: 10.1007/s13593-016-0395-5
13. Fortin C., Marquis C., Nester E. W., Dion P. Dynamic structure of Agrobacterium tumefaciens Ti plasmids. *Journal of Bacteriology.* 1993. V. 175. P. 90–99.

Розділ 11
РОСЛИНА В ДОСЛІДІ

11.1. Основні положення системного підходу за вивчення рослинних організмів

Центральне місце в біології посідає ієрархія живих систем і взаємодія елементів у цілісній системі організму. Виділення низки послідовно підлеглих рівнів в організмі рослини, як і будь-яке дроблення цілого на частини, деякою мірою умовно. Наслідуючи традиції, можна виділити в порядку зростання складності такі рівні організації: молекулярний, клітинний, тканинний, органний, організмовий і популяційний.

Системний підхід до вивчення біологічних об'єктів веде початок від робіт Л. фон Берталанфі (рис. 11.1), із другої половини двадцятого століття системна організація біологічних об'єктів сприймається як його фундаментальна властивість.



Рисунок 11.1 – Людвіг фон Берталанфі

Джерело: URL: https://surl.li/yrwlik

Постулюються наявність фіксованих зв'язків між частинами цілого, зникнення деяких властивостей у частин у разі включення їх у систему, поява в системи нових властивостей, що відсутні, у частин за ізольованого існування їх.

Рослина має чітко виражену біполярну структуру, яку створюють її полюси – верхівки стебла та кореня. Меристеми верхівок стебла й кореня пригнічують розвиток бічних точок зростання, індукують утворення пучків, що проводять, отже, панівні центри впливають на інші частини цілісного організму. Цей вплив здійснюється шляхом створення фізіологічних полів (фізіологічних градієнтів),

зміна яких негайно вплине на всі частини, що входять у поле. Фізіологічні поля утворюються градієнтами концентрації гормонів та їх інгібіторів, біопотенціалами живих тканин, концентраціями трофічних метаболітів (рис. 11.2).



Рисунок 11.2 – Картопля

Джерело: власне фото А. А. Подгаєцького

Складна системна організація забезпечує індивіду високу стійкість до зовнішніх впливів. Це дозволяє успішно здійснити програму онтогенезу на тлі мінливих і далеко не оптимальних умов навколишнього середовища. ***Фізіологія рослин***, що має своїм предметом вивчення взаємодії процесів і елементів в організмі, є системною наукою, те саме можна сказати й про науки, що вивчають взаємодію рослини із зовнішніми чинниками (сільськогосподарська біологія, екологія рослин, біоценологія та інші).

Елементарною структурою будь-якого організму, своєрідним «квантом життя», є **клітина**. Міжклітинні взаємодії спостерігаються вже в колоніях мікроорганізмів. У багатоклітинних автотрофних організмів основну роль регуляції вищих рівнів відіграють біоелектричні сигнали, трофічний транспорт, конкуренція між органами за метаболіти й гормональна регуляція. Відомо, що фотосинтез, репараційні процеси й старіння у відсіченому та прикріпленому до рослини листі значно різняться. Це дуже ускладнює екстраполяцію результатів, отриманих на ізольованих органах, на ті самі структури в системі організму.

Ієрархія регулювання становить кілька пов'язаних рівнів, а саме: нижній рівень утворюють системи, які в нормальних умовах забезпечують сталість біохімічних параметрів клітини. Вищий рівень оптимізує роботу першого, змінює його гомеостатичний режим відповідно до умов, у яких існує цілісна система (організм). Кожен наступний рівень координує роботу елементів на попередніх рівнях, набирає чинності тоді, коли ситуація в зовнішньому середовищі змінюється. Довкіллям для клітини є орган, для органа – організм тощо. У результаті для кожного рівня організації виникає своєрідне ***«біологічне поле»***, утворене градієнтами концентрацій метаболітів, кисню, води,

що транспортуються, інших факторів життєзабезпечення. Наявність безлічі біологічно істотних параметрів створює багатовимірність, як і градієнти – анізотропність і криволінійність біологічного простору всередині організму, що є основою його внутрішнього середовища. Характер реакції на регулюючий сигнал залежить від фізіологічного стану клітин, що сприймають, тобто від їхньої компетенції. Завдяки цьому обмежена кількість гормонів рослин здатна викликати широке коло морфофізіологічних відповідей: тропізми, зростання стебла та кореня, апікальне домінування, індукцію цвітіння, формування плодів і запасних органів, період спокою, опадання листя, старіння. Цим пояснюються значні розбіжності фізіологічних показників, що спостерігаються в ізольованих клітин чи органів, порівняно з відповідними параметрами організму. Прикладом може бути величина продуктивності фотосинтезу на клітинному й організмовому рівнях. Під час визначенні її на висічках листя виходять величини, що в багато разів перевищують фіксацію вуглекислого газу цілою рослиною або посівом.

У стандартних умовах за визначення фотосинтезу на висічках швидкість асиміляції залежить тільки від пропускної спроможності біохімічних систем і дифузії газів із повітря у клітини. Нижчі показники фотосинтезу в цілої рослини зумовлені замалою швидкістю транспорту асимілятів, переповненням ними клітин мезофілу та гальмуванням фотосинтезу власними продуктами за принципом зворотного зв'язку. Депресія фотосинтезу в цілісній системі може залежати й від інших причин: браку вологості тканин (закриті продихи), гальмування росту (відсутність споживання асимілятів та іншого). І навпаки, стимуляція росту рослини, утворення різних ***«депо»*** для накопичення метаболітів (плоди, насіння, цибулини тощо), посилення транспорту речовин судинами сприяють швидкому відтоку асимілятів із листя і неминуче призводять до підвищення продуктивності фотосинтезу.

У результаті вивчення водного режиму методом вилучення води із тканин листа розчинами сахарози визначають силу зв'язку її гідротованими колоїдами й осмотично активними речовинами. Якщо ж водоутримання визначається за швидкістю втрати ваги відсіченим листом, отримані результати характеризують, як фізичне водоутримання клітин, повноту закриття продихів. Водний режим рослини у вегетаційній посудині на додаток до цього залежатиме від перерозподілу води між органами й ефективності подачі її кореневою системою. У природі глибина проникнення коренів у ґрунт і синхронізація онтогенезу із кліматичними сезонами в оптимізації водного режиму мають більше значення, ніж фізичне водоутримання тканин листка.

Більшість прийнятих у фізіології та агрохімії методів аналізу мають основу запозичення із класичної фізики, хімії чи біохімії, де роль системної організації об'єкта порівняно мала. Але реакції ізольованих клітин і тканин на зовнішні дії значно відрізняються від поведінки цих елементів, що перебувають у системі організму. Тому використання біологічних методів вимагає від дослідника чіткого уявлення про те, з яким саме рівнем складної системи він веде діалог. Екстраполюючи результати експерименту на цілу рослину, дослідник часто підміняє організмовий рівень регуляції клітинним або молекулярним (у межах

яких його висновки слушні). За зміщення рівнів організації постає небезпека неправильного вибору режимів впливу на об'єкт, періодичності взяття проб для аналізу, помилкового тлумачення отриманих результатів.

Завдяки різновіковості органів, полярності рослини та наявності вертикальних градієнтів водозабезпечення та постачання мінеральними речовинами реакція окремих листків на чинник, що вивчається, буде розвиватися не одночасно. Ідеальним рішенням було б одноразове проведення аналізу кожного листка (міжвузля, фітомера) на стеблі. Це дозволить з'ясувати й початок процесу, що вивчається, коли він відзначається в якомусь одному листку, і повний розвиток – коли ним охоплена більша частина фітомерів стебла. Такий підхід був використаний у вивченні ґрунтової посухи, що наростає, і тільки завдяки йому вдалося виявити тимчасовий порядок гальмування росту в зіставлені з перебігом зневоднення різних органів.

Безперервний потік прямих і зворотних регулюючих сигналів створює нерівноважний, коливальний характер процесів життєдіяльності.

Існує принцип сталої нерівноваги, що вважається одним з основних постулатів біології. Отже, гомеостаз, як підтримання оптимального стану внутрішнього середовища організму, досягається безперервною корекцією та зміною параметрів на всіх рівнях організації.

Причиною багатьох розбіжностей у сучасній біології є величезні труднощі, пов'язані з необхідністю водночас думати про явища молекулярного й організмового рівнів, для чого необхідно мати мінімум уявлення на проміжному фізіологічному рівні. До цього варто додати проблему біологічної доцільності, від якої вільні фізика та хімія.

11.2. Взаємозв'язок між рослинами, ґрунтом, метеорологічними умовами, антропологічними чинниками

Для рослинних організмів, які змушені вести прикріплений до одного місця існування спосіб життя, дуже важливими є умови, у яких реалізується спадковість. Це називається ***нормою реакції генотипу*** – спадково зумовлені межі, усередині яких зовнішнє середовище визначає фенотипові вираження ознак.

Основними чинниками, які регламентують величину прояву показників, є *ґрунт*, процеси, які проходять у рослині, та *наявність шкідників* і *хвороб*. Умовно викладене можна зобразити трикутником, кожен із кутів якого назвати вищезгаданими факторами, а площа всередині трикутника буде означати величину прояву ознаки. Усі ці чинники надзвичайно тісно пов'язані один з одним.

Ґрунт і розміщене в ньому коріння – це основа, яка дозволяє рослинам мати опору для вертикального розміщення стебел. Окрім цього, для вираження показників дуже велике значення має характеристика ґрунту: його органолептичний склад, підґрунтя, забезпеченість мінеральними елементами живлення, киснем, водою.

Великою мірою саме ґрунт дозволяє реалізуватись морфологічним, фізіолого-біохімічним ознакам і процесам, хоча не варто відкидати внутрішньорослинну регуляцію життєвих механізмів. У дослідженнях необхідно звертати увагу на вимоги рослин до зовнішніх чинників. Наприклад, вимоги до водного забезпечення для сукулентів не такі, як в інших видів рослин. Цьому сприяє не лише морфологія сукулентів, але й проходження життєвих процесів у цього типу рослин.

Не зможе реалізуватись ґрунтовий, рослинний потенціал без стійкості проти хвороб, шкідників або надійного захисту від них. Площа трикутника, тобто величина прояву ознак, може значно зменшитись у результаті епіфітотій хвороб чи поширення шкідників. Останнє стосується як ґрунтових, так і тих, які шкодять надземній частині рослин.

Кожен зі згаданих чинників характеризуються взаємним впливом на прояв ознак. Проте на кожен із них діють метеорологічні явища, які зсувають у той чи той бік процеси, які відбуваються у ґрунті, рослині, або шкідливого оточення. Причому в кожному конкретному випадку цей вплив специфічний і часто некерований. Тому, щоб знизити негативний вплив метеорологічного комплексу, селекціонери працюють над створенням сортів, які менше потерпають від природних катаклізмів, технологи вносять корективи у строки сівби, процеси догляду за рослинами, насіннєводи вирощують високоякісний посівний і садивний матеріал, який, маючи вищу життєздатність, більш стійкий проти впливу метеорологічних умов.

Викладене необхідно враховувати у процесі виконання досліджень, створювати для рослин максимально можливі оптимальні умови. Тільки в такому разі буде змога високоякісно виконати експерименти.

Як у заздалегідь спланованому дослідженні, так і під час спостережень у природних умовах учений стикається з одночасним впливом на рослину ще більшої кількості, ніж згадані вище, зовнішніх чинників. Перше, що необхідно визначити, це які умови мають найбільший вплив на процес, що вивчається, які органи та фізіологічні системи є провідними у феномені, який спостерігається. Експеримент, як діалог спостерігача з об'єктом, що вивчається, матиме сенс за встановлення первинних зв'язків, а не віддалених наслідків або вторинних несуттєвих явищ.

11.3. Сучасні концептуальні засади експериментального забезпечення експериментів з рослинами

Дослід на живому організмі має завдання виявити його реакцію на ті чи інші ситуації (фактори), штучно створені експериментатором. Отже, будь-який експеримент є спробою моделювання умов, що цікавлять дослідника. Здебільшого біологічне дослідження базується на принципі єдиної відмінності Бекона, згідно з яким для вивчення ефектів будь-якого параметра необхідно спостерігати **дві ситуації** (*контроль* та *досвідчений варіант*), що збігаються за всіма показниками, окрім того, що вивчається.

Багатофакторні досліди із застосуванням кореляційного аналізу є варіацією на цю ж тему, оскільки зводяться до вичленення ефектів однієї зі змінних на тлі випадкового розподілу інших параметрів. Математична теорія експерименту викладена в багатьох монографіях. Ми ж розглядатимемо лише ті аспекти експерименту, які безпосередньо пов'язані із властивостями живого об'єкта.

В експериментальній біології реалізація принципу Бекона має один фактор: методологічне ускладнення, про яке дослідники дуже часто забувають. Річ у тому, що у природі на організм впливає велика кількість чинників, що взаємодіють один з одним, і зміна одного з них неминуче перетворює весь комплекс умов існування. Виділення чинника, що вивчається, у «чистоті» полегшує тлумачення отриманих результатів, але дані експерименту водночас часто виявляються спотвореними.

Поясним це прикладом. Під час вивчення рівнів мінерального харчування намагаються підтримати вологість субстрату, у якому перебуває коріння, на оптимальному рівні, забуваючи, що рослини, що голодують і забезпечені азотом, мають різну чутливість до дефіциту вологи. Азотний голод помітно знижує водоутримувальну здатність листя, і рослини починають страждати від нестачі води раніше, ніж забезпечені цим елементом. З іншого боку, високі дози азоту стимулюють швидке наростання транспіраційної поверхні листя, що призводить до підвищеного випаровування. Потреба у воді зростає, тому занадто велика доза азоту може спровокувати посуху.

Оптимальна доза добрив може бути визначена тільки щодо фактичного запасу вологи у ґрунті. Це міркування ми могли б повторити щодо впливу температурного режиму, освітлення чи інших екологічних умов. Тому варто пам'ятати, що будь-який експеримент за цілковитої коректності постановки та спостереження дає відповідь лише щодо тих умов, які мали місце в досліді. Ця тривіальна істина часто забувається експериментаторами. Узагальнювальні висновки дослідник змушений робити на основі результатів окремих дослідів, що охоплюють обмежену кількість ситуацій. І завжди постає питання про достатність даних для узагальнення.

Окремо взятий дослід на цілій рослині містить у результатах деяку невизначеність, що може бути усунена додатковими спостереженнями за варіювання супутніх умов постановки експерименту. Насправді питання вирішується неодноразовим повторенням досліду за різних умов. Так, необхідність багаторічного повторення польових експериментів диктується зміною погодних умов за роками.

Загальні правила вирощування рослин

Об'єкт, що вивчається, може реально перебувати в умовах, які далеко не відповідають задумам експериментатора. Ці ефекти є дуже поширеною причиною артефактів, коли на перше місце виступає фактор, що не вивчається, а зміни, які не враховані дослідником, суттєві для рослини.

Образно кажучи, піддослідна рослина дає відповідь на реальне запитання, а не на те, яке ми мали намір поставити. І не вина рослини, якщо плани експериментатора не збіглися з реальністю. Як приклад пошлемося на розбіжність

результатів дослідів порівняно відносної швидкості зростання коренів і зміни їхньої частки в загальній сухій вазі рослини. Відомо, що за неоптимальної температури швидкість поглинання іонів знижується, а частка ваги коріння у спільній біомасі зростає. Але це правильно лише в тому разі, якщо інші причини не перешкоджають зростанню коріння. Досить знизити (або підвищити) температуру середовища, де розміщується коріння до припинення його зростання, і ми отримаємо протилежний результат – частка коренів у загальній сухій вазі рослини не збільшуватиметься, а зменшуватиметься.

Велика роль у дослідженнях відводиться мікроклімату, але за фіксації температури повітря, як додаткової характеристики погодних умов досліду, часто не враховують, що показання термометра в метеорологічній будці можуть значно відрізнятися від температури поверхні ґрунту. В одному біоценозі дерева, під якими ростуть трави та мохи, або без них, ростуть у різних режимах температури, вітру та радіації (рис. 11.3, 11.4 (див. с. 297)).



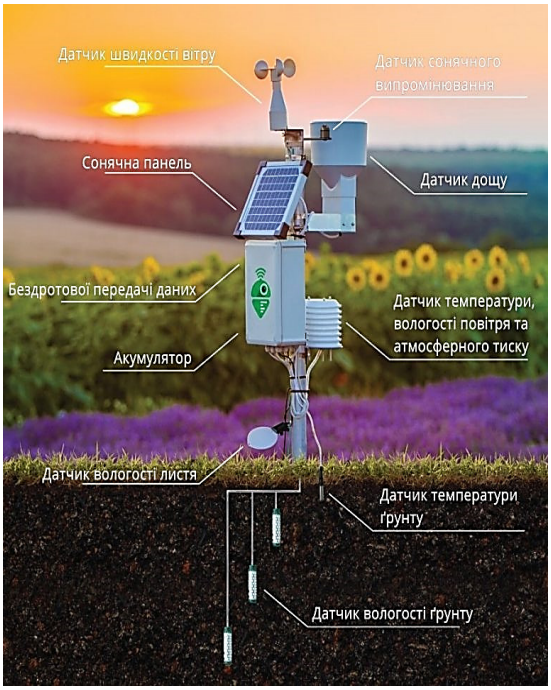
Рисунок 11.3 – Метеомайданчик

Потрібно прагнути до використання для дослідів лише здорових рослин із високою активністю фізіологічних процесів. А цього можна досягти тільки за створення комфортної для об'єкта, що вивчається, екологічної ситуації. Дотримання цього правила особливо важливо під час роботи з інбредними лініями та деякими мутантами, життєздатність і адаптивність яких здебільшого бувають знижені.

Поряд з іншими заходами оздоровлення дослідних рослин передбачено й систематичний захист їх від хвороб і шкідників, карантинні заходи, протруювання насіння, обробка інсекто- та фунгіцидами. Рекомендації із цих питань можна знайти в численних посібниках.

Варто взяти за правило здійснювати посів тільки протруєним насінням, бо ураження рослин в ювенільному віці найбільш небезпечне. Задовільна стерилізація поверхні насіння досягається зануренням його на 1,5–2 хв в 96 % етиловий спирт з подальшим ретельним промиванням у проточній воді. Цьому способу треба віддати перевагу перед обробкою розчином калію перманганату

або перекисом водню. Він успішно може застосовуватися в усіх випадках, коли обробка насіння фунгіцидами з якихось причин неможлива. Якщо застосування фунгіцидів не суперечить задуму експериментатора, протруювання насіння ТМТД або іншими протруйниками повинно розглядатися як обов'язковий захід загального догляду за рослинами.



Датчик	Роздільна здатність	Діапазон	Точність
Температура повітря	0,1 °C	–40…+125 °C	±0,5 °C
Відносна вологість повітря	0,10 %	0–100 %	±2 %
Атмосферний тиск	1 гПа	500–1100 гПа	±1 гПа
Швидкість вітру	0,4 м/с	0,9–40 м/с	±0,5 м/с
Напрямок вітру (опція)	22,5°	0°–360°	±3°
Кількість дощу	0,25 л/м^2	0,25 л/м^2–∞ більше 0 °C	0,25 л/м^2
Інтенсивність дощу	0,25 л/г	0,25–180 л/г	0,25 л/г
Вологість листя (опція)	2,80 %	0–100 %	±1,4 %
Сонячного випромінювання (опція)	10 W	1 %–2000 W/m^{-2}	±1 %
Вологість ґрунту	0,10 %	0–100 %	0,4 %
Температура ґрунту	0,1 °C	–55…+125 °C	±0,5 °C
Сонячна панель	18	1–21 В	±0,4 В
Батарея	Температура експлуатації: –28…+50 °C Напруга при експлуатації: 11–14,4 В		

Рисунок 11.4 – Метеоустановка

У практиці експерименту стало вельми поширене вирощування матеріалу за штучного освітлення в теплицях і кліматичних камерах. Брак освітлення за інтенсивністю, спектральним складом або тривалістю фотоперіоду призводить до дефіциту продуктів асиміляції і є поширеною причиною спотвореної відповіді рослини на фактор, що вивчається.

Теоретичні основи фітооптики, викладені в низці книг, загальновідомі. За умови правильного використанні штучного освітлення разом із фізіологічно обґрунтованим мінеральним живленням і температурним режимом вдається майже в усіх культурних рослин прискорити накопичення біомаси та скоротити строки вегетації.

У практиці світлокультури застосовуються лампи різних типів: розжарювання, люмінесцентні освітлювальні лампи денного світла, люмінесцентні лампи великої потужності типу ДРЛ та спеціальні фітолампи типу ДРЛФ-400, ДРФ-1000 (рис. 11.5). Яскравість джерела світла не відповідає його ефективності для фотосинтезу. Звідси постає необхідність обчислення фотосинтетично активної радіації (далі – ФАР).



Рисунок 11.5 – Рослина в досліді

Джерело: [12]

Коли це можливо, варто організувати освітлення, відповідне (як за інтенсивністю, так і заспектральним складом) оптимальному для даного виду рослин. Досліди, що широко практикуються, на проростках потребують менш високої інтенсивності освітлення, оскільки в них зростання забезпечується значною мірою запасними речовинами зерна. У такому разі як джерело світла можна застосовувати навіть лампи розжарювання, за забезпечення відведення надлишкового тепла. Невибагливі до умов освітлення кінські боби та томати, гарний стан яких досягається навіть за використання люмінесцентних ламп

денного світла. Урожай зернових злаків та інших світлолюбних рослин можна отримати лише за інтенсивності додаткового освітлення в зимовій теплиці приблизно 20–30 тис. люксів.

Інтенсивний світловий потік може бути створений за використання як потужних джерел світла, так і великої кількості малопотужних ламп. Для захисту від перегріву застосовується проточний водяний фільтр, через скляне дно якого світло надходило до рослин. Зважаючи на те, що пряме сонячне світло, навіть у теплиці, дає освітленість не менш ніж 50–80 тис. люксів, досягнуті результати можуть бути дуже скромними, порівняно з витратою енергії.

З поширених натепер ламп можуть бути рекомендовані прості в експлуатації відносно довговічні фітолампи ДРЛ-400 і ДРЛФ-1000, а для створення особливо потужного світлового потоку – лампи ксенового типу ДКсТВ-1000.

Особливості вирощування рослин у ґрунті, що характеризується власною родючістю, і в безплідних субстратах – піску, гравії, керамзиті, у вермикуліті очевидні. Більшість типів ґрунтів має належну буферність і забезпечує стабільне надходження до коренів води та мінеральних солей у широкому діапазоні їхньої концентрацій. Але за вирощування рослин у теплиці або у вегетаційному досліді ґрунтова культура створює низку проблем, пов'язаних з наявністю в ній насіння бур'янів, комах-шкідників, великою затратністю тощо.

Безґрунтові субстрати, що застосовуються в гідропонному вирощуванні рослин, вільні від бур'янів, шкідників і хвороб, легко промиваються та стерилізуються кислотою чи формаліном. Але вони мають низьку ємність поглинання солей, уміст поживних речовин у них має постійно контролюватись аналізами та підтримуватись частою зміною поживних розчинів. У разі грамотного застосування поживних розчинів гідропонна культура забезпечує кращий ріст рослин і більш високий урожай порівняно із ґрунтом. Однак будь-які відхилення від оптимального режиму призводять до дискомфорту об'єктів досліду.

Варто зупинитись на прийомах регулювання росту та дозрівання. У деяких випадках рослини незадовільно ростуть, незважаючи на гарне освітлення та достатнє мінеральне харчування. Це може бути спричинене короткочасним погіршенням умов, на яке рослини реагують тривалим гальмуванням росту за типом випереджальної реакції. Друга можлива причина – інбредна депресія за роботи з лініями облігатних перехресників (люцерна, буряк, жито, кукурудза й інші).

У такому разі хороший стимуляційний ефект дає 3–6-кратне обприскування листя спеціальними розчинами. Обробку (залежно від стану рослин) проводять щодня чи через день. Зазвичай за 10–15 днів після обробки настає стимуляція зростання. За допомогою цього прийому можна отримати досить здоровий вихідний матеріал для досліду на фоні малосприятливих погодних умов.

Підкреслимо, що ці прийоми не варто розглядати як некореневе підживлення. Кількість поживних речовин, що вноситься, для цього занадто мала. Їхня дія заснована суто на стимуляції фізіологічних процесів організму та підвищенні динамічної стійкості.

За високої інтенсивності світла, хорошого живлення та водопостачанні навіть в однорічних монокарпічних рослин спостерігається рясне

пагоноутворення, яке затримує дозрівання основного стебла. Це пов'язано з високою синтетичною активністю метаболізму в оптимізованих екологічних умовах. У такому разі метаболітів із лишком вистачає не тільки для цвітіння та плодоношення, але й на підтримку життєдіяльності органів, що старіють, які слабо атрагують, тобто «прокидаються». У результаті вегетативні органи, які отримують належне живлення, не відмирають, а продовжують функціонувати, тим самим забезпечують синтез додаткових метаболітів для утворення підгону.

Для запобігання пагоноутворення в гідропонній культурі варто після зав'язування насіння замінити живильний розчин чистою водою. Підвищення врожаю та швидке дозрівання водночас важливо із прискоренням старіння вегетативних органів, що голодують, і евакуацією з них катаболітів (продуктів розпаду) у насіння або інші органи, що запасають.

Дія ***сенікації*** (безпестицидне екологічне обприскування рослин) заснована на слабкому ушкодженні клітин листа концентрованими розчинами солей, що посилюють гідролітичні процеси. Інтенсивність синтетичних процесів у листках, що старіють, завжди знижена. В ізольованому органі це призвело б тільки до встановлення нової рівноваги синтез/гідроліз, відповідно до швидкості цих процесів, що змінилася. Але за наявності в організмі такого сильного споживача, як насіння, що формується, продукти розпаду транспортуються з вегетативних органів раніше, ніж вони будуть залучені в синтетичні процеси на місці їх утворення. У підсумку суцвіття ніби висмоктують синецировані вегетативні органи.

У цьому полягає принципова відмінність сенікації від прийомів дефоліації та десикації (підсушування), коли відмирання вегетативних органів відбувається настільки швидко, що катаболіти не встигають транспортуватися до насіння. Досягається прискорення дозрівання, але (на відміну від сенікації) воно ще супроводжується підвищенням ваги насіння і поліпшенням його якості.

11.4. Екологічний підхід визначення основних факторів впливу на рослини. Зональність виконання досліджень

Як у заздалегідь спланованому експерименті, так і у спостереженнях у природних умовах дослідник стикається з одночасним впливом на рослину безлічі зовнішніх чинників. Перше, що необхідно визначити, які умови мають найбільший вплив на досліджуваний процес, які органи й фізіологічні системи є провідними у феномені. Експеримент, як діалог спостерігача з об'єктом, що вивчається, матиме сенс за умови встановлення первинних зв'язків, а не віддалених наслідків або вторинних несуттєвих явищ.

Цей постулат розкриває джерело багатьох помилок, особливо частих за екстраполяції результатів спрощених експрес-дослідів на характеристики цілої рослини чи посіву.

У роботі із селекційним матеріалом бажано використовувати досить швидкий метод, що дозволяє з мінімальними витратами праці дати масову оцінку зразків на ранніх етапах відбору. Така діагностика заснована на кореляції (але не завжди на функціональній) зв'язку біохімічного або біофізичного параметра, що спостерігається, із стійкістю або продуктивністю. Але останні є результатом багатьох фізіологічних процесів, молекулярних, генетичних і морфологічних особливостей рослини.

Часто їх взаємодії настільки переплетені, що важко виділити головний чинник. У такому разі ми говоримо про полігенну детермінацію ознаки. Питання про вибір строків спостереження та параметрів, які б забезпечили коректність досвіду та відповідність оцінок процесам, що протікають загалом у рослині, має вирішуватися на основі системного підходу. Відносно низька ефективність таких оцінок селекційного матеріалу спричиняє багато розчарувань, причину яких ми розглянемо на прикладі.

Припустимо, дослідник визначив зимостійкість сортів, фіксуючи температуру загибелі клітин листка за спалахом надслабкого свічення, або незворотним роз'єднанням дихання від фосфорилювання. Розбіжність польового випробування із цим експериментом може мати кілька причин. Наприклад, озимі культури можуть успішно відростати й за цілковитої загибелі листя. Використання останніх, як об'єкт діагностики, дає занижену оцінку сортам, які зимують із втратою листя, але з гарною схоронністю вузлів кущіння, і річ не тільки в різній морозостійкості їхніх тканин. Розташовані у ґрунті вузли кущіння зимують за більш сприятливої температури, ніж надземні органи. Що глибше вони залягають, то вища зимостійкість генотипу. У цьому полягає причина помилок лабораторних оцінок цієї ознаки на ізольованих вузлах кущіння. Деяку роль відіграватиме й орієнтація листя. Розташування листків типу розетки забезпечує найкраще збереження листового апарату під час зимівлі. Такі методи діагностики відображають морозостійкість клітин і тканин (але не організму), що залежить від генетично зумовленої конформації молекул біополімерів, структури мембран і органел. Морфологічні ознаки рослини прирівнюються до рівня пристосування організму.

Заглиблення в цю проблему приведе до з'ясування ролі такого організмового процесу, як осіннє загартування, та пов'язаного з ним гальмування зростання, рецесивного стану генів *Vm* і *Ppd* у цьому процесі тощо. На якомусь етапі дослідник може виявити, що загибель озимих у цій зоні визначають не низькі, а підвищені (приблизно 0 °C) температури під товстим сніговим покривом, тож має місце не вимерзання, а випрівання – процес з іншими захисними механізмами. Для нефахівців у цій галузі додамо, що причиною загибелі могли бути вимокання, загибель навесні від заморозків, осіннє пошкодження цикадкою. Стійкість до них, звичайно ж, не тестувалася в експерименті та потребувала інших умов випробування.

Тому на початку роботи необхідно вивчити екологічну ситуацію і виділити умови, які відіграють визначальну роль у явищі, що вивчається. Попереднє екологічне опрацювання може дати вказівки, на які процеси варто звернути головну увагу (фізіологічні, біохімічні, біофізичні).

Екологічною неграмотністю пояснюється існуванням в літературі безлічі думок щодо фізіологічних механізмів того чи іншого процесу – чи то гетерозис, чи стійкість до несприятливих факторів середовища, морфогенез, регуляція росту. Біофізик у всіх випадках зводитиме суть ставлення до динаміки вільних радикалів, біохімік пояснить їх зміною активності ключових ферментів, фахівець у галузі гормональної регуляції вкаже як головну причину співвідношення у тканинах гормонів та інгібіторів, агрохімік назве рівень постачання тканин азотом або фосфором.

Наведена вище «схема розбіжностей» дещо перебільшена і, можливо, спрощена. Але вона відображає реальне прагнення захопленого своєю роботою дослідника уявити «свою» частину істини як найголовнішу – як істину в останній інстанції.

Зональність виконання досліджень. Важливість зонального проведення досліджень як напряму, що дозволяє більш усебічно оцінити рослини, процеси, розглянемо на прикладі картоплі.

В історичному плані залежно від проблем, які стояли перед людством, рівня розвитку продуктивних сил пріоритетність наукових напрямів змінювалась. Основні досягнення науково-технічного прогресу в шістнадцятому – вісімнадцятому століттях були пов'язані з розвитком механіки. У дев'ятнадцятому столітті найбільшого розвитку набула фізика, на початку двадцятого століття – хімія та ядерна фізика, а останнім часом лідирує екологія. Це пов'язано з надзвичайною важливістю необхідності вирішення екологічних проблем, установлення нових взаємин між складниками екосистем. Поряд із глобальними проблемами важливими також є регіональні, галузеві, які надалі стають складниками загальних [1; 2; 5; 6].

Найбільш ефективним, санітарно та гігієнічно безпечним шляхом підвищення врожайності, поліпшення якості є створення та швидке впровадження у виробництво нових сортів сільськогосподарських культур, зокрема й картоплі. Водночас реалізація генетичного потенціалу сортів за основними господарсько цінними ознаками залежить від ґрунтово-кліматичних чинників зони вирощування. Віднайти оптимальне співвідношення між реалізацією спадковості сортів картоплі та біотичних і абіотичних чинників окремого регіону можна в результаті проведення екологічного випробування в різних зонах, яке передбачено в усіх селекційних програмах [3; 4; 12].

Незважаючи на те, що картопля належить до високопластичних культур і має надзвичайно велике поширення на Землі: від Заполяр'я до південних широт Чилі, на реалізацію генетичного потенціалу її таксономічних форм значний вплив мають екологічні складники зовнішнього середовища. Через біологічні особливості картопля для задовільного росту й розвитку потребує визначеного комплексу зовнішніх чинників залежно від фаз розвитку. Наприклад, бульби, які пробудилися, можуть витримувати короткочасне – до 1 год зниження температури до –9 °С. Навпаки, надземна маса рослин пошкоджується навіть невеликими заморозками. Проте в диких видів, які ростуть у горах на висоті приблизно 5 тис. м над рівнем моря, наприклад *S. acaule* Bitt., картоплиння витримує заморозки до –8 °С.

По-особливому реагують рослини на температуру під час вегетації. Це також пов'язано з наявністю надземних вегетативних органів і підземних – бульб. Оптимальною температурою в період проростання бульб є +18…+22 °С. Надалі максимальна маса листків утворюється за температури +12…+14 °С, а стебел – +18 °С. Цвітіння найкраще відбувається за температури +18 °С. Особливо реагують на температуру ґрунту молоді бульби. Максимальний урожай формується в таких умовах: ранньостиглі сорти – +17 °С, а середньостиглі – +19 °С. Вищі температури спричиняють у бульбах екологічне виродження з утворенням ниткоподібних паростків. За середньодобової температури +19…+21°С частка таких бульб в урожаї становить 20 %, +24 °С – 50 %, а більш ніж +25 °С – 75 %.

У зв'язку з тим, що в бульбах картоплі міститься приблизно 75 % води, у період їх формування, починаючи з бутонізації, вона вимагає достатньої кількості вологи. Навпаки, у фазу сходів рослина використовує запаси вологи садивних бульб, тому, зважаючи на невелику надземну масу, потребує дуже мало води. Ще одна особливість картоплі – використання висаджених весною бульб як накопичувачів вологи в період випадання дощів під час вегетації рослин [1; 2].

Важливим екологічним чинником для картоплі є ґрунт. Формування бульб у ґрунті вимагає його високої структурності, пористості, а утворення великої маси рослин – значного запасу поживних речовин.

Окрім згаданих, до нерегульованих чинників, які впливають на ріст, розвиток рослин картоплі, продуктивність, також відносять інтенсивність сонячної інсоляції, тривалість світлового періоду, відносну вологість повітря, швидкість вітру, тривалість безморозного періоду та деякі інші, які формують екологічний комплекс. Саме від нього залежить норма реакцію генотипу зразків картоплі на зовнішні умови.

Щоб визначити широту реакції гібридів, сортів картоплі на зовнішні умови не поодинокого регіону, у процесі створення вихідного селекційного матеріалу, виведення нових сортів картоплі проводять екологічне випробування.

Екологічне випробування картоплі включає в себе комплекс заходів для всебічного оцінювання сортів, гібридів, тому воно охоплює: зональне екологічне випробування, спеціалізоване екологічне випробування, випробування в умовах висотної поясності.

На думку окремих авторів, зональне екологічне випробування дозволяє оцінити не лише прояв продуктивності, але й екологічну пластичність сорту, гібрида. Завдання зонального екологічного випробування – виявити мінливість прояву кількісних і якісних ознак під впливом численних екологічних чинників, у результаті чого відібрати генотипи, найбільш пристосовані до визначених умов. Це дозволяє виділити сорти, гібриди із широкою нормою реакції на окремий екологічний комплекс.

Виявлена дилема між сортами інтенсивного типу і їхньою екологічною пластичністю [7–10]. Спеціалізоване екологічне випробування базується на використанні екологічного комплексу для виділення сортів, гібридів картоплі з високим проявом окремих ознак. Більшою мірою воно стосується визначення стійкості проти хвороб, шкідників.

Долина Толука в Мексиці є центром формотворчого процесу й значного поширення збудника фітофторозу – гриба *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary.

Відомі результати оцінювання сортів картоплі в екологічно специфічних умовах висотної поясності дозволили виявити відносний внесок у продуктивність екологічної, спадкової та метеорологічної мінливості. Доведено значний екологічний ефект впливу на експресію генів складників продуктивності. Отже, зональність виконання досліджень дозволить ширше розкритись генотипу сортів, гібридів за більш короткий час випробування, інколи дозволить виявити вплив на реалізацію спадковості чинників, відсутніх у конкретних регіонах.

11.5. Типи адаптивної реакції в рослин

Зважаючи на те, що рослини поширені в якійсь місцевості, тож еволюційно пристосувались до несприятливих зовнішніх чинників. Це видно в адаптивних реакціях на чинники, які нерідко мають стресовий характер.

Відповідно до прийнятого поділу біологічної організації на рівні можлива й класифікація адаптивних реакцій, які визначають клітинну, тканинну, організмінну й популяційну стійкість до несприятливих факторів. Стійкість тканинного рівня є результатом адаптивних реакцій усіх клітин, що входять у дану тканину, стійкість організму – взаємодією реакцій адаптації всіх органів і тканин, що їх утворюють, популяційного рівня – інтегральним результатом адаптивних реакцій окремих особин [10; 12].



Рисунок 11.6 – Рослини хости після постасептичної адаптації

Джерело: [12]

Інтеграція реакції елементів для формування відповіді вищого рівня пов'язана з появою нової якості, яка не існує на нижчому рівні. У застосуванні до фізіології адаптації інтеграція реакцій виражена у виникненні більш складних, але й повільніших адаптивних реакцій, відповідно до уповільненого перебігу біологічного часу на вищих рівнях організації (рис. 11.6).

Процеси клітинної адаптації з позицій часу в організмі проходять дуже швидко. Підвищення теплостійкості рослинних клітин може бути виявлено за 5 с після секундного нагрівання. У літературі зазначено факти підвищення в польових

умовах теплостійкості клітин вищих рослин удень і зниження її вночі. Отже, лише на рівні цілісного організму клітини, що утворюють його, постійно перебувають у стані максимальної адаптації до навколишніх умов (у межах норми реакції).

У тому масштабі часу процеси адаптації на рівні організмів (що потребують для свого розвитку приблизно 10 днів) є поступовими, наростаючими. Через це в роботі із цілою рослиною можемо назвати процеси клітинної адаптації статичною стійкістю, властиві організму адаптації – динамічною стійкістю. Як синонімів цих термінів використовують висловлювання ***«структурна стійкість»*** – для клітинного рівня адаптивних реакцій, ***«функціональна стійкість»*** – для організму, що, проте, не зовсім точно відбиває суть аналізованих явищ. Окрім того, у деяких роботах термін «стійкість» відносять до адаптивних реакцій клітин, адаптацією називають лише реакцію цілісного організму.

Роль ростових процесів в адаптації. Як відомо, автотрофний тип обміну речовин ставить життя в найтіснішу залежність від потоку сонячної енергії, але все ж таки потребує надходження з довкілля хоча б найпростіших форм неорганічних речовин, які досить рівномірно розподілені в біосфері. На відміну від гетеротрофного, він не вимагає активного пошуку районів з підвищеною концентрацією поживних субстратів, рослини не виробили системи, що забезпечує активне просторове переміщення в пошуках харчування.

Зазначені особливості привели у процесі еволюції до виникнення способу життя рослин на даному місці, у яких функція розселення властива майже суто органам розмноження. Вихід рослин на сушу привів до виникнення та збільшення екологічних градієнтів середовища (тепла, вологи й іншого) вертикально і горизонтально. Розподіл оптимальних і суворих місць розташування рослин на суші від початку мав вельми мозаїчний характер, це неминуче створювало проблему переміщення рослин із менш сприятливих умов у більш сприятливі, що суперечило прикріпленому способу життя. Вироблення специфічних механізмів тканинної, клітинної та молекулярної резистентності не давало настільки радикального рішення, як уникнення дії несприятливого чинника. Подолання цієї суперечності в рослин виявилося можливим завдяки ростовим процесам, це поняття охоплює також тургорні, тропічні та настичні явища.

Одностороннє джерело світла, проживання на межі ґрунту та повітря створили значні градієнти мікросередовища вздовж осі рослини. Це означало, що навіть незначні за абсолютною величиною переміщення органів у процесі зростання можуть спричинити перехід в інші, сприятливіші умови. Така роль позитивного гідро- та хемотаксису коренів, позитивного фототаксису та фототропізму надземних органів, епінастії рослин аридних зон і гіпонастії пагонів у густих затінених ценозах.

Автотрофний тип харчування зумовив важливі особливості морфології рослин, зокрема і слабко обмежений ріст апікальних точок, що приводить до безперервного, що триває майже все життя, утворення нових фітомерів (система, що складається з міжвузля стебла, листя і пазушної бруньки). Звідси виникають високі потенційні можливості наростання площі листя та кореневої системи, зміна габітусу в онтогенезі у зв'язку з нерівномірним зростанням

окремих частин, якісна відмінність різновікових фітомерів. Усе це наклало відбиток на механізми адаптації рослин до умов довкілля. Наприклад, відомо, що незадовільні умови роботи надземних органів чи коренів призводять у процесі росту до збільшення відносних розмірів тих частин, які опинилися в несприятливому оточенні. Далі збільшення розмірів органа, що працює з низькою питомою продуктивністю одиниці його робочої поверхні, спричиняє підвищення валової його продукції та відновлення рівноваги між кореневою системою і фотосинтезуючим апаратом, отже, і збільшення темпів накопичення біомаси рослини загалом. Окрім нормалізації коренелистових трофічних зв'язків, адаптивна зміна габітусу приводить і до розміщення органів в оптимальних умовах середовища, уповільнення зростання частини організму, що продуктивно працює, прискорення відносного приросту та просування в інші умови в непродуктивної.

Показано, що репарація ушкодження несприятливими чинниками пов'язана в рослин із повторним залученням до синтетичних процесів продуктів неглибокого розпаду (цукрів, амінокислот, нуклеотидів), що виникають в уражених органах. Нові структури, що утворюються водночас, мають підвищену стійкість. Формування подібної (динамічної) стійкості набуває особливого значення тоді, коли несприятливий вплив чергується з періодами, відносно сприятливими для ростових процесів (що зазвичай характерно для природних метеокомплексів). Цим створюється можливість найповнішого прояву адаптаційних здібностей організму.

Загартування меншою мірою, ніж ріст, але все ж таки відбувається і за альтернативної реакції рослини. У такому разі вона зумовлена більшою стійкістю диференційованих клітин порівняно зі зростанням накопичень у них низькомолекулярних продуктів – у зв'язку зі зменшенням витрати на утворення нових структур. Особливістю адаптації через гальмування росту (порівняно з альтернативним формуванням динамічної стійкості або переміщенням точок зростання в інші умови) є висока швидкість реакції.

З наведеного короткого переліку функціональних зв'язків росту й адаптації можна зробити висновок про провідне значення ростових процесів у досягненні стійкості до несприятливих умов. Це досягається шляхом переміщення органів у більш сприятливі умови та зміни габітусу, а також формуванням у процесі зростання динамічної стійкості, або внаслідок його зупинки – статичної.

Принципово різні, але постійно пов'язані з ростом шляхи адаптації цілісного організму приводять до важливих наслідків. Уважається, що на нижчих рівнях існує менше внутрішніх обмежень, отже, є більше можливостей для реалізації програми розвитку, ніж на вищих рівнях. Звідси постулюється велика жорсткість вимог до умов середовища на вищих рівнях організації та неминуче звуження екологічної ніші під час переходу від нижчих рівнів до вищих. Але водночас упускається, що з ускладненням організації зростає різноманітність реакцій у відповідь (зокрема, ростових), за участю яких формується власне, більш сприятливе, мікросередовище. Із цим пов'язані вищі адаптаційні можливості організму, ніж ізольованих органів чи клітин.

Нерівномірність гальмування росту різних тканин органів призводить до формування ксероморфних структур, що характеризуються збільшенням числа продихів і довжини жилок на одиницю площі листа, ізолатеральною будовою листа із щільною упаковкою в ньому паренхімних клітин і збільшенням частки палісадної паренхіми, редукцією листової пластинки, особливою будовою судин і низкою інших ознак (рис. 11.7).



Рисунок 11.7 – Картопля
Джерело: [12]

Численними вченими визнаються як ознаки високої стійкості до зовнішніх умов ксероморфність, дрібноклітинність і збільшення частки «мертвих» елементів (целюлози, лігніну, кутину), низька обводненість, що виражається в підвищенні коефіцієнтів ксероморфності й сукулентності. Характерною ознакою ксерофітів є збільшення числа продихів на одиницю площі листка, подрібнення клітин епідермісу й густіша мережа жилок. Прогресивне наростання цих ознак ксероморфізму в послідовному ряду фітомерів пояснюється погіршенням водопостачання верхніх ярусів листя. Усі названі вище ознаки ксероморфізму, мабуть, є наслідком гальмування росту та пов'язаних із цим змін біохімічного характеру. Гальмування росту відбувається як через зменшення числа клітин, що діляться, так і завдяки меншому їх розтягуванню.

Про відносну роль цих процесів у сумарному зменшенні приросту існують суперечливі думки, але більшість авторів визнає, що розтягування клітин блокується раніше, ніж їх ділення. Це підтверджується приблизно однаковою кількість клітин у рослинах на фоні оптимального та недостатнього водопостачання за більшого розміру їх у першої групи рослин. Відносно більш швидкий (порівняно з контролем) ріст рослин після поливу, що зазнали нетривалого водного дефіциту, і низка непрямих даних показують, що ділення клітин триває і під час посухи.

Спостереження за ростом бавовнику на фоні засолення показали, що на сульфатному фоні площа листка зменшується сильніше, ніж кількість епідермальних клітин, або продихів. За хлоридного засолення, навпаки, число клітин зменшувалася більшою мірою, ніж площа листа. З огляду на те, що на фоні сульфатного засолення в рослин розвиваються ознаки ксероморфізму, а на хлоридному – сукулентності, можна зробити висновок про їхній зв'язок із пригніченням росту діленням клітин і зростання розтягування відповідно. У літературі викладені численні спостереження про позитивний зв'язок ксероморфності зі стійкістю до посухи, зневоднення, різноманітних форм засолення, дефіциту азоту, надмірного освітлення, заболочування та дії токсичних промислових газів.

Усе це дозволяє бачити у ксерофітизації універсальний регуляторний механізм, відповідальний за пристосування до різних несприятливих чинників, а у пригніченні росту – основу цього механізму. Важлива роль попереднього гальмування росту у формуванні підвищеної стійкості підтвердилася і в дослідах з обробкою рослин синтетичним ретардантом – хлорхолінхлоридом.

Зі сказаного випливає, що гальмування росту під впливом несприятливих умов середовища та наступні зміни в диференціації, морфології органів і габітусі (ксерофітизація в широкому смислі) можуть бути наслідком підвищення стійкості до вельми різноманітних ситуацій, а не тільки до чинника, що пригнітив ріст, такого роду неспецифічна стійкість відома для клітинного рівня [11; 12].

На нашу думку, наведені вище факти подібної ксерофітизації на фоні дуже різних впливів вказують на існування неспецифічних реакцій організмового рівня, пов'язаних зі зміною інтенсивності та характеру росту, які не зводяться лише до зміни стійкості клітин.

Безумовно, в адаптаційних процесах значну роль відіграє позитивна поєднана стійкість, зокрема й інтенсивний синтез білка та нуклеїнових кислот. Із цим пов'язано зростання стійкості під час обробки рослин кінетином або аденіном, і ефект різних стимулювальних впливів на насіння, що проростає. Але це не зменшує ролі гальмування росту у формуванні стійкості до різних факторів через накопичення осмотично активних речовин, зниження транспірації, зміну габітусу.

У природі, у так званих нормальних умовах, будь-яка рослина постійно піддається легким несприятливим впливам, які під час еволюції стали необхідними для вироблення стійкості (тренінг). Насамперед це добові коливання інтенсивності основних екологічних чинників (температура ґрунту та повітря, вологість повітря тощо). Такі впливи, що не призводять ще до патології, гальмують ріст, ксерофітизують органи, що знову утворюються, і підвищують стійкість рослини. Вирощування ж рослини у стабільних умовах без легких впливів середовища призводить до деадаптації (рис. 11.8).



Рисунок 11.8 – Мікроклональне розмноження рослин

Джерело: [12]

У досліді з огірками їх з моменту проростання захищали від несприятливих мікровпливів шляхом вирощування в камері з постійною температурою +25 °С за 100 % вологості повітря.

Оптимальне живлення на фоні слабкої транспірації забезпечувалося водною культурою та 2-кратною сумішшю Кнопа. Такий режим призвів до втрати в рослин здатності чинити опір будь-яким несприятливим впливам. Після перенесення в нормальні умови (зниження вологості повітря до 50–60 %) вони зав'яли й гинули за 2– год. Цей випадок є прикладом значення помірних несприятливих впливів для нормального життя рослини [12].

З іншого боку, унаслідок короткочасного, але досить сильного, що гальмує ріст, впливу після фази пригнічення настає стимуляція фізіологічних процесів, тривале підвищення стійкості до різних несприятливих факторів і збільшення продуктивності. На цьому ґрунтуються різні методи загартування рослин попеременними змінами впливу зовнішніх чинників. Описаний вище випадок ураження зніжених рослин аналогічний хворобі адаптації тварин і людини, яка в побуті не зовсім точно називається стресом (стрес у вузькому значенні слова). Розглядаючи реакцію стресу на організм, щодо тріади (пригнічення, адаптація, виснаження), ми можемо ототожнити первинне гальмування росту з першої фазою, а загартування – із другою (адаптацією). Це дозволить нам говорити про наявність у рослин системи неспецифічних реакцій адаптації до найрізноманітніших несприятливих впливів довкілля та застосувати до них термін «стрес» за аналогією з такими ж реакціями у тварин і людини. Зазначимо, що з розгляду окремих біохімічних процесів подібність реакції на різні впливи може і проявитися.

У результаті проведеного аналізу механізмів неспецифічної стійкості зауважимо, що стійкість організму залежить не так від окремих ланок обміну, як від метаболізму загалом. Після первинних специфічних змін за несприятливого впливу виявляються зміни неспецифічного характеру, які є вихідним пунктом для формування захисно-пристосувальних реакцій організму. Найбільш чітко вони проявляються не відразу, а за деякий час після початку несприятливого впливу, і не можуть бути виявлені одноразовим аналізом рослин тільки за якимось показником.

Завдання та питання для самостійної роботи

1. *На якому принципі базується біологічний експеримент?*
2. *У чому суть багатофакторних дослідів?*
3. *Чому дані експерименту бувають спотвореними?*
4. *У чому необхідність багаторічного повторення досліду за різних умов?*
5. *Дайте визначення мікроклімату та його ролі в житті рослини.*
6. *Як здійснюється оздоровлення рослин?*
7. *До чого призводить брак освітлення в рослин?*
8. *Які типи ламп застосовуються у практиці світлокультури?*

9. *Вкажіть особливості вирощування рослин у ґрунті.*
10. *На які рівні можна умовно поділити цілісну систему організму?*
11. *Хто вперше системно підійшов до вивчення біологічних об'єктів?*
12. *Поясніть чому рослину вважають біполярною структурою?*
13. *Чи тотожні поняття «фізіологічне поле» і «фізіологічний градієнт»?*
14. *Що є предметом вивчення фізіології рослин?*
15. *Розкрийте суть поняття «квант життя».*
16. *Як утворене «біологічне поле»?*
17. *Від чого залежить депресія фотосинтезу?*
18. *Поясніть принцип сталої нерівноваги.*
19. *Як впливає спадковість на рослинний організм?*
20. *Дайте визначення поняттю «норма реакції генотипу».*
21. *Назвіть основні чинники, які регламентують величину прояву показників у рослини.*
22. *Чи впливає склад ґрунту на рослину і як?*
23. *Поясніть термін «епіфітотія хвороб».*
24. *Як впливають метеорологічні умови на рослину?*
25. *Чому вважають, що експеримент – це діалог спостерігача й об'єкта?*
26. *Дайте визначення поняттю «функціональна стійкість».*
27. *У чому суть мозаїчного розподілу рослин на суші?*
28. *Дайте визначення поняттю «фітомери».*

Перелік джерел до розділу 11

1. Podhaietskyi A. Ad., Kravchenko N. V., Kriuchko L. V., Gorbas S. M., Podhaietskyi A. An. Simulation of nature of *Solanum* L. sect. Petota Dumort. species towards late bligt resistance. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. № 8 (1). P. 324–334. DOI: 10.15421/2018
2. Podhaietskyi A. A., Kravchenko N. V., Kovalenko V. M., Bondus R. O., Hordienko V. V., Cherednichenko L. M., Sobran V. M. Ecological Testing of potatoes. *Ukrainian journal of ecology*. 2018. № 8 (4). P. 17–25.
3. Simulation of High-Product Soy Crops Based on the Application of Foliar Fertilization in the Conditions of the Right Bank of the Forest Steppe of Ukraine. 2024.
4. Kolisnyk O., Yakovets L., Amons S., Butenko A., Onychko V., Kravchenko N., Vereshchahin I., Yatsenko V. Simulation of High-Product Soy Crops Based on the Application of Foliar Fertilization in the Conditions of the Right Bank of the Forest steppe of Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology.* 2024. Vol. 25. Issue 7. P. 1–10. DOI: 10.12912/27197050/187893
5. Hamed A. M., Abojassim A. A. Ecological Engineering & Environmental Technology. 2024. № 7. P. 1–10. DOI: 10.12912/27197050/187893
6. Soils Y., Butenko A., Solovei H., Filon V., Skydan M., Kravchenko N., Zakharchenko E. Study of the Impact of Changes in the Acid-Base Buffering Capacity of Surface Sod-Podzolic. *Journal of Ecological Engineering.* 2024. № 225 (6). P. 73–93.
7. Куценко О. М., Писаренко В. М. Агроекологія. Київ : Урожай, 1995. 254 с.

8. Anslow R. C. Edge effects in plots of wheat experiments. *J. Nat. Inst. Agr. Bot*. 1987. № 17. 3. P. 385–386.
9. Khalifa M. A., Al-Saheal Y. A. Inheritance of harvest index in wheat. *Cer. Res. Com*. 1984. № 12. 3–4. P. 159–166.
10. Leopold C., Kriedemann P. Plant growth and development. New York, 2015. 545 p.
11. Царенко О. М., Злобін Ю. А., Скляр В. Г., Панченко С. М. Комп'ютерні методи в сільському господарстві та біології. Суми, 2000. 204 с.
12. Мікроклональне розмноження рослин : навчально-методичний посібник / В. В. Мацкевич та ін. Суми, 2023. 200 с.

Розділ 12

СВІТОВИЙ ДОСВІД ЗБЕРІГАННЯ ТА ПЕРЕРОБКИ ВРОЖАЮ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

12.1. Умови зберігання і переробки зернових культур

Зберігання та переробка зерна пшениці й жита. Ендосперм і зародок вкриті плодовою і насіннєвою оболонкою, яка проникна лише для газу та води, захищає їх від ураження шкідливими мікроорганізмами. Тріщини та розломи в оболонці призводять до потрапляння грибків і бактерій у зерно, отже, його пошкодження.

Особливості зернової маси, які необхідно враховувати під час зберігання, залежать від властивостей окремих зерен, що утворюють цю масу. Зерно пшениці та жита суттєво відрізняється від решти сільськогосподарських культур. Пшениця і жито мають структурні особливості, які роблять їх більш щільно вкладеними порівняно з іншими культурами, через відсутність квіткових плівок, які утворюють довгі остюки. Величина шпаруватості зерна пшениці та жита коливається від 35 до 45 %. У період зберігання зерна, завдяки його ущільненню спостерігається незначне зниження шпаруватості, від 4 до 7 %, особливо за зберігання від 6 до 10 місяців. Деякий вплив на ущільнення зерна може мати спосіб завантаження. Варто зазначити, що внаслідок процесу самосортування шпаруватість зерна може бути нерівномірною по всьому шару. Сипкість зерна характеризується кутом природного укосу пшениці та жита, який змінюється від 23 до 38° [1].

Варто пам'ятати, що сипкість зменшується зі збільшенням вологості зерна, а саме кут природного укосу збільшується від 8 до 10°. Гігроскопічність пшениці та жита визначається рівноважною вологістю зерна, яка залежить від вологості навколишнього середовища.

Очищення, охолодження і сушіння підвищують стійкість зерна в період зберігання. Максимальна висота залежить від стану зерна, тривалості зберігання, початкової вологості та температури зерна, а також ступеня післязбирального дозрівання. Що менша температура зерна, то вища його висота завантаження. Зерно з температурою від 5 до 6 °С можна зберігати за більшої висоти насипу, навіть якщо воно має підвищену вологість. Зменшення температури зерна до 0 °С дає змогу зберегти від псування і сире зерно.

Якщо не вжити відповідних заходів для вентиляції зерна, зберігання нестійкого зерна може бути лише на висоті, яка дозволяє швидко охолодити його до температури, що запобігає розвитку плісняви та самозігріванню. Природне

охолодження зерна на висоті 1 м відбувається досить повільно, а саме: від 0,7 до 1,5 °С протягом одного місяця, від 1,5 до 3,0 °С протягом двох місяців. Лише в незначній зерновій масі температура може знизитися від 5 до 10 °С за місяць. Використання активного охолодження може запобігти псуванню нестійкого зерна пшениці та жита, до сушіння з вологістю, яка від 1 до 2 % менша за критичний рівень.

Узимку температура сухого та середньо-сухого зерна не повинна перевищувати 10 °С, що сприяє стійкості до ураження шкодочинними організмами. Навесні висота завантаження зерна не впливає на стійкість зберігання [2].

Під час розташування зерна різних сортів пшениці та жита неприпустимо змішувати насіння різних категорій. Важливим показником якості насіння є його вологість, яка має бути не більш ніж 14,0 %. Окрім оптимальних показників вологості та температури, зерно також повинно бути ретельно очищене від зернових і сміттєвих домішок. Під час зберігання насіння пшениці та жита треба контролювати температуру, вологість, наявність шкідників, колір, запах, його схожість. Перевіряти насіннєве зерно потрібно раз на місяць. У разі підвищення температури в зерновій масі, наявності запаху плісняви або інших ознак погіршення зерно негайно охолоджують і сушать. Можна використовувати як активний, так і пасивний способи охолодження та сушіння як на зерносушарках, так і сонячно-повітряним способом. Для виробництва хліба застосовують борошно пшениці з м'яких сортів, з вмістом білка до 14 % і високоякісною клейковиною. Водночас на кондитерські вироби використовують борошно із пшениці із вмістом білка від 9 до 11 % і високим умістом крохмалю.

Головною сировиною для виробництва борошна є зерно пшениці та жита, які мають високу поживну цінність. До складової частини зернівки пшениці входять: плодова оболонка – від 4,2 до 6,3 %, насіннєва оболонка – від 3,1 до 4,8 %, алейроновий шар – від 6,0 до 10,5 %, ендосперм – від 74 до 85 %, зародок – від 1,4 до 3,1 %. До складової частини зернівки жита входять: плодова оболонка – від 4,8 до 5,5 %, насіннєва оболонка – від 1,9 до 2,8 %, алейроновий шар – від 10,0 до 13,0 %, ендосперм – від 75 до 79 %, зародок – від 3,4 до 4,0 % (табл. 12.1).

Таблиця 12.1 – Масове співвідношення складових частин зернівки пшениці й жита, %

Складова частина зерна	Пшениця	Жито
Плодові оболонки	4,2–6,3	4,8–5,5
Насінні оболонки	3,1–4,8	1,9–2,8
Алейроновий шар	6,0–10,5	10,0–13,0
Ендосперм	74–85	75–79
Зародок	1,4–3,1	3,4–4,0

Зерно жита за своєю структурою та співвідношенням складової частини схоже на зерно пшениці, але має свої особливості. Жито в основному застосовується для виготовлення оббивного та сіяного борошна й не потребує ретельного відділення оболонки й ендосперму.

Хімічний склад зерна жита відрізняється від хімічного складу зерна пшениці тим, що воно має менший уміст білка. Окрім того, житній білок не утворює зв'язної клейковини через високий уміст слизу, який і перешкоджає формуванню зв'язної клейковини. Жито має нижчий уміст крохмалю, ніж пшениця, і легше піддається клейстеризації.

Переробні підприємства виробляють борошно різних сортів. Так, із зерна пшениці виробляють оббивне борошно, односортне, з виходом приблизно 96 %, другий сорт односортного борошна – 85 %, двосортне та трисортне з виходом 78 %, односортне поліпшене другого сорту – 77 %, трисортне з виходом 75 %, першого сорту односортне з виходом 72 %, двосортне або односортне з виходом 70 %. Із зерна жита виробляють оббивне односортне з виходом 95 %, шеретоване односортне з виходом 87 %, двосортне з виходом 78 %, сіяне односортне з виходом 63 %.

Також із суміші пшеничного та житнього зерна виготовляють односортне пшеничнo-житнє борошно. Під час виготовлення такого борошна використовують 70 % пшеничного зерна та 30 % житнього зерна. Вихід такого борошна становить 96 %. У виготовленні житньо-пшеничного борошна використовують 60 % житнього зерна та 40 % пшеничного зерна, а вихід такого борошна становить 95 %.

Порівняння біохімічного складу пшеничного та житнього борошна показує, що оббивне борошно найбільш близьке за біохімічним складом до зерна. У такому борошні менше золи, від 0,07 до 0,1 %, а клітковини від 0,15 до 0,20 %, порівняно із зерном. Водночас інші компоненти практично ідентичні зерну.

Високосортне борошно містить дещо меншу кількість білка, жиру, золи, ніж низькосортне. Це можна пояснити тим, що вищий ґатунок виготовляється із внутрішнього шару ендосперму, який складається в основному із крохмалю і високоякісного білка. Вищі сорти борошна мають низьку кількість вітамінів і поживних речовин, які перебувають в основному на периферії зерна і не потрапляють до борошна. Саме тому борошно вищого ґатунку вітамінізують.

Якщо порівняти пшеничне та житнє борошно за низкою показників, то відмітимо, що в житньому борошні міститься дещо менше білка, який не формує клейковину. Житнє борошно містить дещо менше крохмалю завдяки більшій кількості клітковини, цукрів і слизу, що пов'язано з хімічним складом зерна жита [3].

Зберігання та переробка зерна ячменю. Зерно ячменю переважно вкрите квітковими плівками, які прилягають до плодової оболонки, нижня плодова оболонка має остюк. Характерною особливістю складу зерна ячменю є декількошаровий алейроновий шар, що зазвичай складається з 5–6 рядів клітин.

Уміст жиру коливається від 1,8 до 3,0 %, а клітковини від 3,0 до 4,0 %. Уміст крохмалю коливається в межах від 65 до 75 %, білка – від 7,0 до 17,0 %. Зерно ячменю має свої специфічні властивості. Квіткова плівка має грубу поверхню і остюки на зернівці, що робить його менш сипучим, із природним кутом укосу від 28 до 35°, та більш шпаруватим, від 45 до 55 %, порівняно із житом. Ячмінь – культура з коротким періодом вегетації, що дозволяє розпочати збирання в ранні строки.

Умови зберігання зернової маси ячменю подібні до умов зберігання зерна пшениці та жита. Зерно ячменю використовують на харчові, кормові та пивоварні цілі. Зерно пивоварного ячменю має особливі вимоги. Під час збирання зерно має бути виповнене, мати гарну вирівняність, невелику плівчастість, світлий колір, гарну схожість, енергію проростання, більш високий уміст крохмалю та достатній уміст білка.

Ячмінне борошно змішують із пшеничним або житнім борошном і випікають хліб. Існує два види ячмінного борошна. Перший вид має 75 % вихід, готується за односортного розмелювання. Із зерна ячменю видаляють квіткові плівки та приблизно 15 % висівок. Воно має біле забарвлення із синім відтінком, зольністю приблизно 1,9 %. Другий вид борошна має вихід 87 %, виготовляють із зерна, із якого видалено квіткові плівки, та від 2 до 3 % висівок. Це борошно крупніше, має темніший колір.

Із зерна ячменю також виготовляють різні види круп. Основними показниками якості зерна для виробництва круп із зерна ячменю є колір, запах, що відповідають нормальному здоровому зерну, відсутність насіння бур'янів, інших сміттних і зернових домішок, вологість зерна має бути не менш ніж 14,5 %.

Найважливішими показниами для зерна, що використовується для виробництва круп, є плівчастість, однорідність за типовим і сортовим складом, крупність і вирівняність.

Плівчастість – це присутність квіткових, насіннєвих або плодових оболонок у зерні. У таких культур, як рис, просо, овес і ячмінь, наявні квіткові плівки, а у гречки та гороху – плодові оболонки. Плівчастість – це показник, який виражається у відсотках, відношенням ваги відокремлених квіткових плівок або плодових оболонок до ваги чистого зерна. Що менша плівчастість, то кращі технологічні властивості зерна. Плівчастість – показник, який можна використовувати для визначення вмісту ядра й орієнтовного виходу крупи.

Однорідність за типовим і сортовим складом є однією з головних ознак круп'яних властивостей зерна, оскільки різні типи й сорти зерна мають різні структурні та механічні властивості. Суміші зерна, які мають різну стійкість до руйнування, ускладнюють процес переробки та призводять до низького виходу крупи та її якості.

Крупність і вирівняність зерна мають також значний вплив на вихід крупи та її якісні показники. Що більший розмір зерна, то краща якість обробки. Більш крупні зерна краще обрушуються, менше зерна подрібнюється. Вирівняність більшого зерна зменшує дроблення ядра, збільшує вихід і покращує якість крупи.

Консистенція ендосперму визначається показником склоподібності зерна. У зернових культур розрізняють склоподібні, напівсклоподібні та борошнисті зерна. Склоподібні зерна менше дробляться під час обрушування та подрібнюються під час шліфування, що приводить до отримання більшого виходу якісної крупи.

Залежно від виду зерна крупи поділяються на такі види: пшеничні, ячмінні, вівсяні, кукурудзяні, гречані й інші. За технологією виробництва крупи поділяють на номери та сорти.

Крупи з коротким терміном варіння виготовляють із пропареного зерна. Для виробництва крупи з коротким часом варіння крупу зволожують, пропарюють, а іноді розплющують і сушать.

Залежно від технології виробництва ячмінні крупи поділяються на перлові та ячні. Перлову крупу виготовляють з ядра ячменю, звільненого від квіткових плівок і відшліфованого. Перлові крупи поділяються на п'ять номерів – від 1 до 5. Крупи першого та другого номерів мають продовгувату форму відшліфованого цілого зерна ячменю білого або жовтуватого забарвлення. Крупи третього, четвертого та п'ятого номерів мають округлу форму подрібнених і відшліфованих частинок зерна ячменю білого забарвлення з темними смужками на місці борозенки. Також виробляють перлові крупи з коротким часом варіння та крупи, які не потребують варіння.

Ячневі крупи – це подрібнені частинки зерна різних розмірів і форм. Їх виробляють зі склоподібних зерен ячменю. За розміром ячневі крупи ділять на три сорти – від 1 до 3. Частинки ячневої крупи мають неправильну форму з гострими гранями і жовтувато-сірим забарвленням.

Ячневі крупи варять від 40 до 50 хв, а перлові – від 60 до 90 хв. Час приготування залежить від розміру крупинок. Крупи номер один готуються довше, ніж крупи номер два, а крупи номер два готуються довше, ніж крупи номер три. Ячмінні крупи під час варіння збільшуються в об'ємі від 5 до 6 разів. Ячмінні крупи використовуються на харчові цілі, для приготування каш і супів. Ячні крупи після варіння мають в'язку консистенцію, а перлові є розсипчастими [4].

Зберігання та переробка зерна вівса. Вага зерна в нижній частині волоті зазвичай удвічі більша за інші зерна суцвіття. Це спричиняє значну нерівномірність ваги зерен за крупністю. Присутність остюків і витягнутих кінців плівок унеможливлює щільну укладку зерна у сховищі. Натура зерна вівса набагато нижча, а шпаруватість більша порівняно з іншими зерновими культурами.

Деякі зерна вівса в суцвітті достигають швидше у верхній частині, а потім уже в нижній частині. Отже, вологість і ступінь стиглості зерен будуть різними, дану особливість потрібно враховувати під час закладання зерна вівса на зберігання.

Зерно вівса має від 30 до 50 % крохмалю, від 9 до 16 % білка, від 7 до 13 % клітковини, від 3 до 5 % золи та від 3 до 6,5 % жирів. Зерно вівса має набагато більше жирів порівняно з такими культурами, як пшениця, жито та ячмінь.

Овес має велику квіткову плівку й остюки, що ускладнює його сипучість. Кут природного укосу зерна вівса коливається від 30 до 50 % і є більшим у порівнянні з насипом інших зернових культур. Він також має високу шпаруватість, яка коливається від 50 до 70 %, і велику кількість повітря в міжзернових просторах, яке є поганим провідником тепла, що призводить до нижчої теплопровідності вівса порівняно із пшеницею за зберігання в тих самих умовах.

Через велику різницю у вазі зерен під час переміщення вівса відбувається їх самосортування. Під час завантаження зерна у сховищі на поверхні схилу формується шар, у якому міститься деяка кількість органічних домішок. Під час зберігання зерна в силосах воно котиться по конусу впритул до стіни. Частина зерна, відокремлена шляхом самосортування, має набагато більшу швидкість

дихання, ніж решта маси, незважаючи на однаковий уміст вологи. Тому процес самосортуваня створює ризик самозігрівання. Проведення якісної очистки зерна вівса від сміттєвих і зернових домішок значно зменшує процес самосортування та підвищує стійкість зерна під час зберігання.

Свіжозібране зерно вівса має дуже короткий термін зберігання порівнянно із пшеницею та житом. За однакових умов зберігання зерна у сховищах процес самозігрівання у вівса відбувається набагато швидше, ніж у пшениці. Причинами цього, безсумнівно, є велика кількіть вологих і недозрілих зерен і здатність до самосортування. У збільшенні температури важливу роль відіграє пліснява, яка накопичується та розвивається в мікротріщинах квіткових плівок. Технологія зберігання зерна вівса така ж, як і для решти зернових культур. Для проведення охолодження та досушування зерна використовують ті ж машини, що й для інших сільськогосподарських культур. Спочатку сушінню піддається вологе зерно з високою температурою або ж уражене шкідниками. Зерно вівса висихає дещо скоріше порівняно з іншими зерновими культурами. Якщо під час сушіння використовувати високі температури нагріву, квіткова плівка може відокремитися і навіть загорітися в сушарці. Максимальна допустима температура нагрівання зерна вівса становить приблизно 50 °С за температури теплоносія 120 °С.

Вівсяна крупа виготовляється із зерна вівса, яке відповідає вимогам стандарту на крупу вівсяну. Залежно від способу переробки вівсяна крупа поділяється на декілька видів:

1. Вівсяна крупа пропарена неподрібнена, яку отримують із пропареного зерна вівса або крупи. Цей вид крупи має бути відшліфований.
2. Вівсяна крупа плющена, яку отримують із пропареної шліфованої крупи.

Ці види вівсяних круп залежно від якісних показників поділяються на два сорти: вищий і перший. Також переробна промисловість виготовляє вівсяні пластівці під назвою «Геркулес», які отримують з вівсяної шліфованої крупи пропарюванням, плющенням і сушінням. У процесі виготовлення вівсяних пластівців крупу повторно шліфують, відбирають борошенце та сортують за фракціями. Надалі всі операції здійснюються відповідно до схеми виробництва пластівців «Геркулес». Усі види пластівців «Геркулес» мають світложовте забарвлення з різними відтінками, нормальний смак і запах, характерний для пропареної вівсяної крупи. Для тривалого зберігання вівсяних круп їхня вологість має бути не більш ніж 12 %, а для повсякденного споживання не більш ніж 14 %.

Для приготування толокна використовують борошно з вівсяного ядра, яке замочують у воді за температури 35 °С протягом двох годин, доводячи його вологість до 30 %, обробляють парою під тиском від 1,5 до 2,0 атмосфери від 1,5 до 2,0 год, сушать до вологості 5–6 %, охолоджують, обрушують та подрібнюють на вальцових верстатах. Вологість толокна має становити 10 %, зольність не повинна перевищувати 2 %, ступінь розмелювання на ситі шовковому номер 27 має становити до 2 %, прохід через шовкове сито номер 38 – не менше 60 %. Вівсяні пластівці містять повноцінний білок, але слабо розварюються і погано збільшуються в об'ємі у процесі варіння.

Зберігання та переробка зерна кукурудзи. Зібране зерно кукурудзи з поля є нестійким об'єктом під час зберігання через високий уміст вологи, органічних і мінеральних домішок і потребує швидкої доробки. Післязбиральна обробка зерна кукурудзи передбачає видалення сміткої та зернової домішки, сушіння, охолодження та, за необхідності, сортування.

Кукурудзу після збирання можуть зберігати у формі качанів або зерна. Після збирання качани кукурудзи з підвищеною вологістю можна зберігати від 3 до 4 днів, а зерно – від 3 до 4 год. Через низьку стійкість качанів і зерна до умов навколишнього середовища необхідно проводити спеціальні заходи для уникнення небажаних процесів і зниження показників якості зерна.

Одним із поширених способів зберігання кукурудзи натепер є зберігання зерна кукурудзи в полімерних рукавах. Чим більша вологість зерна й температура навколишнього середовища, тим коротший термін зберігання зерна в рукавах.

Недоліком такого зберігання є вразливість плівки до механічного пошкодження. Хоча плівка й міцна, усе ж таки є ризик розгерметизації через пошкодження її гризунами та птахами.

Для завантаження полімерних рукавів застосовують зернопакувальні машини, які складаються з бункера наземного перевантажувального та трактора. На обладнання пакувальної машини вдягають складений полімерний мішок, на шнек подають потік зерна з бункера. Завантажений рукав герметично закривають. Під час завантаження стежать, щоб рукав був оптимально заповнений. Якщо рукав заповнений менше, то можуть утворитися складки, якщо більше – рукав розтягується.

Полімерні рукава забезпечують добру герметизацію запакованої кукурудзи. У рукаві поступово знижується рівень кисню та збільшується концентрація вуглекислого газу. Даний процес відбувається завдяки диханню зерна та біологічній активності живих організмів. За деякий час у полімерних рукавах формуються умови, несприятливі для життєдіяльності комах і збудників хвороб.

Порівняно із традиційними способами зберігання рукав не потребує постійного переміщення або активного вентилювання зерна, це зменшує механічні пошкодження зерна та витрати на електроенергію. За відповідної підготовки зерна продукція після розпакування рукавів не потребує фумігації. Разом дані чинники роблять рукава ефективним способом зберігання зерна для сільськогосподарських підприємств.

Важливим етапом застосування полімерних рукавів є правильна підготовка зерна, відповідний майданчик для їх розташування та постійний контроль їхнього стану.

Кукурудза зазвичай найбільш уразлива до плісняви через високий уміст вологи на початку зберігання. Зернівка кукурудзи має свої особливості. Під час сушіння зародок втрачає вологу швидше, ніж інші частини зерна. І навпаки, якщо рівень вологи в зерні високий, уміст вологи в зародку буде вищим, ніж у зерні. Така особливість зерна кукурудзи має велике практичне значення. Зародок містить багато важливих поживних речовин, а ступінь його вологості має значний вплив на швидкість біохімічних процесів у зерні та розвиток

пліснявих грибів. Вбирання вологи зародком можна пояснити його складом. Зародок містить орієнтовно 30 % білка та 80 % мінеральних солей.

Вага зародку широко варією серед гібридів кукурудзи, коливається від 8,3 до 13,2 % від ваги зерна. Залежно від ботанічної групи, розмір зародку становить від половини до 2/3 довжини зернівки. Зародок також має велику кількість жиру, коливається від 77 до 89 % від загальної кількості в зерні.

Під час сушіння необхідно враховувати той факт, що зерно кукурудзи більше порівняно з іншими зерновими культурами, вирізняється за розміром, вологістю та ступенем зрілості. Загальна поверхня зерна кукурудзи за того самого об'єму дещо менша, ніж поверхня інших зернових культур. Зерно кукурудзи має щільну структуру ендосперму й оболонки із прилеглим до неї рогоподібним шаром, що уповільнює перехід вологи із внутрішнього шару на зовнішній шар зерна. Отже, зерно дуже чутливе до температури теплоносія і до нагрівання. Високі температури спричиняють розтріскування зернівки, часто дуже глибокі тріщини. Чим більше зерно, тим більші тріщини. Інколи зовнішня поверхня зерна вкрита мережею тріщин настільки щільно, що видно крізь оболонку. Тріщини в основному знаходяться в ендоспермі та в рогоподібному шарі. Потріскане зерно інтенсивно уражується пліснявою, його міцність знижується, воно легко кришиться під механічним впливом. Дроблення посилюється, коли таке зерно переміщують конвеєром або підйомниками, скидають з висоти або піддають різноманітним іншим впливам.

Залежно від напряму використання, у сушінні зерна на продовольчі цілі допускається температура агента сушіння не більш ніж 150 °С, а температура нагрівання зерна не більш ніж 50 °С. Якщо зерно планують зберігати тривалий час, то температура агента сушіння має бути не більш ніж 100 °С, а температура нагрівання зерна – до 50 °С. Сире та вологе зерно сушать у два етапи. Перший етап – сушіння зерна кукурудзи до вологості 17–18 %, другий етап – сушіння до 13,5–14,0 %. Варто пам'ятати, що після сушіння вологість зерна збільшиться від 0,3 до 0,45 % завдяки гігроскопічності.

Під час зберігання зерна кукурудзи варто пам'ятати про її ступінь стиглості, засміченості сміттєвими та зерновими домішками, ушкодженості або потрісканості зерен, ураження грибковими хворобами та зараженості шкідниками. Кукурудза менш стійка у зберіганні, ніж інші зернові культури. Зерно кукурудзи є придатним до зберігання з вологістю 14 % і нижче. Очищене зерно кукурудзи краще зберігати у складах з активною системою вентиляції [5].

Зберігання насіннєвої кукурудзи потребує особливої уваги. Насіннєву кукурудзу зберігають у мішках. Мішки розміщують на дошках, покладених на піддони. Ширина штабеля не повинна перевищувати 2-х мішків, складених упритул один до одного. Між штабелями та стінами мають бути передбачені проходи завширшки від 0,5 до 1,0 м. Висота штабеля в холодний період має становити до 8 мішків, а в теплий період до 4 мішків.

Із зерна кукурудзи, як із більшості зернових культур, виробляють крупи. Існує два види кукурудзяної крупи: шліфована та подрібнена. Шліфована – це частинки ядра, отримані після відділення плодових оболонок і зародка, зашліфовані, із заокругленими гранями. Залежно від розміру частинок кукурудзяна

крупа ділиться на 5 номерів. Найбільші крупи – це крупи під номером 1, а найменші під номером 5 (табл. 12.2).

Таблиця 12.2 – Характеристика шліфованої кукурудзяної крупи

Номер крупи	Діаметр отворів (мм) двох сит для визначення		Норма проходу й залишку для кожного із двох сит окремо, %, не менше
	проходу	залишку	
1	4,0	3,0	80
2	3,0	2,5	80
3	2,5	2,0	80
4	2,0	1,5	80
5	1,5	0,56	80

Кукурудзяні крупи мають довготривалий процес варіння, який становить орієнтовно одну годину. Після варіння кукурудзяна крупа збільшується за об'ємом у три-чотири рази. Текстура каші тверда, вона має особливий смак.

12.2. Умови зберігання і переробки зерна гречки та проса

Зберігання та переробка зерна гречки. Плід гречки – тригранний горішок, що складається з міцної плодової оболонки, зародку, насіннєвої оболонки, алейронового шару й ендосперму. Плівчастість зерна гречки коливається від 20 до 25 %. Плодова оболонка формується із 3-х пелюсток, які вільно покривають ядро, і зростається лише в одній центральній точці – у центрі основи ядра. Під механічним впливом зовнішні пелюстки оболонки відокремлюються, оголюючи ядро, що спричинює ураження плісенню. Між ядром і плодовою оболонкою є порожнина, розмір якої змінюється залежно від форми зерна. Чим більша крилатість у зерна гречки, тим більший повітряний простір між ядром і оболонкою і тим більша плівчастість зерна. І навпаки, більш куляста форма зерна гречки має меншу порожнину між ядром і оболонкою, меншу плівчастість. Існує зв'язок між формою зерна та її натурною вагою: чим більш безкрилі зерна, тим плід виповненіший і тим більша натурна вага.

Головними чинниками, які впливають на збереженість зерна та їхні показники якості, є вологість, температура, умови аерації та рівень засміченості. У сільськогосподарських культур ці чинники мають деякі відмінності один від одного. Інтенсивність дихання зерна гречки з вологістю від 15 до 17 % набагато менша, ніж в інших зернових культурах, що зумовлює кращу стійкість під час зберігання. Варто пам'ятати, що інтенсивність дихання значно знижується за зменшення температури зерна. Під час збирання врожаю температура зерна гречки коливається від 15 до 18 °С. За умови, якщо вологість зерна буде не більш ніж 16 %, зерно гречки зберігатиметься після післязбиральної обробки до настання холодів. Якщо вологість збільшуватиметься до 17 %, то зерно втрачає стійкість і незабаром покривається плісенню.

Активне вентилювання та сушіння є головними засобами, за допомогою яких зерно гречки приводять до нормального стану для зберігання.

Зерно гречки має ребристу форму і, як наслідок, її шпаруватість становить приблизно 55 %. Завдяки такій шпаруватості зерно дуже легко піддається сушінню. Під час сушіння зерна гречки на зерносушарках температура нагріву зерна не має бути більшою за 45 °С, щоб запобігти розтріскуванню зерна та погіршенню її якості.

Зерно гречки має високу крихкість. Під час механічної обробки та проходження через ряд ворохоочисних машин особливо висушене зерно подрібнюється, що часто призводить до погіршення його якісних показників. Тому активне вентилювання вважається найбільш доцільним способом сушіння зерна гречки.

За технологією виробництва гречані крупи можна розділити на звичайну ядрицю, швидкорозварювальну ядрицю, проділ звичайний, проділ швидкорозварювальний. Крупа ядриця – це ціле гречане ядро з видаленими плодовими оболонками. Ядриця має зелене або кремове забарвлення. Проділ – це подрібнена крупа, яка утворюється під час виробництва крупи ядриці.

Гречані крупи, які швидко розварюються, виробляються за допомогою термічної обробки звичайної гречаної крупи. Тривалість варіння звичайної гречаної ядриці коливається від 30 до 40 хв, гречаної ядриці, яка швидко розварюється, від 15 до 20 хв. У результаті варіння гречана ядриця суттєво збільшується в об'ємі, від 5 до 6 разів. Це приводить до підвищення поживних якостей круп. Проділ готується швидше за ядрицю, орієнтовно 20 хв, але має меншу поживну цінність. Каша, зварена із проділу, має в'язку структуру. Звичайна та швидкорозварювальна гречана ядриця поділяється на 3 сорти: перший, другий, третій.

Проділ на сорти не поділяється. Також виробляють крупи із зерна гречки, які не потрібно варити. Гречані крупи для дитячого споживання виробляють із зерна гречки, отриманого на полях, де не застосовувалися пестициди.

Дієтичне гречане борошно виготовляється із гречаної ядриці першого сорту, така крупа піддається повторному проходженню через очисні машини, потім крупу миють теплою водою, температурою від 35 до 40 °С, з наступним сушінням у сушарках до 10 % вологості, а потім двічі пропускають через вальцові верстати.

Крупність дієтичного борошна визначається за залишком на шовковому ситі номер 27 до 2 % та проходженням через шовкове сито номер 38 не менше 60 % [6].

Зберігання та переробка зерна проса. Просо – це важлива круп'яна культура. Квіткові плівки гладеньки, шкірясті й міцно прикріплені до ядра. Плівчастість зерна проса становить від 15 до 30 %. Просо має сферичну форму із гладкою поверхнею, високою сипучістю, кут природного укосу коливається від 20 до 25°, шпаруватість – від 30 до 50 %. Зерно має великий зародок, на який припадає до 25 % об'єму та від 6 до 7 % його ваги, порівняно з хімічним складом зернових культур у зернівці проса досить високий уміст жирів. Найбільше жиру в зародку, до 25 %, і алейроновому шарі, до 9 % від його ваги.

Під час коротких періодів впливу високої вологості квіткова плівка проса запобігає значному зволоженню зерна. Плівка затримує потрапляння атмосферної вологи й сповільнює життєдіяльність, тобто сприяє його збереженню.

Якщо квіткова плівка пошкоджена або цілком видалена внаслідок недбалого обмолоту, стійкість зерна до зберігання значно знижується. Таке зерно схильне до пліснявіння, передусім пошкоджується зародок. Жир обрушених зерен швидко прогіркає через відсутність квіткової плівки, яка дозволяє кисню легко проникати всередину.

Зразу ж після збирання зерно проса має нерівномірний ступінь зрілості. Уміст вологи в нижчій частині волоті коливається від 27,5 до 27,7 %, що більше від 4 до 6 %, ніж на верхній частині суцвіття. Інтенсивність дихання вологого зерна в кілька разів вища. Таке неоднорідне зерно менш стійке під час зберігання. Також зерно різного ступеня стиглості буде неоднорідним за індивідуальною виповненістю зерен, що, безсумнівно, призведе до самосортування [7].

Кількість обрушених зерен може становити до 30 %. Обрушене або ушкоджено зерно більш сприятливе до ураження мікроорганізмами, ніж цілі зерна. У такому зерні можна спостерігати велику кількість плісеневих зерен. Головними чинниками, що впливають на стійкість зерна проса під час зберігання, є вологість, температура й умови аерації. Інтенсивність дихання зерна проса з вологістю 18 % практично у 30 разів вища, ніж за вологості 14 %. За температури зерна від 18 до 21 °С процес самозігрівання розпочинається за 2–3 доби. У разі зменшення температури сирого зерна із 25 до 5 °С швидкість дихання сповільнюється в кілька разів.

Зерно проса з вологістю понад 15,0–15,5 % уважається нестійким під час зберігання. В осінній період за 3–4 тижні зберігання в зерні проса розпочинається процес самозігрівання. За тривалого зберігання вологість зерна проса має бути менш ніж 15 %, але не меншою за 13,5 %, оскільки під час виробництва менш сухого зерна знижується вихід крупи.

Головними способами доведення проса до стану, придатного до зберігання, є очищення, охолодження та сушіння. Смітні домішки мають значно вищий уміст вологи, ніж зерно, тому необхідно провести очищення від домішок, оскільки вони можуть спричинити процес самозігрівання.

Окрім сміттєвих домішок, у просі також наявні зернові домішки – дрібні або биті зерна проса, що спричиняють розвиток плісняви та шкідників, особливо кліщів. Видалення домішок із проса потрібне не тільки для покращення стійкості в період зберігання, але й для виготовлення високоякісної першокласної крупи.

Для зниження температури зерна проса найкраще проводити активне вентилювання. Через низьку шпаруватість просо створює значний опір потоку повітря під час вентиляції. Тому воно потребує більш інтенсивної вентиляції, ніж інші зернові культури. Щоб покращити процес вентиляції, необхідно дещо знизити висоту насипу. Умови зберігання значно покращуються, якщо температура зерна вночі знижується до 15–10 °С. За зниження температури навколишнього середовища просо потрібно охолоджувати до температури нижче 0 °С.

Під час сушіння проса на зерносушарках температура нагрівання зерна має бути не більшою за 40 °С, а температура теплоносія не повинна перевищувати

70…80 °С. Більш високі температури нагріву можуть спричинити тріщини в оболонці та ядрі зерна, що призведе до великої кількості подрібнених зерен під час виготовлення крупи.

Під час зберігання зерна проса варто звертати увагу на розмір зерен і їхню високу сипучість. Тому стіни та підлога мають бути ретельно перевірені на наявність щілин.

Із зерен проса виробляють пшоно. Пшоно буває тільки одного різновиду – пшоно шліфоване, яке має біле або жовте забарвлення. Жовте просо має найкращі споживчі характеристики. Ядро склоподібне й дуже смачне. Каша з такого пшона має добру розсипчастість. Біле пшоно має борошнисте ядро. Пшоняна крупа вариться від 40 до 50 хв. Під час варіння об'єм пшона збільшується в 6–7 разів. Пшоняна крупа поділяється на 3 сорти: вищий, перший і другий. Також виробляють пшоно шліфоване швидкого приготування (табл. 12.3).

Таблиця 12.3 – Норми якості пшона різних сортів

Показник	Вищий	Перший	Другий
Доброякісне ядро, %, не менше	99,2	98,7	98,0
Зокрема: ядра биті, не менше	0,5	1,0	1,5
Смітна домішка, %, не більше	0,3	0,4	0,4
Зокрема: мінеральна домішка, не більше	0,05	0,05	0,05
Шкідлива домішка, не більше	0,05	0,05	0,05
Гірчак, в'язель, %, не більше	0,02	0,02	0,02
Зіпсовані ядра, %, не більше	0,2	0,5	0,8
Необлущені зерна, %, не більше	0,3	0,4	0,6

Пшоняні крупи всіх сортів мають бути з нормальним смаком і запахом, жовтого забарвлення з різними відтінками, вологість круп не повинна перевищувати 14 %.

Пшоно шліфоване швидко розварюється і значно збільшується в об'ємі під час варіння. Пшоняні крупи застосовуються для приготування каш, супів та інших страв. Також їх використовують у виготовленні різних харчових концентратів [8].

12.3. Умови зберігання і переробки зернобобових культур

Зберігання та переробка зерна сої. Соя зазвичай збирається тоді, коли погіршуються погодні умови, знижується температура та збільшується вологість повітря. Як наслідок, уміст вологи в зерні високий. У результаті біологічні властивості та хімічний склад зерна сої спричиняють її нестійкість під час зберігання. Температура й вологість зерна, а також аерація зернової маси мають вирішальний вплив на умови зберігання.

Інтенсивність дихання зерен різко зростає за високої вологості. Наявність розколотих або подрібнених зерен має значний вплив на зберігання соєвих

бобів. Дихання вологих розколотих зерен збільшується до шести разів порівняно із цілими зернами. Це пов'язано з розвитком пліснявих грибів на звільненій від оболонки поверхні ядра.

Соя може зберігатися за вологості зерна від 10 до 12 %. Сушіння сої здійснюється повітряно-сонячним способом і активним вентилюванням, подаванням сухого теплого повітря. Звичайне сушіння на зерносушарках проводять досить обережно. За швидкого сушіння волога випаровується з верхньої частини ядра та його внутрішніх шарів із різною інтенсивністю. Зовнішній шар висихає настільки інтенсивно, що волога у внутрішньому шарі не встигає перерозподілитися і рухатися до поверхні зерна. Розмір висохлої зовнішньої оболонки швидко зменшується. Це призводить до розриву та розломування зерна навпіл [9].

Окрім того, швидке сушіння призводить до запарювання і значного погіршення схожості. Тому соєві боби варто сушити у два-три етапи. Температура агента сушіння на першому етапі має становити 25 °С, на другому – від 30 до 35 °С, третьому – від 50 до 60 °С. Збільшення температури на кожному етапі має бути тим менше, чим вища початкова вологість зерна сої. У цих режимах сушіння зерно сушиться рівномірно. Під час процесу сушіння ретельно контролюють температуру й стан зерна. Якщо збільшується кількість зерен із тріщинами на оболонці або змінюється колір, температуру знижують з одночасним посиленням вентиляції. Не можна піднімати температуру агента сушіння більше 50…60 °С.

Соя має зберігатися в добре вентильованих сухих складах з дерев'яною або асфальтованою підлогою. Завантажувальна висота сухого зерна сої повинна бути не більш ніж 2,0 м, завантажувальна висота вологого зерна в короткостроковому зберіганні повинна бути не більш ніж 0,5 м.

Під час зберігання насіннєвої сої необхідно проводити ретельний догляд, щоб зберегти її посівні якості. Узимку штабелі насіннєвої сої мають бути висотою 1,5 м з вісьмома мішками у штабелі, у літній період штабелі варто зменшувати на третину, до 0,5 м і двох мішків відповідно. Між штабелями треба залишати проходи шириною від 0,5 до 0,75 м. Схожість насіння швидко знижується, коли насіння зберігається в несприятливих умовах. Зазвичай через 3–4 роки насіння втрачає життєздатність, схожість стає поганою. Тому насіння варто зберігати в сухих, добре провітрюваних сховищах. Одразу після збирання з насіння видаляють сміттєву та зернову домішки, за необхідності проводять сушіння до 10 % вологості за найнижчих температурних умов.

У результаті переробки сої можна отримати для виробництва продукти з великим умістом легкозасвоюваного функціонального білка. Уміст білка в сої коливається від 25 до 35 %. Соєва макуха містить від 39 до 42 % білка. Соєвий шрот містить від 40 до 48 % білка.

Соя містить інгібітори трипсину, які є антипоживними речовинами й перешкоджають перетравленню соєвого білка за вживання в їжу. Високотемпературна короткочасна обробка під тиском у соєвому екструдері зменшує кількість інгібіторів трипсину.

Переробляючи сою на власному підприємстві, споживачі кормів можуть бути впевнені у збереженні білкового статусу, прийнятних рівнях інгібіторів трипсину та відсутності небілкових домішок.

Масову частку білка в соєвих продуктах збільшують шляхом вилучення з бобів небілкових речовин. Добування соєвої олії – один із таких прикладів. У зерні сої міститься 15–25 % жирів [10].

Існує два основні способи переробки сої: екстракційний і механічний. Екстракційна переробка використовує хімічні реакції для вилучення жирів і вуглеводів із сої. Механічна обробка включає дроблення, сортування, пресування та високотемпературну обробку (рис. 12.1).

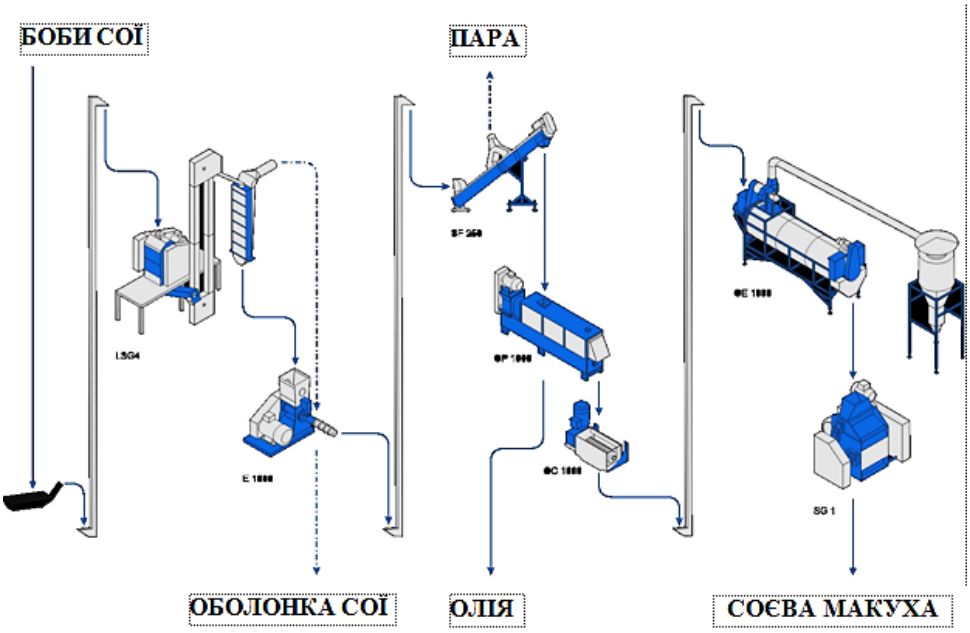


Рисунок 12.1 – Лінія переробки сої

Ці два способи також можна комбінувати. Наприклад, соя з умістом олії від 8 до 17 % спочатку піддається механічному пресуванню для отримання соєвої макухи з умістом олії від 7 до 8 %, а потім в екстракційних реакторах отримують соєвий шрот з умістом олії від 0,5 до 2,0 %. Для ефективної переробки сої необхідно дотримуватися таких вимог: оптимальна вологість зерна сої від 8 до 9 %. Для оптимізації процесу есктрузії та пресування соєві боби сушать безпосередньо перед переробкою. Відсортовують легкі та крупні домішки. За необхідності поділяють за вагою. Уміст домішок не повинен перевищувати 3 %.

Зерно сої потрібно сушити до вологості 8–9 %. Оскільки вологість зерна сої на початку переробки має значний вплив на вихід олії та вміст залишкової олії в макусі. Вологість до 12 % є нормальною для зберігання зерна сої. Однак під час переробки сої з такою вологістю вихід олії буде зменшуватися від 3 до 4 %, уміст білка в макусі зменшиться від 3 до 4 %, а залишковий уміст олії становитиме від 10 до 12 %.

Зберігання та переробка зерна гороху. Хімічний склад зерна гороху має значний вплив на його зберігання. Завдяки високому вмісту білка горох інтенсивно вбирає вологу з навколишнього середовища й міцно її утримує. Вологість зерна й наявність достатньої кількості поживних речовин створюють умови, що підсилюють життєдіяльність як самого гороху, так і мікроорганізмів і шкідників, які живуть на їхній поверхні.

Присутність сміттєвих домішок у зерновій масі гороху зменшує його стійкість під час зберігання. Дрібні домішки, як-от частинки стебла та мінеральні домішки, сприяють утворенню та поширенню шкідливих процесів, а також не дають проводити аерацію зерна.

Зерна гороху, особливо висушені, схильні до розтріскування і дроблення під час збирання та інших технологічних операцій. Зламані та неочищені частини дрібних зерен вразливі до мікроорганізмів і плісняви та швидко пошкоджуються. Вони також більш сприйнятливі до шкідників. Тому наявність великої кількості дробленого зерна вважається суттєвим недоліком.

Первинне очищення – це головний спосіб поліпшення якості зерна гороху. Одразу після надходження горох очищають від сміттєвих і зернових домішок. Кращі умови зберігання гороху створюються за вологості зерна 14 %. Умови сушіння суттєво відрізняються від зернових культур. Горох краще сушити під сонячним промінням. Активне вентилювання сухим теплим повітрям також дає чудові результати [11].

У зерносушарках сушіння гороху потрібно проводити обережно. Під час такого сушіння відбувається розрив оболонки та розрив ядра навпіл, унаслідок чого поверхня оболонки зморщується і забивається пилом. Наявність відкритих частин зернівки й пилу провокує розвиток шкідливих мікроорганізмів і появу шкідників. Режим нагріву та сушіння встановлюється відповідно до вологості зерна. Якщо вологість перевищує 18 %, то максимальна температура нагріву зерна має бути 30 °С, а максимальна температура теплоносія – приблизно 70 °С. Якщо вологість не більше 18 %, то максимальні допустимі температури становлять 40 і 80 °С відповідно. Якщо початкова вологість висока, зерно пропускають через сушарки двічі або тричі.

Зберігаючи горох, пам’ятайте, що його зерно має високу гігроскопічність. Не потрібно зберігати горох у складах із глиняною або бетонованою підлогою. Потрібно контролювати вологість повітря в насипі, а вентиляцію, провітрювання і перекидання гороху треба проводити, якщо ці операції знижують або принаймні не змінюють вологість, але знижують температуру зерна.

Необхідно дотримуватися обережності під час перелопачування, провітрювання, сортування та транспортування сухого зерна, оскільки воно може розколотися внаслідок удару. Необхідно пам’ятати, що довготривале зберігання зерна гороху, навіть за низької вологості (11–12 %), може призвести до значного погіршення якості, як-от поява тьмяного кольору, поява гіркоти та помітне підвищення кислотності.

Під час зберігання найпоширенішим шкідником є горохова зернівка. Важливо знати, що горох не уражується комірними довгоносиками. Головним заходом зі знищення даного шкідника є проведення газації, за температури

насипу більше 12 °С. Горох варто дезінфікувати за 1,5–2,0 місяця після збору врожаю. Оскільки до цього строку газація призводить до зниження посівних якостей зерна. Під час газації вологість зерна гороху має бути не більше 15,5 %. У насіннєвого зерна схожість визначають за 15 діб до й за 15 діб після газації.

Традиційна технологія переробки гороху у крупи передбачає такі етапи: первинне очищення, сушіння, розподіл на фракції, лущення фракцій, сортування продукції, просіювання, шліфування та полірування.

Виробництво гороху за традиційною технологією має кілька недоліків. Це відносно низький вихід кінцевого продукту, складність процесу та кількість операцій, а також висока енергоємність переробки.

Вихід кінцевого продукту становить 77 %. Відходи становлять 23 %, із яких 7 % лушпиння, 6,5 % січки та борошенца, 5 % дрібних зерен, 4 % усушки, 0,5 % механічних втрат. Згідно зі стандартом, колір кінцевого продукту має бути яскравим, він повинен мати нормальний смак і запах [12].

12.4. Умови зберігання і переробки олійних культур

Зберігання та переробка насіння соняшнику. Процес самозігрівання починається однаково для всіх культур. Під час цього процесу сировина розпочинає інтенсивно дихати, виділяє вуглекислий газ і поглинає кисень. Водночас виділяються тепло й волога, а також відбувається процес окислення. Утворюються добрі умови для розвитку бактерій, як наслідок, даний процес стає автономним і розпочинається ураження сусідніх ділянок. Порівняно з іншими культурами соняшник має дуже високу інтенсивність дихання. На даний показник впливає вміст олії. За вмісту в насінні 50 % олії дихання стає в чотири рази інтенсивніше, ніж із 40 % умістом олії.

Процес самозігрівання соняшнику суттєво відрізняється від процесу самозігрівання зернових культур. У зернових культур граничною температурою для процесу самозігрівання є температура 90 °С, після чого всі мікроорганізми гинуть, продукт стає непридатним для кормових цілей. Щодо соняшнику процес самозігрівання поділяється на два етапи: перший етап біологічний, другий етап хімічний. За першим етапом одразу ж слідує другий етап за температури не більше 55 °С, який не закінчується, поки всі мікроорганізми не будуть остаточно знищені, приводячи водночас насіння в непридатність для споживання. Хімічна стадія – це гідроліз олії, де температура підвищується до 300 °С і відбувається декілька хімічних реакцій.

Ще однією властивістю під час зберігання соняшнику є окислення олії в насінні, яке за будь-яких умов відбуватиметься, навіть якщо проводити його охолодження. Дослідження показують, що рівень кислотності підвищується на 0,5 % за 5 місяців зберігання. Під час закладання на довготривале зберігання насіння соняшнику його кислотність має бути менше ніж 1,3 КОН/кг, що дає можливість використовувати сировину тривалий час з допустимими нормами кислотності. Варто також ураховувати,

що за короткочасного нагрівання в насінні соняшнику відбуваються незворотні процеси, збільшується кислотне число, яке, на жаль, неможливо змінити під час подальшого зберігання.

Оптимальна вологість для зберігання соняшнику становить 7 %, за температури 10 °С. За умов підвищення вологості та температури в насінні соняшнику розпочинають розмножуватися шкідливі мікроорганізми, які ще більше підвищують сприйнятливість насіння до проростання. Отже, вологість насіння соняшнику під час тривалого зберігання без проведення активної вентиляції має бути не більше 7 %. Якщо насіння завантажене у сховище для короткочасного зберігання, то допускається зберігати з вологістю дещо більше 7 %.

Підвищення температури у сховищі також впливає на агрономічні показники, погіршується відсоток схожості й енергії росту насіння. Окрім температури та вологості, на тривалість зберігання насіння соняшнику також впливає кількість обрушеного та пошкодженого насіння, яке більш схильне до пліснявіння. Обрушене та пошкоджене насіння класифікується як домішка, яка не повинна перевищувати 2 % за довготривалого зберігання та 3 % за зберігання протягом одного місяців, за умови проведення активного вентилювання [13].

Переробка насіння соняшнику на механічних пресах без використання хімічних речовин і з попереднім нагріванням – це технологія вилучення олії з насіння соняшнику механічним тиском і теплом. Цей процес складається з декількох етапів:

1. Насіння попередньо нагрівають до температури від 70 до 80 °С, щоб зменшити в'язкість олії та покращити процес її видалення.

2. Пресування: підігріте насіння потрапляє до механічного преса. Тиск і тепло, що генерується пресом, вичавлюють олію з насіння.

3. Повторне нагрівання сировини й остаточне пресування олії.

4. Розподіл: олія відокремлюється від твердого залишку, що називається гущею. Надалі олія іде на фільтрування для видалення решти твердих частин (рис. 12.2, див. с. 329).

Важливою особливістю даної технології є те, що в ній не застосовують жодних хімічних речовин, адже вони можуть бути небезпечними для природного середовища та містять деяку кількість залишків у продукті.

Операція з попереднього нагрівання насіння допомагає мінімізувати застосування механічного тиску та максимізувати вилучення олії, що забезпечує отримання якісної макухи з високим умістом протеїну.

У плануванні створення комплексу з переробки соняшнику потрібно враховувати низку технічних питань. Як-от розмір будівлі, кількість електроенергії на об'єкті та підготовка сировини для переробки.

Існують визначені вимоги для підготовки насіння соняшнику для виділення олії. Вологість насіння має коливатися від 7,5 до 8 %, а засміченість смітною та зерновою домішкою не повинна перевищувати 3 % [14].

Зберігання та переробка насіння ріпаку. Для якісного зберігання ріпаку насамперед необхідно звернути увагу на технічне оснащення складу та дотримання відповідних умов і правил зберігання. Для насіння ріпаку краще

виділяти окремі сховища або частину елеватора. Завдяки даним рекомендаціям урожай ріпаку можна зберігати з найменшими втратами, тримати його в чистоті, з високими показниками якості.

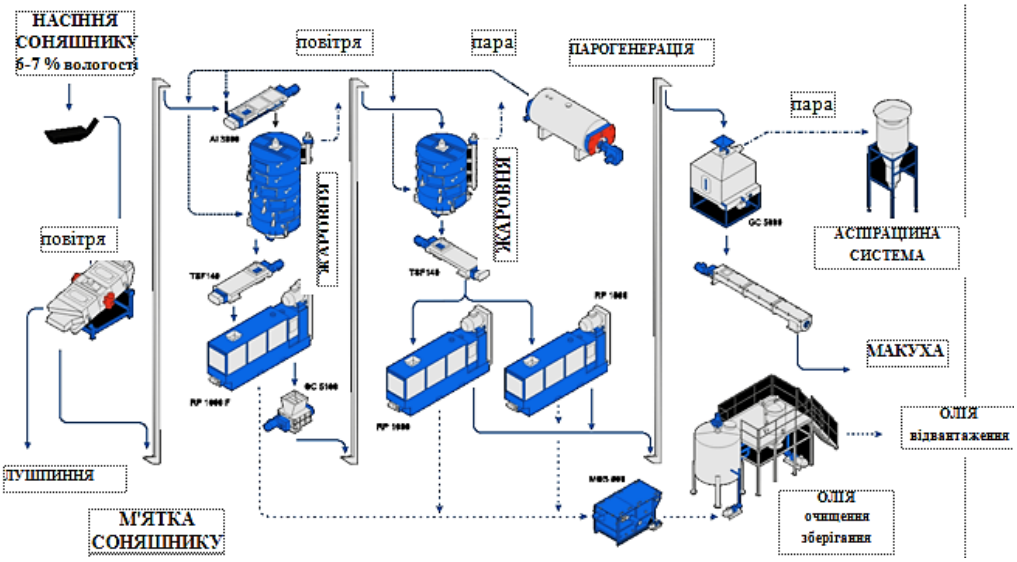


Рисунок 12.2 – Лінія переробки соняшнику

Для більш надійного зберігання ріпаку необхідно знизити вологість насіння до 7 %. Не потрібно забувати, що якісне, товарне насіння ріпаку може зберігатися до 30 діб за вологості 12 %. Насіння, яке використовується на продовольчі цілі, піддається сушінню за температури від 55 до 60 °С. Якщо насіння ріпаку використовується на насіннєві цілі, то температура теплоносія за вологості насіння 16 % має бути не більша ніж 25…27 °С, а за вологості насіння більше 16 % температура теплоносія не повинна перевищувати 30 °С.

У разі закладання насіння ріпаку на тривале зберігання необхідно переконатися, що зерно не має ознак псування або механічних пошкоджень.

Під час зберігання насіння ріпаку велике значення має наявність активного вентилювання у складі та контроль температури зернової маси. Важливо підтримувати температуру нижче 5 °С, навіть коли зерно ідеально сухе. За відповідних умов насіння ріпаку може зберігатися від 2 до 3 років без псування.

Це потребує постійного моніторингу вологості навколишнього середовища повітря у сховищах і умов зберігання ріпаку, особливо температури та його вологості. Адже коли зерно дихає, у його верхніх шарах накопичується волога й зростає температура, що призводить до процесу самозігрівання. Якщо це відбувається у верхніх шарах зернової маси, то потрібно проводити активне вентилювання або ж принаймні перемішувати його.

Натепер олійна промисловість досить добре розвивається. Ріпакова олія широко застосовується на харчові цілі, особливо в кулінарії. Технічна олія ріпаку застосовується в декількох галузях промисловості.

Ріпак перед обробкою потрібно очистити й просушити до 7–9 %.

У лінії паралельно застосовуються 2 преси RP-500. Сировина стискається у пресової камері, ріпакова олія виходить через зазори між ламелями.

Залишкова олійність макухи після виходу із цього преса 22–25 %. Температура пресування max 55…60 °C.

Сировина стискається в зеєрній камері шнекового олійного преса, ріпакова олія виходить через зазори між зеєрними планками. Знежирена ріпакова макуха вивантажується в охолоджувач (рис. 12.3).

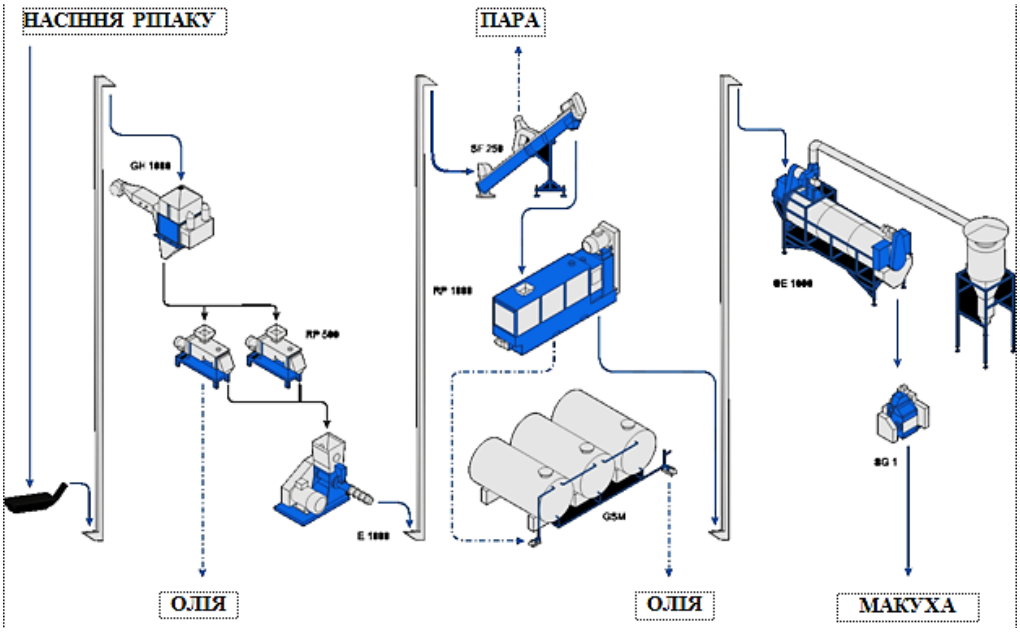


Рисунок 12.3 – Лінія переробки ріпаку

Як харчову, так і технічну ріпакову олію можна виробляти на технологічних лініях за наявності відповідного обладнання, як-от:

— машина для очищення насіння;
— магнітні сепаратори;
— пресове обладнання;
— барабанні сушарки;
— фільтраційне обладнання;
— обладнання для розливу олії;
— обладнання для зберігання виробленої продукції [15].

Завдання та питання для самостійної роботи

1. *Які особливості зерна пшениці та жита враховують у схемі післязбирального обробітку й зберігання?*
2. *За якими показниками оцінюють борошномельні властивості зерна пшениці та жита?*
3. *Які сорти борошна виробляють борошномельні заводи?*
4. *Яке масове співвідношення складових частин зернівки пшениці й жита?*
5. *Які особливості зерна ячменю враховують у схемі післязбирального обробітку й зберігання?*
6. *Показники, які характеризують придатність зерна ячменю для виробництва круп.*
7. *Які крупи виготовляють із зерна ячменю?*
8. *Які особливості зерна вівса враховують у схемі післязбирального обробітку й зберігання?*
9. *Які особливості зерна кукурудзи враховують у схемі післязбирального обробітку й зберігання?*
10. *На які сорти поділяється гречана крупа та за якими показниками характеризується їхня якість?*
11. *На які сорти поділяється пшоно та яка їхня якість?*
12. *Особливості післязбирального обробітку та зберігання насіння сої та гороху.*
13. *Які основні способи переробки сої?*
14. *Основні етапи переробки гороху.*
15. *Процеси переробки насіння соняшнику.*
16. *Особливості зберігання та переробки насіння ріпаку.*

Перелік джерел до розділу 12

1. Богомолов О. В., Верешко Н. В., Сафронова О. С. Зберігання та переробка сільськогосподарської продукції : навчальний посібник. Харків : Еспада, 2008. 544 с.
2. Радченко М. В. Умови для зберігання зерна пшениці озимої. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2018. № 9 (36). С. 49–53.
3. Мерко І. Т. Технології мукомельного і круп'яного виробництва : підручник. Одеса : Друк. дім, 2010. 472 с.
4. Шутенко Є. І., Соц С. М. Техноогія круп'яного виробництва : навчальний посібник. Київ : Освіта України, 2010. 272 с.
5. Мерко І. Т., Моргун В. О. Наукові основи і технологія переробки зерна : підручник. Одеса : Друк. дім, 2001. 348 с.
6. Радченко М. В., Дутченко З. Я. Вплив гідротермічної обробки зерна гречки на вихід та якість крупи. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2013. № 11 (26). С. 128–130.
7. Мельник А. В., Троценко В. І., Жатов О. Г. Рослиництво з основами технології переробки : навчальний посібник. Суми : ВТД «Університетська книга», 2008. 384 с.

8. Жемела Г. П., Шемавньов В. І., Олексюк А. М. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва : підручник. Полтава, 2003. 420 с.
9. Камінський В. Д., Бабіч М. Д., Переробка та зберігання сільськогсподарської продукції : навчальний посібник. Одеса : Аспект, 2000. 456 с.
10. Колтунов В. А. Технологія зберігання продовольчих товарів : підручник. Київ, 2003. 538 с.
11. Осокіна Н. М., Гайдай Г. С. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва : підручник. Умань, 2005. 614 с.
12. Подпрятов Г. І., Скалецька Л. Ф., Сеньков А. М. Зберігання і переробка продукції рослинництва : навчальний посібник. Київ : Мета, 2002. 495 с.
13. Скалецька Л. Ф., Подпрятов Л. Ф., Войцехівський В. І. Товарознавство продукції рослинництва : навчальний посібник. Київ : Арістей, 2005. 496 с.
14. Дацишин О. В., Ткачук А. І., Гвоздєв О. В. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв : навчальний посібник. Вінниця : Нова Книга, 2008. 488 с.
15. Осейко М. І. Технологія рослинних олій : підручник. Київ : Варта, 2006. 280 с.

Розділ 13

ОРГАНІЧНЕ КОРМОВИРОБНИЦТВО

Органічне виробництво – це виробнича система, що ґрунтується на принципах сталого розвитку, що сприяє гармонії між людиною та природою, мінімізує вплив на навколишнє середовище. Ці системи потребують ефективного управління кормовими ресурсами для підтримки здоров'я ґрунту, біорізноманіття та добробуту тварин. Збереження та використання кормових ресурсів важливі для забезпечення конкурентоспроможності органічного землеробства, а також для вирішення таких проблем, як зміна клімату, кругообіг поживних речовин і якість кормових ресурсів.

Виробництво кормів відіграє особливо важливу роль у системі органічного землеробства. Забезпечує корми для годівлі худоби, також сприяє продуктивності наступних культур, поглинанню вуглецю, суттєво впливає на кругообіг поживних речовин, якість та біологію ґрунту, а також на сталий розвиток і біорозмаїття на кормових угіддях.

Успішне управління, використання кормових культур є важливим для оптимізації продуктивності та забезпечення худоби багатими на поживні речовини кормами, що мінімізують потребу в зовнішніх кормах.

Кормові культури важливі для успішного функціонування систем тваринництва – худоба залежить від кормів. Однак виробництво кормових культур варто планувати економічно ефективним і сталим чином.

Виробництво органічних кормових культур – це система, яка поєднує культурні, біологічні та механічні методи, що сприяють кругообігу ресурсів, підтримці екологічного балансу та збереженню біорозмаїття. Системи органічного землеробства спираються на такі методи, як культурна та біологічна боротьба зі шкідниками, і практично забороняють використання синтетичних хімікатів у виробництві сільськогосподарських культур. Це робить виробництво кормів дуже складним і потребує вищого рівня управління та фахових знань. Для органічної боротьби зі шкідниками потрібен комплексний підхід, оскільки перелік органічних пестицидів дуже обмежений. Виробники органічних кормових культур повинні використовувати більш екологічно стійкі методи.

Навчальний курс «Органічне кормовиробництво» спрямований на формування у студента системи знань і навичок з організації науково обґрунтованої технології вирощування кормових культур у польовому та лучному кормовиробництві за органічного виробництва, належних способів заготівлі, зберігання та раціонального використання кормів.

Завдання зазначеної дисципліни полягає у формуванні у здобувачів освіти третього рівня необхідного об'єму знань сучасних технологій вирощування кормових культур і заготівлі кормів за органічного виробництва, що є базою для забезпечення тваринництва екологічно чистими повноцінними

високобілковими кормами з максимально низькою собівартістю, що базується на сучасних, адаптованих до органічного вирощування, високоврожайних сортах і гібридах, а також використання новітньої техніки й нанотехнологій, дозволених правилами органічного виробництва.

13.1. Управління та методи органічного вирощування кормових рослин

Органічне землеробство – це сільськогосподарська модель, що базується на сталому виробництві без використання пестицидів, хімічних добрив і гормонів росту, не завдає шкоди навколишньому середовищу та здоров'ю людини, здійснюється під контролем, від виробництва до споживання, з використанням природних ресурсів [1]. З огляду на важливість здорової їжі, здорового навколишнього середовища та добробуту тварин інтерес до органічного сільського господарства у світі зростає з року в рік.

У результаті зростання інтересу до органічного сільського господарства станом на 2022 р. органічне сільське господарство ведеться у 187 країнах світу, із щонайменше 3,1 млн виробників і на 72,3 млн га землі, включаючи неконверсійні території, згідно з опитуванням FiBL 2021 р., заснованим на національних джерелах даних, даних сертифікаторів та IFOAM-Organics International [2]. Порівняно із чисельністю тварин у Європі з 2010 по 2022 р. спостерігалося збільшення кількості великої рогатої худоби на 80,9 %, кількості овець на 55,3 %, а кількість органічної великої рогатої худоби досягла 5 079 962, кількість органічних овець – 5 413 520, згідно з опитуванням FiBL 2021 р., заснованим на Євростаті та національних джерелах даних [3].

Збільшення кількості тварин в органічному тваринництві свідчить про потребу в органічних кормах. Отже, дуже важливо задовольнити потребу в органічних кормах, які є найважливішим внеском органічного тваринництва. Той факт, що витрати на корми становлять приблизно 70 % основних внесків у тваринницькі підприємства, свідчить про важливість цієї вимоги [4].

Годівля тварин в органічному тваринництві багато в чому відрізняється від традиційного землеробства. Правила постачання кормів і годівлі тварин в органічному тваринництві наведені нижче [5].

1. Окрім домашніх тварин і хутрових звірів, в органічному розведенні тварин годують органічно виробленими грубими кормами та концентрованими кормами.

2. Для забезпечення задоволення їхніх потреб в органічному харчуванні на різних стадіях розвитку працює якісне виробництво, а також збільшення виробництва. Примусове годування тварин заборонено.

3. Під час перегону худоби: кількість корму, що споживається тваринами, що пасуться в неорганічних зонах, не може перевищувати 10 % від річної норми корму під час переходу з однієї зони випасу на іншу. Це співвідношення розраховується як відсоток сухої речовини кормів сільськогосподарського

походження. За винятком періоду, коли тварини щорічно перебувають у високогір'ї, щонайменше 60 % корму постачається з ферми. Якщо це неможливо, відсутню частину корму отримують від інших підприємств, які впроваджують положення Регламенту про органічне сільське господарство. Щонайменше 20 % корму для свиней і птиці постачається з ферми. Якщо це неможливо, відсутню частину корму постачають інші підприємства або кормові підприємства, які впроваджують положення Регламенту про органічне сільське господарство.

4. У середньому до 30 % сухої речовини раціону може містити речовини перехідного періоду. Цей показник може бути збільшений до 60 %, якщо кормові матеріали в перехідний період надходять з тієї ж органічної ферми, де розводяться органічні тварини.

5. У різні пори року система розведення дозволяє тваринам виходити на пасовища. У раціонах для жуйних тварин грубі корми, як-от силос і свіже сіно, мають становити щонайменше 60 % сухої речовини раціону. Однак уповноважений орган може дозволити зниження цього показника до 50 % на строк до 3 місяців на початку лактації в органічних тварин, що розводяться для виробництва молока.

6. У разі зменшення кількості кормової продукції через стихійні лиха використання звичайних кормів у годівлі тварин дозволяється в зоні стихійного лиха протягом короткого часу за показником, який визначається окремо для кожного стихійного випадку.

7. До раціонів свиней і птиці додають грубі корми, свіжі або сіно, або силос.

8. У годівлі тварин в органічному кормовиробництві використовуються такі речовини: а) неорганічні кормові матеріали рослинного або тваринного походження, вироблені або приготовані без використання хімічних розчинників, або продукти ферментації, отримані з мікроорганізмів, клітини яких були інактивовані або знищені; б) використання спецій, лікарських і ароматичних рослин, а також меляси, вироблених без використання хімічних розчинників і недоступних в органічній формі, обмежується 1 % для кожного виду, співвідношення сухої речовини корму сільськогосподарського походження розраховується щорічно; в) органічні корми тваринного походження; г) кормові речовини мінерального походження; ґ) морська сіль, крупна кам'яна сіль.

9. Антибіотики, кокцидіостатики, лікарські засоби й інші речовини, що збільшують ріст або виробництво, не можуть використовуватися в годівлі тварин.

10. Корми, кормові добавки, допоміжні речовини для обробки кормів і продукти для годування тварин не можуть вироблятися з використанням генетично модифікованих організмів (ГМО) або продуктів, отриманих з них.

11. Вимоги до органічно вироблених або перероблених кормів такі: а) звичайні корми й органічні корми не можуть перероблятися на одній лінії на одному заводі; б) речовини у складі продуктів або будь-які інші речовини, що використовуються у приготуванні цих продуктів, не повинні піддаватися опроміненню іонізуючим випромінюванням; в) органічні корми мають бути марковані. На етикетці: указана органічна кількість корму від сухої речовини; зазначається відсоток кормової сировини, отриманої методом органічного виробництва; вказано відсоток кормової сировини, отриманої із продуктів перехідного періоду;

загальний відсоток кормів сільськогосподарського походження. Там же вказано назву уповноваженого органу; г) органічно вироблені корми та корми традиційного виробництва фізично зберігаються в окремих місцях; ґ) обладнання, що використовується для приготування органічних кормів, відокремлене від усіх видів обладнання, що використовується для приготування традиційних кормів; д) у традиційних установках для приготування кормів як традиційні, так і органічні корми не можуть готуватися в одній лінії. Однак органічні корми готуються у традиційних установках для приготування кормів за умови, що установка для приготування кормів очищена речовинами, наведеними нижче, перед початком приготування корму в установці для приготування кормів.

12. Органічно вироблені корми або продукти, отримані з них, можуть транспортуватися разом із традиційно виробленими кормами таким чином, щоб не спричинити їх змішування та забруднення. Транспортні засоби, на які буде транспортуватися приманка, очищаються визначеними речовинами. Необхідно, щоб кількість продукту під час транспортування та кількість продукту під час доставки були зафіксовані.

13. За винятком додавання натуральних ароматизаторів під час обробки або зберігання органічних кормів не використовуються речовини та методи, що відновлюють втрачені властивості, виправляють наслідки недбалості під час процедури або можуть спричинити помилкові уявлення про справжню природу цих продуктів.

Органічні луки становлять більшість ресурсів органічних грубих кормів, доступних у світі. Станом на 2020 р. понад дві третини існуючих органічних сільськогосподарських угідь у світі складаються з луків/пасовищ (приблизно 49 млн га). Однак грубих кормів, отриманих з органічних луків / пасовищ у багатьох країнах, не досить для харчування органічних тварин. Ця ситуація робить вирощування органічних кормових культур необхідністю для багатьох країн [2; 6].

У виробництві органічних кормових культур, як і в інших культурах, може спостерігатися деяке зниження врожайності порівняно із традиційним виробництвом. T. de Ponti зі співавторами [7] зазначили, що різниця в урожайності органічних і неорганічних культур значно варіюється між групами культур і регіонами, а органічна врожайність окремих культур у середньому на 20 % менша, ніж неорганічна.

Однак було зазначено, що методи управління в органічному землеробстві мають зовсім інший вплив на розрив у врожайності між органічним і традиційним землеробством, урожайність наближається до традиційної за 10–13 років у результаті різних методів управління в органічному землеробстві [8; 9].

Тому дуже важливим є проведення наукових досліджень щодо визначення ідеальних методів управління органічним вирощуванням кормових культур та їх упровадження на практиці. Ідеальні методи та методи управління, отримані в результаті цих досліджень, можуть зменшити розрив у врожайності між органічними і неорганічними кормовими культурами та зробити значний внесок у задоволення потреб у кормах для зростання поголів'я органічних тварин [10].

13.2. Світовий досвід вирощування органічних кормових культур

Люцерна, еспарцет, вика, конюшина, злаки, ковбаса, пирій, костриця, силосна кукурудза та сорго – це основні продукти, які, імовірно, вирощуватимуться як органічні кормові культури в багатьох країнах.

Виробництво органічних кормових культур починається після періоду конверсії. Потрібен щонайменше дворічний період конверсії, перш ніж їх використовувати як корм для пасовищ і кормових культур, що використовуються органічно [5]. Після завершення процесу конверсії починається вирощування органічних кормових рослин. Вибір насіння, підготовка ґрунту, посів, органічне удобрення, зрошення, боротьба з бур'янами, хворобами та шкідниками, збір урожаю та зберігання – це питання, на яких варто зосередитися під час виробництва органічних кормових культур [10; 11].

13.2.1. Насіння, підготовка посівного ложа та посів в органічному вирощуванні кормових культур

Насіння, підготовка посівного ложа та посів – це питання, до яких необхідно ретельно ставитися для успішного вирощування органічних кормових культур. Насіння: воно не має бути генетично зміненим, послідовність ДНК у заплідненому ядрі клітини не повинна бути змінена, воно не повинно бути оброблене синтетичними пестицидами, радіацією або мікрохвильовим випромінюванням, має бути вироблене відповідно до положень регламенту [5; 12]. Коли неможливо отримати насіння з органічного або конверсійного виробничого підрозділу, дозволяється використовувати звичайне насіння, якщо перед посівом реєструється його дозволена кількість за допомогою одноразового й односезонного дозволу. Окрім того, ГМО-насіння не може використовуватися у вирощуванні органічних кормових культур. Схожість і чистота насіння, що використовується у вирощуванні органічних кормових рослин, мають бути високими. Треба використовувати всі види насіння без бур'янів, хвороб і шкідників, не маючи високоякісного насіння. Оскільки забруднене насіння ускладнює боротьбу з бур'янами, хворобами та шкідниками.

В органічному сільському господарстві важливо захищати та розвивати біорозмаїття, а також запобігати ерозії та ущільненню ґрунту. Із цієї причини вирішується, чи було вжито належних заходів для захисту ґрунту, чи не проводиться непотрібний обробіток ґрунту, який спричинить ерозію [5; 7; 13].

Зменшений обробіток ґрунту в органічному сільському господарстві сприяє розвитку спільнот черв'яків, збільшує мікробну біомасу, зміни й активність мікробних спільнот, а також органічний вуглець верхнього шару ґрунту, зменшує ерозію. Окрім того, зменшений обробіток ґрунту ефективно підвищує показники його родючості в органічному сільському господарстві [14–16].

Зменшений обробіток ґрунту мав сприятливий вплив на продуктивність сільськогосподарських культур у короткостроковій і довгостроковій перспективі в органічному сільському господарстві. M. Krauss зі співавторами [14]

повідомляли, що через посушливі умови конюшина злакова мала на 25 % вищу врожайність за зменшеного обробітку, ніж за неорганічного, що вказує на краще утримання вологи ґрунтами зі зменшеним обробітком. Силосна кукурудза мала на 34 % вищу врожайність за скороченого обробітку ґрунту, ніж за звичайного обробітку, незважаючи на вдвічі-утричі більше, але все ще допустиме поширення бур'янів. Окрім того, скорочений обробіток ґрунту також спричинив вищий уміст мінеральних речовин у кормовій суміші. Скорочений обробіток ґрунту в органічному землеробстві має багато переваг, зокрема й зниження енерго- та трудомісткості [17].

Органічне землеробство та скорочений обробіток ґрунту можна розглядати разом для покращення структури ґрунту та врожайності, якості врожаю та собівартості виробництва. Тому важливо просувати їх цілісно через сукупний вплив скороченого обробітку ґрунту та різних сівозмін на основі полів, а також системи органічного землеробства з органічним удобренням [18; 19].

Насіння органічних кормових рослин може мати деякі проблеми зі сходами та на ранніх стадіях росту, особливо за несприятливих кліматичних і ґрунтових умов, через зазвичай малий розмір насіння та слабкі сходи [15]. Щоб подолати ці проблеми, дуже важливо використовувати високоякісне насіння та готувати чисті та хороші посівні грядки без бур'янів, хвороб і шкідників. Ґрунт повинен мати досить вологи, а насіння має ефективно контактувати із ґрунтом [20].

Для успішного вирощування органічних кормових рослин посів треба проводити у відповідний час, на глибину посіву, дозу посіву та міжряддя відповідно до результатів наукових досліджень для кожного регіону. Однак насіння варто висівати в той час, коли воно може отримати найбільшу користь від доступних опадів. Холодостійкі сорти варто висівати восени, щоб повною мірою скористатися осінніми опадами, таненням снігу та весняними опадами. Сорти, які не можна висіяти восени через їхню нестійкість до холоду, треба висівати якомога раніше навесні. Глибина посіву може змінюватися залежно від ґрунтових умов. Однак, загалом, посів треба проводити на глибину, що у 2–4 рази перевищує діаметр насіння. Насіння висівають кормовими сівалками, воно має ефективно контактувати із ґрунтом. Якщо посів здійснюється розкиданням, необхідно використовувати каток, щоб забезпечити контакт насіння із ґрунтом [15; 21; 22].

13.2.2. Удобрення під час вирощування органічних кормових культур

Захист і розвиток родючості ґрунту та його стійкості, а також живлення рослин через ґрунтову екосистему в органічному сільському господарстві важливі. Родючість та біологічна активність ґрунту забезпечуються методами, зазначеними нижче [5].

1. У рамках програми багаторічної сівозміни вирощуються бобові та глибококореневі рослини або проводиться зелене удобрення.

2. Дозволено використовувати гній тваринного походження або органічні матеріали, отримані з органічного виробництва, бажано обидва, у формі

компосту. Щоб запобігти забрудненню води сільськогосподарським азотом, загальна кількість гною тваринного походження, що використовується в органічному рослинництві, не може перевищувати 170 кг/N/га/рік. Це обмеження застосовується лише під час використання компостованого сільськогосподарського гною та рідкого тваринного гною, включаючи сільськогосподарський гній, сухий сільськогосподарський гній, сушений пташиний послід, компостовані тваринні фекалії та пташиний гній.

3. Дозволено використання біодинамічних препаратів.

4. Азотні добрива, отримані хімічними методами, не можуть використовуватися.

5. Якщо попри вищезазначені заходи неможливо досягти належної родючості ґрунту та біологічної активності, застосовують добрива, покращувачі ґрунту та поживні речовини, що використовуються в органічному сільському господарстві.

Добрива, покращувачі ґрунту та поживні речовини (включаючи виробництво морських водоростей), що використовуються в органічному сільському господарстві, наведено в таблиці 13.1.

Таблиця 13.1 – Добрива, покращувачі ґрунту та поживні речовини, що використовуються в органічному землеробстві

Сільськогосподарський гній	**Промислові відходи**
1	**2**
Сушений сільськогосподарський гній і зневоднений пташиний послід.	Неочищені калієві солі або каїніт.
Компостовані екскременти тварин, що містять пташиний послід, сільськогосподарський гній.	Сульфат калію, що містить сіль магнію.
Рідкі фекалії тварин.	Барда й екстракт барди.
Компостовані або ферментовані суміші побутових відходів.	Карбонат кальцію (крейда, вапняний ґрунт, вапняк, бретонський меліорант (мерл), фосфатна крейда).
Торф.	Карбонат магнію та кальцію.
Відходи виробництва культивованих грибів.	Сульфат магнію (кізерит).
Черв'яки (вермикомпост) і фекалії комах.	Розчин хлориду кальцію.
Фосфат алюмінію кальцію.	Сульфат кальцію (гіпс).
Суміш компостованих або ферментованих рослинних матеріалів. Твердий кінцевий продукт процесу виробництва біогазу, що містить поглинуті побічні продукти тваринного походження разом із рослинними або тваринними матеріалами.	Промислове вапно, отримане з виробництва цукру. Промислове вапно, отримане з вакуумного виробництва солі.
Продукти тваринного походження та субпродукти.	Елементарна сірка.
Продукт або побічні продукти рослинного походження для добрив.	Мікроелементи.
Морські водорості та продукти з морських водоростей.	Хлорид натрію.

Закінчення таблиці 13.1

1	2
Тирса та шматки деревини.	Грубо подрібнені гірські породи та глини.
Компост із кори.	Леонардит (сирий органічний осад, багатий на гумінову кислоту).
Ясен деревний.	Хітин (полісахарид, отриманий із панцира ракоподібних).
Фосфат м'якої породи.	Багатий на органічні речовини осад (наприклад, сапропель), що утворився в безкисневому середовищі у прісноводних ресурсах.

6. Для активації компосту використовуються відповідні препарати рослинного походження або препарати мікроорганізмів, що не містять генів.

7. Використовуються препарати мікроорганізмів, що не містять генів, дозволені для підвищення корисності поживних речовин у рослинах або ґрунті залежно від ґрунтових умов.

Для отримання високої ефективності з одиниці площі та високої якості рослинництва поживні речовини, необхідні для рослин, мають бути легкодоступними у ґрунті. Якщо у ґрунті не досить поживних речовин, відсутні мінерали треба доповнити органічними добривами. Для удобрення під час вирощування органічних кормових культур спочатку треба провести аналіз ґрунту. Необхідні поживні елементи в результаті аналізу мають бути забезпечені із джерел органічних добрив. Шляхом аналізу джерел органічних добрив треба визначити їх кількість, необхідну для вирощування кожної органічної кормової рослини, та додати їх до ґрунту. У задоволенні потреби в поживних речовинах з органічних джерел добрив варто бути обережним, щоб не впливати негативно на інші властивості ґрунту, як-от pH, вапно тощо.

Задоволення потреб у поживних речовинах під час вирощування органічних кормових культур можна розділити на основні теми, як-от сівозміна, міжрядне мішання, використання сільськогосподарського гною, використання компосту та сидератів, використання ґрунтових кондиціонерів, використання мікробних добрив, використання вермикомпосту та використання органічних відходів [10; 23].

Потреба органічних кормових культур у поживних речовинах задовольняється використанням сільськогосподарського гною, який виробляється на фермі та має низьку вартість для фермерів.

H. Yolcu зі співавторами [10] використовували 2 різні органічні тверді та рідкі гноївки великої рогатої худоби та 4 різні їх комбінації на сумішах вики звичайної та ячменю. У результаті вони заявили, що суміші вики звичайної та ячменю можна удобрювати 40 т/га твердого гною великої рогатої худоби для врожайності та якості.

У дворічному дослідженні, де проводилася обробка органічними та хімічними добривами, було виявлено, що внесення 20 т/га твердого гною великої рогатої худоби сприяло вищому врожаю сухого сіна, вазі стебла, висоті рослин, умісту та виходу сирого протеїну, ніж у контрольній групі, у вирощуванні

вики звичайної за результатами першого року. H. Yolcu та інші [10; 24] заявили, що органічний твердий гній великої рогатої худоби позитивно вплинув на врожайність і якість, а також уміст макроелементів (P, K, S, Ca, Mg та Na) і мікроелементів (Fe, Mn, B) однорічного райграсу.

У дослідженні, проведеному H. Yolcu (2008 р.), урожайність сіна збільшилася на 24 %, а співвідношення сухого листя до стебла – на 14,3 % в результаті внесення гною 20 т/га під два сорти ячменю та один сорт пшениці, вирощені для виробництва грубих кормів.

У дослідженні, проведеному H. Yolcu [10], внесення 20 т твердого органічного гною великої рогатої худоби збільшило вихід сухої речовини на 23 % на другий рік дослідження. Це збільшило вміст сирого протеїну на 20–23 %, вихід сирого протеїну на 32–51 %, уміст деяких мінералів в обидва роки за спільного посіву вики угорської та ячменю. Твердий органічний гній великої рогатої худоби здебільшого позитивно вплинув на вміст P, B, Cu, Fe, Mg та Na, не вплинув на вміст N та CP, але знизив уміст ADF, NDF, K, Ca, Mn та Zn в озимих зернових кормах [10; 14].

Компостні добрива, отримані шляхом оцінювання органічних відходів, широко використовуються в рослинництві. Компостування полягає у природному біорозділенні органічних відходів за участю різних видів мікроорганізмів. Компост, який використовується у вирощуванні багатьох продуктів, також може бути використаний у виробництві органічних кормових культур [21].

У дослідженні внесення компосту із зелених відходів у кількості 50 т/га привело до додаткового збільшення врожайності кукурудзи у свіжому вигляді на 30,9 т/га, на 75 %, порівняно з контролем протягом трьох років експерименту, а трирічна обробка компосту в кількості 50 т/га привела до значного збільшення вмісту магнію, калію, що екстрагується, і органічних речовин, а також до значного зниження pH ґрунту. Окрім того, Parkinson et al. [4; 25] стверджували, що компосту зі зрілих зелених відходів не досить для задовлення потреби в добривах для кормової кукурудзи.

Сидерати – це змішування рослин родини бобових, які за короткий час утворюють рясні вегетативні частини, із ґрунтом для покращення стану ґрунту. Бобові сидерати ефективніші, ніж злакові, з погляду позитивного впливу на стан ґрунту. Під час вирощування бобових як сидератів у ґрунт вивільняється велика кількість азоту як через кореневі бульбочки, так і через надземні частини рослин [22; 26].

Сидерати в органічних кормових культурах є важливим способом покращення поживних речовин у ґрунті та розвитку стану ґрунту. Застосування сидератів у виробництві органічних кормів здебільшого використовується у вирощуванні силосної кукурудзи та сорго. Однорічні бобові культури здебільшого використовуються як сидерати перед силосною кукурудзою та сорго.

У дослідженні, де *Vicia villosa* Roth., *Sesbania cannabina* Poir., *Melilotus officinalis* L., *Medicago sativa* L., *Vicia sativa* L. та *Lolium perenne* L. використовувалися як рослини для сидератів, порівнювали ділянки з унесенням сидератів і ділянки без них. Уміст води у ґрунті збільшився на 1 та 6,2 % в середній і наступний періоди вегетації сидератів, а електропровідність (EC) та pH ґрунту знизилися [22].

Сидерати збільшили вміст органічної речовини ґрунту на 0,42–1,86 г/кг, загального азоту на 0,05–0,34 г/кг, лужногідролізованого азоту на 0,5–32,3 мг/кг, доступного фосфору на 0,42–4,65 мг/кг, доступного калію на 3,8–26,1 мг/кг відповідно в шарі ґрунту 0–20 см. Це привело до збільшення врожайності кукурудзи на силос на 1294–19 391 кг та вмісту білка на 0,4–23,9 мг/кг [20; 22; 27].

Здатність покривних культур як сидератів істотно залежить від погодних умов, насамперед від опадів. R. Anderson [20] стверджував, що позитивного впливу сидератів у посушливих районах немає. Клімат, специфіка рослин, ґрунтові умови – найбільш важливі чинники остаточного успіху сидератів.

Ґрунтові покращувачі в органічному сільському господарстві використовуються для підвищення родючості ґрунту. У дослідженні з викою звичайною було виявлено, що застосування леонардиту збільшило вихід сухої речовини порівняно з контролем [13]. Застосування леонардиту збільшило врожай сіна на 24 %, співвідношення сирого протеїну на 28 %, вихід сирого протеїну на 58 %, концентрацію P, K, S, Ca, Mg, Na, Fe, Mn та B, воно не мало впливу на концентрацію Cu та Zn в райграсі однорічному. В одному дослідженні застосування леонардиту в перший рік дослідження позитивно вплинуло на вихід сухого сіна, сирий протеїн та вихід сирого протеїну вики звичайної [10; 28].

В останні роки використання вермикомпосту (гною черв'яків) в органічному сільському господарстві набуло великого поширення. Вермикомпост – це органічне добриво, отримане шляхом розкладання органічних відходів і екскрементів тварин і пропускання їх через травну систему черв'яків. Вермикомпост покращує структуру ґрунту та забезпечує ґрунт поживними речовинами, готовими для використання рослинами. Y. Tobay, M. Tan [29] виявили, що застосування вермикомпосту значно збільшило врожайність кукурудзи на силос. В іншому дослідженні було визначено, що застосування вермикомпосту збільшує суху речовину корму, співвідношення білка та висоту рослин кукурудзи. Але використання вермикомпосту в органічних кормових культурах нині не здається економічно вигідним. Зі зниженням виробничих витрат його використання в органічних кормових культурах може стати поширеним [26].

В органічному сільському господарстві деякі органічні відходи можуть бути використані як джерело поживних речовин. У дослідженні овечий гній, вовняний гній (суміш відходів вовни, овечого гною, рослинних залишків), відходи вовни 1 (що складаються з домішок та бруду одразу після стрижки) та відходи вовни 2 (частина після видалення домішок) як джерела органічних добрив застосовувалися у виробництві ячмінного корму. Вовняні відходи покращили родючість ґрунту, фізичні властивості ґрунту, привели до підвищення ефективності використання води та збільшення вмісту органічного вуглецю на 30,8 %, азоту на 32,6 %. Було зазначено, що застосування відходів вовни привело до підвищення врожаю зерна та сухого корму ячменю на 50 %, а також покращення здоров'я ґрунту [23].

13.2.3. Ефективність вирощування органічних кормових культур у сівозміні

Хоча кормові культури роблять позитивний внесок у системи сівозміни, вони також можуть підвищити власну продуктивність і якість у добре організованих системах сівозміни. Якість ґрунту може бути забезпечена в органічному землеробстві, коли періодичний обробіток ґрунту та багаторічні кормові культури по черзі включаються до сівозміни [30].

Присутність більшої кількості бобових культур у різних системах сівозміни, зокрема й бобові кормові рослини, має більший вплив на мікробіотичні властивості ґрунту. Додавання пасовищ до систем сівозміни збільшує вміст органічної речовини у ґрунті на 14 %, мінералізацію вуглецю на 146 %, активність позаклітинних ферментів на 35 %, а також впливає на мікробне біорозмаїття та втрату азоту [24].

В іншому дослідженні порівнювали пасовище та сівозміну, що складалася з кукурудзи на силос, кормового ріпаку та бобових культур (горох). Сівозміна мала врожай сухої речовини >42 т/га у середньому за 3 роки, а пасовище мало >17 т/га. Сівозміна мала вищу ефективність використання азоту та води, ніж пасовище, але якість пасовища була дещо кращою, ніж середнє значення для сівозміни [18; 24].

Сівозміна органічних трав'янистих кормових культур з бобовими та кормовими зернобобовими культурами може сприяти збільшенню врожайності сіна та якості органічних трав'янистих кормових культур. Оскільки бобові культури постачають велику кількість азоту у ґрунт. Сівозміна органічних бобових кормових культур з іншими органічними бобовими також може сприяти задоволенню потреб у поживних речовинах [18; 25].

13.2.4. Переваги кормосумішок для задоволення потреб у поживних речовинах

Суміш між культурами є поширеною моделлю ведення сільського господарства у виробництві органічних кормових. У суміші між культурами разом вирощують бобові кормові культури та трав'янисті кормові культури, метою є забезпечення травам біологічного азоту, що виробляється бактеріями *Rhizobium* spp., які містяться в кореневій системі бобових.

Оскільки рослини в суміші між культурами мають різні морфологічні характеристики, можна ефективно використовувати ресурси росту рослин у ґрунті та повітрі. Окрім того, згідно з моделлю встановлення суміші між культурами, наявна вода й опади можуть краще використовуватися рослинами, а ерозія може бути зменшена завдяки такій суміші [10].

Урожайність та якість кормів у сумішах між культурами та єдиних кормах можуть відрізнятися залежно від виду, кліматичних і ґрунтових умов. У дослідженні, проведеному в умовах органічного землеробства, суміш між культурами збільшила врожайність кормів на 72 %, вихід азоту на 190 %, уміст сирого

протеїну на 40 г/кг порівняно з вирощуванням лише зернових культур, але ці переваги змінювалися залежно від виду бобових культур.

У метааналізі суміш між культурами збільшила врожайність на 23 % та валовий дохід на 172 дол. США/га, але ефекти суттєво різнилися залежно від способу управління та агроекологічних умов. Метааналіз показує, що суміш між культурами є стійкою вигідною практикою, але її успіх залежить від урахування інших чинників, як-от належний контроль конкуренції в рослинності [24].

13.2.5. Зрошення під час вирощування органічних кормів

Правила зрошення в органічному кормовиробництві:

a) промислові та міські стічні води, а також дренажні води, отримані із дренажної системи, не можуть використовуватися в органічному сільському господарстві. Придатність води, за необхідності, визначається під час контролю, який проводить уповноважена установа;

b) вода для зрошення не має спричиняти забруднення навколишнього середовища;

c) зрошення не має спричиняти погіршення структури ґрунту й ерозію.

Серед органічних кормових культур люцерна, конюшина лучна, конюшина біла, костриця звичайна, костриця лучна та силосна кукурудза дуже добре реагують на зрошення. У виробництві органічних кормових культур режими зрошення можуть змінюватися залежно від клімату, рослини, доступної придатної для використання води та стану ґрунту. Зрошення треба проводити з урахуванням наукових досліджень для кожного регіону. Зрошення має запобігати втратам води та збільшувати використання ефективно доступної води для вирощування органічних кормів.

13.2.6. Захист рослин під час вирощування органічних кормів

У боротьбі із хворобами, шкідниками та бур'янами враховуються такі моменти: 1) вибираються види та сорти, стійкі до хвороб та шкідників; 2) готується відповідна сівозміна; 3) застосовуються відповідні методи обробітку ґрунту; 4) застосовуються культурні, біологічні та біотехнічні методи контролю.

Якщо вищезазначені заходи не можуть бути вжиті або їх замало проти хвороб рослин, шкідників, нематод і бур'янів, використовуються такі засоби захисту рослин (табл. 13.2, див. с. 345).

Для продуктів, що використовуються для пасток і розкидачів, за винятком випромінювачів феромонів, пастки та/або випромінювачі повинні бути встановлені таким чином, щоб запобігти потраплянню цих речовин у природу та їхньому контакту з вирощеною продукцією. Пастки збираються та знищуються після використання.

Таблиця 13.2 – Засоби захисту рослин

1. Речовини рослинного або тваринного походження	
Азадирахтин, отриманий з Azadirachta indica (німового дерева – дерева хибного розарію)	Рослинні олії
Основні речовини	Піретрини, екстраговані із хризантеми цинераріафоліум
Віск	Претиреоїди (лише дельтаметрин або лямбдацигалотрин)
Гідролізовані білки, окрім желатину	Квасія, отримана із квасії гіркої
Ламінарин	Репеленти із запахом рослинного та тваринного / баранячого жиру
Феромони	
2. Мікроорганізми або речовини, що виробляються мікроорганізмами	
Мікроорганізми	Спіносад

Бур'яни є серйозною проблемою у виробництві органічних кормових культур. Під час виробництва багаторічних органічних кормових культур бур'яни можуть спричинити серйозну проблему, оскільки органічні кормові культури не можуть сильно розвиватися в перший рік виробництва. Під час вирощування кукурудзи на силос велика відстань між рядами та міжряддя, а також багаті на поживні речовини ґрунти можуть призвести до збільшення кількості бур'янів. Оскільки кормові культури мають велику різноманітність видів і сортів, існує багато хвороб, комах і шкідливих факторів, що впливають на ці культури. Деякі хвороби у вологих і зрошуваних умовах, а також деякі комахи в посушливі періоди можуть бути шкідливими для вирощування органічних культур. Хвороби та шкідники частіше трапляються на бобових кормових культурах. Однак, оскільки характеристики дикості багатьох кормових культур усе ще зберігаються, ці рослини є відносно стійкими до хвороб і шкідників порівняно з багатьма іншими польовими культурами. Поширені хвороби та шкідники, що спостерігаються на кормових культурах, зазначені нижче [28].

Хвороби листя: Erysiphe graminis, Pseudomonas andropogani, Helminthosporium bromi, Leptosphaerulina trifolii, Colletotrichum villosum, Septoria pisi, Puccinia sp.

Хвороби стебла: Colletotrichum trifolii, Kabatiella caulivora, Phoma sp., Mycosphaerella sp., Ascochyta sp.

Коренева та коронкова гниль: Phytium sp., Helminthosporium sp., Fusarium sp., Rhizoctania sp., Phytophthora catorum, Sclerotinia trifoliorum.

Хвороби квітів і насіння: Claviceps purpurea, Phialea tumelenta, Ustilago sp., Sorosporium sp., Sphocelotheca sp. Віруси: вірус мозаїки люцерни та нематоди: Dictylenchus dipsaci. Травоїдні комахи: Hypera postica (H. variabilis), Colias eurytheme, Caenurgina erechtea, Plathypena seabra, Melanoplus sanguinipes, M. bivittatus, M. differentialis. Ссисні комахи: Empoasca fabae, Therioaphis sp., Acyrthosiphon pisum, A. Kondoi, Tetranychus sp. Коренеїдні комахи: Sphenoptera carceli, Dipsosphecia scopigera, Sitona sp. Жуки – насіння: Bruchus sp., Lygus sp., Adelphocoris sp.

Нижчезазначені методи можуть бути використані для боротьби з бур'янами, хворобами та шкідниками у виробництві органічних кормових культур.

Ротація у виробництві органічних кормових культур може сприяти зменшенню кількості бур'янів, хвороб і шкідників. Однією із двох цілей сівозміни є боротьба з бур'янами, шкідниками, хворобами, особливо ґрунтовими хворобами [25].

Бур'яни є найбільшою перешкодою для отримання високої врожайності та якісної продукції сільськогосподарських культур в органічному сільському господарстві, фермери можуть зменшити витрати на боротьбу з бур'янами плануванням сівозмін таким чином, щоб негативно впливати на динаміку бур'янів. Бур'яни становлять меншу проблему, коли кормові культури висіваються на полях, де попередньою культурою росли зернові або технічні культури [27].

Боротьба з бур'янами та захист від корисних комах, а також прибутковість в органічних системах можуть бути підтримані, коли регулярний обробіток ґрунту чергується з багаторічними кормовими культурами в сівозміні [2; 16].

Органічне насіння, яке використовуватиметься для вирощування органічних кормових рослин, має бути сильним з погляду розвитку, стійким до бур'янів, хвороб і шкідників. Останніми роками у світі було проведено важливі дослідження з розроблення органічного насіння. У цих дослідженнях докладаються зусилля для отримання насіння, яке є ефективним проти бур'янів, хвороб і шкідників, а також має високу врожайність і якість.

Використання покривних культур може сприяти зменшенню кількості бур'янів, хвороб і шкідників. Наприклад, під час вирощування люцерни, яка є багаторічною кормовою бобовою рослиною, бур'яни можуть спричинити серйозні проблеми, оскільки люцерна погано розвивається в перший рік. Сівба люцерни як супутньої рослини з однорічними зерновими, як-от ячмінь, пшениця, овес і жито, у перший рік може зменшити рівень бур'янів. M. Tan і Серін [28] повідомили, що рівень бур'янів у люцерні може знизитися від 70 до 1 % за застосування покривних культур.

Суміш між культурами зменшила кількість захворювань у 73 %, за даними понад 200 досліджень, що порівнюють хвороби, спричинені переважно листовими грибами. Суміш між культурами впливає на динаміку захворювань, як і вітер, дощ, зміна розподілу переносників, зміна мікроклімату, спека та вологість погоди, зміни у стані хазяїна та пряме пригнічення патогена.

Суміш між культурами є важливим сільськогосподарським заходом, що збільшує різноманітність екосистеми та зменшує кількість шкідників [11].

У вирощуванні органічних кормових культур підкошування рослин проти бур'янів, хвороб і шкідників у відповідний час є поширеним і ефективним методом контролю. Зрізання рослин у відповідні періоди або на визначених стадіях росту під час вирощування кормових культур є одним зі способів запобігання багатьом проблемам з бур'янами [15].

13.2.7. Збір урожаю в органічному вирощуванні кормів

Технічні інструменти та матеріали, що використовуються для збору органічної продукції, не повинні спричиняти екологічну шкоду та забруднення.

Обладнання для ручного збору має бути в конструкції, яка не псуватиме органічність продукту. Обладнання для збору врожаю має бути гігієнічним.

Підприємці вживають необхідних запобіжних заходів проти можливого змішування та заміни звичайними продуктами, вони можуть збирати органічну і неорганічну продукцію одночасно, якщо вони гарантують ідентифікацію органічних продуктів. Під час збору природно вирощених їстівних рослин і їхніх частин у лісах, природних зонах і сільськогосподарських угіддях варто враховувати такі аспекти:

1. Територія збору не повинна оброблятися іншими продуктами, окрім добрив, покращувачів ґрунту, поживних речовин і засобів захисту рослин, що використовуються в органічному сільському господарстві, протягом трьох років до процесу збору.
2. Територія збору не повинна постраждати від пожежі протягом останніх двох років.
3. Забезпечується баланс природного життя та захист видів у зоні збору.
4. Немає перехідного періоду для продуктів, зібраних у природі.

Дуже важливо збирати врожай у відповідний час, щоб отримати ідеальну продукцію з погляду врожайності та якості під час вирощування органічних кормових культур. Окрім того, урожаї варто коригувати відповідно до мети використання кормового джерела. Оскільки багаторічні корми залишаються в полі протягом тривалого часу, треба уникати методів збору, які скорочують економічний строк служби цих рослин. Люцерну, еспарцет, вику, конюшину, злаки, кострицю, пирій, силосну кукурудзу, сорго й інші кормові культури треба збирати з урахуванням результатів, отриманих з наукових досліджень щодо часу збору врожаю.

13.3. Наукові та технологічні основи органічного луківництва в Україні

У зв'язку з посиленням екологічної кризи у світі спостерігається постійне зростання попиту на органічну сільськогосподарську продукцію.

Органічне луківництво виходить за межі простого забезпечення екологічно чистими кормами. Воно є складником концепції сталого розвитку та раціонального використання природних ресурсів. Це комплекс дій, спрямованих на збереження навколишнього середовища, де луки відіграють ключову роль в агроландшафтах, захищають ґрунти від ерозії та водні джерела від забруднення і замулення. Зменшення площ розораних земель, відновлення луків і пасовищ, створення заповідників і мисливських угідь разом зі збільшенням виробництва

органічних кормів сприяє покращенню екологічного балансу, збереженню розмаїття рослинного й тваринного світу, зокрема й видів, що потребують особливої охорони, які зазначені в Червоній книзі [9; 31].

Зважаючи на значний потенціал лучних угідь України (приблизно 8 млн га, разом з перелогами), існує можливість вирощувати на них органічну кормову продукцію. Це дозволить перевести їх із категорії занедбаних земель у зони кормовиробництва, охорони природи, відпочинку й екології. Такий підхід не лише перетворить їх на зразкові кормовиробничі ділянки, а й водночас інтегрує у природоохоронні компоненти агроландшафтів, заснованих на адаптивному природозахисному, еколого-рекреаційному використанні земель.

Природні кормові угіддя, які переважно є екологічно чистими територіями та постачальниками (чистих органічних) безпечних кормів, відіграють ключову роль в екологічному туризмі. Поєднання цього з органічним виробництвом відповідає принципам сталого розвитку та раціонального використання природних ресурсів [32].

У руслі прогресу туристичної галузі необхідно проєктувати та втілювати програму підтримки екологічного туризму, зокрема агротуризму, де особлива увага приділяється якості харчування як ключовому індикатору рівня сервісу. Невід'ємною частиною органічного виробництва стають розроблення та реалізація низки заходів, спрямованих на захист флори та фауни луків і пасовищ шляхом створення мережі заповідників, заказників, мисливських і оленярських господарств з утриманням і випасанням тварин у вольєрах [19].

В органічному кормовиробництві критично важливо здійснювати контроль якості кормів, використовувати сертифіковані лабораторії. Корми мають відповідати вимогам, визначеним державними стандартами України, які передбачають контроль як ключових показників якості, так і показників безпеки [31].

Останнім часом, через посилення процесів аридизації клімату й опустелювання рослинного покриву, для забезпечення сталого поступу постала потреба пошуку та впровадження в Лісостепу й навіть у Поліссі посухостійких різновидів із групи мезоксерофітів і ксеромезофітів. Для стабільного ведення органічного кормовиробництва варто впроваджувати посухостійкі види кормових рослин або зрошення [9; 34].

У господарствах, сертифікованих для органічного виробництва, постає необхідність посиленого контролю якості кормів. Органічне отримання кормової продукції поєднано з відповідним веденням тваринницького напряму, є нерозривною сполучною ланкою між рослинництвом і тваринництвом, важливим елементом органічного виробництва загалом [19].

В Україні органічне кормовиробництво мусить прогресувати синхронно з розширенням тваринництва та збільшенням стада великої рогатої худоби, беручи до уваги не тільки молочний, а й м'ясний напрями. Саме тваринництво постачає органічні добрива, що виступають основою живлення ґрунту в органічному виробництві. Варто досягти оптимального навантаження на 1 га кормових угідь, довівши його до 1,5 голови великої рогатої худоби або 15 овець. Завдяки цьому можна буде виробити та внести у ґрунт 10 т органічних

речовин, що гарантуватиме високу врожайність кормових та інших сільськогосподарських культур [32].

Природні кормові території, де розташовані сіножаті й пасовища, являють собою комплексну, цілісну систему. У ній усі складники функціонують у тісному взаємозв'язку через обмінні процеси речовин і енергетичні потоки. Закономірності, властиві природним лукам, є фундаментом для існування і сіяних. Для створення сіяних травостоїв зазвичай необхідно використовувати травосуміші з багаторічними злаковими та бобовими травами, згідно з основними принципами вибору компонентів. Створення сіяних травостоїв з високим умістом бобових – один із найперспективніших напрямів органічного луківництва. Включення бобових трав у бобово-злакові ценози без використання мінерального азоту збільшує продуктивність лучних угідь в 1,5–2,5 раза, а за показником збору протеїну – у 2–3 рази, якщо порівнювати зі злаковими травостоями [6; 33].

Відомо, що бобові трави є недовговічними. З огляду на це сформульовано ключові аспекти та практичні дії для збільшення їхньої продуктивної тривалості в посіяних лучних бобово-злакових агроценозах. На продуктивне довголіття бобових впливає не лише коректний підбір злакових і бобових складників, але й способи їх розташування. Найкращий метод – чергування цих компонентів в окремих рядках з невеликими міжряддями або вузькими смугами. На ефективність бобових також впливає періодична заміна бобових культур у бобово-злакових травостоях, розумне комбінування мінерального та симбіотичного азоту впродовж років використання, інші фактори [8; 9; 12].

Продуктивність бобово-злакових травосумішей без унесення мінеральних добрив, завдяки дії симбіотичного азоту, зазвичай висока. Згідно з нашими даними, їхня продуктивність на сірих лісових ґрунтах за додавання у травосуміші різних видів багаторічних бобових трав у контрольному варіанті без використання бактеріальних препаратів і вапна коливалась у межах 7,30–10,72 т/га сухої маси й була більшою в 1,7–2,5 раза порівняно зі стоколосом безостим. Від застосування азотофіксувального й фосфоромобілізувального препаратів продуктивність травосумішей зростала на 5–21 %, а від вапнування – на 6–10 %. На всіх бобово-злакових травостоях найбільші збільшення продуктивності були за сумісного використання азотофіксувального і фосфоромобілізувального препаратів. На вапнування ґрунту найкраще в сумісних посівах реагували люцерна посівна й козлятник східний.

Згідно з багаторічними дослідженнями встановлено, що бобові компоненти у складі бобово-злакових ценозів залежно від ґрунтово-кліматичних чинників в умовах Полісся і північної частини Лісостепу надземною масою акумулюють симбіотично фіксованого азоту 50–200 кг/га. Найбільше його у спільних посівах зі злаковими видами накопичують люцерна посівна й еспарцет піщаний.

З метою посилення екологічної значущості лучних ділянок практикують заходи поверхневого покращення трав'яних екосистем у комбінації із заходами охорони, що передбачають збереження розмаїття флори й фауни природної та сіяної трав'яної рослинності, а також захист ґрунту від ерозійних процесів і водних ресурсів від забруднення і замулення. Варто враховувати,

що природоохоронним заходом на природних кормових угіддях доцільно використовувати фітомеліорацію, коли замість унесення хімічних меліорантів (вапна, доломітового борошна, гіпсу тощо), які спричиняють забруднення довкілля, висівають багаторічні трави, що вирізняються стійкістю до збільшеної кислотності чи солоності ґрунту.

Фітомеліоративними властивостями на засолених ґрунтах відзначається буркун, що демонструє високу врожайність та здатність до виведення шкідливих солей. В органічному виробництві, під час поліпшення луків на ґрунтах із легким механічним складом, рекомендовано використовувати органічні добрива (гній, сидерати тощо) у кількості 10–30 т/га у перерахунку на гній.

Дозу внесення безпідстилкового гною (напіврідкого, рідкого та гноївки) визначають з урахуванням кількості азоту або поживного елемента (азот, фосфор чи калій), що міститься в найбільшій кількості [6].

Науково-технічні засади органічного луківництва визначають упровадження низки заходів не лише для виготовлення екологічно чистих кормів для тварин з максимально можливим застосуванням біологічних чинників інтенсифікації, а й для охорони навколишнього середовища, зокрема ґрунтів, водних ресурсів, біоррозмаїття та інших чинників. Створення багаторічних сіяних травостоїв зі збільшеним умістом бобових культур уважається одним із найбільш перспективних напрямів розвитку органічного луківництва. Їхня врожайність без унесення добрив коливається між 7,30 та 10,72 т/га сухої маси, що в 1,7–2,5 раза перевищує показники злакових травостоїв [9; 31].

13.4. Зелений (сировинний) конвеєр в органічному кормовиробництві

В умовах загострення екологічної кризи у глобальному вимірі, що тісно пов'язана із прагненням покращити добробут населення, спостерігається стійке зростання попиту на екологічно чисті продукти тваринного походження (молоко та м'ясо). Особливо це актуально для дієтичного та дитячого харчування, виробництво якого залежить від органічного кормовиробництва, що виступає сполучною, нерозривною ланкою між рослинницькою та тваринницькою галузями.

Ключове значення в кормовиробництві має вирощування багаторічних бобових трав, однорічних кормових культур і їх сумішей. Важлива також оптимізація відповідних агротехнічних заходів, серед яких пріоритет належить біологічним методам отримання кормової сировини, використанню енергоощадних технологій виробництва, правильному складанню технологічних карт і розробленню моделей зелених (сировинних) конвеєрів.

Головне завдання зелених і сировинних конвеєрів полягає в безперебійному постачанні зелених кормів для вигодовування худоби впродовж весняно-літнього та літньо-осіннього сезонів, а також сировини для виробництва сіна, сінажу, силосу або штучно висушених кормів у зимовий період.

Під час організації зелених (сировинних) конвеєрів необхідно брати до уваги біологічні характеристики та швидкість дозрівання трав, навколишнє середовище, розташування, економічну доцільність їх вирощування і комплекс агротехнічних заходів (підбір трав або сумішей, вибір земельних ділянок, внесення добрив і регулювання вологості й використання), а також низку організаційних заходів зі створення, догляду та використання травостоїв.

Площі для облаштування зелених і сировинних конвеєрів вибирають за близькістю до кормових складів або тваринницьких ферм, з передбаченням зручних під'їзних шляхів. Додатково під час організації конвеєра враховуються показники корму, час надходження сировини, урожайність, щоденні потреби тварин та інші суттєві аспекти.

Ключовими вимогами до зелених і сировинних конвеєрів є: відповідність зеленої маси вимогам щодо якості, передбаченим стандартами; забезпечення тривалого періоду безперебійного надходження зеленої маси; максимальна продуктивність з 1 га кормової площі; простота в організації самого конвеєра.

Згідно з наявними даними, ми вирішили зосередитись на організації виробництва різноманітних багаторічних трав і сумішей однорічних культур, з яких отримуємо високоякісні трав'яні корми (сіно, сінаж, силос і зелений корм) у системі зелених і сировинних конвеєрів на базі польового кормовиробництва, що є невід'ємною частиною кормової сівозміни.

Створено модель зеленого та сировинного конвеєра на основі багаторічних бобових трав без використання добрив, а також сумішей однорічних культур із застосуванням органічного гранульованого добрива Гумігран із природним зволоженням, для забезпечення годівлі 100 голів великої рогатої худоби.

Гумігран – це продукт життєдіяльності каліфорнійських червоних черв'яків, збагачений гуміновими сполуками, природними амінокислотами, ферментами, вітамінами, легкозасвоюваним фосфором та іншими корисними речовинами.

Дана модель дозволяє безперебійно отримувати зелену масу протягом 144 діб (рис. 13.1, див. с. 352), використовуючи у конвеєрі такі трави: конюшину лучну сорту Полянка, лядвенець український сорту Аякс, люцерну посівну сорту Ольга, люцерну жовту сорту Наречена півночі та стоколос безостий сорту Арсен.

Конвеєр має універсальне застосування. Його можна використовувати для виготовлення зелених кормів, сіна або сінажу з багаторічних трав. Також підходить для виготовлення кормів, сіна та силосу із сумішей однорічних культур.

Отже, наявна необхідність у максимальному продовженні періоду зеленого конвеєра, чи сировинного, як навесні, так і пізньої осені. Також це потрібно для заповнення «вікон», що виникають під час використання різностиглих багаторічних трав. У розробленій системі конвеєра цю роль виконують травосуміші однорічних культур. Вони закривають вільні проміжки між укосами багаторічних бобових трав.

Вирощували суміші однорічних культур із застосуванням гранульованого органічного добрива Гумігран. Це робилося для безпосереднього згодовування на фермі, де утримується 100 голів великої рогатої худоби у стійловому утриманні.

Травостій	Травень			Червень			Липень			Серпень			Вересень			Жовтень
	II	III		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I
Лядвенець український	42						28									
	23,3						15,4									
Люцерна посівна	56						35			49						
	32,4						21,3			6,1						
Люцерна жовта	42						35			49						
	30,1						18,9			2,4						
Стоколос безостий	49						35									
	22,5						16,3									
Конюшина лучна	49						28						42			
	28,4						20,7						3,5			
Ранні посіви однорічних	49	42														
	28,1	25,0														
Пізні посіви однорічних							70	70	56							56
							85,0	107,3	106,0							18,0
Післяукісні посіви однорічних														56	70	
														43,4	99,3	
	Зелений корм, т						Сіно, т			Силос, т						

Рисунок 13.1 – Модель зеленого (сировинного конвеєра) на основі багаторічних трав і сумішей однорічних культур

У цьому конвеєрі застосовуються такі однорічні суміші в головному посіві: овес (сорт Парламентський) з викою ярою (сорт Ярослава), тритикале яре (сорт Арсенал) з ріпаком озимим (сорт Сенатор Люкс) для раннього використання; кукурудза гібридна (сорт Хорол СВ) з люпином вузьколистим (сорт Глатко), сорго суданське (сорт Голубівський) з пелюшкою (сорт Фундатор), пайза (сорт Надія) з редькою олійною (сорт Либідь) – для середнього періоду використання; а також післяукісні посіви (після вико-вівсяної та тритикале-ріпакової сумішей в основних посівах) із застосуванням пайзи з редькою олійною та сорго суданського з редькою олійною – для пізнього використання. Однорічні травосуміші культивувались в основних посівах.

Цей конвеєр здатен бездоганно забезпечувати потреби 100 голів великої рогатої худоби (далі – ВРХ) у зеленій масі, а її надлишок можна ефективно використати для заготівлі та виробництва сіна або сінажу, навіть силосу для зимового періоду утримання тварин.

Дефіцит, що спостерігається в зеленій масі, особливо під час третього укосу багаторічних трав, можна успішно ліквідувати за допомогою посівів однорічних сумішей кормових культур, як-от вико-овес, горохо-овес, суданська трава з редькою олійною, інших.

Розроблена модель конвеєра зелених кормів і сировини продемонструвала, що для гарантованого забезпечення цього поголів'я в молочному комплексі зі стійловим утриманням необхідна земельна ділянка площею 56 га. Підібрані види та сорти травостоїв дозволяють досягати високих урожаїв зеленою масою відмінної якості, мінімізують використання добрив, що цілком відповідає сучасним стандартам органічного виробництва та дає можливість з мінімальними витратами отримувати добру врожайність.

Надлишок зеленої маси, згідно з розрахунками, цілком забезпечує худобу сіном і силосом у зимовий період. Потреба в зеленій масі, з урахуванням добової норми на одну голову, становить 1008 т на 144 дні для годівлі 100 голів великої рогатої худоби.

За узагальненими підрахунками, приблизна денна потреба в літній сезон (180 діб) дорівнює 70 кг зеленої маси на одну особину ВРХ. Узимку (180 діб) щоденний раціон однієї голови худоби включає: грубі корми (сіно) – 7 кг; соковиті (сінаж – 35 кг, силос – 15 кг), загалом 50 кг.

Надлишок зеленої маси дорівнює 2409,6 т, з якої можна отримати 294,4 т сіна або ж 390,3 т сінажу та 459 т силосу. Відповідно до денної потреби, сіна вистачить на 420 діб, сінажу – на 111 діб, силосу – на 306 діб, що сукупно дає змогу забезпечити кормовою сировиною протягом усього року.

Окрім зелених кормів, сіна чи сінажу, або силосу, у раціон тварин включають і концентровані корми. Щоб полегшити закупівлю посівного матеріалу, доцільно використовувати ті ж культури, що й у кормовому конвеєрі. Це може бути овес, тритикале, кукурудза, вика яра, люпин вузьколистий (більш ефективним є горох) на окремих ділянках землі, засіяних чистими посівами. Зерно цих культур подрібнюють на дерть, шляхом змішування готують концентрований корм в оптимальних пропорціях для годівлі великої рогатої худоби. Норми висіву для отримання зерна встановлюються з урахуванням морфологічних особливостей

рослин і технологічних умов вирощування. Згідно з дослідженнями багатьох науковців, у добовому раціоні однієї голови великої рогатої худоби має бути 2,5–3 кг концентрованих кормів. Зернові злакові культури (кукурудза, ячмінь, овес) за 12 % вологості містять 9–13 % протеїну, 1,5–2 % жиру, 2–3 % клітковини. Зернові бобові містять 23–33 % протеїну та 4,5–7 % клітковини.

Після розгляду календарних термінів косовиць та часу, коли починається відростання отави багаторічних трав, стає очевидним, що запропонований асортимент видів можна розбити на групи: ранньостиглі, середньоранньостиглі та середньостиглі. Періоди між укосами коливаються від 42 до 46, а також від 45 до 50 днів. Відростання нової маси розпочинається вже за 3–4 або 5–6 днів, а іноді й пізніше 10-го дня – усе залежить від погоди у відповідний час. Це забезпечує можливість повноцінного висушування зеленої маси, а отримане сіно вдається зібрати та перевезти до сіносховищ.

Для полегшення надання порад виробникам ми сформулювали рекомендації щодо строків посіву, норми висіву насіння на 1 га, а також загальної потреби в насіннєвому матеріалі. Отже, найбільш прийнятним строком сівби багаторічних трав в умовах Лісостепу вважається рання весна, якщо однорічної кормової культури, скажімо, вівса чи ячменю. Норма висіву багаторічних трав варіюється від 16 до 20 кг/га, але норму покривної культури зменшують на 20 %, що дає змогу сформувати повноцінний травостій уже протягом першого року. Якщо посівна площа люцерни посівної та жовтої, а також конюшини лучної становить по 6 га кожної з нормою висіву 20 кг/га, то загальна потреба в насінні становить 120 кг для кожного з видів. Лядвенцю українського необхідно 80 кг за норми висіву 16 кг/га та загальної площі 5 га. Потреба у стоколосі безостому становить 100 кг за норми 20 кг/га та площі 5 га.

Ранні посіви однорічних сумішей, як свідчать наші дослідження, найкраще висівати із 20 по 30 березня, зважаючи на досягнення сприятливих погодних умов. До складу сумішей входять овес із викою ярою, з нормами висіву 100 та 80 кг/га відповідно, а також суміш тритикале з ріпаком озимим (100 та 10 кг/га відповідно). Загальна потреба в насінні вівса становить 500 кг, виходячи з розрахунку на 5 га посівної площі, а для вики ярої – 400 кг. Потреба в насінні тритикале така ж – 500 кг, а для ріпаку потрібно 50 кг на площу 5 га.

Пізні посіви однорічних сумішей оптимально висівати із 25 по 30 квітня, зокрема й кукурудзу з люпином вузьколистим, за норм висіву 70 та 120 кг/га відповідно, сорго суданське (25 кг/га) з пелюшкою (120 кг/га), а також пайзу (8 кг/га) з редькою олійною (12 кг/га). Післяукісні посіви варто висівати після збирання врожаю ранніх посівів на тих самих ділянках, у період із 20 по 30 червня, попередньо підготувавши ґрунт до сівби. До їхнього складу входять пайза з редькою олійною та сорго суданське з редькою олійною, з аналогічними нормами висіву, що й вищезгадані, тому кількість насіннєвого матеріалу було розраховано сукупно для кожної культури, з урахуванням пізніх та післяукісних посівів. Отже, потреба в насінні кукурудзи становить 420 кг на 6 га, люпину вузьколистого – 720 кг на 6 га, сорго суданського – 275 кг на 11 га, пелюшки – 720 кг на 6 га, пайзи – 88 кг на 11 га, редьки олійної – 192 кг на 16 га.

Для якнайповнішого осмислення цього матеріалу ми розробили та презентуємо схему моделі зеленого та сировинного конвеєра по декадах місяців, за участі тих же травостоїв, нормах їх висіву, площах і кількості поголів'я (рис. 13.1).

На рисунку 13.1 зображено забезпеченість зеленою масою, відповідно до потреби 100 голів великої рогатої худоби. Ця потреба цілком покриває весь період вегетації травостоїв, починаючи із другої декади травня та закінчуючи першою декадою жовтня включно. Завдяки високій продуктивності, правильному підбору багаторічних трав і сумішей однорічних культур, а також оптимально спланованим посівним площам досягається достатній надлишок зеленої маси. Цей надлишок використовується для заготівлі кормів на зиму, тобто ми отримуємо сіно або сінаж і силос, забезпечуємо поголів'я в повному обсязі, а також із деяким запасом, зважаючи на можливий відсоток втрат.

Заготівля сіна та силосу відбувається у два етапи, що дозволяє коректно розподілити масу в невеликі скирти сіна або спеціальні силосні споруди, як-от траншеї або силосні рукави. Це значно знижує ймовірність псування корму під час розкриття сховищ.

Цей конвеєрний процес гарантує забезпечення худоби кормом протягом усього року. Улітку тварини отримують свіжу зелену масу, а взимку – сіно та силос. Завдяки надлишку зеленої маси ми можемо виготовляти силос, яким годуватимемо поголів'я протягом 306 днів. Запаси соковитих кормів забезпечують потреби худоби на 450 днів, що вказує на постійне надходження корму протягом усього року, навіть з деяким надлишком.

Грубі корми, як-от сіно, необхідні для раціону тварин упродовж усього року. Це ключовий аспект для підтримання нормальної роботи травної системи, що безпосередньо впливає на загальне самопочуття та здоров'я худоби. Від цього також залежить продуктивність тварин. Згідно з нашими дослідженнями та розрахунками, з надлишку зеленої маси ми отримуємо не тільки силос, але й високоякісне сіно. Завдяки цьому ми можемо забезпечити ВРХ сіном на 420 днів.

Розроблена модель конвеєра зелених кормів і сировини, що базується на чергуванні багаторічних бобових трав, вирощених без застосування мінеральних добрив, і сумішей однорічних культур з використанням Гуміграну. Загальна площа становить 56 га, призначено для забезпечення раціону 100 голів великої рогатої худоби, утримуваної стійловим способом. Забезпечується безперервне надходження зеленої маси протягом 144 днів. Загальна потреба в зеленій масі, виходячи з добової норми на голову, становить 1008 т. Надлишок виробленої зеленої маси досягає 2410 т, що дає змогу отримати 294 т сіна, або ж 390 т сінажу, або 459 т силосу. Завдяки такому конвеєру стадо додатково забезпечується сіном на 100 % і силосом на 84 %. Отримана кормова сировина відповідає всім вимогам зоотехнічних норм годівлі великої рогатої худоби. Отже, виробники отримують можливість виробництва високоякісної продукції тваринництва.

Завдання та питання для самостійної роботи

1. *У якому стані перебувають луки та пасовища України?*
2. *За якими ознаками класифікуються природні кормові угіддя?*
3. *З якою метою проводять прискорене залуження?*
4. *Як класифікують лучну рослинність за господарськими ознаками?*
5. *Технологія створення культурних пасовищ на основі травосумішок, адаптованих до умов нестійкого вологозабезпечення ґрунту з різною інтенсивністю наростання біомаси за органічного виробництва.*
6. *Органічна технологія створення і ефективного використання культурних пасовищ в умовах природного вологозабезпечення Лісостепу України.*
7. *Технологія створення багаторічних пасовищ на схилових землях за органічного виробництва.*
8. *Технологічні прийоми прискореного залуження вироджених кормових угідь бобово-злаковими травосумішками за органічного виробництва.*
9. *Спосіб підвищення продуктивності бобово-злакових фітоценозів за органічного виробництва.*
10. *Органічна технологія вирощування злакових трав з високими посівними та врожайними властивостями.*
11. *Екологічно безпечна органічна технологія вирощування багаторічних бобових трав для заготівлі високоякісних кормів.*
12. *Оптимальна фаза збирання озимих злакових культур на зелену масу.*
13. *Які види кормових культур найчастіше використовуються для травосумішей у змішаних посівах?*
14. *Які види відносять до однорічних злакових культур?*
15. *Для чого висівають змішані посіви злакових і бобових кормових культур?*
16. *Яка норма висіву насіння люцерни на зелений корм в умовах Лісостепу України?*
17. *Вкажіть кращі попередники для люцерни на зелений корм, сіно, сінаж.*
18. *Вкажіть способи внесення органічних добрив.*
19. *Співвідношення кількості рослин кукурудзи та сої в ущільнених посівах кукурудзи.*
20. *Вкажіть середню кількість днів пасовищного періоду на культурних пасовищах Лісостепу України.*
21. *Назвіть найбільш раціональний спосіб випасання худоби на культурних пасовищах.*
22. *Які особливості вирощування бобових багаторічних трав?*
23. *Які особливості вирощування злакових багаторічних трав?*
24. *Які види кормових рослин і травосумішей краще силосуються?*

Перелік джерел до розділу 13

1. Ok G. The effects of different plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) applications on turfgrass performance on perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) : Ms Thesis ; The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Biotechnology. Gumushane University, 2019. 46 p.

2. Willer H., Meier C., Schlatter B., Dietemann L., Kemper L., Travnicek J. The World of Organic Agriculture 2021 : Summary / H. Willer, J. Travnicek, C. Meier, B. Schlatter (Eds.). FiBL & IFOAM-Organics International. The World Organic Agriculture Statistics & Emerging Trends. 2021. 328 p.
3. Travnicek J., Willer H., Schaack D. Organic farming and market development in Europe and the European Union. 2021.
4. Guven O., Yavuz F. Stockbreeder profile and business structure in the cattle breeding sector: case of TRA2. Academic Journal of Agriculture. 2020. № 9 (1). P. 81–92.
5. Anonymous Regulation on the principles and implementation of organic agriculture. T. C. Presidential legislative information system. 2010.
6. Кормовиробництво та луківництво : навчальний посібник / В. І. Григор'єв та ін. ; за ред. Є. М. Огурцова. Харків : ХНАУ, 2021. 512 с.
7. de Ponti T., Rijk B., van Ittersum M. K. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural Systems.* 2012. № 108. P. 1–9.
8. Schrama M., de Haan J. J., Kroonen M., Verstegen H., Van der Putten W. H. Crop yield gap and stability in organic and conventional farming systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment.* 2018. № 256. P. 123–130.
9. Козак Л. А. Органічне кормовиробництво : методичні вказівки до самостійного вивчення навчальної дисципліни для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня освітньої програми «Агрономія» за кредитно-трансферною системою навчання. Біла Церква, 2019. 34 с.
10. Yolcu H., Gullap M. K., Yildirim M., Lithourgidis A., Deveci M. Effects of organic solid cattle manure application on nutritive value of winter cereal forages. *Journal of Plant Nutrition.* 2016. № 39. 8. P. 1167–1173. DOI: 10.1080/01904167.2016.1143496
11. Green J. D., Legleiter T. Weed control in alfalfa and other forage legume crops. University of Kentucky. Department of Agronomy. Weed extension. AGR148. 2018.
12. Boudreau M. A. Diseases in intercropping systems. Annual Review of Phytopathology. 2013. № 51. P. 499–519.
13. Gul I., Dumlu Gul Z., Tan M. The effects of chemical fertilizer, farmyard manure and some soil conditioners on yield, hay quality and some traits of common vetch (*Vicia sativa* L.). *Journal of the Institute of Science and Technology*. 2015. № 5. P. 65–72.
14. Krauss M., Berner A., Perrochet F., Frei R., Niggli U., Mader P. Enhanced soil quality with reduced tillage and solid manures in organic farming-A synthesis of 15 years. *Sci. Rep*. 2020. № 10. P. 4403.
15. Acikgoz E., Tan M., Yolcu H. Organic Forage Crops Production in Turkey. Turkey I. Organic Livestock Congress, 1–4 July 2010, Kelkit, Gumushane. Turkey, 2010. P. 114–120.
16. Seitz S., Goebes P., Puerta V. L., Pereira E. I. P., Wittwer R., Six J., van der Heijden M. G. A., Scholten T. Conservation tillage and organic farming reduce soil erosion. *Agronomy for Sustainable Development*. 2019. № 39. P. 4.
17. Meier C., Schlatter B. (Eds.). FiBL & IFOAM-Organics International the World Organic Agriculture Statistics & Emerging Trends. 2021. 328 p.
18. Loaiza Puerta V., Pujol Pereira E. I., Wittwer R., van der Heijden M., Six J. Improvement of soil structure through organic crop management, conservation tillage and grass-clover ley. *Soil and Tillage Research.* 2018. № 180. P. 1–9.
19. Кургак В. Г. Використання багаторічних бобових трав на луках України за органічного виробництва трав'яних кормів. *Поєднання науки, освіти, практичного*

виробництва і реалізація якісної органічної продукції : матеріали Міжнародної науково-практиччної конференції, 26 червня 2013 р. Київ ; Іллінці, 2013. С. 169–178.
20. Anderson R. A rotation design to reduce weed density in organic farming. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2010. № 25. P. 189–195.
21. Azim K., Soudi B., Boukhari S., Perissol C., Roussos S., Alami I. T. Composting parameters and compost quality : a literature review. *Organic Agriculture.* 2018. № 8. P. 141–158.
22. Guo Y. D., Cheng M., Zhao X. F., Hao B. P., Zhang Y. F., Cao W. D., Zheng P. S. Effects of green manure rotation on soil properties and yield and quality of silage maize in saline-alkali soils. *Chinese Journal of EcoAgriculture.* 2018. № 26. P. 856–864.
23. Lai B., Sharma S. C., Meena R. L., Sarkar S., Sahoo A., Balai R. C., Gautam P., Meena B. P. Utilization of by products of sheep farming as organic fertilizer for improving soil health and productivity of barley forage. *Journal of Environmental Management.* 2020. № 269. P. 1–11.
24. Himmelstein J., Ares A., Gallagher D., Myers J. A meta-analysis of intercropping in Africa: impacts on crop yield, farmer income, and integrated pest management effects. *International Journal of Agricultural Sustainability.* 2017. № 15. P. 1–10. DOI: 10.1080/14735903.2016.1242332
25. Leoni C., Rossing W., van Bruggen A. H. C. Crop Rotation. Plant Diseases and Their Management in Organic Agriculture / M. R. Finckh, A. H. C. van Bruggen, L. Tamm (Eds.). 2017. 414 p.
26. Niazi P. S., Monaem R., Azadi A. Effect of vermicompost on yield and forage quality in intercropping of maize and mung. *Journal of Agricultural Science*. 2017. № 9. P. 233–239.
27. Onal Asci O., Acar Z. Weed Control in Organic Roughage Production. *Turkish Journal of Agricultural Research*. 2019. № 6 (1). P. 115–122.
28. Tan M. Legumes and grass forage crops. Ataturk University Faculty of Agriculture Course Publications. Erzurum, Turkey, 2018. № 256. 356 p.
29. Tobay Y., Tan M. The effects of vermicompost and nitrogen applications in different doses on yield and some traits of silage corn. ICADET 3rd International Conference on Advanced Engineering Technologies, 19–21 September 2019, Bayburt, Turkey, 2019. P. 1784–1788.
30. Schipanski M. E., Barbercheck M. E., Murrell E. G., Harper J., Finney D. M., Kaye J. P., Mortensen D. A., Smith R. G. Balancing multiple objectives in organic feed and forage cropping systems. *Agriculture Ecosystems & Environment.* 2017. № 239. P. 219–227.
31. Кургак В. Г., Панасюк С. С., Карбівська У. М., Гавриш Я. В. Рекомендації щодо особливостей технологій отримання органічної кормової продукції на сіножатях і пасовищах. ННЦ «Інститут землеробства НААН», 2019. 25 с.
32. Пророченко С. С. Продуктивність люцерно-злакового травостою залежно від технології вирощування. Збірник наукових праць Навчально-наукового центру «Інститут землеробства НААН». Чабани : ТОВ «Твори», 2018. Вип. 4. С. 104–110.
33. Кургак В. Г. Способи підвищення продуктивного довголіття бобово-злакових лучних агрофітоценозів. Поєднання науки, освіти, практичного виробництва і реалізація якісної органічної продукції : матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції, 2018 р. Київ ; Іллінці, 2018. С. 36–37.
34. Walkup J., Freedman Z., Kotcon J., Morrissey E. M. Pasture in crop rotations influences microbial biodiversity and function reducing the potential for nitrogen loss from compost. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2020. № 304. P. 107–122.

Розділ 14

МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ НАСІННЯ

14.1. Загальні положення про якість насіння

Посівні якості насіння визначають шляхом проведення аналізу середніх зразків, які беруть з підготовлених до сівби або продажу партій: очищених, відсортованих, з визначеною масою, пронумерованих і з наявністю етикеток.

Посівні якості насіння характеризуються низкою показників, які поділяють на стандартні і нестандартні.

До стандартних показників належать ті, що регламентуються державними стандартами, а саме: чистота насіння, вологість, маса 1000 шт., енергія проростання, лабораторна схожість, ураження хворобами, заселеність шкідниками.

До показників, що не регламентуються державними стандартами, належать сила росту, вирівняність, парусність, скловидність, травмованість, натура насіння тощо.

Показники якості насіння поділяють на дві групи: біологічні та фізико-механічні.

До біологічних властивостей насіння належать такі, що визначаються за допомогою фізіологічних, біохімічних, генетичних методів.

До фізико-механічних властивостей насіння належать: форма насіння, характерні ознаки поверхні, загальна площа поверхні, маса насіння, скловидність, забарвлення насіння, парусність, гігроскопічність тепло- і електропровідність, сипучість, пружність, питома маса, електромагнітні властивості, теплоємність тощо.

Під час складання *ботанічної* характеристики насіння беруть до уваги морфологічні й анатомічні ознаки, тобто форму насіння, геометричні параметри, характер поверхні, забарвлення, опушення, внутрішню будову насіння.

Якість насіння – це сукупність його ознак і властивостей як посівного матеріалу, що відповідає вимогам чинних державних стандартів. Якість насіння тісно пов'язана з урожайністю сільськогосподарських культур.

Показники якості насіння визначаються на підставі огляду й лабораторного аналізу. Остаточний висновок щодо якості насіння складається державною насіннєвою інспекцією. Для проведення аналізу відбираються середні зразки насіння, яке зберігається у сховищах, і спрямовуються в лабораторію державної насіннєвої інспекції.

14.2. Методи аналізування заселеності насіння шкідниками та зараження хворобами

Визначення заселеності насіння шкідниками та зараженості хворобами (ДСТУ 4138, ДСТУ 2949)

Здорове насіння характеризується відсутністю хвороботворних організмів, як-от гриби, бактерії та віруси, а також шкідників (нематоди та комахи). Стандартами заборонено висівати насіння, у якому присутні живі шкідники, що пошкоджують культуру (за винятком кліщів, кількість яких допускається не більш ніж 20 шт. на один кг насіння).

Визначення заселеності насіння шкідникми. Визначають очевидну й приховану форми зараження насіння шкідниками. *За очевидної форми* в насінні фіксують дорослих живих шкідників і їхні лялечки. *За прихованої* – зараження насіння шкідниками можна виявити лише під час проведення спеціального аналізу (розрізування насіння, дія хімічних реактивів, рентгенографія тощо).

Зазвичай зразок насіння просівають через решето із круглими отворами діаметром 1,5 і 2,5 мм протягом 3 хв. Просів висипають на скло, під яке підкладений чорний папір, і візуально визначають наявність кліщів. Кількість живих кліщів підраховують і визначають число їх екземплярів, яке припадає на 1 кг насіння. Якщо цей показник перевищує 20 екз./кг, подальший аналіз щодо цього шкідника припиняють.

Насіння, яке залишилося на решетах з отворами 1,5 і 1,0 мм, аналізують на наявність довгоносиків, борошноїдів, точильників, хрущаків та їхніх лялечок. Насіння, що залишилося на решетах з отворами 2,5 мм продивляються на наявність більш великих за розміром шкідників, їхніх лялечок і гусені: великого хрущака, молі, вогнівки й інших комах. У разі виявлення першого живого шкідника аналіз припиняють.

Визначення зараженості насіння хворобами. Погіршення якості насіння може бути пов'язане зі збудниками хвороб. Залежно від патогена, форми прояву хвороби та культури застосовують різні методи визначення зараженості насіння.

Основний показник зараженості насіння хворобами – відношення кількості зараженого насіння до облікового, виражене у відсотках.

За стандартом для визначення зараженості насіння використовують:

— макроскопічний метод;
— обмивання насіння і центрифугування суспензії спор;
— метод відбитків;
— аналізування зародків;
— біологічний метод;
— люмінісцентний метод.

Макроскопічний аналіз – визначення вмісту в насіннєвому матеріалі мішечків сажки, ріжків злаків та інших грибів (у відсотках від маси проби), а також гал пшеничної нематоди (у штуках на 1 кг насіння). Зараженість ними встановлюють водночас із визначенням чистоти насіння (рис. 14.1).

Центрифугування проводять для визначення поверхневого забруднення насіння спорами чи міцелієм грибів: твердої і стеблової сажки пшениці та жита,



А *Б*

Рисунок 14.1

А – Тверда сажка – спорові мішечки та здорове насіння

Джерело: URL: https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/8785-shkidlyvist-khvorob-na-pshenytsi-ozymii-i-mistsia-rezervatsii-infektsii-u-zymovyi-period.html

Б – Візуальні симптоми розвитку фузаріозів на насіннєвому матеріалі

Джерело: URL: https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/483-fuzarioz-chy-znaiemo-my-voroha-v-oblychchia.html

твердої і чорної сажки ячменю, летючої сажки кукурудзи, звичайної сажки проса, гельмінтоспоріозу, фузаріозу й сажки рису.

Метод відбитків застосовують для визначення вмісту спор сажкових грибів на поверхні насіння зернових культур. Проба для аналізу – 25 насінин, кожну з яких обгортають клейкою прозорою стрічкою. Ідентифікацію патогена й підрахунок спор проводять за допомогою мікроскопа в 10 полях зору.

Метод аналізування зародків доцільний для виявлення міцелію збудника летючої сажки в зародках насіння пшениці і ячменю, відокремлених від ендосперму. Для проведення аналізу наважка пшениці становить 100 г, ячменю – 120 г. Зародки насіння відокремлюють від ендосперму шляхом намочування в лугах і подальшого використання лабораторних решіт. Відбирають 4 проби по 500 зародків і аналізують за допомогою мікроскопа.

Біологічний метод застосовують для виявлення зовнішньої і внутрішньої зараженості насіння хворобами. В основі методу – стимуляція розвитку патогенів у насінні. Для стимуляції росту й розвитку патогенних грибів насіння пророщують у зволоженій камері, у рулонах фільтрувального паперу, на піску або на живильному середовищі за визначеної температури для кожної культури з наступним макро- чи мікроскопічним оглядом колоній, що виросли на живильному середовищі.

Під час пророщування насіння у вологій камері (чотири проби по 50–100 насінин) бактеріальні хвороби проявляються ослизненими та мацерованими тканинами насіння. Грибні хвороби візуально ідентифікуються як плями різної форми та забарвлення, наліт грибниці, деформації або відмирання частин проростків. Для проведення аналізу насіння на живильних середовищах користуються картопляним, картопляно-глюкозним агаром або середовищем Чапека (проби насіння – 50–100 шт.) та чашками Петрі.

Люмінісцентний метод використовують як еспрес-метод для проведення попереднього аналізу зараженості насіння деякими хворобами. Із середньої проби беруть по 100 насінин (у чотирьох повторах), розкладають на чорному папері та проглядають в ультрафіолетових променях. За характером світіння насіння роблять висновок про наявність чи відсутність у ньому збудника захворювання.

Сучасні методи визначення патогенів на насінні

Метою перевірки є визначення стану зразка та стану партії насіння загалом. Тестування насіння важливо з таких причин:

— інокулят паготена на насінні може призвести до прогресуючого розвитку хвороби й зменшити товарну якість урожаю;

— імпортовані партії насіння можуть бути джерелом поширення хвороби в нові регіони;

— перевірка насіння на наявність патогенів може оцінити якість потенційних сходів і причин поганої схожості культури;

— результати аналізу насіння можуть вказувати на необхідність проведення обробки партії насіння з метою знищення хвороботворних мікроорганізмів, що передаються насінням, та зменшити ризик передачі хвороби.

Діагностика хвороб і їх збудників за специфічними ознаками не завжди надійна, оскільки зовнішні прояви інфекційних хвороб збігаються з окремими фізіологічними порушеннями, що спричинені несприятливими зовнішніми впливами, а деякі фітопатогени можуть спричиняти безсимптомні захворювання. Успішна боротьба із хворобами рослин неможлива без своєчасного виявлення і коректної ідентифікації збудників.

Збудниками можуть бути віруси, бактерії, гриби й нематоди, шкода від яких проявляється у зниженні врожаю і погіршенні якості продукції. Точна ідентифікація фітопатогенів необхідна для розроблення ефективної стратегії боротьби із хворобами рослин, для оптимізації використання пестицидів, зниження втрат урожаю сільськогосподарських культур і забезпечення сталого розвитку агрокомплексу.

Існує кілька напрямків детекції фітопатогенів:

— мікробіологічні;

— електронна мікроскопія;

— імуноферментний аналіз (далі – ІФА);

— ПЦР (полімеразна ланцюгова реакція).

Однак такі методи, як електронна мікроскопія і мікробіологічні методики, мають низьку продуктивність, їх практично неможливо автоматизувати.

Визначення фітопатогенів методом ІФА

Імуноферментний аналіз (ІФА) дозволяє ідентифікувати й діагностувати збудників хвороб рослин, переважно вірусної етіології, дає достовірний результат у стислі строки, він нескладний у проведенні і, що важливо, економічно вигідний. В основі методу лежить специфічна реакція «антиген – антитіло». Цей метод можна застосовувати в лабораторних умовах.

Переваги імуноферментного методу аналізу:

— універсальність: ІФА застосовують в основному як скринінговий експрес-метод, він дозволяє оперативно виявити наявність патогенів і оперувати великою кількістю зразків;

— легкість: забезпечується завдяки стандартизованому протоколу дослідження та не потребує високої кваліфікації персоналу;

— відносно невеликий бюджет технічного рішення, зважаючи на точність і межі чутливості методу.

Визначення фітопатогенів методом ПЛР

Полімеразно-ланцюгова реакція (далі – ПЛР) – це сучасний високоефективний метод молекулярної біології, який базується на ампліфікації (багаторазовому збільшенні кількості) і одночасній детекції специфічних ділянок ДНК.

ПЛР використовується для діагностики та видової ідентифікації збудників хвороб рослин. Метод забезпечує найбільш високу чутливість і точність результату.

До переваг методу ПЛР належать:

— виявлення латентних (форм мікроорганізмів, які існують приховано) інфекцій ще до появи видимих симптомів;

— ідентифікація токсиногенних грибів роду *Fusarium*;

— визначення бактеріальних і вірусних захворювань, що важко діагностуються традиційними методами;

— специфічність і висока чутливість методу;

— швидке отримання результатів – 2–3 доби.

14.3. Визначення якісних показників насіння

Визначення лушпинності сім'янок соняшнику гідротермічним методом

Гідротермічний метод визначення лушпинності сім'янок соняшнику базується на дії різкої зміни температури на плодову оболонку сім'янки, унаслідок чого відбувається розрив механічних тканин лушпиння й полегшується його відокремлення від ядра.

Переваги методу: за його використання висушують лушпиння та ядра сім'янок, а це виключає вплив різниці вихідної вологості сім'янок на точність визначення вмісту лушпиння. Для аналізу відбирають по 2 паралельні наважки масою 5,0–5,5 г. Сім'янки переносять у металеві бюкси з отворами. Бюкси ставлять на водяну баню на 5–10 хв (залежно від товщини лушпиння). Бюкси вимають і переносять у холодну воду на 2–3 хв. Унаслідок різкого перепаду температур відбувається розрив тканин лушпиння. Після термічного впливу воно легко відокремлюється від ядра за допомогою пінцета.

Лушпиння та ядра сім'янок (окремо) висушують у термостаті за 100…105 °С протягом 3 год. Висушені проби охолоджують за кімнатної температури

у відкритих бюксах. Далі зважують окремо лушпиння та лушпиння разом із ядрами. Обчислюють лушпинність за формулою:

$$X = \frac{A}{B} \times 100,$$

де A – маса лушпиння, г;
B – маса лушпиння та ядер сім'янок, г.

Різниця між двома паралельними визначеннями не має перевищувати 1 %.

Визначення типовості й панцирності насіння соняшнику

Для визначення типовості насіння соняшнику відбирають дві проби по 1000 насінин і розподіляють за окремими ознаками.

Насіння соняшнику олійного – слабо видовженої або округлої форми, довжиною 8–14 мм, із гладенькою тонкою лушпиною. Ядро тісно прилягає до шкірки. Більшість насіння сучасних сортів і гібридів олійного соняшнику має панцирний шар. Типове забарвлення насіння сортів і гібридів олійного соняшнику, занесених до Державного реєстру, – темне й смугасте, чорне із сірими смужками, сіре з білими смужками, вугільно чорне або буре.

Насіння соняшнику гризового має довжину 15–25 мм, з товстими лушпинами й чітко помітною ребристістю. Ядро значно менше за розмір лушпини. Типове забарвлення насіння основного сорту чи гібрида й домішок підраховують.

Після закінчення проведення аналізу на типовість визначають панцирність насіння (рис. 14.2). Характерною особливістю сім'янок соняшнику є наявність панцирного шару в оболонці плода.

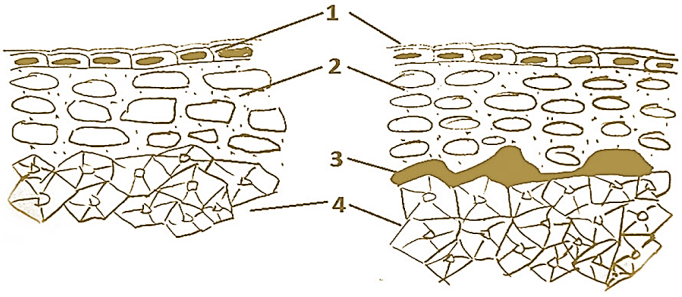


Рисунок 14.2 – Схематичне зображення навколоплідника насіння соняшнику в розрізі. Зліва – безпанцирний соняшник; справа – панцирний:
1 – клітини епідермісу; 2 – гіподерма; 3 – панцирний (фітомелановий) шар; 4 – склеренхіма
Джерело: за О. І. Орловим, 2022 р.

Верхні клітини склеренхіми виділяють чорну речовину – фітомелан, яка містить 76 % вуглецю і утворює панцирний шар між пробковою тканиною та склеренхімою. Він захищає сім'янку від пошкодження соняшниковою міллю. У сірих смугастих сортів і гібридів панцирність визначають запарюванням насіння окропом протягом 10 хв. Після охолодження води до кімнатної температури панцирні сім'янки стають темнішими, а безпанцирні – світло-сірими.

Аналіз проводять на тому насінні, що й визначення типовості. Панцирність визначають у всього насіння олійного типу, яке за забарвленням відповідає насінню визначеного сорту чи гібрида. Для визначення тільки одного параметра – панцирності – проби насіння відбирають відповідно до ДСТУ.

Для проведення аналізу готують двохромовосірчану суміш, змішують 85 % водного розчину, насиченого 13 % двохромовокислим калієм, і 15 частин міцної сірчаної кислоти. Із проби видаляють насіння, пошкоджене соняшниковою міллю, яке вважається безпанцирним. Потім насіння, яке потрапило в основний тип із кожної проби, уміщають в окремі склянки й заливають двохромовокислою сумішшю на 30 хв за температури 16…20 °С. За 30 хв розчин зливають, а насіння розміщують на склі для підрахунку. Панцирність визначають до висихання насіння.

Під впливом реактиву епідерміс і пробкова тканина знебарлюються, під ними з'являється нерозчинний у суміші панцирний шар чорного кольору. Панцирне насіння після обробітку стає інтенсивно чорним, а безпанцирне знебарвлюється.

Більш простий спосіб визначення панцирності полягає в тому, що насіння, призначене для аналізу, уміщують в окремі склянки й заливають окропом. Після охолодження до кімнатної температури воду зливають, розподіляють сім'янки на панцирні й непанцирні.

Непанцирне насіння знебарвлюється, а панцирне – набуває темного, майже чорного забарвлення, а безпанцирне – світлого, сірувато-жовтого забарвлення. Після розподілу насіння за забарвленням проводять підрахунок панцирних і безпанцирних насінин у процентах. За результат аналізу приймають середнє арифметичне із двох проб.

Визначення вмісту олії в насінні

Вміст олії – важливий показник якісного оцінювання сортів олійних видів. Цей метод призначений для визначення вмісту жиру в соняшнику, ріпаку, сої, макусі, шротах. В основу методу покладено принцип визначення вмісту жиру за знежиреним залишком. Наважки висушеного й розтертого насіння кладуть у пакетики з фільтрувального паперу й екстрагують діетиловим ефіром в апараті Сокслета до цілковитого знежирення.

Кількість видобутого жиру розраховують за різницею між початковою наважкою та масою знежиреного залишку.

Відбирання та підготовка середніх проб для аналізу. Відбирають проби соняшнику й дрібнонасінних видів масою приблизно 15 г.

Насіння сої подрібнюють на лабораторному млині, потім знову відбирають середню пробу вагою приблизно 15 г.

Ядра, отримані за визначення відсотка оболонок у двох паралельних наважках насіння рицини й сафлору, змішують і переносять у металевий бюкс.

Ядра арахісу від чотирьох наважок після видалення оболонок змішують і із загальної кількості виділяють 100 шт. Кожне ядро розрізають уздовж на дві частини, одну з них відкидають, а іншу ще раз ділять навпіл. Із четвертинок ядер відбирають пробу масою 20 г у металевий бюкс.

Визначення вмісту жиру проводять в абсолютно сухому насінні олійних культур. Для цього підготовлені проби висушують протягом шести годин за температури 100...105 °С. Потім проби цілого насіння соняшнику, льону, гірчиці й інших дрібнонасінних видів, а також подрібненого насіння сої, ядер сафлору, рицини й арахісу розмелюють на млині впродовж 30–60 с.

Перебіг аналізу. З розтертої середньої проби беруть дві наважки по 0,6–0,7 г. Усі операції, пов'язані зі зважуванням, проводять швидко, уникають поглинання вологи з повітря. Пакетики з наважками кладуть у марлеві торбинки, по 10–12 шт. у кожну. Паралельні наважки розподіляють у банки із притертими пробками та заливають зневодненим чистим діетиловим ефіром. За зберігання наважок на повітрі олія швидко окислюється, її розчинність знижується, що призводить до отримання занижених результатів аналізу і збільшує розходження між паралельними визначеннями. Екстрагують жир в апаратах Сокслета, 8–10 год, залежно від олійності насіння.

Усі аналізи виконують за двома паралельними наважками. Розбіжність між ними допускається щонайбільше в 0,5 %. Насіння соняшнику, подрібнене з лушпинням, аналізують за трикратної повторності. Максимальна розбіжність між найбільшою та найменшою цифрами не має перевищувати 1 %.

Для насіння рицини, сафлору й арахісу за даними вмісту оболонок у насінні й жиру в сухому ядрі обчислюють відсоток жиру ($х$) в усьому насінні за формулою:

$$х = \frac{(100 - л)я}{100},$$

де $л$ – уміст оболонок, %;
$я$ – уміст жиру в абсолютно сухому ядрі, %.

Визначення йодного числа

Йодне число – кількість грамів йоду, здатного приєднатись до 100 г олії. Показник вказує на вміст ненасичених жирних кислот, які зумовлюють здатність олії до перетворення (висихання), і є однією з найважливіших характеристик якості олії.

В олії різних видів рослин йодне число коливається у визначених межах. Що вище йодне число, то більша здатність олії до висихання. Олії льону, перили та деяких інших видів належать до групи висихаючих олій і є цінною сировиною для лакофарбової промисловості, тому під час експертизи сортів цих видів поряд із визначенням умісту жиру визначають йодне число. Існує кілька методів його визначення, але вони зазвичай різняться за результатами.

У колбу на 250 мл вносять наважку жиру, який досліджують. Приготування наважки: на аналітичних вагах зважують медичну склянку, у яку налита олія, відміряють 3–4 краплини рослинної олії в конічну колбу, знову зважують склянку, за різницею мас визначають наважку олії. У колбу доливають 25 мл спирту для розчинення наважки. Якщо олія погано розчиняється, колбу підігрівають на водяній бані. Паралельно проводять контрольний дослід із 25 мл спирту.

В обидві колби додають по 12,5 мл 0,2 н. спиртового розчину йоду, перемішують, доливають по 100 мл дистильованої води, інтенсивно струшують, попередньо закривши пробкою. За 5 хв уміст колби титрують 0,1 н. розчином тіосульфату натрію, спочатку до появи слабо-жовтого забарвлення, а потім, після додавання 1 мл розчину крохмалю, титрують до зникнення синього забарвлення.

Різниця між кількістю 0,1 н. розчину тіосульфату, використаного для титрування контрольної і дослідної проб, є показником кількості йоду, зв'язаного наважкою жиру.

$$ЙЧ = \frac{(A - B) \times 0,0127}{n} \times 100\ \%,$$

де A і B – кількість 0,1 н. розчину тіосульфату натрію, витраченого відповідно на титрування контрольної і дослідної проб, мл;
0,0127 – кількість грамів йоду, еквівалентна 1 мл 0,1 н. розчину тіосульфату натрію;
n – наважка жиру, г;
100 – коефіцієнт перерахунку у відсотки.

Найзручнішим для масових аналізів є рефрактометричний метод, який використовують у лабораторіях жиропереробної промисловості. Цей метод ґрунтується на залежності між йодним числом і коефіцієнтом рефракції олії: олія з найвищим йодним числом виявляє найбільший коефіцієнт заломлення. Метод використовують тільки для олій, отриманих холодним пресуванням.

Показник заломлення характеризує чистоту, ненасиченість, ступінь окислення жирів. Цей показник зростає за наявності оксигруп, збільшення молекулярної маси й кількості ненасичених жирних кислот, що входять до складу жиру.

Визначають показник заломлення рослинної олії за температури 20 °С, або шляхом перерахунку, щоб привести до 20 °С (з підвищенням температури на 1 °С густина знижується в середньому на 0,000387).

Перебіг аналізу. Із середньої проби насіння (маса 50 г) вичавлюють олію на лабораторному пресі. Перші краплі олії відкидають, решту збирають у попередньо пронумерований бюкс. Отриману олію відстоюють у прохолодному місці, аналізують наступного дня. Коефіцієнт заломлення визначають універсальними рефрактометрами РЛУ або ІРФ. Якщо потрібно визначити показник заломлення одразу, олію фільтрують крізь паперовий фільтр. Аналізують за розсіяного денного світла або за електричного освітлення, краще за температури +20 °С. Для підтримання в рефрактометрі належної постійної температури користуються ультратермостатом Хепплера, а також універсальним термостатом «У-8».

Роботу розпочинають після того, як температура в рефрактометрі стане постійною протягом 15–20 хв. Йодне число олії (U) за коефіцієнтами заломлення визначають за формулою:

$$U = \frac{(nD^{20} - 1,4595}{0,0118} \times 100,$$

де nD^{20} – показник заломлення олії за температури 20 °С.

Цей метод дозволяє отримати результат з точністю до трьох одиниць (за йодного числа понад 100).

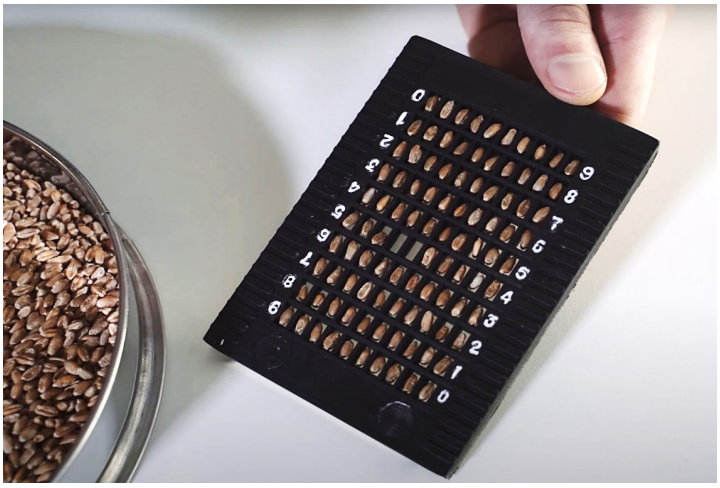
Визначення скловидності насіння

Під скловидністю розуміють консистенцію насіння, яка залежить від його хімічного складу. За ознакою скловидності зерно поділяють на *скловидне*, *напівскловидне* та *борошнисте*.

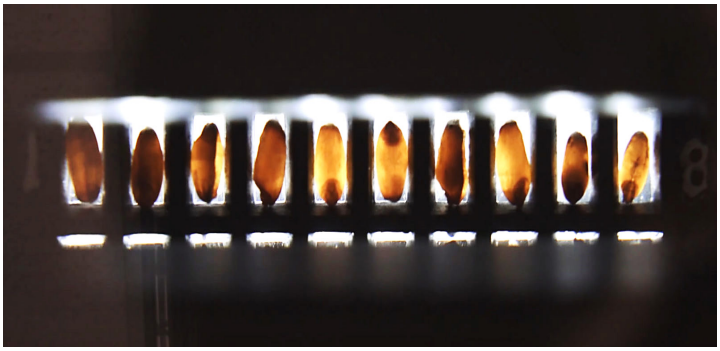
Скловидність насіння вказує на відносно високий уміст білкових сполук у ньому, борошнистість – на низький уміст білкових речовин і високий уміст крохмалю.

Визначення скловидності зерна проводиться шляхом проведення аналізу двох проб по 100 насінин за допомогою фаринотома або діафоноскопа. Діафаноскоп використовується для визначення склоподібності зерна за його оптичними властивостями. Місткість касети становить 100 зерен.

Дія діафаноскопа базується на різній здатності склоподібного / борошнистого зерна пропускати крізь себе світлове випромінювання (рис. 14.3).



А



Б

Рисунок 14.3 – *А.* Касета з насінням.
Б. Насіння з різним ступенем скловидності

Скловидне насіння в діафоноскопі добре просвічується, борошнисте – слабо або майже не просвічується. Розбіжність між двома визначеннями не має перевищувати 5 %.

Методи електрофорезу запасних білків насіння

Важливим етапом експериментальних досліджень є ідентифікація генотипу рослини. Це частина дослідження, що застосовується у плануванні гібридизації. Одним із сучасних методів лабораторного контролю насіння є електрофорез запасних білків. Запасні білки інтенсивно синтезуються у процесі розвитку насіння, їхній гетерогенний склад не залежить від умов вирощування культури, визначається генотипом і генетично закріплений у низці поколінь. Аналіз за білковим спектром часто використовують для таких культур, як пшениця, ячмінь, кукурудза, соняшник, жито й тритикале. Цей метод дозволяє визначати сортову чистоту партії насіння, проводити ідентифікацію сортів, перевіряти їх на відповідність.

Методика електрофоретичного розділення гордеїнів насіння ячменю (*Hordeum vulgare* L.)

Запасні білки синтезуються у процесі формування та розвитку насіння. Їхній склад і особливості визначаються генотипом. Однак, як і будь-який метод аналізу, електрофорез запасних білків потребує деяких модифікацій для конкретного виду рослин.

Гордеїнами називають спирторозчинну фракцію запасних білків ячменю. Установлено, що синтез гордеїнів контролюють 7 генів, які локалізовані на короткому плечі 5-ої хромосоми й успадковуються зчеплено. Аналіз складу гордеїнів заснований на визначенні продуктів алельних варіантів цих генів, які на електрофореграмах виглядають як серії блоків або наборів блоків.

На основі такого розподілу розрізняють 4 групи гордеїнів: A, B, C, D. Гордеїни A, імовірно, не належать до проламінів і не входять до складу білкових гранул. Гордеїни B (ген *Hor 2*) і C (ген *Hor 1*) містять значну кількість окремих білків, які становлять 95 % загального вмісту гордеїнів. Гордеїни D (ген *Hor 3*) представлені однією фракцією, що становить 2–4 %. Усі групи гордеїнів мають різну електрофоретичну рухливість – найбільш рухливою є група D, найменш рухливою – група A.

Алелі кожного локусу можуть бути позначені буквами, цифрами або їх комбінацією, що дає змогу створити генетичну формулу сорту.

Суть методу полягає в розділенні запасних білків гордеїнів за допомогою електрофорезу в поліакриламідному гелі з буферною системою на основі мурашиної кислоти та додаванням денатуруючого агента невисокої концентрації.

1. ***Підготовка зразків і екстракція білка.*** Відбирають 50 насінин досліджуваного сорту та 7 зернівок 4-х стандартних сортів. Стандартні сорти – сорти зі 100 % чистотою та відомими електрофоретичними спектрами. Кожну насінину подрібнюють за допомогою ступки Абіха та поміщають в окрему пробірку об'ємом 0,5 мл. До подрібненого матеріалу в кожну пробірку додають по 320 мкл 70 % розчину етилового спирту, перемішують на вортексі 10–20 с

та інкубують протягом 4 год за температури +45 °С. Після того як білки перейшли у спирт, їх знову ретельно перемішують на вортексі та центрифугують за 2000 об/хв протягом 5 хв. Потім відбирають 90 мкл супернатанту в чисті пробірки й висушують у термоблоці за температури +60 °С. До висушеного зразка додають по 50 мкл екстракційного буфера й витримують мінімум 2 год за кімнатної температури.

2. ***Приготування та заливка гелю.*** Перед тим як зібрати гелеві касети, скляні пластини знежирюють спиртом. Після чого спейсерні пластини обробляють препаратом 50 мкл Bind-Silan та підсушують протягом 20–30 хв за кімнатної температури. Потім збирають касети для гелю відповідно до інструкції. Готовий розділяючий гель використовують для формування пробки. Для цього до 30 мл гелю додають каталізатори полімеризації: 150 мкл 10 % розчину ПСА та 15 мкл розчину ТЕМЕД, обережно перемішують і заливають у зібрані касети шаром 7 мм. Полімеризація триває 5–10 хв. Для заповнення однієї касети використовують 35 мл розділяючого гелю, до якого додають каталізатори: 150 мкл 10 % розчину персульфату амонію і 20 мкл ТЕМЕД, обережно перемішують. Заповнюють касету гелем, залишаючи 3–5 см від верхнього краю скляних пластин для концентруючого гелю. Зверху на розділяючий гель нашаровують 500 мкл бутанолу для вирівнювання гелю. Полімеризація триває 15 хв, після чого бутанол зливають і ретельно промивають дистильованою водою. За допомогою фільтрувального паперу позбуваються залишків вологи із внутрішніх поверхонь скляних пластин і з поверхні гелю. Потім касети цілком заповнюють розчином концентруючого гелю. До 25 мл гелю додають 200 мкл 10 % розчину ПСА і 20 мкл ТЕМЕД, обережно перемішують і заливають в гелеві касети. У заповнені касети відразу вставляють лункоутворювачі. Полімеризація триває протягом 15 хв.

3. ***Підготовка електрофоретичної камери та внесення зразків.*** До верхньої камери приладу для електрофорезу приєднують касети з гелем. Обережно виймають лункоутворювач, видаляють залишки вологи за допомогою фільтрувального паперу і вносять екстракт досліджуваних зразків у гель. Об'єм екстракту залежить від обладнання, яке використовують, зазвичай для кожної гелевої доріжки використовують 20 мкл екстракту. За допомогою автоматичного дозатора обережно нашаровують верхній електродний буфер у лунки. Наливають у верхню та нижню камери електродний буфер, накривають запобіжною кришкою та підключають електроди до блока живлення таким чином, щоб верхній електрод виконував функцію катода, а нижній – анода.

4. ***Режим електрофорезу.*** Параметри електрофорезу: I=15 мА – 30 хв – до виходу піроніну G із лунок, I=30 мА – переміщення піроніну G у роздільний гель, I=90 мА – до закінчення електрофорезу. Для визначення оптимального часу електрофорезу використовують електрофоретичну рухливість барвника, який перебуває в екстракті: час, за який піронін G вийде з гелю, фіксується, його значення подвоюється. Після закінчення електрофорезу відключають блок живлення, знімають запобіжну кришку й зливають верхній і нижній електродні буфери.

5. ***Фарбування та фіксація білків.*** Фарбування та фіксацію білків проводять одночасно. Для цього касети з гелем розбирають, а пластину з гелем опускають у пластиковий контейнер, який містить 1 л розчину фарби, закривають контейнер кришкою і залишають на 8 год. Після фіксації та фарбування скляну пластину з гелем відмивають під проточною водою, підсушують за кімнатної температури, позначають стандартні сорти та документують за допомогою системи, що складається із трансілюмінатора видимого світла та відеосистеми із цифровою камерою, аналізують.

6. ***Аналіз даних.*** У генетично чистого сорту ячменю зазвичай усі насінини вибірки дають один, характерний для даного сорту, тип спектрів гордеїнів. Наявність зерен з іншими типами спектрів свідчить про його забрудненість (рис. 14.4).

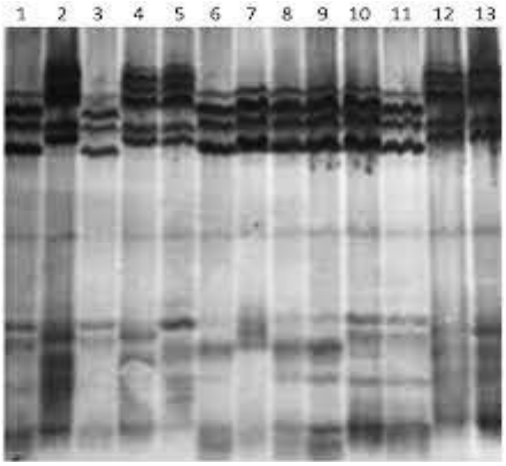


Рисунок 14.4 – Електрофореграма сортосуміші зерна ячменю
(1, 3, 10, 11 – Себастьян; 2, 4, 12, 13 – Ксанаду; 5 – Барке;
6, 8, 9 – Кангу; 7 – Джерзей)

Джерело: за Л. В. Сірант, 2015 р.

Отримані на гелевій пластині електрофоретичні спектри гордеїнів кожної насінини, що аналізується, порівнюють з еталонними спектрами відповідного стандартного сорту. Сортову чистоту (*Ч*) сорту виражають у відсотках і обчислюють за формулою:

$$Ч = \frac{E \times 100}{K},$$

де E – кількість ідентичних електрофоретичних спектрів, шт.;
K – кількість проаналізованих зернівок, шт.

За наявності у зразку кількох електрофоретичних спектрів підрахунок за кожним ведуть за ідентичністю однорідних типів спектрів і виражають у відсотках уміст кожного.

Методика електрофоретичного розділення геліантинів насіння соняшнику (*Helianthus annuus* L.)

Компоненти запасних білків насіння соняшнику (геліантиніни) контролюються як мінімум шістьма локусами: HEL1, HEL2, HEL3, HEL4, HEL5, HEL6. Гени HEL1 і HEL6 представлені одним (гомозигота) або двома алелями (гетерозигота). Гени, що кодують синтез запасних білків, зібрані у кластери як один компонент або єдина група (блок).

Блок електрофоретичних компонентів є фенотиповим маркером відповідного локусу на рівні білкових молекул. Алелі мають різну рухливість та інтенсивність, що дозволяє ідентифікувати різні серії алельних варіантів за кожним кластером, ідентифікувати гомозиготи за кожним алелем (ознака самозапильних ліній), гетерозиготи (ознака гібридності). Алелі кожного локусу розташовані за зростанням рухливості й зменшенням молекулярної маси від HEL1 до HEL6.

Методика застосовується для визначення типовості самозапилених ліній та рівня гібридності насіння першого покоління (F_1) на етапах селекції та насінництва соняшнику, визначення генетичної однорідності гібридів та ідентифікації окремих генотипів.

Суть методу – це розділення запасних білків геліантинінів за допомогою електрофорезу в поліакриламідному гелі з буферною системою гліцин-оцтова кислота.

1. ***Підготовка зразків і екстракція білка.*** Відбирають 40 насінин соняшнику, звільняють від лушпиння та подрібнюють за допомогою ступки Абіха. Переносять у мікроцентрифужну пробірку об'ємом 1,5 мл та додають 1 мл н-гексану. Перемішують 30–40 с на вортексі й інкубують протягом 30 хв за кімнатної температури. Після чого супернатант видаляють. Очищення н-гексаном повторюють ще двічі. Після видалення н-гексану на останньому етапі осад підсушують під витяжною шафою протягом 1,5–2 год. До знежиреного шроту додають 1 мл розчину для екстракції геліатинінів, перемішують на вортексі 30–40 с та інкубують протягом 12–18 год за кімнатної температури. Після екстракції суміш інкубують проягом 5 хв за 95 °С, охолоджують і центрифугують за 4000 об/хв протягом 5 хв.

2. ***Заливка гелю та внесення зразків.*** Перед збиранням касет для заливки гелю скляні пластини знежирюють спиртом. Після чого спейсерні пластини обробляють препаратом 50 мкл Bind-Silan та підсушують протягом 20–30 хв за кімнатної температури. Потім збирають касети для гелю, як зазначено в інструкції виробника. Приготований гель використовують для формування пробки. Для цього до 20 мл гелю додають 300 мкл розчину $FeSO_4 \times 7H_2O$ та 300 мкл розчину ПСА, ретельно перемішують і заливають у зібрані касети шаром 7 мм. Полімеризація триває 10 хв. Для заповнення однієї касети використовують 45 мл гелю, до якого додають 450 мкл розчину $FeSO_4 \times 7H_2O$ та 450 мкл розчину ПСА, ретельно перемішують. Заповнюють касету гелем та відразу вставляють лункоутворювачі. Полімеризація триває протягом 10 хв. Після полімеризації збирають прилад і виймають гребінку з утвореного гелю. За допомогою фільтрувального паперу видаляють

залишки вологи зі слотів. Для проведення електрофорезу 20 мл супернатанту вносять у лунки гелю. За допомогою автоматичного дозатора обережно нашаровують верхній електродний буфер у лунки. Верхню і нижню камери заповнюють електродним буфером.

3. ***Режим електрофорезу та фіксація білків.*** Параметри електрофорезу: I=15 мА – 20 хв; I=35 мА – 15 хв; I=40 мА – до завершення, тривалість процесу – 3 год. Під проточною водою знімають короткі скляні пластини, а спейсерні пластини з гелем помішують у розчин для фіксування та фарбування білків на ніч. Після фіксації та фарбування скляну пластину з гелем відмивають під проточною водою, підсушують за кімнатної температури, позначають відповідні гібриди або батьківські компоненти та документують за допомогою системи, що складається із трансілюмінатора видимого світла та відеосистеми із цифровою камерою, і аналізують (рис. 14.5).

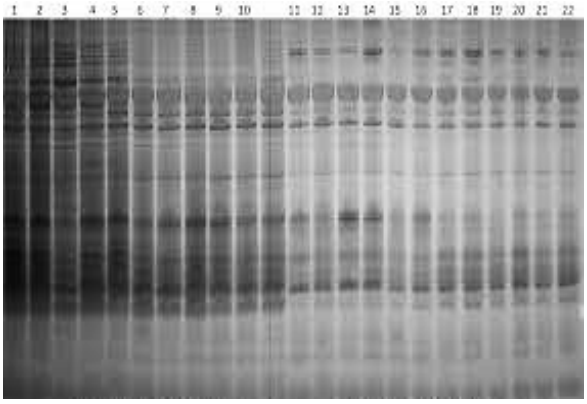


Рисунок 14.5 – Електрофореграма геліантиніна соняшнику

Джерело: за Л. В. Сірант, 2015 р.

4. ***Аналіз даних.*** Опрацювання результатів електрофоретичного розподілу геліантинінів залежить від мети аналізу. Для визначення генетичної (сортової) чистоти гібрида його порівнюють з відповідним стандартом з відомими електрофоретичними спектрами та виражають у відсотках:

$$Ч = \frac{E \times 100}{K},$$

де E – кількість ідентичних електрофоретичних спектрів, шт.;
K – кількість проаналізованих зернівок, шт.

Для визначення ступеня гібридності на одну скляну пластину з гелем вносяться зразки гібрида, що аналізується, та батьківські компоненти. За отриманими електрофоретичними спектрами батьківських компонентів визначається маркерна зона (відмінні за молекулярною масою поліпептиди в материнського і батьківського компонентів, які успадковуються гібридом), підраховують кількість гібридних спектрів.

Ступінь гібридності (C_i) виражають у відсотках і обчислюють за формулою:

$$C_i = \frac{F \times 100}{B},$$

де F – кількість гібридних електрофоретичних спектрів, шт.;
B – кількість проаналізованих зернівок, шт.

Методика електрофоретичного розділення зеїнів насіння кукурудзи (*Zea mays* L.)

Зеїни – спирторозчинні запасні білки кукурудзи, поліморфна білкова система, компоненти якої кодуються великим полігенним комплексом. Поліморфізм зеїну було виявлено аналізом проламінів інбредних ліній кукурудзи за допомогою різних методів фракціонування білків. Значний внутрішньовидовий поліморфізм проламінів кукурудзи передбачає існування множинних алелів за зеїнкодувальних локусів. У результаті багаторічних генетичних досліджень було виявлено три основні зеїнкодувальні локуси, що є мультигенними мультиалельними кластерами, та ідентифіковано за цими локусами 33 алелі. Було показано, що зеїнкодувальні гени розташовані на 4-й і 7-й хромосомах кукурудзи.

Метод електрофорезу запасних білків дозволяє виявити високий рівень поліморфізму зеїнів, що робить його незамінним для ідентифікації сортів і сортової сертифікації. За допомогою цього методу можна проводити визначення генетичної однорідності ліній, визначення ступеня гібридності гібридів кукурудзи. Такі дослідження мають велике значення для селекціонерів і товаровиробників насіння.

Суть методу: розділення запасних білків – зеїнів за допомогою електрофорезу в поліакриламідному гелі з буферною системою гліцин-оцтова кислота.

1. ***Підготовка зразків і екстракція білка.*** Для проведення аналізу із зернівки кукурудзи видаляють зародок, подрібнюють за допомогою ступки Абіха та поміщають в мікроцентрифужну пробірку об'ємом 1,5 мл, додають 500 мкл 70 % етилового спирту. Екстракцію проводять 1,5–2 год за кімнатної температури. Перемішують зразок струшуванням і центрифугують 10 хв за 12 000 об/хв. Відбирають увесь спиртовий супернатант і випарюють у термостаті за температури +60 °С. Висушені поліпептиди розчиняють у 50–100 мкл буфера нанесення.

2. ***Приготування гелю та підготовка електрофоретичної камери.*** Скляні пластини для гелю попередньо знежирюють спиртом, спейсерні пластини, до яких прикріплюється гель, обробляють 50 мкл препарату Bind-Silan і підсушують протягом 20–30 хв за кімнатної температури. Потім збирають касети для гелю за інструкцією виробника. Приготований гель використовують для формування пробки: у 20 мл розчину вносять 60 мкл ТЕМЕД та 100 мкл 10 % розчину ПСА. Полімеризація триває 10 хв. Для заповнення однієї касети використовують 40 мл гелю, до якого додають 120 мкл ТЕМЕД та 200 мкл 10 % розчину ПСА, ретельно перемішують. Заповнюють касету гелем і відразу вставляють лункоутворювачі. Полімеризація триває протягом 15 хв. Після полімеризації збирають прилад і заповнюють електрофоретичну

камеру електродним буфером. Виймають гребінку з утвореного гелю та промивають лунки буфера шляхом вакуумування від залишків гелю. Перед унесенням у гель розчин білків витримують 5 хв за температури +95 °С. Для проведення електрофорезу в лунки гелю вносять по 20 мл розчину білків.

3. ***Режим електрофорезу та фіксація білків.*** Електрофорез проводять за постійної напруги 500 V протягом 5 год. Після закінчення відключають блок живлення, знімають запобіжну кришку та зливають електродний буфер. Під холодною проточною водою знімають короткі скляні пластини, а спейсерні пластини з гелем поміщають у розчин для фіксування та фарбування білків на ніч. Після фіксації та фарбування скляну пластину з гелем відмивають під проточною водою, підсушують за кімнатної температури, позначають відповідні гібриди або батьківські компоненти та документують за допомогою системи, що складається із трансілюмінатора видимого світла та відеосистеми із цифровою камерою, аналізують (рис. 14.6).

4. ***Аналіз даних.*** Для визначення генетичної (сортової) чистоти гібрида його порівнюють з відповідним стандартом з відомими електрофоретичними спектрами та виражають у відсотках.

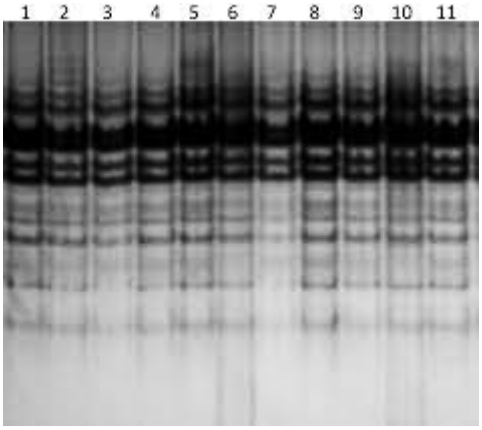


Рисунок 14.6 – Електрофореграма зеїну кукурудзи гібрида Інагуа

Джерело: за Л. В. Сірант, 2015 р.

Для визначення ступеня гібридності на одну скляну пластину з гелем вносяться зразки гібрида, що аналізується, та батьківські компоненти. За отриманими електрофоретичними спектрами батьківських компонентів визначається маркерна зона (відмінні за молекулярною масою поліпептиди в материнського і батьківського компонентів, які успадковуються гібридом), підраховують кількість гібридних спектрів за формулою:

$$Сг = \frac{Г \times 100}{В},$$

де $Г$ – кількість гібридних електрофоретичних спектрів, шт.;

$В$ – кількість проаналізованих зернівок, шт.

Методика електрофоретичного розділення високомолекулярних глютенінів насіння пшениці (*Triticum* L.)

У насінні пшениці високомолекулярні глютеніни (далі – ВМГ) білкового матриксу відповідають за властивості, пов'язані з в'язкістю – розтяжністю клейковини. Високомолекулярні глютеніни є продуктами експресії двох зчеплених генів типу «х» та «у» локусів Glu-A1, Glu-B1 і Glu-D1, що містяться на довгому плечі хромосом відповідно 1A, 1B, 1D. Електрофоретичний поділ цих білкових систем показав, що вони поліморфні, генетично стабільні й можуть маркувати генетичну систему. Використання високомолекулярних глютенінових білків у ролі маркерних ознак у доборі вихідних батьківських форм підвищує відсоток вдалих комбінацій у селекційній роботі. Забезпечення контролю наявності у спектрі запасних білків установлених алелей, які визначають високі ознаки якості зерна, на всіх етапах селекційного процесу допомагає селекціонеру проводити добори кращих елітних рослин на ранніх поколіннях і ліній у розсадниках.

Суть методу: електрофоретичне розділення запасних білків пшениці з метою подальшої ідентифікації сортів цієї культури та вивчення сортової чистоти партій зерна.

1. ***Підготовка зразків і екстракція білка.*** До подрібненої за допомогою ступки Абіха зернівки додають 400 мкл екстракційного буфера. Екстракцію проводять протягом 4-х годин. Перед нанесенням проби нагрівають до 100 °С та інкубують протягом 3–7 хв. Для денатурації високомолекулярних білків.

2. ***Приготування гелю та підготовка електрофоретичної камери.*** Скляні пластини для гелю попередньо знежирюють спиртом, спейсерні пластини, до яких прикріплюється гель, обробляють 50 мкл Bind-Silan та підсушують протягом 20–30 хв за кімнатної температури. Потім збирають касети для гелю. До приготованого розділяючого гелю на 100 мл додають каталізатори полімеризації: 10 % розчин ПСА – 400 мкл, ТЕМЕД – 40 мкл, заливають скляними пластинами, залишаючи 3–5 см від верхнього краю скляних пластин для концентруючого гелю, та нашаровують 500 мкл дистильованої води. Після полімеризації розділяючого гелю дистильовану воду зливають. У концентруючий гель додають каталізатори полімеризації (10 % розчин ПСА – 300 мкл, ТЕМЕД – 30 мкл) і заливають поверх розділяючого гелю. У концентруючий гель вставляють гребінки для формування лунок. Після полімеризації концентруючого гелю гребінки виймають і наносять у кожну лунку по 15–18 мкл екстракту.

3. ***Режим електрофорезу та фіксація білків.*** Верхню та нижню камери заповнюють електродиним буфером. Електрофорез проводять за таких параметрів: I=30 мА – до виходу бромфенолового синього з лунок (приблизно протягом 30 хв); I=40 мА – до входу бромфенолового синього в розділяючий гель; I=75 мА – до закінчення електрофорезу. Тривалість електрофорезу залежить від приладу. Для визначення оптимального часу електрофорезу використовують барвник, що міститься в екстракті. Після того як барвник дійде до низу гелевих касет, відключають блок живлення та зливають буфер. Під холодною проточною водою знімають короткі скляні пластини, а спейсерні пластини з гелем поміщають у розчин для фіксування та фарбування білків на ніч. Після

фіксації та фарбування скляну пластину з гелем відмивають під проточною водою, підсушують за кімнатної температури, позначають відповідні сорти та документують за допомогою системи, що складається із трансілюмінатора видимого світла та відеосистеми із цифровою камерою, аналізують.

14.4. Визначення сортової та генетичної чистоти насіннєвого матеріалу

Сортова чистота посівного матеріалу критично важлива для майбутнього врожаю, а також визначає цінність вирощеного насіння на ринку.

Не завжди легко встановити чистоту сорту за морфологічними ознаками насіння чи зерна, а пробне вирощування нераціональне через затрати часу й праці.

Сучасна технологія визначення сорту – це специфічний аналіз фрагментів ампліфікації ДНК.

Кожен сорт має свої специфічні генетичні маркери – ділянки хромосом, що мають характерну довжину для кожного сорту. Ампліфікація в ПЛР таких ділянок з наступним розділенням утворених фрагментів ДНК за довжиною даватиме унікальну для сорту картину. Для розділення і візуалізації використовується гель-електрофорез.

Ще кілька років тому це був трудомісткий процес із заливкою гелів, філігранним нанесенням проби, підбором умов розділення фрагментів, візуалізацією з високотоксичними барвниками. Зараз завдання спрощується завдяки автоматичним системам капілярного електрофорезу на багаторазових картриджах.

Для надійного визначення сорту необхідне не тільки сучасне обладнання, але і якісні реагенти. Для специфічної ампліфікації фрагментів ідеально підходять набори реагентів для ПЛР QIAGEN, що забезпечують високий вихід продукту та специфічність реакції без ретельного підбору умов.

14.5. Молекулярно-генетичний аналіз

Методика виділення ДНК з рослинного матеріалу за допомогою CTAB-методу

Роль ДНК у клітинах – довготривале зберігання інформації про структуру РНК і білків. У клітинах еукаріотів ДНК міститься в ядрі клітини у складі хромосом, а також у деяких клітинних органелах (мітохондріях і пластидах). Для отримання якісного результату за проведення їх полімеразно-ланцюгової реакції (ПЛР) необхідно у процесі виділення отримати максимально чисту, оптимальної концентрації ДНК.

Нині універсальним методом виділення ДНК є CTAB-метод, заснований на здатності нуклеїнової кислоти утворювати стабільні та розчинні сполуки із бромідом цетилтриетиламонію (далі – CTAB) за високих концентрацій солей. Зі зменшенням концентрацій солі NaCl нижче 0,4 М комплекс CTAB / нуклеїнова кислота випадає в осад. Після руйнування клітин білки денатурують і екстрагують сумішшю хлороформу з ізоаміловим спиртом. CTAB видаляють осадженням етанолом.

Принцип методу. Метод охоплює стадію лізису та кілька стадій видалення контамінантів: полісахаридів, білків і жирів. Концентрація солей на стадії екстракції є дуже важливою для видалення забруднювачів. За низької концентрації солі (<0,4M NaCl) за кімнатної температури комплекс CTAB / ДНК випадає в осад, тоді як забруднюючі домішки не осаджуються і можуть бути вилучені. Збільшенням концентрації солі (>1,4M NaCl) видаляють денатуровані білки й полісахаридні комплекси, а нуклеїнові кислоти розчиняються. Хлороформ використовують для відокремлення нуклеїнової кислоти від комплексу полісахарид / білок і CTAB. Хлороформ денатурує білки та полегшує розділення водної і органічної фаз. Зазвичай водна фаза є верхньою.

Завершальна стадія – очищення нуклеїнових кислот осадженням ізопропіловим і промивання етиловим спиртами.

1. Підготовка зразків.
2. Лізис.
3. Відмивання та преципітація.
4. Відмивання.
5. Розчинення.

Визначення кількості та якості виділеної ДНК

1. ***Визначення кількості й оцінювання якості ДНК за допомогою спектрофотометрії.*** Кількісний уміст нуклеїнової кислоти може визначатись безпосередньо у водному розчині, у розведеній або нерозведеній формі, вимірюванням величини поглинання А (оптична густина, OD) ультрафіолетових променів світла в діапазоні довжини хвиль від 210 до 300 нм. Якщо дослідний зразок досить очищений (тобто без домішок, як-от білки, фенол чи агароза), спектрофотометричне визначення кількості ультрафіолетового світла, що поглинається азотистими основами, є точним і простим. Для цього методу ідеальним є буфер з низькою іонною концентрацією (наприклад, ТЕ-буфер). Концентрація нуклеїнових кислот визначається за довжини хвилі 260 нм у порівнянні зі стандартним розчином. Оскільки білки поглинають за довжини хвилі 280 нм, відношення А260/А280 використовується для визначення чистоти нуклеїнових кислот. Чиста ДНК повинна бути з величиною відношення приблизно 1,8, тоді як чиста РНК – 2,0. Поглинання за довжини хвилі 230 нм відображує забруднення зразка такими сполуками, як вуглеводи, пептиди, феноли або ароматичні вуглеводні. Якщо зразки чисті, то відношення А260/А230 становить приблизно 2,2. Важливо відзначити, що домішки РНК у розчині ДНК не можуть бути виявлені методом спектрофотометрії. Саме через це рекомендується використовувати ензиматичне видалення РНК на прикінцевих етапах виділення ДНК.

2. ***Оцінювання якості та кількості виділеної ДНК методом електрофорезу в агарозному гелі з фарбуванням бромистим етидієм.*** Альтернативний метод електрофорезу ДНК в агарозному гелі з подальшим фарбуванням бромистим етидієм дозволяє визначити кількісний уміст ДНК й аналізувати її фізичний стан (ступінь деградації, наявність залишкової кількості РНК) у разі доступності обмеженої кількості ДНК. У даному разі кількість нуклеїнових кислот може бути встановлена методом порівняння з набором стандартних концентрацій за інтенсивністю флюоресценції, що випромінюється бромистим етидієм за опромінення УФ-світлом.

Аналіз чужорідного генетичного матеріалу в сортах сої за допомогою методу ПЛР в реальному часі з використанням тест-системи «ГМО-соя» (35S/NOS скринінг)

Лабораторний метод ґрунтується на застосуванні ПЛР в режимі реального часу. Включає водночас детекцію та кількісне визначення специфічної послідовності ДНК у зразку. Одним із популярних методів ПЛР в реальному часі є метод із використанням флуоресцентної проби (5'-екзонуклеазний). Ця проба – олігонуклеотид, до двох кінців якого приєднані відповідно: репортер флюоресценції – до 5'-кінця, його гасник – до 3'-кінця. Коли проба не зв'язана з матрицею, репортерна флюоресценція гаситься близько розташованою фарбою-гасником. Флюоресцентно мічена проба зв'язується з відповідною ділянкою матриці-мішені, яка міститься між двома праймерами за принципом комплементарності.

Під час етапу подовження Taq-полімераза завдяки 5'-екзонуклеазній активності руйнує пробу, розташовану на матриці, тим самим від'єднує від 5'-кінця проби флуоресцентний барвник. Відстань між фарбою-репортером і фарбою-гасником різко збільшується, рівень флюоресценції зростає. Відповідна оптична система приладу фіксує збільшення рівня флюоресценції після кожного циклу ПЛР.

Оптичний сигнал обчислюється за спеціальною програмою та відтворюється на дисплеї графічно. З огляду на те, що посилення флюоресценції відбувається лише за умови відпалювання обох праймерів і флюоресцентно міченої проби, ПЛР у режимі реального часу має вищу специфічність, ніж класична ПЛР. Відносна кількість гена-мішені дає можливість побудувати стандартні криві за допомогою відомих кількостей додаткових ендогенних генів.

Суть методу: проведення одночасної детекції трьох послідовностей ДНК з використанням реакційної суміші, що містить праймери та мічені флуоресцентними барвниками зонди.

До складу тест-системи входить такий набір реагентів:

Негативний контрольний зразок (НКЗ)	30 мкл
Позитивний контрольний зразок (ПКЗ)	50 мкл
ПЛР-РЧ суміш	1,8 мкл
Taq-полімераза	20 мкл

Реакційна суміш (ПЛР-РЧ) цієї тест-системи вже містить праймери до тестованих послідовностей, тобто до послідовності промотора вірусу мозаїки цвітної

капусти (35S CaMV) і термінатора нопалинсинтази (NOS) з *Agrobacterium tumefaciens*, які входять до складу багатьох трансгенних конструкцій, а також гена лектину (Lec) сої як ендогенного видоспецифічного контролю проходження ПЛР. Окрім того, до її складу також включено специфічні щодо цих послідовностей зонди, мічені відповідно барвниками: FAM – до 35S-промотора; ROX – до NOS-термінатора; JOE – до Lec-гена.

Приготування робочої суміші. Для запобігання контамінації реактивів для ПЛР в реальному часі приготування робочої суміші та внесення ДНК має проводитись у різних приміщеннях або УФ-боксах.

Для запобігання деградації реактивів усі розчини для ПЛР мають бути захищені від прямих сонячних променів і перебувати в розмороженому стані не більш ніж 1 год.

Умови проведення ПЛР в реальному часі

Створити планшетний документ відповідно до інструкції для ампліфікатора, задаючи детекцію флуоресцентних барвників FAM (35S-промотор), ROX (NOS-термінатор), JOE* (Lec). У разі користування ампліфікатором для оцінювання фонової флуоресценції як пасивним барвником ROX відключити цю функцію.

Розмістити підготовлені пробірки у планшет ампліфікатора відповідно до підготовленого планшетного документа. Задати програму ампліфікації, що наведена нижче (табл. 14.1).

Таблиця 14.1 – Базовий протокол ампліфікації

Етапи	Температура, °С	Час, хвилин	Процес	Кількість циклів
1	94	3:00	Денатурація ДНК	1
2	95	0:20	Денатурація ДНК	
3	60	0:40, зйомка	Гібридизація та елонгація (детекція флуоресценції)	45

Програма ампліфікації має бути оптимізована під конкретний ампліфікатор.

Опрацювання та оформлення результатів вимірювань. За допомогою програмного забезпечення оцінюють криві ампліфікації негативних і позитивних контрольних зразків, отриманих для барвників FAM, JOE, ROX. Криві ампліфікації НКЗ та НКВ, отримані для згаданих барвників, не повинні перевищувати базову лінію, а значення порогового циклу Ct мають бути відсутніми. Криві ампліфікації ПКВ, отримані для всіх згаданих барвників, мають бути сигмовидної форми, повинні бути присутні значення порогового циклу Ct. Інакше необхідно повторити процес, починаючи з виділення ДНК. За допомогою програмного забезпечення оцінюють криві ампліфікації і значення порогового циклу Ct зразків.

Інтерпретація отриманих результатів проводиться за даними таблиці 14.2 (див. с. 381).

У зразку виявлено ДНК сої, якщо для нього визначено значення порогового циклу Ct ≤ 40. За отримання значення Ct>40 необхідно повторити процес для даного зразка, починаючи з етапу виділення ДНК. За повторного отримання

подібних значень зразок уважається таким, що не підлягає аналізу через низький відсоток умісту ДНК сої.

Таблиця 14.2 – Інтерпретація отриманих результатів

Наявність кривої та значення Ct			Висновок
JOE	**FAM**	**ROX**	
–	–	–	Зразок не містить ДНК сої, промотора 35S та термінатора NOS.
+	–	–	Зразок містить ДНК сої, не містить промотора 35S і термінатора NOS.
+	+	–	Зразок містить ДНК сої та промотор 35S, не містить термінатора NOS.
+	–	+	Зразок містить ДНК сої та термінатор NOS, не містить промотора 35S.
+	+	+	Зразок містить ДНК сої, промотор 35S і термінатор NOS.
–	+	+	Зразок не містить ДНК сої, але містить промотор 35S і термінатор NOS.

У зразку виявлено промотор 35S, якщо по каналу FAM для нього визначено значення порогового рівня Ct.

У зразку виявлено термінатор NOS, якщо по каналу ROX для нього визначено значення порогового рівня Ct.

14.6. Визначення показників якості зерна за допомогою аналізатора “Infratec 1225”

За допомогою аналізатора “Infratec 1225” (фірма “Tecator”, Швеція) визначають показники якості зерна пшениці, ячменю, кукурудзи, гороху, вівса, рису, жита, тритикале, сої, насіння ріпаку.

Принцип роботи приладу ґрунтується на вимірюванні поглинання пробою електромагнітного випромінювання. Під час проведення аналізу основні компоненти зерна (протеїн, вода, жир тощо) поглинають електромагнітне випромінювання в області ближнього інфрачервоного діапазону, тому немає потреби в підготовці зерна. Для аналізу використовують неподрібнене, необроблене протруйниками, регуляторами росту й іншими хімічними препаратами зерно.

Метод відбирання проб. Відбирають проби для аналізу зерна відповідно до вимог ДСТУ 4117:2007. Маса наважки, узятої для аналізу, – 250–350 г. “Infratec 1225” встановлюють у приміщенні, прилад вмикають в електромережу за 30 хв до початку аналізу. Після вмикання приладу проводиться автоматичне тестування його комп’ютерної системи, на дисплеї з’являється головне меню, яке дозволяє вибрати режим роботи та за вже існуючими прикладними моделями визначати концентрації різних компонентів у пробах невідомого складу.

Перебіг аналізу. Наважку (250–350 г) засипають у приймальну воронку. На початку аналізу виконується контрольне сканування порожньої комірки. Потім комірка заповнюється дослідною пробою. Після цього проводиться сканування першої субпроби. Кількість субпроб (частин), на які поділяють пробу зерна, можна змінювати за допомогою клавіатури та через центральний

комп'ютер. Процес триває приблизно 1 хв. Результати аналізу з'являються на дисплеї і виводяться водночас на принтер.

Важливо використовувати комірку, що підходить для об'єму окремої проби. Комірка завширшки 18 мм використовується для ячменю, вівса, рису, жита, тритикале, пшениці, 30 мм – для гороху, кукурудзи, сої, 6 мм – для насіння ріпаку.

Калібрування. Процес калібрування – математична процедура, що дозволяє отримати модельні дані для одного конкретного компонента, тобто калібровочну модель. Прикладна модель (пакет калібровочних моделей) може бути використана системою "Infratec 1225" для визначення вмісту одного або кількох компонентів.

Для досягнення цієї мети необхідно визначити початкові дані щодо хімічної будови проби, що аналізується.

До початку сканування необхідно ввести назву компонентів і хімічні значення для проб, які треба зв'язати зі спектром, після чого виконати сканування.

Проб із відомими хімічними значеннями для створення калібровочної моделі має бути приблизно 100. За допомогою програмного забезпечення "Infratec 1225" потрібно опрацювати отримані спектри, одночасно пов'язуючи їх із хімічними даними.

Завдання та питання для самостійної роботи

1. *Які установи здійснюють оцінювання посівних якостей насіння?*
2. *Які показники якості насіння регламентуються Державним стандартом?*
3. *Які показники якості насіння не регламентуються Державним стандартом?*
4. *Які методи аналізу насіння за ураження хворобами?*
5. *Сучасні методи аналізу патогенів насіння.*
6. *Охарактеризуйте переваги методу ІФА для аналізу патогенів на насінні.*
7. *Метод електрофорезу: цілі, переваги, недоліки.*
8. *Загальні правила проведення електрофоретичного дослідження. Які субстрати використовують для аналізу лабораторної схожості насіння?*
9. *Мета та переваги застосування аналізу ПЛР в оцінюванні якостей насіння.*
10. *Що характеризує значення йодного числа жиру (жирних кислот)?*
11. *Наведіть визначення йодного числа жиру. У яких одиницях вимірюється йодне число жиру?*
12. *Які існують методи визначення йодного числа жиру?*
13. *Від чого залежить значення йодного числа жиру?*
14. *У чому полягає принцип методів вимірювання йодного числа?*
15. *Як визначають лушпинність і панцирність насіння соняшнику?*
16. *Як визначають скловидність насіння?*
17. *Методи визначення сортової та генетичної чистоти насіннєвого матеріалу.*

Перелік джерел до розділу 14

1. Аксенов И. В. Идентификация белковых спектров в гибридных комбинациях подсолнечника. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур Національної академії аграрних наук України*. 2009. № 14. С. 3–7.
2. Блюм Я. Б. Впровадження методів оцінки наявності та вмісту генетично модифікованих компонентів упродуктах харчування, кормах і парфюмерно-косметичних виробах / Я. Б. Блюм та ін. *Наука та інновації.* 2008. Т. 4. № 2. С. 40–48.
3. Гаврилюк М. М., Соколов В. М., Жемойда В. Л. Практичне насінництво та насіннєзнавство сільськогосподарських рослин : навчальний посібник. Вінниця : ТОВ «Твори», 2018.
4. ДСТУ ISO 21571:2008 Продукти харчові. Методи виявлення генетично модифікованих організмів і продуктів з їхнім вмістом. Екстрагування нуклеїнової кислоти.
5. ДСТУ-П CEN/TS 15568:2008 Продукти харчові. Методи виявлення генетично модифікованих організмів і продуктів з їхнім вмістом. Відбирання проб.
6. ДСТУ ISO 21570:2005 Продукти харчові. Методи виявлення генетично модифікованих організмів і продуктів з їхнім вмістом. Кількісні методи на основі аналізування нуклеїнової кислоти.
7. Жатова Г. О. Загальне насіннєзнавство : навчальний посібник. Суми : Університетська книга, 2010. 273 с.
8. Злацька А. В. Ідентифікація алеля Glu-B1a1 високомолекулярних глютенінів та його вплив на ознаки хлібопекарської якості у пшениць, придатних до поширення в Україні. Физиология и биохимия культурных растений. 2010. Т. 42. № 4. С. 315–321.
9. Корхова М. М. Насіннєзнавство : конспект лекцій для здобувачів вищої освіти ступеня «магістр» спеціальності 201 «Агрономія» денної форми навчання. Миколаїв : МНАУ, 2018. 96 с.
10. Корхова М. М. Насіннєзнавство та методи визначення якості насіння сільськогосподарських культур : методичні рекомендації для практичної підготовки студентів освітнього ступеня «магістр» спеціальності 201 «Агрономія» денної форми навчання. Миколаїв : МНАУ, 2020. 100 с.
11. Любич В. В., Желєзна В. В., Костетська К. В. Лабораторна схожість та енергія проростання зерна пшениці спельти залежно від удобрення і тривалості зберігання. *Селекція і насінництво.* 2021. Вип. 119. С. 126–134.
12. Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Загальна частина / укл.: С. О. Ткачик, Н. В. Лещук, О. І. Присяжнюк ; Український інститут експертизи сортів рослин. 4-те вид., випр. і доп. Вінниця, 2016. 120 с.
13. Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Методи визначення показників якості продукції рослинництва / ред.: С. О. Ткачик та ін. ; Український інститут експертизи сортів рослин. Вінниця, 2016. 159 с.
14. Насіннєзнавство та методи визначення якості насіння сільськогосподарських культур : навчальний посібник / за ред. С. М. Каленської. Вінниця : ФОП Данилюк, 2011. 322 с.
15. Орлов О. І. Контроль соняшникової вогнівки. *Агроном*. 2022.

16. Пірко Я. В., Корховий В. І., Кашеваров Г. П., Комарницький І. К., Ємець А. І., Кучук М. В., Сорочинський Б. В., Блюм Я. Б. Впровадження методів контролю генетично модифікованих компонентів у насіннєвому матеріалі сільськогосподарських культур та стандартизація їх нормативного забезпечення. *Наука та інновації.* 2009. Т. 5. № 2. С. 38–49.
17. Попереля Ф. О. Генетична інтерпритація електрофореграм геліантиніну насіння F_1 соняшнику. *Цитология и генетика*. 2000. Т. 34. № 2. С. 84–90.
18. Присяжнюк Л. М., Сатарова Т. М., Ткачик С. О., Шитікова Ю. В., Дзюбецький Б. В., Черчель В. Ю. Аналіз електрофоретичних спектрів зеїнів для оцінки генетичного різноманіття ліній кукурудзи (Zea mays (L.) Merr.). Журнал прикладних досліджень. Вивчення та охорона сортів рослин. 2018. № 14. 1. P. 89–96. DOI: 10.21498/2518-1017.14.1.2018.12651
19. Сірант Л. В., Дикун М. О., Починок В. М., Завальна Г. В. Ідентифікація білкових спектрів пивоварних сортів ячменю. *Фактори експериментальної еволюції організмів* : збірник наукових праць / за ред. В. А. Кунаха та ін. Київ : Логос, 2013. Т. 12. С. 306–309.
20. Сірант Л. В., Дикун М. О., Завальна Г. В. Запасні білки як універсальний маркер ідентифікації генотипів сільськогосподарських рослин. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2015. Т. 17. С. 333–335.
21. Каленська С. М., Новицька Н. В., Стихар А. Є., Малеончук О. В. Управління процесами формування високоякісного насіння сільськогосподарських культур. *Науковий вісник Національного авіаційного університету*. Київ, 2008. Вип. 123. С. 13–21.
22. Arya S., Lehana P. Development of a Seed Analyzer using the Techniques of Computer Vision. *IJDPS*. 2012. Vol. 3. № 1. P. 149–155.
23. Lin H.-Y., L.-C. Chiueh, Shih D. Y.-C. Detection of Genetically Modified Soybeans and Maize by the Polymerase Chain Reaction Method. *Journal of Food and Drug Analysis.* 2000. Vol. 8. № 3. P. 200–207.
24. Paoletti C., Donatelli M., Kay S., van den Ede G. Simulating kernel lot sampling: the effect of heterogenety on the detection of GMO contaminations. Seed Sci. Technol. 2003. № 31. P. 629–638.
25. Shrestha H. K., Hwu K.-K., Chang M.-C. Detection of genetically modified maize (*Zea mays* L.) in seed samples from Nepal. *African Journal of Biotechnology*. 2010. Vol. 9. № 34. P. 5581–5589.
26. Higuchi R. Kinetic PCR Analysis: Real-time monitoring of DNA amplification reactions. *Biotechnology*. 1993. № 11. P. 1026–1030.

Інформаційні ресурси

1. Про приєднання України до Схеми сортової сертифікації насіння зернових культур, Схеми сортової сертифікації насіння кукурудзи та сорго Організації економічного співробітництва та розвитку : Закон України від 15.02.2011 № 3019-VI. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3019-17#Tex
2. Головне управління Держпродспоживслужби в Миколаївській області. Контроль у сфері насінництва та розсадництва. URL: https://dpssmk.gov.ua/kontrol-u-sferinasinnytstva-ta-rozsadnytstva

3. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2021 р. URL: https://sops.gov.ua/reestrsortiv-roslin
4. Державний Реєстр суб'єктів насінництва та розсадництва на 2021 р. URL: https://minagro.gov.ua/ua/filestorage/derzhavnij-reyestr-subyektiv-nasinnictva-ta-rozsadnictva
5. Інформаційно-довідкова система «Сорт». URL: http://sort.sops.gov.ua/search/search
6. Інформаційно-довідкова система «Реєстр сортів». URL: http://service.ukragroexpert.com.ua
7. FIS (Ed.) What is FIS? URL: http://www.worldseed.org/what_Fise.htm 03.05.01.
8. URL: https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/8785-shkidlyvist-khvorob-na-pshenytsi-ozymii-i-mistsia-rezervatsii-infektsii-u-zymovyi-period.html
9. URL: https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/8785-shkidlyvist-khvorob-na-pshenytsi-ozymii-i-mistsia-rezervatsii-infektsii-u-zymovyi-period.html

Розділ 15

АГРОХІМІЯ ТА СУЧАСНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ДОБРИВ, ЇХ ЕФЕКТИВНІСТЬ

15.1. Основи сучасних агрохімічних знань

Курс з агрохімії викладається зазвичай на третьому курсі ОС «бакалавр» за спеціальністю 201 «Агрономія». Потім під час підготовки магістрів із цієї ж спеціальності в освітню програму включають як основні чи вибіркові дисципліни «Агроекологічні основи застосування добрив», «Регулювання мінерального живлення» та інші. На третьому рівні освіти, під час підготовки майбутніх докторів філософії курс «Агрохімія та сучасні аспекти застосування добрив, їх ефективність» має на меті дещо повторити й поглибити знання щодо відношень ланцюжка рослина – ґрунт – добриво, спрямувати здобувачів у напрямі вивчення особливостей застосування добрив.

Отже, агрохімія є наукою, що досліджує процеси кругообігу речовин у землеробстві та визначає шляхи впливу на хімічні й біологічні процеси, які відбуваються у ґрунтово-рослинній системі, з метою підвищення врожайності сільськогосподарських рослин і покращення якості продукції. Науковці в цій галузі вивчають питання збереження та відновлення родючості ґрунтів, раціонального застосування органічних і мінеральних добрив. Окрім того, агрохімія аналізує фізико-хімічні, економічні, енергетичні й екологічні аспекти використання добрив, їхню ефективність, а також організацію системи хімізації в сільському господарстві й управління агроценозами.

Натепер поняття агрохімії розширене. У закордонних університетах вказують агрохімічне спрямування фахівців на підтримку здоров'я худоби, контроль шкідників, захист посівів, удобрення, зменшення популяції шкідливих організмів і регулювання хімічних процесів у сільськогосподарських і лісових ґрунтах з метою підвищення їхньої родючості. Основними продуктами галузі є мінеральні добрива та синтетичні засоби захисту рослин, зокрема фунгіциди (для боротьби із грибковими захворюваннями), гербіциди (проти бур'янів), інсектициди (для знищення шкідливих комах) і молюскоциди (для контролю молюсків). У курсі для PhD студентів ми будемо поглиблювати тільки частину агрохімічних знань, без інформації про пестициди.

Компоненти цих фаз впливають на проходження окисно-відновлювальних процесів, текстуру (гранулометричний склад) і структуру, поживний, водний, тепловий, повітряний режими, фізико-хімічні властивості та фізичні параметри ґрунтів.

Фази ґрунту

Ґрунт – це складна природна система, що складається із чотирьох фаз: твердої, рідкої, газової та біотичної, що представлена живими організмами, які мешкають у ґрунтовому середовищі. Ці фази можуть бути в різному співвідношенні залежно від особливостей формування ґрунту та рівня інтенсивності антропогенного навантаження (рис. 15.1).

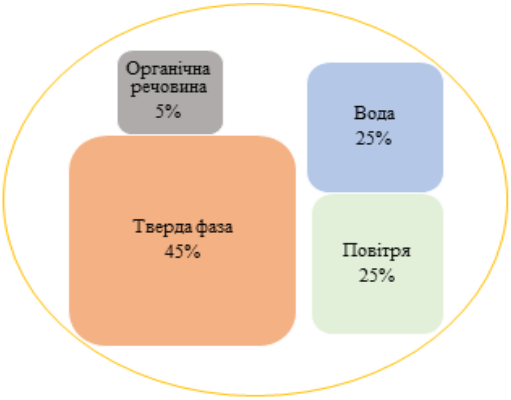


Рисунок 15.1 – Ідеальне співвідношення фаз у ґрунті

Тверда фаза – це неоднорідна органо-мінеральна основа ґрунту, що формується з материнської породи внаслідок ґрунтоутворювальних процесів і значною мірою зберігаючи її мінералогічний та фізико-хімічний склад. Властивості твердої фази ґрунту залежать від її гранулометричного, мінералогічного складу, структури, щільності та шпаруватості [1].

Рідка фаза – заповнює простір шпарин і представлена вологою та розчиненими в ній мінеральними й органічними речовинами, у яких є і катіони, і аніони.

Газова фаза – це повітря, що міститься у шпаринах ґрунту, не зайнятих водою. Його склад динамічно змінюється в часі та відрізняється від атмосферного повітря концентрацією газів. Склад газів у принципі такий же, як і атмосферний, але є різниця у співвідношенні кількості кисню до діоксиду вуглецю – N_2 (N_2O), O_2, CO_2, CH_4 тощо.

Жива (біотична) фаза (органічна речовина) – це біологічний компонент ґрунту, до якого відносять різноманітні мікроорганізми (бактерії, гриби, актиноміцети, водорості), дрібні ґрунтові мешканці (найпростіші, комахи, черв'яки) та корені рослин. Ця фаза відіграє ключову роль у ґрунтоутворювальних процесах, розкладі органічної речовини та забезпеченні біологічної активності ґрунту.

Знаючи поведінку складових фаз, можна моделювати та прогнозувати поведінку рослини, добрива за різних кліматичних, гідрологічних умов і топографічних особливостей. На співвідношення фаз, наприклад, газової та твердої, впливають процеси ущільнення – рихлення, газової та водної – процеси зволоження і висихання. Вода та повітря у ґрунті є антагоністами, не просто ж так дощові черв'яки за надходження дощової води вилазять на поверхню, бо їхню домівку затопило й нічим дихати.

Як бачимо з рисунку 15.1, жива фаза (органічна речовина) становить усього лише 5 % за оптимального розвитку ґрунту, багато це чи мало? На схемі представлено ідеальний варіант співвідношення фаз, тобто це оптимум. Рослинні та тваринні рештки під дією ґрунтової фауни, зі сприятливими погодними умовами, перетворюються на гумус, але також формуються і прості неорганічні речовини, які далі продовжують свій шлях у біоценозі та в геоценозі загалом. І тому треба пам'ятати з курсу ґрунтознавства, що переважним хімічним елементом у гумусі є вуглець (карбон); також гумус має гідроген, оксиген, азот, фосфор, кремній та інше. Усі ці елементи можуть підлягати впливу різних чинників.

Чим більше у ґрунті є глинистих часток, тим більше гумусу, оскільки пісок і наявні в ньому кварцові зерна хімічно інертні й не створюють міцних зв'язків з гумусними речовинами. Ефективність мінеральних і органічних добрив залежить від гранулометричного складу, від співвідношення відсотків фізичного піску та фізичної глини [2]. Кожне визначення фракцій механічних елементів базовано на методах осадження. В агрохімічних лабораторіях цей склад можуть визначати за методом Качинського, де будуть детально обраховані всі класи механічних елементів, названий клас ґрунту за гранскладом. Простіший варіант – це використання ареометричного методу, який досить швидкий, його результат більш спрощений, де визначаються три фракції (пісок, пил і мул), відповідно вміст фізичної глини. Останніми роками в сучасних лабораторіях з'явилися лазерні дифрактометри, які визначають відсотки фракцій ґрунтів, українські вчені вираховують кореляцію між застосованими методами й упроваджують у використання.

Обов'язково для оцінювання родючості ґрунтів визначається і значення pH. Зі знаннями про pH можна досягти позитивного результату у створенні оптимального середовища, впливати на доступність поживних речовин і, загалом, на здоров'я рослин.

Показник pH використовується для оцінювання ґрунтового середовища, він відіграє важливу роль у роботі агронома та фахівців садово-паркового господарства. Шкала виміру pH коливається в чисельному виразі від 1 до 14. Часто в закордонній літературі можна побачити більш просту класифікацію ґрунтів за pH. У ній говориться, що pH ґрунту більше 7 це лужні, pH 7 – нейтральні, pH менше 7 – кислі. Але в наукових колах класифікація більш детальна, представлені точні цифри з десятими та сотими після коми. Більшість сільськогосподарських і садових рослин ростуть у діапазоні від 6 до 7 [2]. pH впливає на форму знаходження хімічних сполук у ґрунті, регулює доступність поживних речовин рослинам. Наприклад, за pH менше 5,5 такі макро- і мезоелементи, як фосфор, кальцій і магній, стають менш доступними, але водночас такі елементи, як алюміній і залізо, можуть ставати більш розчинними, що може негативно вплинути на розвиток коренів. Навпаки, у лужних ґрунтах такі елементи, як залізо, манган і фосфор, стають менш доступними, що приводить до нестачі цих елементів рослинам, що їх потребують.

Діагностика та регулювання pH є дієвим і необхідним заходом. Наприклад, якщо ви захочете вирощувати лохину, чорницю, то треба підбирати для цього кислі ґрунти або створювати смуги з підготовленим кислим субстратом. Якщо цього не зробити й висадити саджанці, то на рослинах із часом зможете

спостерігати появу жовтого листя із зеленими прожилками, що свідчить про дефіцит заліза за наявного pH. Дефіцит заліза є також досить поширеним на лужних ґрунтах.

Для визначення pH використовуються цифрові портативні pH-метри. Для більш точної достовірної інформації в лабораторії використовують стаціонарні лабораторні цифрові pH-метри.

Також потрібно знати, що компост, розкладаючись, підкислює ґрунт, водночас поживні елементи з нього стають доступними для рослин, покращують структуру ґрунту. Мульчування лужних ґрунтів також підтримує pH ґрунту. Солома, скошена трава розкладається у ґрунті, звільнюючи поживні елементи й органічні кислоти у ґрунтово-вбирний комплекс. Поступове розкладання та повільне надходження поживних елементів у ґрунт допомагають стабілізувати реакцію ґрунтового середовища, запобігають різким змінам. Науково обґрунтована сівозміна та сидеральні рослини також можуть допомогти в регулюванні pH.

Добрива, що мають високий уміст азоту, підкислюють ґрунт. Органічні добрива, компост, кісткове борошно не мають негативного впливу на pH.

Регулювання pH дає поштовх для мікроорганізмів більш активно розвиватися, в основному азотфіксувальні та нітріфікувальні бактерії працюють за нейтрального значення.

Також останніми повідомленнями вчених підтверджено, що за pH вище 7, водень відсутній у ГВК [1]. За ступеня насичення основами (base saturation), де є кальцію приблизно 68–70 %, магнію 12–15 % та інших основ, рослина може виявляти дефіцит водню, тобто це означає високий pH у ґрунті. Внесення гіпсу, сірки, сірковмісних добрив регулює pH, але сірка значно не впливає на водень порівняно із вуглецем. Це означає недостатню кількість вуглецю у співвідношенні C:N у ґрунті. У результаті використання мінералізованої води для зрошення у ґрунті може з'являтися надмірна кількість бікарбонатів HCO_3^- та гідрокарбонатів натрію, кальцію та інших.

Ґрунт аналізується на аналізаторах вуглецю чи елементних аналізаторах – вимірюється вміст органічного вуглецю. Можна оцінювати вміст кисню у ґрунті або загалом процес дихання, створюючи гарну структуру ґрунту, запобігаючи утворенню плужної підошви. Надмірно зволожені ґрунти, оглеєні, болотні та торфові мають низький уміст кисню. Для створення продуктивного ґрунту чи субстрату потрібно створити вологість на рівні 50–70 % польової вологоємності.

Додавання гуматів сприяє мікробній активності, але мінімально впливає на збільшення стабільного органічного вуглецю. Основна частина вуглецю в гумінових добривах і препаратах міститься вже у стабільній і розкладеній формі, тому вона не додає багато «нового» вуглецю до ґрунту. У будь-якому разі краще застосовувати покривні культури, сидерати, що покращуватиме біорозмаїття та підтримуватиме здоров'я ґрунту. Також потрібно намагатися зменшити інтенсивність обробітку ґрунту, бо вуглець міститься у ґрунтових агрегатах, під час обробітку зв'язки втрачаються. Поверхня ґрунту повинна бути вкрита, рослинні рештки залишені, не спалені. Тобто гумінові кислоти підтримують процеси, але не є рушійною силою поглинання вуглецю.

15.2. Актуальні питання щодо оптимізації живлення рослин мінеральними добривами

15.2.1. Регулювання азотного режиму ґрунтів

У повітрі вміст азоту становить 78 %, а в материнських породах цього елемента практично немає. Цей молекулярний азот, щоб стати доступним для рослин, повинен перейти шлях перетворення на доступні форми. Азотний режим ґрунту залежить від багатьох чинників, але одними з найпотужніших є гранулометричний склад, уміст органічної речовини, реакція ґрунтового середовища, надходження опадів, відповідний температурний режим, доступ кисню та інше. Азот надходить у ґрунт унаслідок розкладення рослинних і тваринних решток, унесення добрив та іншого. Гранулометричний склад ґрунту визначає його фізичні та хімічні властивості, а саме – вологоутримувальну здатність, аерацію, швидкість мінералізації органічної речовини та поведінку й мобільність азотних сполук.

Наприклад, легкі ґрунти, а це піщані та супіщані, навесні швидко прогріваються, на них спочатку проводять технологічні операції. Ці ґрунти мають високу аерацію, що сприяє активному процесу нітрифікації. Несприятливими як для рослин рисами цих ґрунтів є низька здатність щодо утримання вологи та поживних речовин, що може призводити до швидкого вимивання нітратної форми азоту. Ці ґрунти мають низьку буферну здатність. Тому у плануванні внесення азотних добрив треба звернути увагу на амонійні чи амідні форми добрив, можна вносити частинами. Є повідомлення від учених щодо позитивного ефекту внесення карбаміду в поєднанні з інгібіторами нітрифікації та внесення карбамідно-аміачної суміші. Застосування нітратних форм може бути неефективним унаслідок їх утрат через вимивання і, що небезпечно, потрапляння у ґрунтові води, річки, озера, болота, що спричиняє евтрофікацію. Рекомендується збільшувати норму внесення азотних добрив на 10–20 % порівняно із суглинковими ґрунтами, а там, де вміст органічної речовини становить менше 2 %, підвищити до 15–25 %. Внесення органічних добрив (гній, компост) допоможе покращити утримання азоту у ґрунтово-вбирному комплексі [2].

На відміну від піщаних ґрунтів, наприклад, легко-середньосуглинкові ґрунти мають більш сприятливу водоутримувальну здатність і аерацію для азотного циклу. Ці ґрунти досить добре утримують амонійну форму азоту, що зменшує рівень його вимивання. Тут можна планувати внесення і нітратної форми добрив, і амонійної. Також потрібно знати рівень pH на полі, бо за підвищення кислотності знижується робота амоніфікаторів і нітрифікаторів, сповільнюється процес нітрифікації. Рекомендується використовувати азот у стартове удобрення і також у підживлення.

Важкосуглинкові та глинисті ґрунти мають високу водоутримувальну здатність, що може призвести до застоювання води та розвитку анаеробних умов. За таких умов, якщо ще й накладається ущільнення внаслідок проходження сільськогосподарської техніки по ґрунту, можливе інтенсивне денітрифікаційне перетворення азоту з нітратної форми на газоподібну – молекулярну або діоксиду азоту, що знижуватиме ефективність добрив. Для цих ґрунтів

також можна рекомендувати внесення органічних добрив, що сприятимуть покращенню структурно-агрегатного складу ґрунту та покращуватимуть дренажні властивості. Рекомендується використовувати повільнорозчинні азотні добрива або внесення азоту потроху протягом вегетаційного сезону за опадів 500–700 мм. Оптимальними добривами на глинистих ґрунтах є аміачна селітра, карбамідно-аміачна суміш. Потрібно уникати поверхневого внесення карбаміду; рекомендується використовувати глибоке внесення на 20–25 см, якщо опадів менше 500 мм.

У торфових і болотних, оглеєних ґрунтах азот міститься здебільшого у формі органічних сполук і може бути малодоступним для рослин. Торфові й болотні мають значний уміст органічної речовини, вуглецю, але низьку мінералізаційну активність унаслідок анаеробних умов. Норму внесеного азоту можна зменшувати на 20–30 % на ґрунтах із вмістом гумусу більше 4 % (а це чорноземи, торфовища), але тут потрібно дивитися передусім на потребу культури.

За високих температур (більше 25 °С), спеки, карбамід обов'язково повинен бути зароблений у ґрунт, оптимально ж вносити у вечірній, нічний чи вранішній період, ще краще з інгібіторами нітрифікації.

Звісно, ефективним є внесення азотних добрив у поєднанні з фосфорними, калійними, кальцієвими добривами для оптимального розвитку рослин.

На світовому ринку добрив нині багато добрив з різними формами азоту – це азот повільного вивільнення (release nitrogen), азот тривалого вивільнення (sustained release nitrogen), стабілізований азот (stabilized nitrogen), аміачний азот (ammoniated nitrogen), сульфат амонію (ammonium sulphate), нітрат кальцію (calcium nitrate) та інше.

Основний асортимент азотних добрив представлений у таблиці 15.1.

Таблиця 15.1 – Характеристика азотних добрив

Назва добрива українською мовою, формула	**Назва добрива англійською мовою**	**Вміст азоту, %**	**Форма азоту**	**Місце в рейтингу продажів у світі**
Аміачна вода $NH_3 \times H_2O$	Ammonia hydrate	82	Амонійна NH_4^+	7 (менше 1 %)
Безводний аміак NH_3	Anhydrous ammonia	82	Амонійна NH_4^+	5 (5–7 %)
Карбамід (сечовина) $CO(NH_2)_2$	Urea	46	Амідна NH_2, що перетворюється на амонійну NH_4^+	1 (50 %)
Карбамідно-аміачна суміш (КАС-32, КАС-30, КАС-28)	Urea-ammonium-nitrate solution (UAN)	32	50 % амідна NH_2, 25 % амонійна NH_4^+, 25 % нітратна NO_3^-	3 (10–15 %)
Аміачна селітра NH_4NO_3	Ammonium nitrate	34–35 %	50 % амонійна NH_4^+, 50 % нітратна NO_3^-	2 (20–25 %)
Сульфат амонію $(NH_4)_2 SO_4$	Ammonium sulfate	20–21 %	Амонійна NH_4^+	4 (5–10 %)
Кальцієва селітра (нітрат кальцію) $Ca(NO_3)_2$	Calcium nitrate	15–17 %	25 % нітратна NO_3^-	6 (1–3 %)

Джерело: Міжнародна асоціація виробників і споживачів добрив (IFA), AgroPortal.ua, Infoindustria.com.ua. Superagronom.com

Як ми бачимо, карбамід є найбільш уживаним у світі добривом, він уважається універсальним і з досить високим умістом азоту. Аміачна селітра теж поширене, швидкодіюче добриво з високою ефективністю. Сульфат амонію рекомендується вносити на ґрунтах із нестачею сірки, полюбляють це добриво у країнах Азії, де вирощують рис. Внесення безводного аміаку потребує наявності спеціального механізованого обладнання, тому використовується в розвинених країнах з добрим матеріальним ресурсним забезпеченням, більше у США, Канаді, Аргентині й Україні. Кальцієва селітра є досить дорогим добривом і в основному використовується для удобрення тепличних, овочевих, плодових культур.

Добрива з азотом повільного вивільнення потрібні для забезпечення надходження елемента до рослин протягом вегетаційного сезону, особливо на легких ґрунтах, щоб запобігти вимиванню чи денітрифікації [2]. До таких добрив нині відносять:

1. *Карбамід з покриттям сірки (Sulfur-coated urea, SCU).* Гранули карбаміду в добриві покриті шаром сірки, що створює бар'єр для контакту з вологою і сповільнює розчинення азоту. Сірка за реагування з водою утворює сульфатну кислоту, реакція ґрунтового середовища локально стає підкисленим. Із часом утвориться гідрокарбонат чи карбонат амонію, який далі утворить сульфат амонію, що буде запобігати втраті амонію. Тобто коефіцієнт використання добрив зростає. Уміст азоту в добриві різних марок, наприклад у китайського виробника, 35–40 % і дещо більше, уміст сірки на рівні 8–15 %.

2. *Формальдегід сечовини (Urea-Formaldehyde Fertilizers).* Це рідке добриво не представлено на ринку України, проте є повідомлення про продаж без зазначення ціни, з відсиланням до китайських виробників. Країни ЄС через наявність формальдегіду з осторогою ставляться до використання цього добрива. Але китайські виробники й учені говорять, що це добриво одне з найбезпечніших і найтриваліших джерел азоту з повільним вивільненням, що пропонується для удобрення дерев, газонів та іншого. Тобто використання дискусійне й підштовхує до більш ґрунтовного дослідження.

3. *Азотні добрива з інгібіторами нітрифікації, інгібітори уреази.* На ринку азотних добрив є варіанти добрив разом з інгібіторами, але також окремо продаються інгібітори нітрифікації, які додаються до азотних добрив. Ці інгібітори додаються до сечовини, аміачної селітри, запобігають швидкому перетворенню на нітрати. Інгібітор уреази додають і до карбамідно-аміачної суміші й просто до карбаміду для зменшення втрат азоту під час переходу з амідної форми в амонійну, пролонгація цього процесу може бути до 14 днів. Добре працює на тих культурах, де тривалий вегетаційний період.

Поведінка азотних добрив у тих чи інших ґрунтах цікавить і агрономів-дослідників, які перед собою ставлять такі ключові питання:

1. *Баланс і трансформація азоту у ґрунті.* Досліджується: доцільність внесення тієї чи іншої форми азоту (амонійна, нітратна, амідна) у визначеному ґрунті; зміна співвідношення форм азоту залежно від кліматичних особливостей, температури, вологості; чинники, що впливають на мінералізацію та іммобілізацію азоту у ґрунті; оптимізація балансу між мінералізацією органічної речовини та засвоєнням азоту рослинами.

2. *Оптимізація внесення азотних добрив.* Актуальні дослідження щодо: адаптації норми азотних добрив до конкретного ґрунту та культури; підбору найдоцільніших методів диференційованого внесення азоту; вивчення доцільності застосування інгібіторів нітрифікації та уреази для зменшення втрат азоту; вивчення ефективності різних систем удобрення (традиційна, органічні, інтегрована) на азотний режим ґрунту.

3. *Вплив зовнішніх факторів.* Також подальших досліджень потребують питання щодо зміни в потребі в азоті залежно від рівня опадів і температури; впливу pH та гранулометричного складу на утримання та трансформацію азоту; впливу органічної речовини на доступність азоту для рослин.

4. *Екологічні аспекти.* Також актуально для досліджень вивчення заходів щодо зменшення вимивання нітратів у ґрунтові води; підбір технологій, що зменшують викиди парникових газів (N_2O) під час застосування азотних добрив; уникнення накопичення нітратів у продукції; зменшення використання мінеральних добрив завдяки біологічній фіксації азоту.

5. *Інновації та перспективи.* З технологічним прогресом і використанням інтернету постали питання щодо використання сенсорів і методів дистанційного моніторингу для визначення потреб в азоті культур. Також з появою нових біодобрив постає потреба щодо ефективності їх застосування. З уведенням технологій точного землеробства є потреба в регулюванні азотного живлення рослин. І, звісно, поява нових синтетичних мінеральних добрив може зменшити втрати азоту та підвищити його ефективність – це теж актуальні теми для досліджень аспірантів і науковців загалом.

Для визначення азоту у ґрунті в Україні використовують в основному три методи [4]. Метод Корнфільда – для визначення легкогідролізованого азоту, тобто вмісту потенційно доступного для рослин азоту, який може мінералізуватися протягом вегетаційного періоду, і ґрунтується на гідролізі органічних сполук азоту в лужному середовищі. Рівні забезпеченості ґрунтів за цим методом у мг/кг такі: низький – <50, середній – 50–100, підвищений – 101–150, високий – 151–200, дуже високий – більше 200.

Спектрофотометричний метод використовується для визначення вмісту нітратного азоту (NO_3^-) шляхом вимірювання інтенсивності поглинання світла розчином, отриманим після екстракції ґрунту. Цей метод нині популярний через високу чутливість і точність. За національним стандартом ДСТУ 4729:2007 «Якість ґрунту. Визначання нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського» проводиться аналіз обох форм в одній витяжці, що є дуже зручним. Рівні забезпеченості ґрунтів (NH_4^++NO_3^-) за цим методом у мг/кг такі: дуже низький уміст – <10, низький – 11–15, середній – 16–24, підвищений – 25–30, високий – 31–35, дуже високий – більше 35. Потрібно зазначити, що вміст нітратного азоту є досить динамічним показником, який змінюється залежно від погодних умов, типу ґрунту та застосованих агротехнічних заходів. Високий уміст нітратів може свідчити про надмірне використання азотних добрив або про інтенсивні процеси мінералізації органічної речовини. Також може використовуватися показник нітрифікаційної активності ґрунтів, особливо під час вивчення ефективності різних форм,

строків унесення, норм мінеральних, органічних добрив і біопрепаратів, водночас використовується метод Кравкова.

Метод К'єльдаля є класичним методом для визначення загального вмісту азоту у ґрунті шляхом розкладання органічних речовин концентрованою сірчаною кислотою у присутності каталізатора з подальшим визначенням амонійного азоту титруванням, але він рідко використовується в агрономічній сфері, а в основному в наукових цілях. Рівні забезпеченості ґрунтів цією формою азоту (%) такі: дуже низький уміст – <0,05, низький – 0,05–0,10, середній – 0,10–0,15, підвищений – 0,15–0,20, високий – більше 0,20. Наведені градації є узагальненими для ґрунтів України, для уточнення рівнів конкретних ґрунтів і культур можуть застосовуватися інші шкали оцінювання, тому рекомендується використовувати регіональні агрохімічні рекомендації та стандарти, як-от ДСТУ ISO 11261:2001 «Якість ґрунту. Визначення загального вмісту азоту. Модифікований метод К'єльдаля», щоб краще розрахувати норму внесення азотних добрив.

15.2.2. Актуальні питання щодо оптимізації фосфорного та калійного режимів і ефективності добрив

Фосфор у ґрунті та фосфорні добрива. Фосфор є провідним елементом живлення рослин, який необхідний для енергетичного обміну, розвитку кореневої системи та формування репродуктивних органів. Культури відрізняються за здатністю засвоювати фосфор із ґрунтів і його використанням. З робіт науковців відомо, що люпин і гречка є найбільш ефективними у плані мобілізації малодоступних форм фосфору (люпин – завдяки виділенню органічних кислот (наприклад, лимонної та яблучної, а гречка – виділяє фітинові кислоти та фосфатази); гірчиця та буркун – мають потужні кореневі системи, що дозволяє їм засвоювати фосфор із глибше розташованих горизонтів ґрунту; еспарцет і горох використовують симбіотичні бактерії для покращення доступності фосфору.

Основні шляхи надходження доступного фосфору (у рухомій формі P_2O_5) у ґрунт і потім у рослини – внесення мінеральних і органічних добрив, вивільнення з мінералів і гірських порід, що містяться у ґрунтовій товщі, атмосферні опади (дуже незначний внесок) [3]. А до статті витрат фосфору із ґрунту можна віднести поглинання рослинами, цей елемент використовується в біосинтезі ДНК, РНК і АТФ, виноситься з урожаєм основної та побічної продукцією, закріплюється в малодоступні формі (адсорбція на оксидах заліза, алюмінію, кальцію), перехід у нерозчинні сполуки (утворення важкорозчинних фосфатів).

Найбільш розповсюдженими фосфорними добривами є суперфосфат простий (single superphosphate SSP) $Ca(H_2PO_4)_2+CaSO_4$ з умістом P_2O_5 16–20 %, суперфосфат подвійний – 44–48 % $Ca(H_2PO_4)_2$ (у країнах ЄС зазначається як потрійний triple superphosphate, TSP). У цих добривах фосфор міститься у водорозчинній формі, на відміну від малорозчинної форми у фосфоритному борошні (phosphate rock flour) $Ca_3(PO_4)_2$ з умістом P_2O_5 19–30 % залежно від

виробника. Останнє добриво відомо більшою ефективністю саме на кислих ґрунтах, а також наявністю у складі невеличких кількостей калію та магнію, рекомендується до внесення восени під основний обробіток ґрунту. Простий і подвійний суперфосфати використовуються як основне добриво восени та в передпосівну культивацію, у рядок під час сівби, хоча натепер агрономи вносять більше саме трикомпонентне комплексне добриво NPK.

Станом на 2025 р. виявлено, що термічні фосфати $Ca_3(PO_4)_2$ (опалені, термофосфати) в Україні використовуються обмежено [5]. Як відомо, ці речовини належать до групи слаборозчинних у воді фосфорних добрив, що розчиняються у слабких кислотах. Також подібні за властивостями є томасшлак, мартенівський шлак і знефторений фосфат. Низька розчинність у воді: термічні фосфати менш ефективні на нейтральних і лужних ґрунтах, які переважають в Україні. Унаслідок низького вмісту фосфору в цих речовинах, високих транспортних витрат практично відсутнє широке виробництво та постачання на українському ринку.

Більше в агрономічній сфері застосовуються амофос (monoammonuym phosphate, MAP) і діамофос (diammonium phosphate, DAP), про які ми згадаємо у блоці комплексних добрив нижче. На ринку нині представлені рідкі фосфорні добрива, які мають фосфор у легкодоступній формі. На відміну від гранульованих добрив, вони застосовуються у формі розчинів або суспензій, що забезпечує доставляння фосфору через внесення у ґрунт, позакореневе обприскування або крапельне зрошення. Виробники добрив наполягають, що фосфор з такої форми добрива швидше поглинається рослинами, більш рівномірно вноситься, менше фіксується у ґрунті, простіше використовується. З використовуваних добрив, наприклад, відомий поліфосфат амонію (Ammonium polyphosphates, APP) з діючою речовиною 10 % N, 34 % P_2O_5, яке містить ортофосфати (що швидко доступні) і поліфосфати (повільно перетворюються у ґрунті) для тривалого вивільнення елемента; використовується як стартове добриво, для крапельного зрошення і позакореневого підживлення. Ортофосфат амонію з діючою речовиною 11 % N, 37 % P_2O_5 (Ammonium phosphate, AP) у рідких сумішах для точного землеробства і підходить для внесення у ґрунт, внесення в рядки й обприскування по листу. Фосфат сечовини (Urea phosphate, UP) з діючою речовиною 17 % N, 44 % P_2O_5 забезпечує добре розчинним азотом і фосфором для швидкого засвоєння рослинами й використовується в гідропоніці, фертигації та на кислих ґрунтах. Фосфат калію (монокалій фосфат, Monopotassium phosphate, MKP) з діючою речовиною 52 % P_2O_5, 34 % K_2O часто використовується для живлення фруктових, овочевих і тепличних культур, добре підходить для позакореневого обприскування, фертигації та гідропонних систем. Також є низка добрив з різними назвами і від різних виробників на основі фосфітів (KH_2PO_3, $CaHPO_3$), які забезпечують захист рослин і покращують розвиток коренів, використовуються для позакореневого підживлення та в системах захисту, боротьби із хворобами.

В Україні визначення фосфору у ґрунті проводиться декількома методами [4; 6]. Метод Кірсанова передбачає вилучення рухомих сполук фосфору розчином хлоридної кислоти концентрації 0,2 моль/дм^3 і використовується

для ґрунтів із кислою реакцію з pH менше 5,5 (дерново-підзолисті, ясно-сірі лісові, сірі лісові ґрунти). Рівні забезпеченості ґрунтів за цим методом у мг/кг такі: низький – <50, середній – 51–100, підвищений – 101–150, високий – 151–250, дуже високий – більше 250.

Метод Чирікова базується на вилученні рухомих сполук фосфору розчином оцтової кислоти концентрації 0,5 моль/дм^3, застосовується для ґрунтів з нейтральною реакцією та слабко кислих, з pH 5,5–7. Рівні забезпеченості ґрунтів за цим методом у мг/кг такі: низький – <50, середній – 51–100, підвищений – 101–150, високий – 151–250, дуже високий – більше 200.

Метод Мачигіна передбачає вилучення рухомих сполук фосфору 1 %-м розчином карбонату амонію з pH екстрагента 9,0 і рекомендується для карбонатних ґрунтів з pH понад 7. Рівні забезпеченості ґрунтів за цим методом у мг/кг такі: низький – <15, середній – 16–30, підвищений – 31–45, високий – 46–60, дуже високий – більше 60. Усі перелічені три методи передбачають використання спектрофотометричного аналізу для визначення концентрації фосфору. Наведені градації є узагальненими, для конкретних типів ґрунтів і культур можуть застосовуватися інші шкали оцінювання.

У країнах ЄС, в Америці, Канаді й інших, як і в деяких лабораторіях України, використовують метод Олсена (Olsen), переважно для вилучення фосфору із ґрунтів із нейтральною та лужною реакцією. Рівні забезпеченості ґрунтів рухомим фосфором за методом Олсена оцінюються в мг/кг так: низький – <8, середній – 8–15, підвищений – 16–22, високий – 23–30, дуже високий – більше 30.

Метод Мехліха 3 (Mehlich 3) є універсальним екстракційним методом, який дозволяє визначати кілька елементів, зокрема й фосфор і калій, і підходить для різних типів ґрунтів, тому широко використовується в європейських країнах. Рівні забезпеченості ґрунтів рухомим фосфором за методом Олсена оцінюються в мг/кг так: низький – <6, середній – 6–24, підвищений – 25–42, високий – 43–60, дуже високий – більше 60.

Метод Брея (Bray) використовується для визначення вмісту рухомого фосфору у ґрунтах, особливо в кислих умовах. Градація вмісту рухомого фосфору за методом Брея може бути представлена так (у мг/кг): низький – <110, середній – 111–155, підвищений – 156–200, високий – 201–245, дуже високий – 245.

Калій у ґрунті та калійні добрива. Удосталь калію міститься в українських ґрунтах, особливо суглинкових і глинистих, але велика його частка перебуває в поглиненій (фіксованій) і недоступній формах для рослин. Піски й органогенні ґрунти, торфові та болотні, мають тенденцію до втрати калію, у них може бути мала кількість доступного калію для рослин, вони його не тримають, відбувається вимивання [2]. Треба розуміти, що основним джерелом калію є саме материнська порода, що піддається вивітрюванню і вивільненню калію із кристалічних ґраток мінералів, як-от польові шпати, слюди й інші, цей процес проходить дуже повільно, він завжди є. Частина калію фіксується або вбирається частинками глини, калій стає недоступним для рослин. Частина ж калію переходить у ґрунтовий розчин, стає доступним для рослин, це розчинна форма. Але також ця форма калію може зв'язуватися із частинками глини,

сорбція відбувається на поверхні глинистих часток, це обмінна форма калію, що враховується в обрахунку ємності вбирання, ступеня насиченості основами. Тобто між розчинним, доступним для рослин калієм у ґрунтовому розчині й обмінним калієм є зв'язок, між обмінним і необмінним є зв'язок [6].

На вміст обмінного калію впливають процеси зволоження – висихання, замерзання – відтавання, окислений стан заліза, уміст заліза у ґрунтовому профілі. Один тип глини звільнює калій, а інший – навпаки. Важливо проводити моніторинг ґрунту в одну пору року, в один місяць, за приблизної вологості та температури, бо ці фактори дуже впливають на вміст обмінного калію, особливо вологість ґрунту.

Фіксований калій звільнюється внаслідок замерзання – відтавання, що спостерігається у ґрунтах зі значною кількістю слюд. Такої реакції не спостерігається у ґрунтах з малою кількістю слюд і великою кількістю обмінного калію.

Якщо у ґрунті низька польова вологість, рівень продуктивної вологи, то знижується дифузія калію до коренів. Відомо, що 78 % калію надходить до коренів через дифузію. Також джерелом калію є мінеральні й органічні добрива, атмосферні опади (незначна кількість), поливна вода (у деяких регіонах містить калій).

Винос калію характеризується споживанням рослинами й видаленням продукції з поля. З рослин винос калію найбільший у конюшини, силосної кукурудзи, бобових та інших кормових культур. Також калій втрачається внаслідок негативної дії водної та вітрової ерозії. Калій у розчинній формі, що споживає рослина, може бути вимитий із ґрунтового шару. Збільшенням вологості ґрунту з 10 до 28 % можна збільшити загальний транспорт калію до 175 %. Але надмірна вологість також погана для рослин, вона лімітує їхній розвиток, створює низький уміст кисню та повільне поглинання калію корінням. Перезволожені, холодні ґрунти будуть перешкоджати поглинанню калію рослинами, винос калію рослинами буде збільшуватися. Стартове добриво, особливо в рядок, допоможе рослині. Восени на піщаних чи органічних ґрунтах не рекомендується вносити калійні добрива, як і азотні, бо може бути втрата цих елементів через вимивання.

Дефіцит калію в рослині кукурудзи проявляється побурінням, усиханням, хлорозом країв листка, починаючи з кінчика і спускаючись по краях, починаючи від старих, нижніх листків. Тобто рослина буде харчуватися калієм зі старих листків і перекидувати їх на молоді, бо калій є мобільним елементом. Для забезпечення культури необхідною кількістю калію важливо підтримувати баланс між доступними формами шляхом внесення калійних добрив і оптимізації ґрунтових умов. У лабораторії проводиться в основному аналіз на обмінний калій, хоча розчинний також в сумі за цього методу. Якщо проводяться досліди з добривами, то потрібно точно зробити висновки щодо їхнього впливу, маються на увазі форми добрива, строки та норми внесенням. Відбір зразків ґрунту для розуміння рівня вмісту обмінного калію у ґрунті здійснюється в один період року, щоб мінімізувати вплив погодних умов.

У таблиці 15.2 (див. с. 398) наведено короткий аналіз найбільш поширених калійних добрив.

Таблиця 15.2 – Аналіз найбільш поширених калійних добрив

Назва добрива українською та англійською мовами	Вміст поживних речовин	Плюси добрива	Мінуси добрива	Частка на ринку, %
Хлорид калію (KCl) Potassium Chloride, Muriate of potash MOP	52–60 % калію	Найдешевше й найпоширеніше добриво. Високий уміст K_2O, добре розчиняється у воді	Високий уміст хлору (шкідливий для чутливих культур), може спричиняти засолення ґрунту, легко вимивається	55–60
Сульфат калію (K_2SO_4) Potassium sulfate	Уміст калію 48–52 %, 18 % сірки, 3 % магнію, 0,4 % кальцію	Не містить хлору (підходить для чутливих культур), містить сірку (корисна для рослин), менший ризик засолення ґрунту	Дорожче, ніж KCl, нижчий уміст калію, менш розчинний у воді	15–20
Калійна сіль (KCl+NaCl) Potassium (potash) salt (із сильвініту)	40–50 % калію, 20 % NaCl, 2–3 % MgCl	Дешевше, ніж чистий KCl, використовується для польових культур	Уміст натрію може бути шкідливим для ґрунту й рослин, має високий уміст хлору	10–15
Калімагнезія ($K_2SO_4 \times MgSO_4$) Sulfate potash magnesia	25–30 % калію, магній у формі MgO (8–10) 10–16 %, 5–10 % сірки	Містить магній (важливий для фотосинтезу), не містить хлору, покращує якість плодів	Низький уміст калію, дорожче за KCl	5–10
Нітрат калію (KNO_3) Potassium nitrate	44–46 % калію, азот у нітратній формі – приблизно 13 %	Містить азот (стимулює ріст), не містить хлору, добре розчиняється у воді (зручно для крапельного поливу)	Дуже дороге добриво, має відносно низький уміст калію	До 5 %
Карбонат калію (K_2CO_3)	50–60 %	Не містить хлору, добре розчиняється у воді, підвищує pH ґрунту (зменшує кислотність)	Дуже дороге добриво, рідко використовується в сільському господарстві	1–3

З інформації вебсайтів із продажу добрив визначено, що хлорид калію є безперечним лідером ринку, бо він найдешевший і має найвищий уміст калію. Найбільший ефект від його внесення та калійної солі отримується на середньо- і важкосуглинкових, глинистих ґрунтах за нейтральної (pH 6,0–7,5) та лужної (pH >7,5) реакції середовища, для піщаних ґрунтів не підходить.

Сульфат калію є другим за рейтингом і важливим для деяких культур (наприклад, картоплі, тютюну). Це добриво рекомендується для внесення на легких (піщані, супіщані) та середньосуглинкових, кислих (pH <6,0) та нейтральних ґрунтах (pH 6,0–7,5).

Калімагнезію добре використовувати для культур, що потребують магнію, а нітрат калію – краще в теплицях і для культур, чутливих до хлору. Кращий

ефект від унесення проявляється в умовах легких (піщані, супіщані), середньосуглинкових ґрунтів. Поташ через свою високу вартість рідко використовується в Україні, але треба зазначити, що від його внесення гарний ефект отримують в умовах легких і середньосуглинкових ґрунтів з pH <6,0.

Що стосується строків внесення калійних добрив, то восени (вересень – листопад) вносяться хлоридні види (під озимі культури й також ярих навесні), сульфат калію та калімагнезія. Навесні (березень – травень) також можна використовувати сульфат калію, калімагнезію, поташ – перед посівом або посадкою картоплі, овочів, саджанців, нітрат калію – для перших підживлень через систему фертигації. Протягом літа (червень – серпень) можуть бути застосовані нітрат калію для листкового підживлення, крапельного зрошення, особливо для овочевих і плодових культур, сульфат калію – за необхідності, під час плодоутворення, наливу плодів. У зимовий період вноситься в тепличних умовах нітрат калію.

Дослідження поведінки калію у ґрунтах і його ефективного використання для вирощування сільськогосподарських культур залишається важливою темою для вчених. Досі не до кінця зрозуміло як саме відбувається перехід калію з обмінних і фіксованих форм у доступний для рослин стан, це особливо актуально для важких глинистих ґрунтів, де калій може сильно зв'язуватися. Також не вирішена проблема вимивання калію із профілю з піщаних ґрунтів. Відомо, що за низького pH у кислих ґрунтах втрати калію посилюються внаслідок вимивання, а за високого pH у лужних ґрунтів може збільшуватися фіксація калію у важкодоступні форми – учені вивчають які саме механізми переважають у різних ґрунтово-кліматичних умовах [7]. Деякі мікроорганізми (наприклад, силікатні бактерії) та біологічні процеси можуть допомагати вивільненню калію із ґрунтових мінералів і порід, але як ефективно використовувати ці механізми на практиці – це питання для дослідників. Також розробляються моделі для визначення оптимальної форми, дози добрив з урахуванням конкретних умов і культури. Для контрольованого вивільнення калію з добрив на ринку з'являються інкапсульовані добрива, які потребують більш детального вивчення. Через глобальне потепління, нестачу вологи гострою проблемою є накопичення калію у верхніх шарах ґрунту, який стає недоступним для коренів, навпаки, у вологому кліматі посилюється вимивання калію в легких ґрунтах. Роль калію у стійкості рослин до посухи, до стресів відома, але які саме механізми відіграють ключову роль – ще досліджується, поряд з ефективністю різних біопрепаратів. Деякі культури можуть змінювати ріст кореневої системи або посилювати активність транспортерів калію, ці механізми потрібно використовувати для селекції більш ефективних сортів.

Стосовно виносу калію культурами, можна їх розташувати в бік зменшення таким чином: цукровий буряк (180–250 кг/га), картопля (140–200), кукурудза (90–140), соняшник (80–130), капуста (80–120), томати (60–100), пшениця озима (50–90), ячмінь (40–80), овес (35–70), соя (30–60 кг/га).

Рівні градації вмісту калію K_2O за методом Мехліха 3 оцінюються так (у мг/кг): низький – <110, середній – 111–155, підвищений – 156–200, високий – 201–245, дуже високий – понад 245. За Чириковим, у мг/кг:

низький – <40, середній – 41–80, підвищений – 81–120, високий – 121–180, дуже високий – понад 180. За Мачигіним, у мг/кг: низький – <110, середній – 101–200, підвищений – 201–300, високий – 301–400, дуже високий – більше 400. За Кірсановим, у мг/кг: низький – <80, середній – 81–120, підвищений – 121–170, високий – 171–250, дуже високий – більше 250.

15.2.3. Регулювання кальцієвого та магнієвого живлення рослин

Кальцій є також важливим елементом для живлення рослин. Він є значущим компонентом стінок клітин, забезпечує їхню міцність та цілісність, активує ферменти, що беруть участь у метаболічних процесах, зокрема й в обміні нітрогену та вуглеводнів. Наявність кальцію у ґрунті підвищує його буферність щодо токсичних іонів, як-от гідроген, манган і алюміній. Цей елемент підвищує імунітет рослин щодо хвороб і стресових умов, зокрема посухи та високих температур. Різні культури мають різний винос цього елемента із ґрунту. Наприклад, ріпак озимий виносить за врожайності 3–5 т/га 120–250 кг кальцію. Пшениця озима виносить приблизно 4–5 кг кальцію з тонною врожаю.

Магній входить у склад молекули хлорофілу, тобто без цього елемента неможливий процес фотосинтезу. Він бере участь в активації більше ніж трьохсот ферментів, що відповідають за енергетичний обмін, синтез нуклеїнових кислот, сприяє синтезу амінокислот і білків, що є основною росту та розвитку рослин. Цей елемент забезпечує переміщення фосфатів у рослині. За його нестачі спостерігаються такі ознаки, як міжжилковий хлороз, мармуровість листя, некрози, уповільнення росту, зниження врожайності та якості продукції. Приблизні показники виносу магнію сільськогосподарськими культурами можна представити у бік зменшення показника, наприклад: буряк цукровий – 60–80 кг/га; картопля – 30–50 кг/га; кукурудза – 20–30, пшениця – 15–25, ячмінь – 10–20, соя – 15–25, соняшник – 25–35, ріпак – 20–30. Урахування специфічних потреб культур у магнії та регулярний моніторинг його вмісту у ґрунті є важливими для забезпечення оптимального живлення рослин і отримання високих урожаїв.

Потрібно підкреслити, що внесення кальцієвих добрив є важливим агротехнічним заходом, особливо на кислих ґрунтах. Такі культури, як ячмінь, пшениця, кукурудза, бобові, вика, конюшина, огірок, цибуля, салат, потребують внесення кальцієвих добрив для забезпечення оптимальних умов росту та розвитку. Тому для правильного розрахунку норми внесення кальційвмісних добрив потрібно також провести агрохіманаліз, звертаючи увагу на pH, суму обмінних основ, ємність вбирання, вміст кальцію та магнію. Кальцій сприяє агрегації ґрунтових частинок, покращує структуру, забезпечує кращу аерацію і водопроникність. Оптимальний вміст кальцію у ґрунті становить 60–70 % ґрунтово-вбирного комплексу. На піщаних ґрунтах науковцями рекомендується насичення кальцієм у 60 %, тоді як на глинистих – 70 %. Магній також допомагає агрегуванню частинок, однак надлишок магнію може призвести до ущільнення ґрунту, роблячи його важким і менш проникним для води

й повітря. Оптимальний вміст магнію у ґрунті коливається від 10 до 20 % від складу ГВК залежно від типу ґрунту: на глинистих ґрунтах – 10 %, на піщаних – 20 %. Отже, ідеальне сумарне насичення ґрунту кальцієм і магнієм повинно становити приблизно 80 %. На глинистих ґрунтах це співвідношення рекомендується як 70 % кальцію та 10 % магнію, тоді як на піщаних – 60 % кальцію та 20 % магнію. Якщо у ґрунті створиться надлишок кальцію (понад 80 %), то це може спричинити блокування доступності інших поживних елементів, як-от залізо, магній, калій, бор, цинк і мідь. Натомість надлишок магнію (понад 20 %) призводить до ущільнення ґрунту, знижує його водопроникність і аерацію, що негативно впливає на розвиток кореневої системи рослин. Аналіз співвідношення Ca:Mg дуже потрібен – якщо Ca в 10 разів перевищує Mg, внесення магнію не є необхідним.

Норми внесення кальціймістких добрив залежать від рівня кислотності та гранулометричного складу ґрунту. Наприклад, на середньокислих і сильнокислих ґрунтах учені рекомендують вносити приблизно 5–6 т/га доломітового борошна. В основному внесення таких добрив-меліорантів проводять в осінній період перед основним обробітком ґрунту, щоб волога поступово допомагала нейтралізувати кислотність ґрунту, що надалі позитивно відіб'ється на фізико-хімічних властивостях ґрунту.

Наведемо деякі основні характеристика Ca- та Mg-містких добрив і меліорантів.

1. Вапнякове (кальцит) борошно та гранулят (Limestone flour (calcite)) містить 35–40 % кальцію. Ефективно нейтралізує кислотність ґрунту, покращує його структуру та доступність поживних речовин. Ефективний на ґрунтах із низьким умістом кальцію. Вноситься під основний обробіток.

2. Доломітове (Dolomite) борошно або гранулят містить 20–22 % кальцію, 12–15 % магнію. Рекомендовано на: кислих ґрунтах, що потребують вапнування та збагачення магнієм; важких глинистих, де покращення структури ґрунту є важливим; ґрунтах з низьким умістом кальцію та магнію, оскільки добриво забезпечує обидва елементи. Діє повільніше за вапняк. Вноситься під основний обробіток.

3. Гіпс (сульфат кальцію, gypsum) містить 23 % кальцію. Використовується на лужних солонцевих ґрунтах для нейтралізації лужності, покращує структуру ґрунту, постачає сірку до рослин, що важливо для синтезу амінокислот. Вноситься під основний обробіток.

4. Кальцієва селітра (Calcium nitrate) містить 19 % кальцію, 15,5 % азоту. Гігроскопічне, фізіологічно кисле добриво, швидкодіюче; підходить для позакореневого підживлення, фертигації, бо забезпечує рослини легкодоступним азотом і кальцієм

5. Кальцій- і магнійвмісні комплексні добрива Ca, Mg, NPK+ мікроелементи. Забезпечують комплексне живлення рослин, покращують фізичні властивості ґрунту. Дорожче за однокомпонентні добрива, гранулят, зручні у використанні, оскільки зменшують кількість окремих внесень добрив. Рекомендовано більше для середніх за гранулометричним складом ґрунтів, де забезпечується оптимальна доступність поживних речовин, і на ґрунтах з нейтральним pH,

де більшість елементів живлення є доступними для рослин. Вносять як восени, так і навесні, є також рідкі добрива для фертигації.

6. Магнезіальне (Magnesia carbonate) борошно, рідше гранулят (магнезит $MgCO_3$, також містить $CaCO_3$ та серпентин Mg_6 $[(OH)_8Si_4O_{10}]$), загалом містить 15–45 % магнію. Нейтралізує надлишкову кислотність ґрунту, забезпечує рослини магнієм, сприяє покращенню структури ґрунту, зменшує фіксацію фосфору та калію у ґрунті, підвищує їхню доступність. Повільнодіюче. Вносять перед основним обробітком восени.

7. Сульфат магнію (Magnesium sulfate, magnesia, Epsom salt) $MgSO_4$, також містить бішофіт $MgCl_2 \times 6H_2O$ та магнезит 15–45 % магнію. Швидкодіюче добриво, легко розчиняється у воді, забезпечує швидке надходження магнію до рослин. Може підкислювати ґрунт, що небажано на кислих ґрунтах. Легко вимивається з легких ґрунтів. Підходить для позакореневого підживлення та фертигації.

8. Хлорид магнію $MgCl_2$, бішофіт, морська вода (Magnesium chloride), містить 10–25 % магнію. Добре розчинний у воді, ефективний для позакореневого підживлення, фертигації. Містить хлор, тому потрібно підходити обережно під час внесення під виноград, картоплю та тютюн. За високих концентрацій можуть бути опіки листя та пошкодження кореневої системи. Не рекомендовано для систематичного внесення у відкритому ґрунті, особливо на слабодренованих ділянках.

9. Цементний пил, 2–8 % магнію. Містить магній, кальцій та інші мікроелементи. Економічно вигідний. Може містити небажані домішки, як-от важкі метали. Має неоднорідний склад, що ускладнює точне дозування. Рекомендовано на кислих ґрунтах, на тих, що мають низький вміст кальцію та магнію. Повільнодіюче.

Деякі відходи металургійної промисловості можуть містити оксиди магнію, це, наприклад, доменний шлак. На піщаних ґрунтах, де магній швидше вимивається, а також у зонах з інтенсивним землеробством, внесення магнієвих добрив є найбільш доцільним. Рекомендується до внесення на: кислих і нейтральних ґрунтах з низьким умістом магнію та калію; ґрунтах з низьким умістом калію, оскільки добриво забезпечує обидва елементи; середніх і важких ґрунтах, де магній менш схильний до вимивання.

За калімагнезію (гранула, порошок) ми вже говорили в тексті вище під час розгляду калійних добрив. Вона має нижчий, порівняно із сульфатом магнію, уміст магнію, може бути менш ефективною на ґрунтах з високим умістом калію.

З багатокомпонентних добрив зараз популярний сульфат магнію з мікроелементами (бор і цинк) або без них від SIARKOPOL, комплексне добриво BASIS – KaliyMag-AGRO HUMIC ACTIVE, що містить калій, магній, кальцій, сірку в сульфітній формі, натрій, цинк, кремній, селен і гумінові кислоти.

Також, як і для попередніх елементів, актуальними питаннями є вивчення доцільності застосування кальцій- та магніймістких добрив, співвідношення між кальцієм і магнієм, кальцієм і калієм, ефективність нових добрив, їх строки та способи внесення під різні культури. Не зовсім розкрити питання механізму транспорту кальцію в рослинах, наприклад, кальцій погано рухається

в рослині, що впливає на розвиток верхівкових меристем. Також є прогалини у вивченні ролі кальцію у зміцненні клітинних стінок і запобіганні фізіологічним порушенням (наприклад, вершинна гниль томатів, розтріскування плодів). У разі застосування кальцію на важких ґрунтах він може бути недоступним через зв'язування, тобто є питання про те, як запобігти цьому процесу. Для конкретних типів ґрунтів потрібно більш доцільно підібрати методи корекції кальцієвого дефіциту, звертати увагу на рівень pH. Селекціонери мають інтерес щодо створення сортів культур із підвищеною здатністю щодо засвоєння кальцію із ґрунту. З розширенням ринку біологічних препаратів також постає питання щодо можливого покращення кальцієвого живлення за їх застосування, які мікроорганізми можуть впливати на розчинність кальцієвих сполук і їх засвоєння рослинами.

У комплексному аналізі ґрунтів установлюється вміст кальцію та магнію. Для цього використовуються титриметричні методи (комплексонометрія з ЕДТА є найбільш поширеним методом), атомно-абсорбційна спектрофотометрія (високоточний метод, але дорогі прилади), індуктивно-зв'язана плазма (ICP-OES / ICP-MS), що є найбільш точним аналізом, до того ж визначає інші елементи, як-от калій, натрій, залізо, цинк та інші, але також дуже дорогий прилад і забезпечення необхідними реактивами та допоміжними деталями. Фотометричні методи з використанням реагентів, які утворюють кольорові комплекси, використовуються рідко, тільки для експрес-аналізів. Метод амонійного ацетату як екстрагування, підготовчий етап для подальшого титрування або спектрофотометрії. Під час визначення в лабораторії керуються ДСТУ 7861:2015 для ґрунтів без значного вмісту карбонатів, засолених та гіпсомістких ґрунтів, ДСТУ 7945:2015 для аналізу водорозчинних форм кальцію та магнію, ДСТУ 7604:2014 для карбонатних ґрунтів, ДСТУ 7631:2014 для тепличних ґрунтів.

15.2.4. Значущість сірки для рослин та основні сірковмісні добрива

Уже було вище розглянуто деякі добрива та меліоранти із вмістом сірки в сульфатній чи сульфітній формі. Сірка (сульфур) є життєво важливим мезоелементом для живлення рослин. Вона виконує декілька функцій: є складником білків і амінокислот, забезпечує ріст і стійкість рослин, входить до складу метіоніну, цистеїну та глутатіону; формування хлорофілу; покращення азотного живлення, особливо в бобових культур; стимуляція росту кореневої системи, що підвищує стійкість до посухи; покращення якості врожаю – підвищує вміст білка в зернових, олії в ріпаку та смакові якості овочів.

Такі культури, як ріпак, капустяні, соняшник, зернові та бобові, мають високу потребу в сірці. Дефіцит сірки може обмежити ефективність азотного живлення, особливо в культурах з високою біомасою. На легких і піщаних ґрунтах з низьким умістом органічної речовини часто простежується дефіцит сірки через її вимивання, тобто в умовах надмірних опадів ця тенденція зростає. Активне внесення азотних добрив також підвищує потребу рослин в сірці.

У минулому рослини отримували частини сірки з опадів, але нині в атмосфері відмічена менша кількість SO_2.

Дефіцит сірки часто плутають за ознаками з дефіцитом азоту, але тут передусім жовтіє чи стає блідо-зеленим саме молоде листя. Листки дрібнішають, слабко розвиваються, рослина слабко розгалужується, відстає в рості.

Сірка представлена у ґрунті такими формами: сульфатною, що є доступною формою; органічною, що є частково доступною після мінералізації; сульфідною або елементарною – недоступна для рослин.

За вмістом сірки у ґрунті за агрохіманалізом фахівці можуть планувати внесення таких добрив, як амоній сульфат $(NH_4)_2SO_4$, що містить 21 % N, 24 % S і добре розчиняється. За сульфат калію було проговорено у блоці калійних добрив, нагадаємо, що це добриво корисне для чутливих для хлору культур. Гіпс є також джерелом сірки для нейтральних і лужних ґрунтів. Також використовується елементарна сірка, яка перебуває в повільнодіючій формі і підходить для довготривалого живлення. На ринку є різні пропозиції. Наприклад, Оракул сірка актив від «Долини» з умістом сірки 76 %, яка в рекламній продукції рекомендується до використання для всіх типів ґрунтів, але найбільш ефективна там, де низький уміст сірки; підходить для позакореневого підживлення польових, овочевих і багаторічних культур. Останнім часом більше пропозицій добрив-тіосульфатів з умістом сірки 10–26 %, що підходить для ґрунтів із нейтральним та слабокислим pH, ефективні на добре прогрітих ґрунтах, де тіосульфат-іон швидко переходить у сульфат-іон. З комплексних добрив відомі POLIFOSKA 6, POLIFOSKA 8, POLIFOSKA 12, SUPERFOSFAT MAKOSH із мікроелементами, MAKOSH UNIVERSAL та інші. Знову таки, поповнення асортименту та створення нових сортів і гібридів с.-г. культур потребують усебічного вивчення ефективності внесення сірковмісних добрив, адже вона залежить від типу ґрунту, кліматичних умов і технологій вирощування. Так, елементарна сірка повільно засвоюється, оскільки її потрібно мікробіологічно окислити до сульфатної форми. Сульфати відносно швидко вимиваються в легких ґрунтах. Тому, беручи до уваги особливості, для піщаних ґрунтів рекомендується вносити сульфати в декілька прийомів, а на важких ґрунтах – локально, для кращого засвоєння. За неправильного планування системи удобрення та внесення сульфатних добрив, елементарної сірки може призвести до закислення ґрунтів і сповільнення діяльності ґрунтової біоти.

В агрохімічних лабораторіях для визначення сірки використовують гравіметричний метод з осадженням сульфату барію, що є простим класичним методом, але він не є дуже чутливим. Для аналізу сульфатної доступної форми сірки може бути використаний турбідиметричний метод, що швидше за гравіметричний. Використання іон-селективних електродів та іон-хроматографії є високоточним, але обладнання є дорогим. Дотримуються в лабораторіях ДСТУ 7160:2010 та ДСТУ 4286:2004.

15.2.5. Ефективне використання добрив з мікроелементами й органічними речовинами

Добривам з мікроелементами нині приділяється багато уваги, на ринку представлена їх велика лінійка як у твердій формі, так і в рідкій. Комплекс мікроелементів сприяє вкоріненню, підвищує стійкість до хвороб, морозо- і жаростійкість, знижує стрес від гербіцидів. Коротко нагадаємо значення основних мікроелементів, які застосовуються у вирощуванні сільськогосподарських культур.

Мідь суттєво впливає на активність ферментативної діяльності ґрунту, процеси фотосинтезу та синтезу лігніну (для укріплення стінок клітин) [8]. Симптоми дефіциту проявляються у в'яненні, уповільненні росту, формуванні блідих молодих листків, поганому утворенні насіння. Встановлено, що міді дуже потребують яблуні, груші, виноград, цитрусові. Середньо вибагливими сільськогосподарськими культурами є пшениця, кукурудза, боби.

Значення цинку також полягає у впливі на ґрунтові ферменти, продукцію ауксину, хлорофілу. Дефіцит цинку проявляється як міжжилковий хлороз, укорочування міжвузлів, деформація листків. Пшениця, кукурудза, рис є високовимогливими до вмісту цинку, тому треба забезпечити внесення цинкмістких добрив на полі, де спостережено низький чи середній уміст.

Цинк, мідь, манган, залізо часто використовують у сульфатній і хелатній (EDTA, DTPA) формах добрив. Хелатовані органічні форми мікроелементів застосовують для запобігання фіксуванню елемента у ґрунті й утворення важкорозчинних сполук, покращення живлення рослин, особливо ефективні за pH більше 7 [9].

Етилендіаміндигідроксифенилацетат заліза (EDDHA) застосовується в гідропонних системах, ефективний за pH від 3 до 9. Але добрива в такій формі не мають широкого розповсюдження на ринку України через дорожнечу. EDDHSA є аналогом EDDHA тривалентного заліза, що використовується як ґрунтове добриво на висококарбонатних ґрунтах за появи хлорозу листя. Залізо споживається в більшій кількості рослинами, аніж цинк і мідь. Зазвичай симптоми дефіциту заліза спостерігаються на лужних карбонатних ґрунтах, за випітного типу режиму та поганої аерації та виражені як міжжилковий хлороз.

Наведемо основні добрива, які представлені на ринку України станом на 2025 р.

Сульфат міді $CuSO_4 \times 5H_2O$ є досить уживаним джерелом купруму, який у цій формі швидко надходить до рослини і є недорогим. Але може бути токсичним за високого рівня використання, також підкислює ґрунт.

Сульфат цинку $ZnSO_4 \times 5H_2O$ має високий рівень розчинності, швидко поглинається рослинами, однак легко вимивається в піщаних ґрунтах.

Мідь-амонійний комплекс (Liqui-Cop, Monterey Lawn & Garden) відіграє під час застосування роль профілактичного та швидкодіючого добрива і рекомендується для позакореневого підживлення. Але добриво є досить дорогим, також можуть з'являтися опіки через перевищення норми внесення.

Цинтрак (Zintrac 700, Nufarm) містить 39,5 %, цинк у формі оксиду. Це добриво є повільнодіючим, менше вимивається і рекомендується для позакореневого підживлення. Порівняно із сульфатами цинк стає доступним більш повільно.

YaraVita Rexolin Cu (Yara International) містить купрум 6 % у формі хелатів EDTA і рекомендований для застосування на лужних ґрунтах. Добриво дороге, але ефект від нього стабільний.

YaraVita Rexolin Zn (Yara International) містить цинк 6 % у формі хелатів EDTA, має пролонгуючу дію, але також дороге.

ДоброДІЙ мідь цинк (ТОВ «Майбутнє будуємо разом») містить 150 г/л цинку та 14 г/л міді у формі хелатів, на основі карбонових кислот. Не рекомендується змішувати з фосфорорганічними пестицидами та на основі 2,4-Д-ефірів.

Молібден бере участь у фіксації азоту та перетворенні з нітратної форми на амонійну. У ґрунті представлений в основному у формі молібдатів MoO_4^{2}, які і споживаються рослинами, причому доступність молібдену зростає за pH вище 6. З асортименту добрив, що представлені на ринку, відомі амоній молібдат $(NH_4)_6Mo_7O_2$, що містить приблизно 54 % молібдену, є водорозчинним, використовується для позакореневого та ґрунтового внесення. Також є натрій молібдат Na_2MoO_4, який містить приблизно 39–41 % молібдену і також є водорозчинним добривом.

Бор бере участь у регулюванні розвитку репродуктивних органів сільськогосподарських культур, в обміні вуглеводів, поділу клітин. У ґрунті міститься у формі боратів BO_3^{3-}. З добрив відомі борна кислота H_3BO_3, 17 % бору, що характеризується швидкою дією і доброю водорозчинністю. Також є бура $Na_2B_4O_7 \times 10H_2O$ з умістом бору 11,3 %, використовується для ґрунтового внесення. Але фермери часто вибирають саме комплексні добрива, мікродобрива з бором, наприклад із боретаноламіном, що містять 10–15 % бору й зручні для позакореневого обприскування.

Хоча йод не є життєво необхідним для рослин і практично не визначається в агрохімлабораторіях (тільки на замовлення, але його застосування у вирощуванні рослин стимулює ріст і підвищує стійкість до стресу. У ґрунті міститься у формі йодиду I^- та йодату IO_3^-, які досить швидко можуть вилужуватися. З добрив відомі спеціалізовані йодовмісні мікродобрива, наприклад йодид калію KI або йодат калію KIO_3, з умістом йоду на рівні 65–76 %. Але ці добрива рідко застосовуються в Україні, в основному вибирають комплексні добрива з додаванням йоду в рідкій формі.

Марганець бере участь у фотолізі води, є активатором ферментів, потрібен для синтезу хлорофілу. У ґрунті представлений катіонною формою Mn^{2+}, Mn^{3+}, Mn^{4+}, саме форма Mn^{2+} доступна для рослин. З добрив використовують сульфат марганцю $MnSO_4 \times H_2O_2$ (31 % Mn), Mn-DTPA (13 %, ефективне за pH до 6,5), Fe-EDDHA (6–7 % Mn, ефективне за pH до 9).

Селен є актиоксидантом, покращує стійкість рослин до стресів, загалом важливий для тварин і людей (через харчовий ланцюг). У ґрунті міститься у формі селенітів SeO_3^{2-} та селенатів SeO_4^{2-}, остання форма є більш мобільною і надходить у рослини. В агрохімії використовуються натрій селенат Na_2SeO_4

з умістом селену приблизно 41 %, використовується в основному в позакореневе підживлення. Більш широко застосовують комплексні добрива із селеном, що містить дуже малу його кількість, на рівні 0,001–0,01 %, використовуються під час біофортифікації.

Залізо як елемент є складником хлорофілу й бере участь у фотосинтезі та диханні. У ґрунті представлений у формі гідроксидів і оксидів Fe^{2+}, Fe^{3+}, у водорозчинній формі представлене мало. Надходить у рослину переважно у формі Fe^{2+} або хелатів Fe-EDTA. На ринку представлений: сульфатом заліза $FeSO_4 \times H_2O$ з умістом заліза 20 %, але в цієї сполуки є такий недолік, як швидке окислення, через це вона обмежено використовується. Тому більш відомі на ринку саме хелатні форми Fe-EDTA з умістом 12–13 % заліза (використовується для позакореневого внесення, pH до 6,5), Fe-DTPA, Fe-EDDHA з умістом заліза 6–9 % (для лужних ґрунтів, особливо EDDHA).

Кремній має значення в укріпленні стінок клітин, підвищенні стійкості до шкідників і хвороб. У ґрунті представлений монокремнієвою кислотою H_4SiO_4, яка доступна для рослин. Калій-силікат K_2SiO_3 містить 20 % кремнію і застосовується в гідропоніці та як позакореневе добриво. Популярні останнім часом також рідкі кремнієві добрива з умістом 0,5–3 %.

Уміст заліза у ґрунті визначається в акредитованих лабораторіях методом фотометрії та титрування за ДСТУ 7913:2015. Уміст рухомих форм марганцю, міді, цинку та кобальту визначається за ДСТУ 4770.1:2007 у буферній амонійно-ацетатній витяжці методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії та приладами з індуктивно-зв'язаною плазмою. Уміст бору у ґрунті визначається за методикою Інституту охорони ґрунтів з екстракцією 0,05 н. HCl із подальшим фотометричним визначенням. Уміст селену визначається за ДСТУ 7637:2014 методом йодометричного титрування. Для визначення вмісту кремнію та йоду натепер відсутні чинні ДСТУ. Уміст йоду у ґрунтах і рослинах у світових лабораторіях визначається за допомогою приладів ICP-MS (індуктивно-зв'язана плазма з мас-спектрометрією), за відсутності такого дорогого обладнання використовується йодометричне титрування, сутність якого полягає у відновленні йоду до I_2 з подальшим титруванням тіосульфатом натрію. Для визначення кремнію у ґрунтах використовують метод Деніґеса (фотометричний метод), також методи ICP-OES / ICP-MS, XRF (рентгенофлуоресцентний аналіз).

15.2.6. Комплексні добрива

Комплексними мінеральними добривами є удобрювальні продукти штучного походження, що містять два або більше основних елементів живлення. За кількістю поживних елементів їх можна поділити на подвійні (бінарні), з умістом двох елементів, як-от NP, PK, NK; потрійні, з умістом трьох елементів, NPK; поліелементні (мультиелементні), що містять макро- й мікроелементи. За формою ці добрива можуть бути як твердими (гранула, порошок, кристалічна маса), так і рідкими (розчини або суспензії) [1; 2].

Основними перевагами комплексних добрив є забезпечення рослин відповідним співвідношенням поживних елементів, їх рівномірний розподіл у ґрунті, менша ресурсовитратність під час унесення, транспортування, зберігання та обслуговування техніки. Звісно, комплексні добрива є дорожчими за мономінеральні. На запит можуть готуватися під окрему культуру із заданим співвідношенням поживних елементів. Назвемо деякі відомі добрива:

1. Амофос (Monoammonium phosphate, MAP), містить 10–12 % азоту, 48–61 % фосфору, залежно від виробника.

2. Діамофос (Diammonium phosphate, DAP), містить азот і фосфор за формулою 18:46:0.

3. Нітроамофоска (Nitrophoska, compound NPK fertilizer), що містить співвідношення поживних елементів, наприклад, Сульфоамофос NPS (20:20+9 S, 18:20+13), Ярило Добрива, лінійка добрив від бренду YaraMila (Фінляндія) (16:16:16, 9:12:25), Поліфоска (8–24–24+9 Mg, Grupa Azoty, Польща) та інші.

4. Комплексне з мікроелементами. Агрофоска, що містить P, K, Ca, Mg, Zn, Ni, Cu, Co, інші.

Агровиробники, проте, самі можуть змішувати мономінеральні добрива, з дотриманням відомих правил змішування.

Виробники добрив називають відоме співвідношення макроелементів і новостворене в інших пропорціях поживних елементів своїми назвами, брендами. У 2024–2025 рр. в Україні комплексні добрива виготовлялися на підприємствах OSTCHEM (Черкаський «Азот», «Рівнеазот»), «Дніпроазот», Одеському припортовому заводі (ОПЗ). Частка імпортних добрив значно підвищилася, країни-постачальники: Польща, Литва, Болгарія, Туреччина, Марокко, Китай, Казахстан, Азербайджан, Узбекистан, Туркменістан та інші. Дешевий імпорт із країн з доступом до більш дешевого газу створює ціновий тиск на вітчизняних виробників. Також суттєвою причиною падіння експорту українських виробників є значні руйнування інфраструктури внаслідок воєнних дій поряд зі зростанням ціни на газ.

У світовій агрохімії продовжуються дослідження та виробництво новітніх комплексних і мономінеральних добрив. Перспективним напрямом є випуск інтелектуальних добрив (Smart fertilizers) з контрольованим або повільним вивільненням поживних елементів.

На ринку з'являються нові нанокомплексні добрива (Nanofertilizers), у яких поживні елементи містяться в наночастинках (1–100 нм) або зв'язані з носіями нанорозмірного масштабу (глинисті мінерали, вуглецеві наноструктури або полімери, оксиди металів ZnO, Fe_2O_3, CuO). Часто ці добрива виробляються у формі гелей, суспензій, капсул, дрібних гранул чи кристалів. Виробники заявляють про краще поглинання рослинами поживних елементів із цих добрив, менші втрати внаслідок вимивання та випаровування, контрольоване вивільнення поживних речовин і можливе комбінування із засобами захисту рослин. Тому на ринку представлені зараз такі продукти, як NanoZn, NanoFe, NanoNPK, NanoAgro, наномікс та інші, які переважно використовуються для обробки насіння та листків, рідше перед посівом у ґрунт. Як біорозкладні нанополімери досліджуються хітозан і лігнін. Для майбутніх робіт

для докторів філософії цікавим також є вивчення екотоксичності нанодобрив у ґрунті та впливу їх на біоту, можливе поєднання добрив з біоактивними мікрорганізмами.

До комплексних добрив почали додавати й бактеріальні компоненти, ензими для стартового росту та допомоги рослинам у рості та розвитку. Дослідження щодо ефективності комплексних добрив ведуться у площині моделювання складу добрив для конкретної культури, поля у визначеній технології вирощування та пори року.

15.3. Сучасні тенденції щодо використання органічних добрив

15.3.1. Органічні добрива

Ці добрива мають різне походження. Так, з них виділяють добрива тваринного походження, сюди відносять гній і гноївку великої рогатої худоби, коней, свиней, кіз, овець, курячий і кролячий посліди, кісткове, кров'яне, риб'яче, шкіряне, рогове борошно [10]. Для кращого їх транспортування та внесення у ґрунт нині деякі виробники почали випускати їх гранульовану форму. Гній із низьким умістом поживних речовин на одиницю кількості має довшу залишкову дію, ніж добрива з високим умістом поживних речовин, окрім того, що покращує фізичні властивості ґрунту. До органічних добрив рослинного походження (як з переробкою, так і без) відносять компости (садові, харчові, міські, грибні), торф, сидерати, лушпиння, солому, золу, біовугілля, відходи лісозаготівель, виробництва пива, приготування кофе й інші.

У класифікації також виділяють змішані види, рослинного й тваринного походження, що вироблені внаслідок різних технологічних процесів, переробної промисловості, це вермікомпости, біогумус, біогазова суспензія (дигестат), осади стічних вод. Часто в закордонних джерелах удобрювальні продукти із штамами бактерій і грибами відносять до органічних. Більш детально ми розглянемо особливості та сучасні тенденції щодо застосування органічних добрив на практичних роботах.

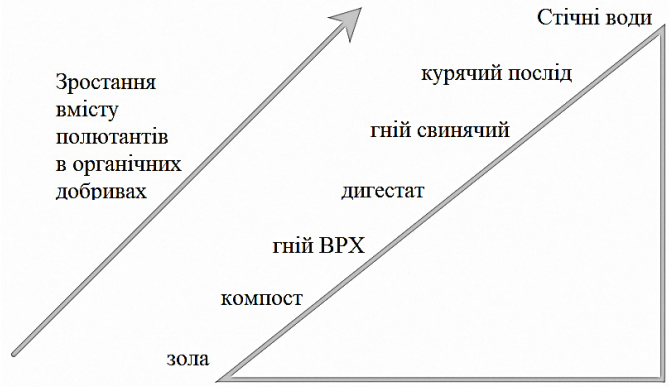
Біовугілля з різних рослинних решток, торфу також є предметом досліджень світових учених. Мінерально-біовугільні композити, виготовлені з відходів, фосфоритів, глинистих мінералів і мінеральних солей, слюди, стали дієвим методом покращення функціональної ролі біовугілля (біочару) у сільськогосподарському застосуванні [11].

Питання застосування дигестату (біогазової суспензії) також на часі, особливо для країн із розвинутим тваринництвом і великою чисельністю поголів'я ВРХ, свиней і курей [12]. Дигестат може вироблятися з міксу рослинного та тваринного матеріалу, тому його склад може бути різноманітний. Внесення як дигестату, так і біовугілля сприяє збереженню органічного вуглецю у ґрунті та стимулює розвиток у ньому корисної мікробіоти. Застосування дигестату може зменшити викиди парникових газів порівняно із традиційними

органічними добривами, але існує ризик втрати азоту внаслідок денітрифікації та вимивання нітратів [13]. Тому нині рекомендують у разі внесення рідкої фракції внесення інжекторними аплікаторами у ґрунт. Також біовугілля та дигестат можуть переробляти на гранулят або концентрати, що спрощує транспортування та зберігання, до того ж до них можна також додавати деякі мезо- і мікроелементи [14].

Потрібно зазначити, що підхід до вибору строків і норм унесення органічних добрив має бути науково обґрунтований. Надмірне внесення не несе користі й може призводити до зниження продуктивності та зрушення екологічної рівноваги. Наслідками може бути втрата азоту в нітратній формі вимиванням і мінералізацією органічного азоту; утрата аміаку з поверхні та решток; утрати калію внаслідок вимивання; накопичення фосфору в поверхневих шарах ґрунту; підвищення засміченості насінням бур'янів; забруднення ґрунту важкими металами, антибіотиками. Використання осаду стічних вод є найбільш небезпечним у плані надходження важких металів у ґрунт. Для їх застосування потрібно здійснити ретельний їх аналіз і підібрати шляхи знешкодження небезпечних компонентів.

На рисунку 15.2 представлено графік з порівняльним поясненням щодо підвищення концентрації забруднювальних речовин за внесення основних органічних добрив. Звісно, використання осадів стічних вод повинно контролюватися найбільше [10]. Але внесення органічних речовин у великих дозах може блокувати надходження деяких елементів, яких у них бракувало, правило бочки Лібіха завжди працює.



Рисунку 15.2 – Зростання вмісту забруднювачів у різних видах органічних добрив

Стосовно органічних добрив можна зазначити, що досі актуально вивчення оптимізації процесів компостування та вермікомпостування. Унаслідок антропогенного навантаження на ґрунт необхідним напрямом є вивчення біотрансформації важких металів і антибіотиків у гноєві. Потребує більш глибокого вивчення зв'язок між застосуванням органіки й динамікою викидів парникових газів. З появою нових органічних добрив, їхніх сумішей є доцільним дослідження ролі органічних компонентів у формуванні агрономічно цінних

агрегатів ґрунту. Нині замало даних про довгостроковий вплив на мікробіом і вуглецевий баланс, утрати поживних речовин за неправильного зберігання та внесення, ризик зараження патогенами без належної термічної обробки.

Застосування сидеральних добрив є важливим у світлі глобального потепління клімату та деградації ґрунту. Сидерати як джерело біологічного азоту, інших макро- та мікроелементів, органічної речовини потужно впливають на всі процеси у ґрунті. Проте не для всіх сидератів установлені чіткі оптимальні терміни їх загортання для різних ґрунтів, бракує знань про взаємодію сидератів з мікробіотою ґрунтів, наявна обмежена інформація про використання на солонцюватих і еродованих землях. Сидерати мають алелопатичні властивості (гальмування розвитку бур'янів і хвороб), впливають на секвестрацію вуглецю, структуру, pH і ємність катіонного обміну й інше. Тому поле щодо їхньої частки впливу треба ще більше розвивати науковцям.

Доведено, що для нормального функціонування ґрунтової біоти та доступності поживних елементів для рослин у ґрунтовому середовищі співвідношення вуглецю до азоту має бути в межах 24:1 (у різних джерелах зазначається, що мінімум 16:1, 20:1, 25:1), це є правилом для здорового ґрунту. В органічній речовині ідеальне співвідношення повинно бути 24:1–30:1. Якщо надходить у ґрунт, наприклад, сіно конюшини зі співвідношенням 25:1, то мікроорганізми дуже швидко використовують і вуглець, і азот, і нічого не залишається для наступної сільськогосподарської культури. Живучі у ґрунті, мікроорганізми виділяють вуглекислий газ, який у ґрунті сполучається з водою, утворюється вугільна кислота H_2CO_3, яка і підкислює середовище. Покращенням процесу дихання ґрунту, додаванням кальцію, меляси, глюкози, бурого вугілля, гуматів, сіна, соломи, біовугілля, різних джерел вуглецю можна покращувати живлення мікроорганізмів, які виробляють діоксид вуглецю і, таким чином, поступово можна стабілізувати рівень pH. У гарному компості повинно бути співвідношення 30:1, 32:1, 33:1. Щоб оцінити ці співвідношення, потрібно скористатися послугами агрохімічної акредитованої лабораторії.

15.3.2. Біодобрива

Мікробні удобрювальні продукти (біодобрива) – це речовини, що містять живі корисні мікроорганізми (бактерії, актиноміцети, гриби, унесення яких підвищує доступність поживних речовин (особливо азоту та фосфору), мікробіологічну активність ґрунту, стійкість рослин до стресів і хвороб, стимулюють ріст рослин через синтез фітогормонів. Ці речовини вносяться на насінину перед сівбою або у ґрунт перед його підготовкою до сівби, чи на вже вегетуючі рослини в їхній критичні фази розвитку. Основне завдання внесення таких речовин – стимулювання перетворення форм поживних речовин із менш доступної на доступну; стимуляція росту через продукування фітогормонів, що пришвидшують розвиток кореневої системи, покращують польову схожість, ріст і розвиток рослин; захист від патогенних організмів, оскільки деякі мікроорганізми витісняють хвороботворні гриби та бактерії,

бо виділяють антибіотичні сполуки або захоплюють їхні екологічні ніші; стимулювання розкладання органічних решток, що прискорює процес гуміфікації і покращує структурно-агрегатний склад ґрунту; підвищення стресостійкості щодо посухи, похолодання [15]. Але основна ціль їх застосування – отримання вищого врожаю та якості продукції, можливого зменшення потреби в хімічних добривах і пестицидах. Біодобрива цілком не можуть замінити ефект мінеральних добрив, але є дієвим допоміжним чинником у регулюванні живлення [16].

На ринку України такі добрива-препарати містять:

— азотфіксувальні бактерії, наприклад, *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bradyrhizobium japonicum*, *Sinorhizobium* та інші, що допомагають забезпечувати рослини біологічно фіксованим азотом;

— фосфатмобілізувальні бактерії, наприклад, *Bacillus megaterium*, *Pennicillium spp.* та інші, що поставляють рослинам фосфор із важкодоступних фосфатів;

— калій-мобілізувальні бактерії (солюбілайзери) – *Bacillus edaphicus*, *Bacillus mucilaginosus*, *Acidothiobacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Paenibacillus* sp., *Burkholderia* sp. та інші;

— цинк-мобілізувальні бактерії – *Bacillus subtillis*, *Thiobacillus*, *Thioxidans*, *Sacchromices* sp.;

— мікоризоутворювальні гриби, наприклад *Glomus spp.*, що покращують поглинання рослинами води та мінеральних сполук (особливо фосфору);

— целюлозорозкладальні, деструктори органічної речовини – *Cellulomonas*, *Trichoderm*, *Arthrobacter agariccus*.

В Україні виробляють такі добрива Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва, Інститут мікробіології і вірусології імені Д. К. Заболотного, БТУ-центр, ПП «НВП "ЕКО-ГАРАНТ"», ДП «Ензим», ТзОВ «Азотер Україна», ПП «БІОТЕХ АКТИВ», ТОВ «Агрінос Україна», ТОВ «ЕМ-Україна», ТОВ «Біонасервіс плюс» та інші.

Так, Азотохелп, Азорхиз, Азотобактерин, Біоінокулянт-БТУ бобові, Ековітал, Ніктофікс, Різолайн, Різосейв та інші подібні препарати з *Azotobacter chroococcum*, *Rhizobium* використовуються для коригування азотного живлення бобових та інших культур. Біонорма мікориза, Мікофренд, Меланориз, Мікофікс, Міковітал, Різомакс та інші препарати з мікоризоутворювальними грибами окремо або в суміші з фосфатмобілізувальними бактеріями на основі торфу, кізельгуру, тальку, графіту використовуються для с.-г., деревних, газонних і декоративних культур з метою покращення живлення, підвищення стресостійкості та захисту рослини від збудників хвороб. Для стимуляції фосфор-калійного та комплексного живлення рекомендуються Біофосфорин, Біокомплекс-БТУ, Граундфікс, Енпосам, Екстракон, Екоцел, Мега Врожай, Фосфоентерин та інші. Монобактеріальні чи грибні препарати або комплекс бактерій і грибів використовуються як для оброблення насіння, позакореневого внесення, для оздоровлення, рекультивації ґрунту для внесення перед посівом або перед обробітком ґрунту. Потрібно відповідально ставитися до інструкції виробника та строків зберігання біологічних препаратів, під час порівняння біодобрив з тим самим набором штамів мікроорганізмів варто звернути увагу на їхню кількість.

Науковими напрямами щодо вивчення мікробних препаратів є дослідження симбіотичних бактерій з культурами, ефективності створених багатокомпонентних препаратів (з мікробним консорціумом) із синергетичним ефектом, мікоризних грибів (вплив на стійкість до патогенів, посухи, покращення фосфорного живлення). Також останнім часом розвивається метагеноміка ґрунту – це розшифрування складу мікробіому для адаптивного добору мікроорганізмів.

Створені добрива / препарати, ефективність яких перевірена в лабораторних умовах, проходять випробування в польових умовах за різних ґрунтово-кліматичних умов і технологій вирощування. Життєздатність мікроорганізмів є обмеженою, строк придатності препаратів невеликий. Відомі випадки або фальсифікату, або купівлі препаратів з уже неактивними мікроорганізмами. Тобто для визначеного ґрунту, з конкретними кліматичними та гідрологічними характеристиками, з набором пестицидів і добрив потрібно підходити раціонально до підбору біоінокулянтів або речовин для підживлення, для їх ефективного використання.

15.3.3. Удобрювальні продукти з гуміновими та фульватними кислотами

Досить потужно представлені на ринку речовини на основі органічних кислот (гумінові та фульвокислоти), які є природними поліелектролітами, що утворюються в результаті розкладу органічних решток у ґрунті. Гумінові кислоти є великими молекулами. Утворені гумати одновалентних катіонів мобільні й можуть вимиватися із ґрунту, а гумати дво- і більше валентних катіонів переважно закріплюються у ґрунті й нерозчинні у воді [2]. Фульвокислоти представлені дрібнішими молекулами, які добре розчиняються і легше засвоюються рослинами. Застосування добрив із вказаними сполуками активує ріст кореневої системи, поліпшує структуру ґрунту, підвищує здатність ґрунту утримувати вологу та поживні речовини, посилює дію мінеральних добрив і має антистресовий ефект (стосовно посухи та хімічного навантаження). Часто такі добрива робляться на основі витяжки з торфу або бурого вугілля.

Різні виробники пропонують гумати натрію та калію з різним умістом органічних речовин. Натепер дуже багато пропозицій на ринку, це Агріфул, Біогель, БІОРОСТ, ГуміСил, Гумісол, Гуміфренд, Лігногумат, ТерраФюр органік, Українські гумати ГК-17, Фульвітал Плюс, ZaBio Humate та інші. Добрива з гумусовими речовинами можуть бути порошкодібні, пастоподібні, у формі гранул і кристалів. Суха порошкодібна форма використовується тільки для обробки насіння, усі інші й для насіння, і для позакореневого підживлення, і для обприскування ґрунту. До добрив може бути додано макро- і мікроелементи, мікроорганізми, амінокислоти й інші речовини.

Роль гумінових речовин полягає в підвищенні біодоступності мікроелементів, але не всі аспекти вивчені. Важливим є дослідження механізму зв'язування важких металів та регуляція pH ґрунтів, молекулярні механізми взаємодії гуматів із клітинами рослин (через рецептори та сигнальні шляхи), використання в умовах посухи, засолення, стресів [17]. Тобто поле для дослідження полягає у визначенні механізму їхньої дії на генному рівні. Є прогалини в інформації щодо

варіабельності складу гуматів залежно від сировини (торф, лігнін). Оскільки останніми роками з'являються все нові й нові продукти, то відмічається і різна якість за схожих показників, важко їх порівнювати, бо вони можуть містити різні елементи, вітаміни, ауксини, ферменти, амінокислоти й інше.

Завдання та питання для самостійної роботи

1. *Якими компонентами представлені чотири фази ґрунту?*
2. *Якими методами визначають гранулометричний склад ґрунту?*
3. *Від яких чинників залежить реакція ґрунтового середовища?*
4. *Яка класифікація ґрунтів за pH?*
5. *Якими методами визначаються кислотність та лужність ґрунту?*
6. *Якими сполуками спричиняється лужність ґрунту?*
7. *Яке значення має у ґрунті співвідношення вуглецю до азоту у внесених органічних добривах і рослинних рештках?*
8. *Як визначається вміст органічної речовини у ґрунті?*
9. *Як залежить поведінка внесених азотмістких добрив від різного гранулометричного складу ґрунтів?*
10. *Які основні азотні добрива застосовуються в сучасних технологіях вирощування сільськогосподарських культур? Які їхні недоліки та переваги?*
11. *Які є шляхи надходження фосфору у ґрунт і шляхи його втрат?*
12. *Які монофосформісткі добрива представлені на ринку України? Наведіть їхні відмітні риси.*
13. *Якими методами визначається вміст азоту, фосфору та калію у ґрунті?*
14. *Якими формами у ґрунті представлений калій? Які його форми є доступними для рослин?*
15. *Які добрива містять калій, які їхні особливості?*
16. *Які чинники можуть впливати на поведінку калію у ґрунті?*
17. *Якими заходами, окрім унесення мінеральних добрив, можна регулювати вміст азоту, фосфору та калію у ґрунті?*
18. *Які культури мають схильність до високої потреби в кальцію та магнію?*
19. *Які добрива / меліоранти використовуються як кальцієві та магнієві?*
20. *Уяких формах вносяться мікроелементи для запобігання їхньому дефіциту під час росту та розвитку рослин?*
21. *Які комплексні добрива є найбільш поширеними?*
22. *Як за походженням класифікуються органічні добрива?*
23. *Назвіть органічні добрива, внесення яких може призвести до зростання шкідливих речовин.*
24. *Які можуть бути наслідки нераціонального внесення органічних добрив?*
25. *У чому користь внесення удобрювальних продуктів з гуміновими кислотами та фульвокислотами?*
26. *У чому сутність застосування мікробних удобрювальних продуктів?*
27. *Які наукові напрями вдосконалення мікробних удобрювальних продуктів ученими?*

Перелік джерел до розділу 15

1. Шевчук М. Й., Веремеєнко С. І., Лопушняк В. І. Агрохімія : підручник. Ч. І : Теоретичні основи формування врожаю / за ред. М. Й. Шевчука. Луцьк : Надстир'я, 2012. 440 с.
2. Господаренко Г. М. Агрохімія : підручник. Київ : ТОВ «СІК ГРУП Україна», 2018. 560 с.
3. Шевчук М. Й., Веремеєнко С. І., Лопушняк В. І. Агрохімія : підручник. Ч. ІІ : Добрива та їх вплив на біопродуктивність ґрунту / за ред. М. Й. Шевчука. Луцьк : Надстир'я, 2012. 440 с.
4. ДСТУ 4362:2004 Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. 2005. Київ : Держспоживстандарт України. 33 с.
5. Імпорт добрив за 11 місяців зріс на 14,5 % і змінились лідери. 13.12.2024. URL: https://bit.ly/4mbPZ13
6. Методика агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення / за ред. С. М. Рижука, М. В. Лісового, Д. М. Бенцаровського. Київ, 2003.
7. Parvatha Reddy P. Agro-ecological Approaches to Pest Management for Sustainable Agriculture. Springer, 2017. 335 p.
8. Господаренко Г. М., Карнаух О. Б., Alexander A. Мікроелементи і добрива в живленні рослин : навчальний посібник. Кам'янець-Подільський : ТОВ Друкарня «Рута», 2020. 348 с.
9. Забезпеченість ґрунтів Сумської області мікроелементами та застосування мікродобрив : рекомендації. Харків : Міськдрук, 2013. 76 с.
10. Ullmann's Agrochemicals. 2 Vol. 1st edition. Weinheim, Germany : Wiley-VCH, Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007. 932 p.
11. Liu Y., Lan X., Hou H., Ji J., Liu X., Ly Z. Multifaceted ability of organic fertilizers to improve crop productivity and abiotic stress tolerance: review and perspectives. *Agronomy.* 2024. V. 14 (6). P. 1141. DOI: 10.3390/agronomy14061141
12. Sharma S., Mukherjee S., Bolan S., Figueiredo C. C., Fachin J., Chang S. X., Palansooriya K. N., Zhou P., Hou D., Kaya C., Siddique K. H. M., Bolan N. Biochar as a potential nutrient carrier for agricultural applications. *Current Pollution Report.* 2025. V. 11. P. 19. DOI: 10.1007/s40726-025-00349-7
13. Zhang X., Wu D., Zakharchenko E. A. Review on effects of biogas slurry application on crop growth. *Аграрні інновації*. 2022. № 13. С. 155–166. DOI: 10.32848/agrar.innov.2022.13.24
14. Midden C., Harris J., Shaw L., Sizmur T., Morgan H., Pawlett M. Immobilisation of anaerobic digestate supplied nitrogen into soil microbial biomass is dependent on lability of high organic carbon materials additives. *Frontiers in Sustainable Food Systems.* 2024. V. 8. DOI: 10.3389/fsufs.2024.1356469
15. Abdulkarim A. Y., Abdulsalam S., El-Nafaty U. A., Muhammad I. M. Bio-fertilizers via co-digestion : a review. *Traektoriâ Nauki=Path of Science*. 2019. Vol. 5. № 6. P. 3000–3011. DOI: 10.22178/pos.47-3
16. Zakharchenko E., Huang Z., Nechyporenko V., Antal T., Samoshkina I., Radchenko M., Bondarets R., Blyzniuk V., Naumov O., Tsedilkin A. Yield and economics of foliar biofertiliser application of spring barley in organic farming on a low-nutrition background. *Modern phytomorphology.* 2024. V. 8. P. 58–63. DOI: 10.5281/zenodo.14591930
17. Перелік допоміжних продуктів та методів, дозволених для використання в органічному виробництві / І. І. Гавран та ін. Київ : ТОВ «Органік стандарт», 2024. 150 с.

Розділ 16
ФІЗИКА ҐРУНТУ

Фізика ґрунту – це напрям ґрунтознавства, що вивчає такі фізичні параметри та властивості, як структурно-агрегатний склад, щільність твердої фази ґрунту, щільність ґрунту, шпаруватість (пористість), твердість, липкість, пластичність, набрякання, усадка, вологість, водопроникність, вологоємність, водопідйомна здатність, повітровміст, повітроємність, повітропроникність, теплоємність, теплопровідність та інші [1]. Усі ці показники згадуються коротко в дисциплінах 2 і 3 курсів бакалаврату спеціальності 201 «Агрономія». Тому в цьому розділі підручника матеріал буде присвячено тим показникам, які найбільше використовуються в наукових і агрономічних колах.

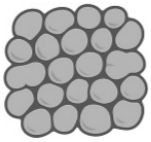
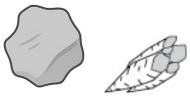
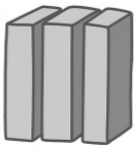
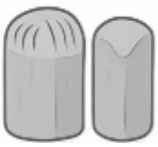
Фізичні параметри ґрунту вивчають як ґрунтознавці-агрономи, так і агроінженери, екологи та будівельники.

16.1. Структурно-агрегатний склад ґрунту

З курсу ґрунтознавства відомо, що однією з морфологічних ознак ґрунтового профілю та стану поверхні поля загалом під час проведення обробітку ґрунту є визначення структурно-агрегатного складу ґрунту [2]. Агрономи та науковці оцінюють візуально та за допомогою лабораторних методів ***структурність ґрунту***, що є здатністю ґрунту розділятися на агрегати [3]. Ґрунтові агрегати, у свою чергу, і є ***структурою***. *Безструктурними ґрунтами* вважаються піщані та деякі злиті, масивні, які втратили свою структуру внаслідок антропогенного втручання або підвищення лужності чи вмісту солей. Усі інші ґрунти мають здатність формувати агрегати визначеної форма та розмірів, які натепер установлені та згруповані. Основні типи та підтипи структури ґрунту (але не всі) представлені в таблиці 16.1 (див. с. 417). Оцінювання структурного стану ґрунту – параметр родючості, фізичний показник, який агроному надає роздуми на моделювання ситуації інфільтрації води, випаровування, застоювання, руху повітря та теплових мас.

У ґрунтовому профілі може траплятися не тільки один тип чи підтип структурних агрегатів, а також їх змішані варіанти. Також із глибиною структура може змінюватися залежно від щільності й особливостей материнської породи, обробітку ґрунту. Кубоподібна структура характерна для верхніх, гумусових орних горизонтів, переважно чорноземних, лучних, каштанових та інших ґрунтів. Звісно, найкращий варіант мати на полі зернисту структуру, але вона притаманна цілинним ґрунтам, яких у країні дуже мало, але на заповідних, лучних степових територіях вона трапляється.

Таблиця 16.1 – Основні типи та підтипи структури ґрунту

Тип структури	Підтипи структури		
Кубоподібна структура	 Зерниста	 Брилиста/блочна	 Грудкувата
Плитоподібна	 Плитчаста	 Лускувата	 Листувата
Призмоподібна	 Призматична	 Стовпчаста	
Типи безструктурного ґрунту	 Масивна	 Безструктурна	

З інтенсивністю обробітків, тривалим с.-г. використанням агрегатування ґрунту може погіршуватися внаслідок вимивання кальцію, унесення фізіологічно кислих добрив, тривалої монокультури просапних технічних культур та іншого. Зерниста структура перетворюється на грудочкувату, від цілої низки чинників залежить те, яка це буде структура – крупно-, середньо- чи дрібногрудкувата.

Елювіальні горизонти мають плитчасту структуру з різними підтипами, рідше пилувату. Материнська піщана порода зі слабоелювіальним ефектом може бути взагалі безструктурною.

Для ілювіальних горизонтів, які трапляються у ґрунтах з кислою реакцією середовища, характерна призмоподібна (призматична), горіхувата структура, а для лужних, особливо з надмірною кількістю соди та солей, – здебільшого стовпчаста. Ці горизонти розташовані переважно під елювіальними і є більш ущільненими, хоча є виняток із правил, коли формується на поверхні ґрунту елювій, ґрунт набуває бурого відтінку, що притаманно заплавним ґрунтам. Горизонти із вмитими колоїдами глини, гідроксидами алюмінію та заліза можуть виступати як водоупори та погано пропускати воду та повітря до коренів рослин.

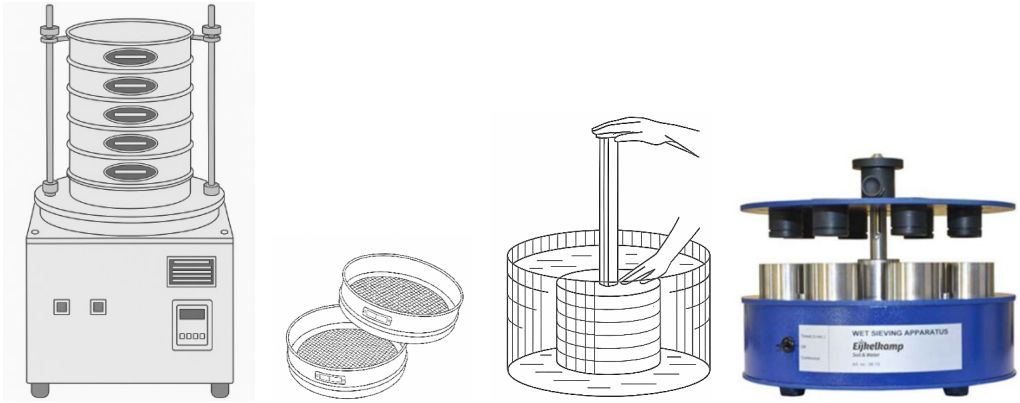
Постійний прохід техніки по полю призводить до появи ущільнених прошарків ґрунту на різних глибинах залежно від обробітку за останні кілька десятків років. Формується плужна підошва – тобто ущільнений шар ґрунту,

який утворюється саме під орним горизонтом унаслідок систематичного обробітку ґрунту на більш-менш однаковій глибині.

На семінарах аграрії обговорюють різні новинки землеробської техніки, позитивні чи негативні практики. Деякі агрономи зазначали, що після тривалої оранки була сформована потужна плужна підошва на глибині 35–40 см, але коли вони перейшли на мінімальний обробіток ґрунту, дискування, сформувалася ще й друга «свіжа» плужна підошва, тому все залежить від підходів до обробітку ґрунту та формування доброї структури для рослин. Одна чи дві утворені плужні підошви змінюють нормальну водопроникність, ускладнюють проникнення повітря у глибші шари, перешкоджають росту коренів, особливо це небезпечно для культур із глибокою кореневою системою. Ті фермери, що роблять ставку на застосування мінімального обробітку ґрунту, за деякий час проводять глибокорихлення (чизелювання) на глибину 40–60 см. За точного землеробства цей вид обробітку може проводитися локально, на проблемних ділянках. Але, на наш погляд, саме комбінований обробіток на різну глибину під різні культури є найбільш ефективним.

В описі ґрунтового профілю використовується візуальний метод оцінювання структурно-агрегатного складу ґрунту. В Україні в лабораторних умовах використовуються методи сухого та мокрого просіювання за М. І. Савиновим, ДСТУ 4744:2007, також із деякими особливостями ISO 11277. Для цього використовують колонку сит діаметром 10–0,25 мм, що має піддон і кришку [4]. З відібраного ґрунту видаляють рослинні й інші рештки, камінці. Зразок доводиться до повітряно-сухого стану й просіюється крізь сита. Ґрунт із сит зважується, кожна фракція розраховується за пропорціями. Для більш узагальненого висновку аналізується відсоток фракцій, що мають розмір більше 10 мм, 10–0,25 і менше 0,25 мм. У стандарті наводиться таблиця з оцінкою структурно-агрегатного складу, яким фахівці керуються для оформлення результатів досліджень. Саме фракція 10–25 мм повинна переважати у ґрунті за раціонального обробітку в чорноземних ґрунтах. Сухий метод є найпростішим, але має свої недоліки.

Мокре просіювання є значно складнішим методом, який постійно вдосконалюється. Коротко представити метод можна таким поясненням. Після сухого просіювання відбирається 50 г ґрунту всіх фракцій у визначеному відсотковому співвідношенні, але без фракції менш ніж 0,25 мм. Ґрунт поміщається в циліндр, заливається водою, після відстоювання циліндр закривають і перевертають догори (декілька разів), потім виливається на сита діаметром 5–0,25 мм. Сита повільно піднімають десять разів, провокуючи рух агрегатів і можливе їх переміщення отворами. Потім агрегати, що залишилися на ситах, змивають у фарфорові чашки та випаровують або ставлять у сушильну шафу. Таким чином будуть розраховані водостійкі агрегати. На рисунку 16.1 (див. с. 419) зображено просіювальну машину, яка автоматично просіває ґрунт крізь сита, що полегшує ручну працю за сухого просіювання. Мокре просіювання представлено на рисунку 16.1 (*в* і *г*). Останнє зображення представляє сучасне обладнання, що більш точно визначає водостійкість агрегатів.



а *б* *в* *г*

Рисунок 16.1 – Елементи визначення структурно-агрегатного складу ґрунту:
а – просіювальний прилад; *б* – сита; *в* – мокре просіювання ситовим методом;
г – мокре просіювання за допомогою Ejikelkamp apparatus

16.2. Фізичні показники

Показник щільності твердої фази ґрунту (питома маса) практично не згадується в колі агрономів, більше уваги приділяється таким показникам, як щільність чи твердість ґрунту. Також ви не почуєте від виробників про показник шпаруватості, бо він є відносним і залежить від вищезгаданих показників.

Щільність твердої фази ґрунту (далі – ЩТФГ) (питома маса, bulk specific gravity, particle density) – це параметр, що оцінює масу всіх твердих часток ґрунту в одиниці об'єму без урахування порожнин (шпарин) [5]. У деяких джерелах можна побачити іншу назву цього параметра – «густина», що походить від величини співвідношення густини ґрунту до густини води. Із підручників усім відомо, що «відносна щільність твердої фази ґрунту – показник відношення маси ґрунту до маси рівного об'єму води за t +4 °С». Одиниці виміру представлені головним чином у г/см^3 або кг/м^3. В основному цей показник відображає мінералогічний склад ґрунту – співвідношення первинних і вторинних мінералів, гранулометричний склад і вміст органічної речовини. У лабораторних умовах визначається за ДСТУ 4745:2007. Середнє значення визначено на рівні 2,66 г/см^3, тобто один грам ґрунту важить 2,66 г. В органічних ґрунтах типу торфових, болотних цей показник може бути вдвічі або в півтора раза менший. Якщо у ґрунті трапляються залізисті новоутворення, цей показник підвищується.

Визначення щільності твердої фази ґрунту проводять пікнометричним способом. Пікнометр – це спеціальна колба з точно відомим об'ємом і скляною пробкою з капіляром усередині (рис. 16.2, див. с. 420). Для рідин випускаються одні пікнометри, а для визначення даного параметра для ґрунту – інші, нині є складнощі із придбанням відповідної моделі.

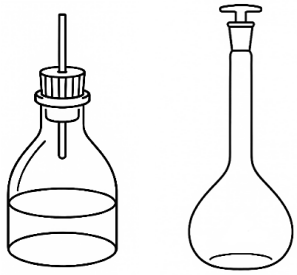


Рисунок 16.2 – Схематичне зображення пікнометра

Щільність ґрунту (далі – ЩГ) (об'ємна маса, bulk density) – це параметр, що аналізує масу ґрунту в одиниці об'єму, широковідомий в агрономічних, інженерних колах фахівців. Він залежить від вологості ґрунту, мінералогічного та гранулометричного складу ґрунту, умісту органічної речовини, антропогенного навантаження. Можна навіть сказати, що він також залежить від пори року (кліматичних особливостей), бо після відтавання ґрунту та до початку весняно-польових робіт щільність ґрунту верхнього шару є найнижчою порівняно з іншими строками відбору зразків. Кожен прохід сільськогосподарської техніки буде впливати на цей показник, але якщо ґрунти сухі, вплив буде менш значущий, ніж на вологих ґрунтах. Обмеження розповсюдження коренів рослин спостерігається за значення щільності більше 1,55 г/см^3. Обробіток ґрунту, який приводить до утворення більшої кількості дрібних часток (наприклад, у пересушеному стані влітку чи восени), може збільшувати цей показник унаслідок більш щільного утрамбування часточок через руйнування зв'язків між структурними агрегатами. Щільність можна знизити внесенням органічних добрив, наприклад гною, торфу, але ефект більше проявляється саме в поверхневих шарах.

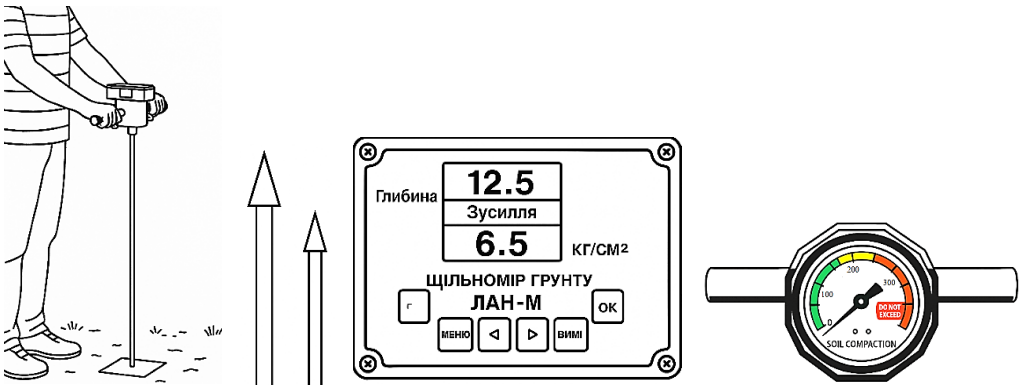
Щільність ґрунту визначається лабораторно за методикою, що викладена в ДСТУ ISO 11272-2001 та ISO 11272:1998, IDT. Для проведення цього визначення використовують металеве ріжучі кільця (циліндри) з відомим об'ємом (рис. 16.3). У ґрунті може бути велика кількість коренів, живих організмів, що впливає результати. Також відбір значно залежить від вологості ґрунту, бо за дуже сухого ґрунту деяка маса може втрачатися в разі неналежного переносу зразка та подальшого транспортування. Для достовірного результату



Рисунок 16.3 – Визначення щільності ґрунту методом ріжучого кільця

краще робити відбір не менш ніж у чотирикратній повторності з кожного шару. Учені здебільшого відбирають за генетичними горизонтами ґрунту або за кожним 5 чи 10 см кроком, відбирають в орному та підорному шарі (0–20 і 20–40 см, але доцільніше все ж покроково в 10 см до глибини 40 см).

Останнім часом на ринку з'являються все більш удосконалені портативні прилади для роботи в польових умовах (рис. 16.4), що вимірюють щільність ґрунту кондуктометричним методом, але часто їх плутають із твердомірами, тому потрібно чітко знати підхід і одиниці вимірювання. В Україні на вебсайтах можна побачите пропозицію від виробника щільноміра Лан. В останній версії Лан Pro із GPS позиціонуванням можна всю інформацію синхронізувати з вашим телефоном. Збереження даних у хмарному середовищі використовується для подальшої побудови картограми ущільнення поля за потреби. Обов'язково під час появи даних на екрані їх треба зберігати: натискати треба після кожного визначення, бо дані не будуть зберігатися на внутрішню флешку або хмарне середовище, з якої потім переносяться на комп'ютер.



а *б* *в* *г*

Рисунок 16.4 – Особливості вимірювання портативними щільномірами:
а – робота із приладом у полі; *б* – конуси щільноміра для ґрунтів різного гранскладу;
в – екран щільноміра Лан; *г* – табло щільноміра Wile Soil

Під час роботи із цим приладом рекомендуємо проводити вимірювання в польових умовах, де не створюється тінь від рослин. Занурення щупа потрібно проводити з однією силою, тобто під час проведення порівняння варіантів досліджень бажано, щоб працювала одна людина, тільки в такому разі можна отримати більш-менш адекватні дані для статистичної обробки.

Щільномір від Data Field є суттєво дорожчим, але працює в полі більш стабільно. Ці два прилади визначають ущільнення до глибини 60 см. Але, якщо буде дуже ущільнений ґрунт, є ризик під час натискання пошкодити металевий щуп, може відійти конус. Не можна працювати над одним дослідженням із двома приладами водночас, як, наприклад, Лан і Data Field, які мають свої шкали. Є прилади з меншою глибиною зонда для знаходження глибини орної підошви та загального оцінювання ситуації на полі. Зверніть увагу, більшість

визначає саме твердість, а не щільність (пенетрологгери), мають одиниці вимірювання кПа, psi, кг/см^2. Досить давно використовується прилад, який на інтернет-ресурсах із продажу позиціонується як щільномір (пенетрометр) Wile Soil. Також відомі AFS-1, M-SP5 та інші.

Шпаруватість (пористість, soil porosity, pore space) – це об'єм порожнин у ґрунті, які можуть бути заповнені водою чи повітрям, одиниці виміру – відсотки. Згадаймо схему в розділі 15 про ідеальне співвідношення цих фаз ґрунту. Шпарини можуть бути різного розміру та форми, сумарна їх кількість буде становити загальну шпаруватість. Але цей показник не дає інформації щодо розміру шпарин і визначається тільки через відомі показники щільності твердої фази ґрунту та щільності ґрунту за відповідною формулою.

У таблиці 16.2 наведено приблизні оптимальні параметри трьох фізичних показників ґрунту без розбиття на підкласи суглинків і глин для узагальнення даних.

Таблиця 16.2 – Оптимальні значення фізичних параметрів ґрунту

Клас ґрунту за гранскладом	Щільність твердої фази ґрунту, г/см^3	Щільність ґрунту, г/см^3	Шпаруватість, %
Піщаний	2,60–2,65	1,30–1,60	35–45
Супіщаний	2,60–2,65	1,20–1,50	40–50
Суглинковий	2,65–2,70	1,10–1,40	45–55
Глинистий	2,70–2,75	1,00–1,30	50–60

Джерело: [1; 2; 5; 6]

Розміри шпарин впливають на рух і утримання повітря, води, розчинених у ній поживних елементів. Зрозуміло, що важкі глинисті ґрунти мають менші за розміром пори, аніж піщані легкі ґрунти (рис. 16.5). А через те, що у ґрунті співвідношення механічних елементів різне, існують різні пори з різним розміром. Шпарини великого розміру забезпечують аерацію ґрунту, яка необхідна для обміну киснем з атмосфери та діоксидом вуглецю, що виділяється коренями рослин і у процесі життєдіяльності ґрунтової фауни. Десята частка шпарин повинна бути саме великими шпаринами, щоб було куди кореневій системі розвиватися.

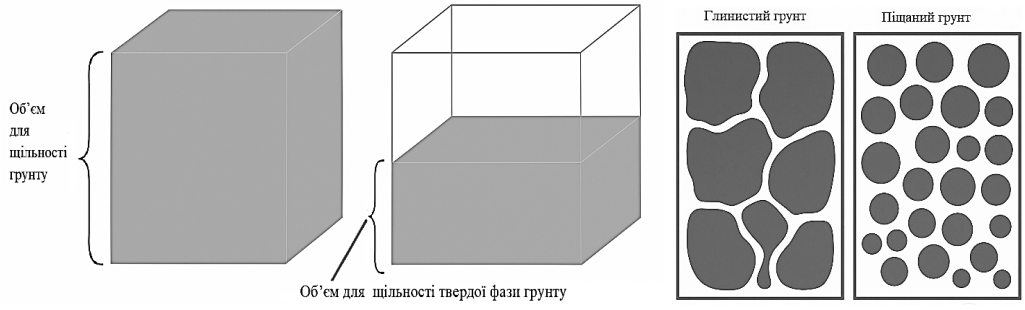


Рисунок 16.5 – Розташування часток ґрунту за різного гранскладу та вимірювання ЩГ та ЩТФГ

Шпарини малого розміру з'єднуються з великими, утворюються шпарини середнього розміру, своєрідна складна картина каналів. Між структурними агрегатами простір може бути досить великий (макрошпарини), а між часточками всередині агрегату – малий (мікрошпарини). Відсоток макрошпарин збільшується за внесення органічних добрив, мульчування, що є результатом створення ходів дощових черв'яків, перегнивання кореневої системи, збільшення агрегатування структурних елементів. Проведення обробітку ґрунту призводить до збільшення розміру макрошпарин, але не до їхньої кількості.

Інтенсивний обробіток, унесення хімікатів можуть негативно впливати на розвиток ґрунтової біоти й утворення гумусу, що, зрештою, може призвести до погіршення структури, більше формуватимуться агрегати великого або дуже малого розміру. Погана структура, низький уміст органічного вуглецю, основних макроелементів призводять до зростання нестійких зв'язків між агрегатами та схильності до водної та вітрової ерозії. Зливові короткочасні дощі, які стали реаліями у весняний і літній періоди, можуть призводити до руйнування структурних агрегатів, запливання, а надалі й формування ґрунтової кірки, що особливо небезпечно для рослин на стадії проростання. Велика роль зараз відводиться саме підбору системи технологічних операцій для зберігання вологи протягом вегетаційного періоду, переходу на «смарт-технології» з метою впливу на проходження процесів у ґрунті та формування продуктивних посівів.

Для вивчення простору шпарин ґрунту використовують методи зрізів, коли заливається епоксидна смола у ґрунт, але за великої кількості зразків цей метод є незручним. Застосування барвників, стеження за рухом води є більш застосованими методами спостереженнями [7]. Останніми роками почали використовувати ультразвукове зондування ґрунтових зразків і комп'ютерну томографію (далі – КТ) (рис. 16.6). Тобто завдяки 3D-реконструкції можна

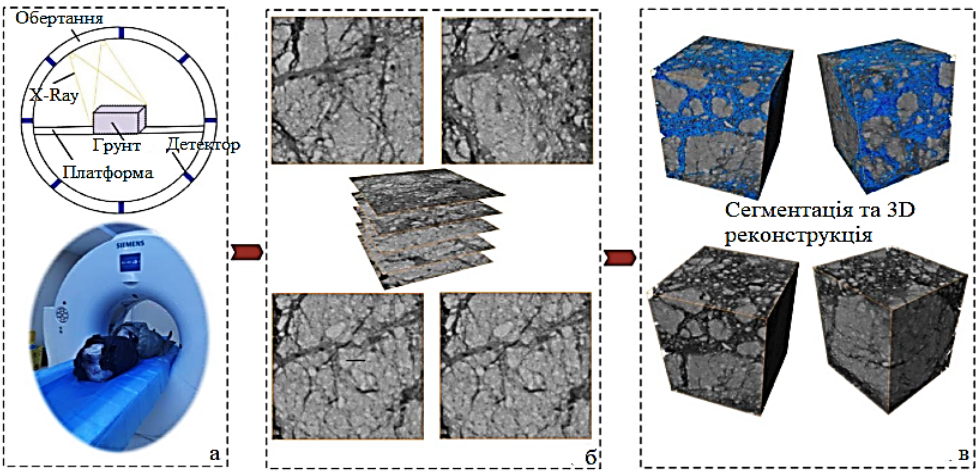


Рисунок 16.6 – Комп'ютерне сканування та обробка даних КТ:

а – схематичне та реальне зображення КТ-сканування;

б – оригінальні зображення зрізів КТ; *в* – сегментація та 3D-реконструкція зразка ґрунту

Джерело: [8]

візуально порівнювати міграцію води за різних способів обробітку ґрунту, унесення органічних добрив і рослинних решток [8].

16.3. Фізико-механічні властивості

Явища набрякання та усадки ґрунтів відомі кожній людині. Логічно, що ці явища мають місце у ґрунтах, які багаті на глинисті мінерали. Ці явища є критично важливими для розуміння стабільності ґрунту, структури, росту коренів рослин та інженерної поведінки ґрунтів.

Усадка – це зменшення об'єму ґрунту, коли вода втрачається через випаровування або поглинання рослинами [2]. У разі поступового випаровування частинки ґрунту зближуються, що спричиняє тріщини та руйнування агрегатів. Як наслідок, спостерігається утворення поверхневих кірок і тріщин, пошкодження коренів і стійкості рослин, зниження водопроникності й ущільнення.

Набрякання ж є збільшенням об'єму ґрунту, коли вода надходить до сухих або частково сухих ґрунтів, що містять глинисті мінерали та породи. Ці складники твердої фази ґрунту поглинають воду та розширюють міжпакетний простір, особливо якщо вони є експансивними глинистими мінералами 2:1, як, наприклад, смектит. Набрякання може призводити до утворення нерівностей поверхні ґрунту, нестабільності фундаментів, змін у кореневій і наземній масі рослин. Водночас спостерігається погана аерація внаслідок закривання шпарин, зниження інфільтрації та дренажу, порушення насіннєвого ложа. Ущільнені ґрунти демонструють більшу здатність до утворення тріщин, а часті процеси зволоження та висихання (swelling-shrinkage) погіршують структуру ґрунту. У період посухи через утворені великі тріщини відбувається інтенсивне випаровування води, що є дуже поганим для сільськогосподарських рослин.

Для оцінювання межі усадки проводять лабораторні дослідження за стандартом ASTM D427 зі спеціальними пластинами для усадки, мірними циліндрами, різними чашами та монеллю H-4256, ASTM 4318, ДСТУ Б В.2.1-10. Досить поширене визначення межі Аттерберга, коли визначають рівень вологості, за якої починається чи зупиняється усадка.

Межа текучості Аттерберга (Liquid lomit) – це такий уміст вологи у дрібнозернистому ґрунті, за якого він переходить зі стану пластичності в текучий стан [9]. Інакше кажучи, це верхня межа вологості, за якої ґрунт втрачає свою пластичну форму й починає поводитися як в'язка рідина. Думаємо, що ви бачили, як витягували автівку з в'язкої багнюки, це не так просто, а якщо ще важкий трактор застрягає на полі, то зовсім проблематично.

За низької вологості глинистий ґрунт є твердим, з підвищенням зволоження стає пластичним, легко ліпиться, тримає форму. За надмірної кількості вологи ґрунт стає текучим, він не тримає форму, розтікається під власною вагою. Межа між цими станами – це є ***межа текучості***. Визначається за допомогою приладу Касагранде (рис. 16.7, див. с. 425).

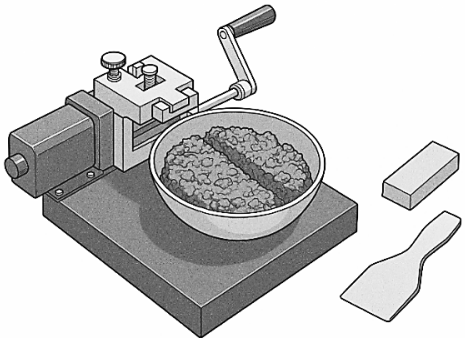


Рисунок 16.7 – Метод Касагранде для визначення межі текучості

Ґрунт укладають у латунну чашу приладу, створюють стандартний розріз шпателем по середині, обертають ручку, чаша падає на платформу. У цьому методі межа текучості – це така вологість, за якої після 25 ударів краї розрізу змикаються на довжину 12 мм. Цей показник характеризує водоутримувальну здатність, зв'язність ґрунту, мінералогічний склад, шпаруватість та структуру.

Високу межу текучості мають глинисті ґрунти, особливо ті, які слабко дреновані й мають високий рівень набрякання. Низькі значення притаманні піщаним, піщано-глинистим ґрунтам, які слабко пластичні. Цим показником в основному цікавляться геологи, агроінженери, дорожники (для розрахунку зсідань, стійкості, набрякання), будівельники (для визначення несучої здатності основ, під час проєктування фундаментів, доріг, трубопроводів та іншого), він представлений у класифікації ґрунтів в USDA та FAO.

Липкість (stickiness) і пластичність (plasticity) є двома ключовими фізико-механічними показниками глинистих і суглинистих ґрунтів, які характеризують їхню консистенцію, оброблюваність, водні властивості. ***Пластичність ґрунту*** є його здатністю змінювати форму без розривів під дією сили й утримувати надану форму після припинення деформації. Вона спостерігається в діапазоні вологості між межею пластичності (найнижча вологість, за якої ґрунт ще пластичний) та межею текучості (вологість, за якої ґрунт переходить у текучий стан). Індекс пластичності розраховується як показник межі текучості мінус показник межі пластичності. Примітивно можна це визначити шляхом формування ґрунтової маси у шнур завтовшки 3 мм, якщо тріскається, то межа досягнута.

Також використовується метод конуса (Cone Penetrometer method). У країнах ЄС визначення проводять за стандартом ASTM. В Україні використовують балансирний конус Васильєва для визначення верхньої межі пластичності (рис. 16.8, див. с. 426). До ґрунту додають воду, поміщають у циліндр, вставляють конус і за зануренням визначають показник.

Липкість – це властивість вологого ґрунту прилипати до інших тіл (до взуття, до знарядь обробітку, рук). Залежить від умісту глини, умісту гумусу, колоїдів тощо. У літературі згадується вимірювання цього показника методом Н. А. Качинського, В. В. Охотіна, М. І. Лактіонова, але такі прилади купити неможливо, їх немає зараз у продажу. У полі можна тактильним

методом описати ґрунт за липкістю, взявши грудку вологого ґрунту, натиснувши пальцем. Далі визначаємо ступінь липкості: нелипкий – тобто не прилипає до пальців; слабколипкий – легко прилипає, легко знімається; середньолипкий – значно прилипає, знімається із труднощами; дуже липкий – спостерігається сильне прилипання, відрив із зусиллям. Також у країнах ЄС, США, Канаді використовують стандартизовані польові методи за FAO Guidelines та USDA Soil Survey Manual. У ґрунтознавстві та землеробстві це важливий показник для оцінювання ґрунту щодо ерозійної стійкості. Для інженерів він важливий для створення різних знарядь обробітку ґрунту, загалом для створення техніки, коліс, гусениць, для оцінювання зчеплення ґрунту з технікою.

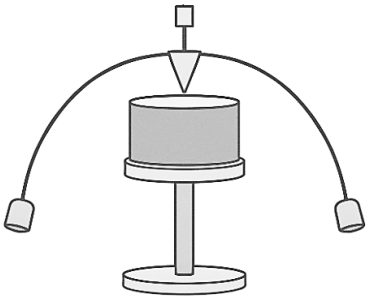


Рисунок 16.8 – Конус Васильєва

16.4. Основні водні показники та їх визначення

Ґрунт діє як губка, поглинає та утримує воду. Показник ***водопроникності***, що характеризує здатність всмоктувати та пропускати крізь себе воду, досить відомий, для його визначення випущено багато різних приладів. У визначенні цього показника використовуються різні значення. Так, інфільтрація – це рух води у ґрунт. ***Водопровідність*** (фільтрація, гідравлічна провідність, hydraulic conductivity) – це рух води вниз у ґрунт, тобто швидкість, з якою вода рухається крізь одиницю площі насиченого ґрунту під впливом гідравлічного градієнта [10]. Вона відображує ступінь легкості, з яким вода може рухатися між ґрунтовими часточками або часточками породи в насичених умовах, і є ключовим параметром для розуміння руху води за нахилом, у дренажних каналах, руху ґрунтових вод загалом. Одиниці вимірювання в геології та геотехніці – метри за секунду (м/с), у ґрунтознавстві це сантиметри за добу (см/добу) або міліметри за годину (мм/год).

Наявність каналів, шпарин, капілярів у ґрунті дозволяє воді проникати та просочуватися, зберігатися. Водопроникність головним чином залежить від гранулометричного складу та структури ґрунту. Піщані ґрунти мають найбільш швидку інфільтрацію води в більш глибокі шари, а суглинкові, глинисті ґрунти, які ущільнені та мають плужну підошву, найменшу, це є серйозною проблемою. На полі може застоюватися вода, особливо за нерівного рельєфу та наявності

негативних форм рельєфу. Коренева система рослин і всі компоненти органічної речовини загалом впливають на структурно-агрегатний склад ґрунту. Як уже говорилося вище, рослинні та тваринні рештки сприяють створенню доброї структури, формуванню макрошпарин, за допомогою яких воді легше рухатися. Не треба забувати про кальцій як головний структуроформувач, особливо в контексті тенденцій до підкислення ґрунтів або підлуження.

Для вивчення водопроникності (інфільтрації) ґрунту, з якою швидкістю, на яку глибину вода може проникнути, використовується різне обладнання. Цей показник є важливим у вивченні екологічних аспектів застосування хімічних добрив, пестицидів, відходів промисловості (осади стічних вод, біогазові суспензії та інше), контролю стану ґрунтових і текучих вод.

Досить широко в польових умовах використовується кільцевий інфільтрометр (ring infiltrometer), який є простим у використанні та недорогим. Два концентричні кільця вставляються у ґрунт і заповнюються водою, тобто вимірюється швидкість інфільтрації, за якою можна оцінити гідравлічну провідність. Також може використовуватися інфільтрометр напруження, який вимірює ненасичену гідравлічну провідність за різних рівнів матричного потенціалу. Сутність методу полягає в тому, що у ґрунт вставляються два кільця (внутрішнє і зовнішнє), у які заливається вода. Потім вимірюється швидкість зменшення рівня води у внутрішньому кільці, що і буде вважатися швидкістю інфільтрації. Учені говорять про низьку точність приладу в неоднорідних за складом і структурою ґрунтах і те, що він чутливий до встановлення, водночас виникає ущільнення країв. Інфільтрометр-тензіометр може використовуватися для дослідження інфільтрації води за різного тиску (моделювання різного рівня вологості), оцінювання наявності макрошпарин і параметра гідравлічної провідності [10].

Застосування подвійного кільцевого інфільтрометра (double-ring infiltrometer) зменшує під час аналізу бічні втрати води, він більше точний, аніж його одинарний аналог. Теж використовуються два кільця, але вода в обох кільцях утримується на постійному рівні; вимірюється зміна рівня у внутрішньому кільці (рис. 16.9). Однак у цього приладу є недолік, він великогабаритний і трудомісткий у встановленні.

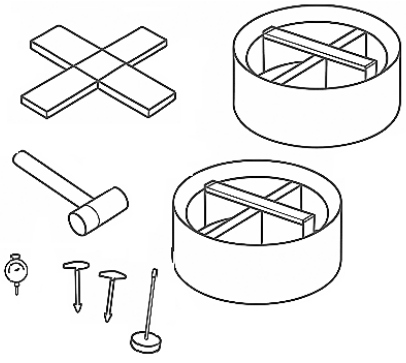


Рисунок 16.9 – Подвійний кільцевий інфільтрометр

Напірний дисковий інфільтрометр (tension disc infiltrometer) вимірює тільки капілярну інфільтрацію, зокрема й шпарини, і дає змогу оцінити водопроникність у ненасичених умовах.

Його спеціальна шпариста пластина контактує із ґрунтом, вода просочується крізь неї з невеликим негативним тиском (рис. 16.10). Прилад теж потребує ретельного встановлення через його чутливість до підготовки поверхні. Нині закордонними фахівцями використовуються цифрові інфільтрометри, які мають такі переваги, як автоматичне зчитування даних, інтеграція із GPS, хмарним сервісом, але вони значно дорожчі.

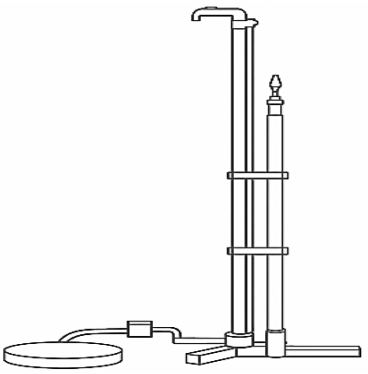


Рисунок 16.10 – Інфільтрометр-тензіометр

У науковій літературі застосовується і показник ***водного потенціалу ґрунту*** (water potential, soil suction, Ψ), що є енергією, з якою вода утримується у ґрунті [9]. Цей показник визначає рівень доступності води для рослин і напрямок, у якому вона рухатиметься. Одиниці виміру – паскалі (Па) або бари/МПА, часто подається як від'ємна величина.

Виділяють такі складники водного потенціалу:

— матричний потенціал, Ψm – це утримання води ґрунтом капілярними й адгезійними силами;

— гравітаційний потенціал, Ψg – пов'язаний з висотою розташування води;

— осмотичний потенціал, Ψ_0 – вплив розчинних солей;

— пневматичний, або повітряний, потенціал, Ψa – тиск повітря в порах, що важливо для ґрунтів у насиченому стані.

Для вимірювання водного потенціалу використовуються також тензіометри (від –85 до 0 кПа), за допомогою яких вимірюється матричний потенціал у вологих ґрунтах, що досить поширено в агрономічних і екологічних дослідженнях. Малопоширеним через трудомісткість, але більш дешевим є метод фільтрувального паперу (від –10 до –1000 кПа), яким визначають потенціал за рівновагою вологості ґрунту й каліброваного паперу.

У країнах ЄС, США й інших використовують для оцінювання цього показника для дуже сухих ґрунтів психрометри (від –100 до –10 000 кПа), які вимірюють водяну пару в рівновазі із ґрунтом. Вони є точними, але дорогими та чутливими до температури навколишнього середовища.

Показник ***вологості в'янення*** (коефіцієнт в'янення = wilting point, permanent wilting point) – це мінімальний рівень вологості ґрунту, за якого рослини більше не може всмоктувати вологу, хоч деяка форма води ще присутня у ґрунті [11]. За цього рівня вологості рослини в'януть стійко, незворотно, не зможуть продовжити вегетацію, навіть якщо волога надійде у ґрунт. Цей показник відповідає водному потенціалу ґрунту приблизно на рівні 1500 кПа, або 15 бар. Треба розуміти, що ґрунт усе ще містить воду в гігроскопічній, плівковій формах, але вона міцно утримується частинками ґрунту. Цей показник використовується у плануванні зрошувальних заходів, межі доступної води для рослин, для розрахунку запасів продуктивної вологи у ґрунті.

У практикумах із ґрунтознавства та землеробства наводиться визначення вологості в'янення методом проростків і методом заливання парафіну [4; 5]. Але ці методи трудомісткі та дають не зовсім точні результати. Нині у світових лабораторіях використовується екстрактор із притискною пластиною (мембранний прес, Pressure Plate Extractor), що є золотим стандартом для точного вимірювання цього показника. Для визначення зразки ґрунту насичуються водою та поміщаються під тиском –15 кПа в герметичну камеру [9]. Воду видаляють, а залишок вологи й буде точкою в'янення, тобто вологістю в'янення. METER Group пропонує у продажу потенціометр точки роси WP4C (WP4C Dewpoint Potentiometer), це є непрямий метод визначення.

У сучасних наукових колах за використання різних програмних продуктів, R, Phyton та інших, розробляються математичні моделі (Field Estimation Tables), що визначають вологість в'янення на основі гранулометричного складу, умісту органічної речовини та щільності ґрунту. Рефлектометрія в часовій області TDR є непрямим показником вологості в'янення, бо оцінює об'ємний уміст води, а точка в'янення визначається за допомогою калібрування. TDR – це Time Domain Reflectometry, часова рефрактометрія, часто інтегрується в автоматизованих системах моніторингу.

Точка насичення (saturation point), чи ***повна вологоємність*** (далі – ПВ) – це такий стан зволоження ґрунту після дощу та поливу, коли вода ще не стекла й заповнені майже всі пори. А ***польова вологоємність*** – це стан ґрунту за двітри доби, коли надлишкова вода стекла, а в порах знову з'явилося повітря. Тобто польова вологість є максимально доступною для рослин, а насичення – тимчасове, нестійке. Основне значення цих показників розглядалося в курсі землеробства. Для піщаних ґрунтів точка насичення в межах 35–45 % об'ємної вологості, для супісків та суглинків – 45–55 %, для глинистих 55 % і вище. Повна вологість – це приблизно 0 МПа, вода утримується гравітаційними силами. Цей показник одразу визначається після зволоження (насичення).

Польова вологоємність (найменша вологоємність НВ, Field Capacity, FC) визначається за водного потенціалу на рівні –0,01...–0,03 МПа, тобто –10...–30 кПа. Традиційно й просто можна зробити насичення ділянки ґрунту водою (наприклад, невелика лунка) і за два-три дні, коли надлишок вологи стече, відібрати зразки ґрунту на глибинах 5–30 см. Вологість визначають гравіметричним методом за ДСТУ ISO 11465-2001 чи ISO 11465:1993, IDT. Уже згадані спеціальні інфільтрометри також можуть використовуватися

поряд із мікролізіметрами, дані яких використовуються для обчислення польової вологоємності за моделями. Якщо використовуються тензіометри, то їх установлюють на глибину 10–30 см, вимірюють водний потенціал ґрунту. Польова вологість у стані ґрунту, коли $\Psi \approx -10$ кПа. Цей показник визначає максимальну доступну вологу для рослин. Великі пори з повітрям, а малі пори – капіляри – з водою.

Капілярна вологоємність (capillary water capacity) є проміжним показником між повною та польовою вологоємністю. Вона аналізує воду, що утримується капілярними силами, це капілярна форма води, яка є доступною для рослин. Одиниці виміру – відсотки від масової чи об'ємної вологості. Для визначення цього показника ґрунт поміщують у скляні циліндри без днища, натягують сітку (марлю), ставлять у сосуд (лоток), у який налита вода, і спостерігають швидкість підйому води по капілярах. Спочатку оцінюється показник капілярного підняття (capillary rise) у мм та см підйому води по ґрунту за одиницю часу. Після насичення та досягнення рівноваги зразок зважується, висушується, визначається вологість. Характеризується в даному разі наявність води в мікро- і мезошпаринах, у яких частково є повітря, потенціал води на рівні від –0,5 до –1. Показник капілярної вологоємності потрібен для моделювання водного режиму ґрунтів, особливо для легких (піщаних) і суглинкових; у проєктуванні меліорації, тобто зрошення та дренажу; для оцінювання можливого руху ґрунтової води під час випаровування, особливо коли ця вода мінералізована й може сприяти засоленню і осолонцюванню.

Показник ***максимальної гігроскопічності*** (maximum hygroscopicity) визначається у відсотках масової вологості (1 г води на 100 г сухого ґрунту). Це нижня межа адсорбційного утримування вологи ґрунтом. Ця вода недоступна для рослин. Водний потенціал перебуває на рівні –31 МПа [12]. У лабораторіях використовується метод статичної гігроскопії, коли із сухим ґрунтом проводять такі ж маніпуляції, як і для визначення польової вологості гравіметричним методом. Потім ґрунт поміщають в ексикатор з насиченим хлоридом чи сульфатом натрію, що забезпечуватиме 100 % відносну вологість повітря. І далі, за тиждень чи 10 діб, зразок ґрунту зважують і висушують повторно. Установлена різниця у вазі є максимальною гігроскопічністю. Аналізатори вологи, наприклад Radwag MA, визначають гігроскопічність автоматично за вагою. Психрометри вимірюють вологість пари над зразком, це менш поширений підхід для визначення цього показника. Зрозуміло, що чим вища максимальна гігроскопічність, тим сильніше ґрунт утримує вологу. Використовується також цей показник для розрахунку граничної вологості, для визначення меж між польовою вологістю, вологістю в'янення та гігроскопічністю. Такий показник, як коефіцієнт гігроскопічності, ураховується для подальшого обрахунку вмісту азоту, фосфору, калію, мікроелементів, гідролітичної кислотності у ґрунтових зразках, як свого роду поправка.

Максимальна молекулярна вологоємність (далі – ММВ) – це показник, який характеризує кількість води, що утримується ґрунтом у формі моно та дімолекулярних шарів на поверхні ґрунтових часток. Ця вода дуже міцно пов'язана із ґрунтовими частками й цілком недоступна для рослин. Потенціал

води перебуває на рівні від –100 до –310 МПа. Для визначення цього показника використовують метод із сорбцією водяної пари, коли висушений зразок ґрунту поміщають в атмосферу з відносною вологістю на рівні 20–25 % з використанням відповідного сольового розчину, за десять-п'ятнадцять діб зразок набуває стабільної ваги, його зважують, висушують за температури 105 °С і визначають кількість адсорбованої води. Формує цей показник плівкова вода з одним або двома молекулярними шарами, що із ґрунтом пов'язана найбільш міцно. Також ММВ дуже тісно пов'язана з питомою поверхнею ґрунту. Навіщо потрібно визначення саме цього показника? Для наукового інтересу, для розрахунку сорбції води й іонів, визначення початкових умов вбирання води, особливо важливо для глинистих ґрунтів, для визначення водотривкості структури (бо міцно зв'язана волога захищає структурні агрегати). Ґрунти з наявною кількістю глинистих мінералів і гідрослюд мають велику поверхню для адсорбції та десорбції, отже, мають високу ММВ. Звісно, на полі агроном не думає про цей показник, але він є важливим для науковців-ґрунтофізиків, хіміків, гідрологів, екологів.

У фізиці ґрунту використовується такий показник, як pF-крива. Це побудований графік, що відображає залежність між умістом вологи та її потенціалом, або водоутримувальними силами. Цей показник широко використовується, оскільки дозволяє оцінити доступність води для рослин у різних станах ґрунту. pF – це логарифм абсолютного значення водного потенціалу в сантиметрах водяного стовпа:

$$pF=\log_{10}(-h),$$

де h – висота водяного стовпа в см, що відповідає потенціалу води.

Інтерпретація результатів діапазонів pFк-ривої може бути такою:

— 0,0–1,5 – насичений стан, гравітайна вода;

— 1,5–2,5 – легкодоступна вода, що міститься в макрошпаринах;

— 2,5–3,5 – доступна вода, що знаходиться / міститься в мезо- і мікрошпаринах;

— 3,5–4,2 – важкодоступна вода (вологість в'янення);

— вище 4,2 – недоступна вода (гігроскопічна, плівкова).

За pF на рівні 2,0–2,5 визначається польова вологість, за 4,5–6,0 – максимальна гігроскопічність. Висушування над солями здійснюється для визначення pF вище 4,5. Цей показник непрямий для характеристики структури, шпаруватості, типу ґрунту й доступності води для кореневої системи рослин. WP4C (Soil Water Potential Lab Instrument) теж підходить для визначення цього показника.

pF-крива використовується у класифікації ґрунтів, порівнянні типів, для оцінювання родючості ґрунтів, у гідрології та агроінженерії, для оцінювання дренажних заходів, ерозійної стійкості, фільтрації води, у біогеохімії, у дослідженні водного балансу та під час створення моделей руху вологи HYDRYS і SWAP.

16.5. Теплові та повітряні характеристики ґрунту

Дехто може сказати, що температура ґрунту є фізичний показник, але в землеробстві його відносять до умовно фізичних, хоча можна сказати, що це фізико-кліматичний чи агрофізичний показник. А все через те, що це досить динамічна фізична характеристика, яка визначає швидкість біологічних, хімічних і фізичних процесів у ґрунті. Вона залежить не тільки від фізичних властивостей ґрунту (умісту вологи, щільності, структури), а й від зовнішніх факторів, як-от сонячна радіація, дія вітру, рослинного покриву тощо. Тобто температура – комплексний показник, який оцінює і фізику ґрунту, і навколишнє середовище.

На метеостанціях і в наукових установах використовують ґрунтові ртутні термометри ТГ та ТМП, що вимірюють температуру на глибинах 5, 10, 15, 20, 40 і 80 см, на поверхні ґрунту, мінімальний крок вимірювання – 0,1 °С. Також використовуються електронні термометри та термощупи, наприклад: ТСМ-10, Digitron, Greisinger, Wile soil temp. Основна їхня перевага в отриманні миттєвого результату даних, цифровій індикації. Вітчизняний виробник «Мотом» також пропонує температурний щуп завдовжки в 1 м (рис. 16.11).



Рисунок 16.11 – Термощуп для вимірювання температури ґрунту («Мотом»)

Але є недоліки, що стосується отримання точного наукового результату. Наприклад, нам потрібно виміряти температуру ґрунту покроково (по 10 см) до глибини 50 см на ділянках досліду, що закладений у трикратній або чотирикратній повторюваності у весняний і літній періоди. Таких приладів має бути багато, а це вже дорого. Треба водночас вимірювати температуру на ділянках з різною мульчою, за різного обробітку ґрунту, бо вимірювання потребує часу для чіткого зчитування результату. На одній ділянці треба зробити мінімум три уколи щупом, а в цей час температура повітря і температура ґрунту на поверхні підіймається, за переходу на інший варіант чи повторність температура може бути вже вища, особливо на тих ділянках, де рослинних решток мінімальна кількість. Також, як і з портативними щільномірами, з металевим щупом треба

працювати дуже обережно, щоб його не погнути, щоб не зламати місце кріплення конуса.

У точному землеробстві, і не тільки, використовуються для аналізу метеоумов датчики у складі агрометеорологічних станцій, наприклад: Metos, iMetos, Davis Vantage Pro2 та інші. Вони встановлюються на полі й передають дані у хмарне середовище.

У рекламних листівках трапляються прилади для вимірювання ґрунту від Meteo Group, Campbell Scientific, Onset HOBO та інших. Датчики встановлюються для довготривалого моніторингу температури на окремих ділянках. Для більш крупних агрохолдінгів і з науковою метою використовують автоматизовані метеостанції John Deere Field Connect, Sentek, Netafim, Yara water Solution та інші, які комплексно надають споживачу дані про температуру, вологість, електропровідність ґрунту. Також за суттєвого техрозвитку використовують супутникові та дистанційні сенсори на кшталт NASA SMAP (Soil Moisture Active Passive), що використовує мікрохвилі для оцінювання температури та вологості ґрунту на глибинах до 5 см.

Термічні сенсори на кшталт TDR FD, Heat Dissipation sensors, Delta-T-Devices використовуються в точному землеробстві. Вони з'єднуються з логерами або бездротовими станціями.

Показники теплоємності та теплопровідності натепер майже не використовуються в дослідженнях агрономічного напряму. Раніше зібрані дані нині використовуються для вдосконалення супутникових знімків різного спектра з метою оцінювання цих покажчиків на основі визначених температурних даних, умісту органічної речовини, гранулометричного складу, вологості.

Ґрунтове повітря є також предметом досліджень в агрофізиці. Особлива увага приділяється «диханню» ґрунту, коли поряд із визначенням мікробіологічної активності визначається кількість (концентрація) діоксиду вуглецю, що виділяється. Більш простим і швидким методом є визначення з використанням тестів Solvita, за зміною кольору. Новим рішенням є використання респірометрів, як-от IRT CO_2. Також концентрація вуглекислого газу вимірюється в лабораторних умовах газоаналізатором, це більш ємка та точна процедура. Портативними приладами газоаналізаторами з відповідним об'ємом камер можна вимірювати виділення CO_2, O_2, N_2, NH_3, H_2S. Але встановлені стаціонарні прилади для вимірювання добового виділення CO_2, його моніторингу на добу, на сезон і рік є потужним рішенням для вуглецевого землеробства [13].

Повітроємність ґрунту (soil air capacity) визначається здатністю ґрунту поглинати й утримувати повітря.

Повітропроникність (soil air permeability, air conductivity) – це здатність ґрунту пропускати повітря крізь взаємопов'язані шпарини під дією застосованого тиску. Повітря рухається швидше по шпаринах великого розміру та з гарним поєднанням між ними [14]. Крізь малі шпарини повітря буде йти повільніше.

Повітряно-фізичні показники залежать від гранулометричного й мінералогічного складу, структури, зв'язності, умісту органічної речовини, вологості ґрунту. Унаслідок інтенсивного землекористування ці показники

погіршуються. Знижений рівень аерації призводить до зниження потенціалу продуктивності сільськогосподарських культур.

Для визначення впливу ущільнення проводять випробування із ґрунтовими зразками, тобто визначають насамперед повітропроникність у первинному стані й після статичного навантаження. Оптимальним приладом для цього вимірювання є Air permeameter від Eijkelkamp (рис. 16.12) [15]. Прилад є досить дорогим і практично не представлений на ринку України.

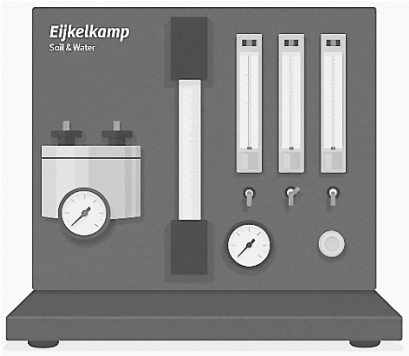


Рисунок 16.12 – Вимірювач повітропроникності (Eijkelkamp)

Коефіцієнт повітропроникності (gas permeability coefficient) визначається за впливом постійного тиску та тиском, що падає. Датчики постійного тиску можуть вимірювати швидкість потоку газів на вході та на виході з досліджуваного зразка.

UGT PL-300 використовується в польових умовах для визначення повітропроникності ґрунту. Прилад має три вимірювальні камери, підключення до електронного тензіометра та зонда, що вимірює вологу. Також випускається газовий пікнометр для визначення об'єму пор, заповнених повітрям, об'єму твердої фази та щільності зразка в лабораторних умовах. Стиснене атмосферне повітря подається до зразка через компресор. Не рекомендується використовувати на важких глинистих ґрунтах з великою кількістю мулуватої фракції.

У підсумку треба підкреслити, що вивчення параметрів, що були висвітлені в даному розділі, піддається ретельному аналізу, створюються нові прилади, корелятивні моделі з більш старими даними за різного обладнання. Фізичні параметри та властивості ґрунтів є обов'язковими під час проведення досліджень з різними способами обробітку ґрунту, видами та нормами внесення органічних добрив, промислових осадів і загортання різних рослинних решток.

Завдання та питання для самостійної роботи

1. *Які типи та підтипи структури можна спостерігати в польових умовах?*
2. *Яка структура є найбільш агрономічно цінною?*
3. *Чим відрізняються методи сухого та мокрого просіювання ґрунту?*
4. *Які показники відносять до фізичних?*
5. *Як вимірюється щільність ґрунту в польових умовах?*
6. *Від яких чинників залежать фізичні показники та структурно-агрегатний склад ґрунту?*
7. *У чому різниця термінів «липкість» і «пластичність»?*
8. *Які показники характеризують рух води у ґрунтовому профілі?*
9. *Чим відрізняються польова вологоємність та повна вологоємність?*
10. *Що визначає термін «максимальна молекулярна вологоємність»?*
11. *Для визначення якого параметра використовується подвійний інфільтрометр?*
12. *Що означає термін «межа текучості»?*
13. *Які є методи визначення вологості в'янення?*
14. *Поясніть термін «точка насичення ґрунту».*
15. *Охарактеризуйте значення терміна «максимальна гігроскопічність».*
16. *Для чого використовується pF-крива?*
17. *Якими приладами в польових умовах можна визначати температуру ґрунту? Які недоліки визначення доведені в польових умовах?*
18. *Які показники характеризують аерацію ґрунту?*
19. *У чому значення визначення дихання ґрунту?*
20. *Яким чином може визначатися виділення діоксиду вуглецю із ґрунту?*
21. *Що є повітроємність та повітропроникність? Яким чином визначається останній показник?*

Перелік джерел до розділу 16

1. Булигін С. Ю., Вітвіцький С. В. Агрофізика ґрунту : навчальний посібник. Київ, 2021. 472 с.
2. Ґрунтознавство : підручник / за ред. Д. Г. Тихоненка. Київ : Вища освіта, 2005. 703 с.
3. Захарченко Е. А. Основи спостережень за станом довкілля : навчально-методичний посібник / за ред. С. М. Панченко, Л. В. Тихенко. Суми : Університетська книга, 2013. С. 118–138.
4. Гаськевич В. Г., Папіш І. Я., Телегуз О. Г. Фізика ґрунтів. Лабораторний практикум. Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2021. 170 с.
5. Практикум із ґрунтознавства та геоботаніки / Д. Г. Тихоненко та ін. Харків : ФОП Бровін О. В., 2018. 390 с.
6. Назаренко І. І., Польчина С. М., Нікорич В. А. Ґрунтознавство : підручник. Чернівці : Книги-ХХІ, 2004. 400 с.
7. Ye H., Xu Z., Zha L., Chen Y. The application of computed tomography to study the soil porosity of Mountain Red Earth. *Applied Sciences.* 2024. V. 14 (19). P. 9050. DOI: 10.3390/app14199050

8. Singh N., Kumar S., Udawatta R. P., Anderson S. H., de Jonge L. W., Katuwal S. X-ray micro-computed tomography characterized soil pore network as influenced by long-term application of manure and fertilizer. *Geoderma.* 2021. V. 385. P. 114872.
9. Lal R., Shukla M. K. Principles of soil physics. The Ohio State University Columbus. Ohio, U. S.A. ; New York ; Basel : Marcel Dekker, INC, 2011. 699 p. DOI: 10.1016/j.geoderma.2020.114872
10. Soil Survey Manual. *Soil Science Division Staff, United States Department of Agriculture.* Handbook. № 18. Issued March 2017. Minor Amendments February, 2018. 639 p.
11. Czyz E. A., Dexter A. R. Influence of soil type on the wilting of plants. *International Agrophysics*. 2013. № 27. P. 385–390. DOI: 10.2478/intag-2013-0008
12. Rząsa S., Owczarzak W. Spychalski W. Methodological advances used to analyse maximal hygroscopic water in soils of different structure. *International Agrophysics.* 1993. V. 4 (7). P. 213–220.
13. Трофименко П. І., Іванік О. М., Трофименко Н. В. Методологія моніторингу CO_2 у системі ґрунт – атмосфера – рослина та добовий біологічний колообіг вуглецю ґрунтів агроландшафтів Полісся України. *Таврійський науковий вісник.* 2019. № 110. Ч. 2. С. 231–244. DOI: 10.32851/2226-0099.2019.110
14. Lu S.-F., Han Z.-J., Xu L., Lan T.-G., Wei X., Zhao T.-Y. On measuring methods and influencing factors of air permeability of soils: An overview and a preliminary database. *Geoderma.* 2023. V. 435. P. 116509. DOI: 10.1016/j.geoderma.2023.116509
15. Mohammadi M. H., Vanclooster M. A Simple device for field and laboratory measurements of soil air permeability. *Soil Science Society of America Journal.* 2019. V. 83. P. 58–63. DOI: 10.2136/sssaj2018.03.0114

Розділ 17

ВІДНОВЛЮВАЛЬНЕ ЗЕМЛЕРОБСТВО

17.1. Поняття та передумови виникнення

Виробництво продовольства та сільське господарство в усьому світі спричиняють велику кількість викидів парникових газів. Але після того, як останніми роками було ухвалено низку зобов'язань щодо зменшення таких викидів, набувають популярності органічні та регенеративні методи ведення сільського господарства.

Зараз у світі посилюються деградаційні процеси – ерозія, ущільнення, зменшення якості прісних вод, забруднення, підкислення, утрата біорозмаїття, та й власне родючість ґрунтів знижується. Сільське господарство відповідає за щонайменше четверту частину викидів парникових газів, сприяє змінам клімату, які, у свою чергу, примножують проблеми агровиробництва. Водночас людство знає кращі способи ведення сільського господарства, але вони застосовуються обмежено.

Відновлювальне землеробство (або регенеративне землеробство, або відновлювальне сільське господарство) – це раціональний підхід сільського господарства до збереження та реабілітації систем землеробства та продуктів харчування. Він зосереджений на відновленні верхнього шару ґрунту, збільшенні біорозмаїття, покращенні кругообігу води, покращенні екосистемних послуг, підтримці біосеквестрації, підвищенні стійкості до зміни клімату та зміцненні здоров'я, родючості та життєздатності ґрунту. Відновлювальне землеробство послідовно сприяє симбіозу рослин і біології ґрунту, формує гумус і покращує родючість ґрунту. Воно замикає місцеві цикли поживних речовин і води, а також реінтегрує виробничі території в місцеву екосистему. Відновлюване сільське господарство – це процес, спрямований на цілісне, природне та стале виробництво їжі [1].

У центрі уваги регенеративної методології – ефективне використання сонячної енергії за допомогою фотосинтезу сільськогосподарських культур. Ґрунти постійно вкриті різноманітною рослинністю та корінням, а посіви, сидерати, підсіви, луки та пасовища безперервно забезпечують біологію ґрунту енергією. Завдяки дуже цілеспрямованому внесенню добрив у регенеративному землеробстві відновлюють баланс поживних речовин у ґрунті, тим самим покращують природну доступність важливих поживних речовин. Вони розпушують ущільнення ґрунту й обробляють ґрунт максимально м'яко та поверхнево.

Завдяки властивим регенеративному землеробству заходам постійно підвищують родючість своїх виробничих площ. Багаті гумусом і біологічно високоактивні ґрунти дають здорові та міцні рослини, які потребують меншого захисту

або зовсім не потребують захисту. Це робить сільськогосподарських виробників значною мірою незалежними від синтетичних добрив і пестицидів [1].

Ґрунти, багаті гумусом, можуть поглинати та накопичувати багато води за короткий проміжок часу: під час сильних опадів вода не стікає з поверхні, а відразу проникає у ґрунт. Це покращує захист від ерозії та повеней, захищає посіви від висихання під час посухи та допомагає відновити наші запаси ґрунтових вод, що зменшуються.

5 принципів регенеративного сільського господарства [2]

Відновлювальне землеробство базується на таких п'яти принципах:

1. Біорізноманіття в землі та над нею.
2. Мінімальне порушення ґрунту.
3. Постійно вкорінений ґрунт.
4. Постійно покрита земля.
5. Інтеграція тварин.

Біорозмаїття є ключем до відновлюваного сталого виробництва їжі. Лише завдяки взаємній взаємодії та обміну іноді високоспеціалізовані ґрунтові організми можуть виживати та виконувати свої завдання. Щоб створити основу для різноманітної біології ґрунту в (частково) дегенерованому ґрунті, спочатку необхідно дати лад фізичним і хімічним умовам ґрунту.

Ґрунтозбережувальні методи землеробства та постійне укорінення біологічного розмаїття ґрунту згодом дозволяють відновити різноманітну біологію ґрунту. Постійного розмаїття можна досягти за допомогою змішаних культур, а також багатосортових сидератів і підсіву.

Особливо важливою для створення різноманітної харчової мережі є реінтеграція сільського господарства в місцеву екосистему, наприклад, шляхом цілеспрямованої інтеграції дерев і кущів і шляхом розумного управління місцевими водними ресурсами, випасом і гноєм з ферм.

Життя ґрунту взаємодіє з вирощуваними культурами як цілісний організм. Мікроорганізми живуть у симбіозі з рослинами, чи то овочами, пшеницею, кукурудзою, картоплею чи пасовищними травами: рослини постачають ґрунт сонячною енергією у формі цукру, натомість рослини отримують поживні речовини із ґрунтової біології [3].

З оздоровленням ґрунту підвищуються вміст гумусу та родючість ґрунту. Якщо вміст гумусу перевищує 5–6 %, виникає власна динаміка: ґрунтові організми постійно регулюють і оптимізують хімічний і фізичний склад ґрунту. Тепер можна зосередитися на підтримці цього симбіозу рослинно-ґрунтових організмів.

Відновлюване сільське господарство як можливість

Регенеративне сільське господарство повертає вуглець у ґрунт. Живий, біологічно різноманітний і багатий вуглецем ґрунт є родючим. Родючий ґрунт є основою для продуктивного та прибуткового сільського господарства та поживної, здорової їжі. Відновлюване сільське господарство є найкращою страховкою для збереження засобів до існування нинішніх і прийдешніх поколінь.

На кожен одновідсотковий приріст органічної речовини у ґрунті один гектар землі може уловлювати додатково 12 т атмосферного вуглецю і містити на 225 т більше води, яку може використовувати сільськогосподарська культура [4].

Ґрунт може стати найбільшим гальмом глобального потепління; уміст вуглецю у ґрунтах вищий, ніж в атмосфері й у всій рослинності разом узятих. Але за традиційного землеробства «спалюють» органічну речовину у процесі використання ґрунтів, посилюючи емісію парникових газів. Найкраще, що аграрії могли б зробити, – повернути органічну речовину, а ідеальне місце для її зберігання – це ґрунт.

Незайманий ґрунт природної екосистеми містив понад 500 т органічної речовини на гектар, що зберігало вологу опадів, забезпечуючи врожай у посушливих умовах. Але за час господарювання половина органічної речовини ґрунтів потрапила в атмосферу.

Доіндустріальний уміст діоксиду вуглецю в атмосфері становив 280 ppm, а натепер його кількість перевищила 400 ppm, що й індукує глобальне потепління. Для утримання змін клімату необхідно, щоб зростання середніх температур не перевищувало 1,5 °C, порівняно з доіндустріальним рівнем, а викиди мають бути зменшені вдвічі до 2030 р. та зупинені до 2050 р. З 1970 р. вміст органічного вуглецю ґрунту у степах зменшився на 165–192 т С/га.

Уперше про відновлювальне сільське господарство згадував Інститут Родаля у США в 1980-х рр., проте лише приблизно у 2010 р. воно було запропоноване як спосіб боротьби зі зміною клімату [5].

Ідея полягала в тому, щоб забирати вуглекислий газ з повітря, зберігаючи його як органічний вуглець у ґрунтах, за допомогою методів землеробства, спрямованих на збільшення органічної речовини ґрунту.

Відтоді практика регенеративного землеробства набуває більшої ролі, що має вплив на загальний стан ґрунту й екосистем.

Не існує єдиного набору правил, що визначають відновлювальне сільське господарство, але такі дії зазвичай уважаються важливою частиною процесу [6]:

1. *Бути схожим на природу* – імітувати природу, забезпечуючи постійне перебування живих коренів у ґрунті, що приносить користь ґрунтовим організмам і допомагає зменшити ерозію ґрунту від вітру чи дощу.

2. *Тримати землю вкритою* посівами, рослинними рештками або покривними культурами, цим захищати ґрунт від сонця, дощу та вітру. Покривні культури вирощують для захисту та збагачення ґрунту, зазвичай їх висівають після збору основної культури, потім випасають, механічно або хімічно знищують і залишають у полі перед посівом наступної товарної культури.

3. *Збільшувати родючість ґрунту.* Замість того, щоб покладатися на придбані добрива, регенеративне землеробство націлене на підвищення родючості ґрунту за допомогою покривних культур, різноманітних сівозмін, компосту та гною для тварин.

4. *Мінімізувати порушення ґрунту* шляхом зміни частоти або глибини обробітку, що може мати серйозний вплив на здоров'я ґрунту. Зменшення

або мінімізація обробітку допомагає захистити ґрунтові організми від фізичних пошкоджень і допомагає утримувати вологість ґрунту, як і залишення рослинних залишків на поверхні, а не їх поховання.

5. Створення *різноманіття* в системі землеробства завдяки збільшенню асортименту вирощуваних культур допомагає зменшити вплив шкідників і хвороб, а також сприяє збереженню біорозмаїття та здоров'я ґрунту.

17.2. Розпушування та аерація ґрунту

Особливо на початку переходу до регенеративних заходів вирощування ґрунтове розпушування є необхідним для отримання доброї врожайності.

Для активного обміну речовин у ґрунті (отже, для гарного постачання рослин поживними речовинами та водою) важливі ґрунти з доброю структурою та розміром пор у міліметровому діапазоні. У разі виявлення зон ущільнення під час перевірки обробітку лопатою та щупом необхідно їх розпушити. Рослини не можуть належно вкоренитися через тверді ущільнені зони у ґрунті; Результатом браку аерації є відставання в рості [7].

Підґрунтове розпушування має на меті відновлення втраченого середовища проживання коренів і ґрунтових організмів, а також покращення газообміну й водоутримувальної здатності ґрунту. Обробіток не повинен пробивати великі отвори в зонах ущільнення. На жаль, більшість обладнання, що використовується нині, є нефективним для цього. Сучасні розпушувачі ґрунту не розроблені для задоволення потреб життя ґрунту (рис. 17.1). Ґрунтовим організмам потрібні середні (мезо) пори міліметрового розміру, а не порожнини сантиметрового розміру.



Рисунок 17.1 – Ґрунтовий розпушувач з ріжучим диском для дрібних робіт і котком

Після розпушування підґрунтя поверхню ґрунту необхідно знову замульчувати. Метаболізм ґрунту спочатку відбувається в газоподібному стані.

Якщо розпушувальні щілини залишаються відкритими, повітря продовжує надходити у ґрунт і прискорює розкладання органічних речовин (процеси дихання). Водночас утворюється CO_2, а також інші біогази, як-от CH_4 і N_2O. CO_2 та інші біогази використовуються у ґрунті як їжа та джерела енергії для мікроорганізмів, а не як шкідливі для клімату гази в атмосфері [4].

Окрім того, після розпушування ґрунту не повинно випаровуватися занадто багато ґрунтової води. Тому потрібен відповідний розрихлювач на розпушувачі. Також можна поєднувати розпушування із сівбою.

Причини ущільнення ґрунту можуть бути різними. За переходу до методів регенеративного землеробства, важливо знати, звідки походить ущільнення та як його можна швидко та стійко усунути.

Активне ущільнення ґрунту

Навантаження на вісь техніки, а також частота проїзду є причинами активного ущільнення ґрунту. Під час посіву ґрунт найбільш чутливий, оскільки він був свіжооброблений. Зазвичай використовувані сівалки є надто важкими, оскільки в них інтегровані функції обробітку ґрунту.

Запитайте про вагу техніки, інвестуючи в технологію посіву. Також на ринку представлені машини з великою робочою шириною та малою вагою [8].

Виявити повсюдне ущільнення ґрунту, спричинене технологією посіву, можна за допомогою твердоміра від поверхні ґрунту до глибини 60 см. На глибині від 5 до 15 см можливе виявлення горизонту ущільнення. Потім з'являється м'який горизонт глибиною до 30 см, потім іде плужна підошва, тож зондом відчуваються два горизонти, що значно обмежують кореневий простір, особливо близько до поверхні ґрунту, де рослини формують найбільше коренів.

Вирішальне значення має і технологія збирання.

Можна дещо зменшити активне ущільнення, спричинене збиранням урожаю, підсіявши всі відповідні культури. Рослини підсіяних культур мають живе коріння для врожаю основної культури. Це зменшує пошкодження ґрунту.

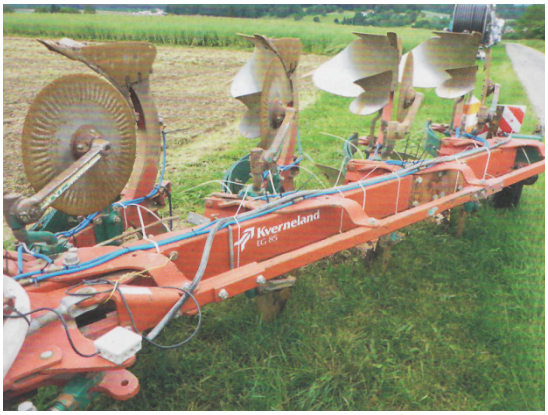


Рисунок 17.2 – Плуг з розпилювальними насадками для внесення рослинних ферментів під час оранки

Проте легкі посівні та збиральні машини варто розглянути для майбутніх інвестицій.

Під час оранки тиск колеса в борозні та стиснення лемеша створюють добре відоме ущільнення підошви плуга. Значно зменшити утворення підошов можна встановленням за кожним відвалом насадки, а також розпиленням рослинних ферментів (рис. 17.2, див. с. 441). Рекомендована норма внесення становить 100 л/га.

Пасивне ущільнення ґрунту

Дисбаланс у насиченості основами, тобто кальцієм, магнієм, калієм і натрієм, які обмінно зв'язані із глинисто-гумусним комплексом, призводить до утворення важких ґрунтів. Ґрунти, поживні речовини яких не збалансовані, мають тенденцію стискатися.

Ущільненню ґрунту також сприяють кількамісячні вегетаційні перерви, особливо влітку або взимку. Ґрунт стискається сам собою, якщо він не вкорінений. Ці ґрунти мають погану структуру, ледве помітні ґрунтові пори й зазвичай грудкуваті – типові дрібні ґрунти. Нехай вас не обдурять великі нори від дощових черв'яків; ґрунт між тунелями дощових черв'яків усе ще ущільнений.

У ґрунтових умовах із незбалансованим умістом поживних речовин частіше трапляються пирій і кульбаба. Бур'яни віддають перевагу поселенням на ділянках зі співвідношенням кальцію та магнію приблизно 7:1. Це співвідношення стосується виявленої кількості Ca і Mg в кг/га [8].

Унесення добрив, яке спрямоване на баланс Ca:Mg, зменшує появу бур'янів. Перенасичений кальцієм ґрунт потребує магнію і сірки. Якщо занадто багато кальцію і занадто багато магнію водночас, елементарна сірка працює найкраще. Якщо ґрунт перенасичений магнієм, потрібен гіпс. Те саме стосується і перенасичення калієм. В обох випадках ефект зберігається довше в поєднанні з підживленням вугільним вапном. Окрім того, дуже ефективним є оздоровлення ґрунту трав'яним підсівом і проміжними культурами, особливо озимими.

Не завжди ґрунт важкий лише через уміст глини; піщані ґрунти також можуть бути важкими для обробки в деяких умовах.

Коли рівні поживних речовин незбалансовані, аналіз ґрунту зазвичай показує занадто високу насиченість основою магнію, насиченість основою кальцію або надлишок обох. До речі, цих значень немає у стандартному аналізі ґрунту (який визначає вміст магнію, а не насиченість основою магнію).

Співвідношення кальцію і магнію менш ніж 7:1 свідчить про ущільнення ґрунту. Мається на увазі вміст поживних речовин у кг/га в аналізі ґрунту, а не відсоток насиченості основами.

Досягти балансу насиченості базою можна двома способами: удобренням і живим будівництвом через коріння. Якщо у ґрунті не вистачає або спостерігається зниження вмісту органічної речовини, дисбаланс основних елементів живлення збільшується [9].

Найефективнішим способом усунення ущільнення ґрунту є внесення органіки. Найшвидший спосіб зробити це – перевірити активне коріння живих

рослин. Тому в посівах важливо закладати підсів. Не менш важливу дію проти ущільнення ґрунту мають озимі проміжні культури.

Органічна речовина, вироблена поза полем (наприклад, у компостній купі), не виробляється ґрунтовими мікробами, які активні безпосередньо на живих коренях рослин. Швидкість дихання вище за нанесення цієї органічної речовини, а ефект розпушування швидко зменшується після нанесення.

Температура й ущільнення ґрунту

Життєдіяльність ґрунтових мікроорганізмів залежить від температури. Мікроорганізми «працюють» тільки за температури >6 °C. Якщо ґрунт вкритий рослинністю і рослини активні, коріння рослин створює кращі умови для життя ґрунтових організмів, вивільняє окремі речовини (як-от цукор, органічні кислоти, амінокислоти). Частіше відбувається розпушування ґрунтових мінералів і розкладання органіки, отже, ґрунт стає більш пухким.

Ґрунт має хорошу стійкість до руху та культивації після початку весни. Якщо пройти лугом на початку березня: ґрунт прилипає до взуття. Якщо у квітні пройти по цій же галявині, то вже нічого не прилипне – мікробна життєдіяльність запрацювала й робить ґрунт еластичним.

Кореневі виділення живих рослин є важливими факторами обміну речовин у ґрунті. Зберігання поживних речовин і води, пригнічення бур'янів і хвороб, легкого обробітку та стійкості до ерозії можна досягти на рослинних ґрунтах.

Для культур, які не потребують ранньої весняної сівби (кукурудза, соя, горох, картопля), перший обробіток ґрунту варто проводити ранньою весною або трохи пізніше. Даний термін настає під час цвітіння терену та появи зелених луків. Початок вегетаційного періоду також можна обчислити за сумою температур 200 °C. Ви досягнете ще кращого росту, якщо обробите ґрунт за настання стійкої весни – коли яблуні зацвітуть і трава розквітне.

Рання весна є синонімом початку вегетації. Відтоді температура ґрунту більше не коливається в денно-нічному ритмі, а вночі ґрунт залишається теплим. Ґрунтові мікроби розпочнуть «працювати», рослини відчують це розпочавши свій розвиток.

Вставляючи ґрунтовий термометр у луках і дивлячись на нього рано-вранці та вдень – відзначайте температуру кожного разу. Поновлення вегетації може починатися в різний час протягом багатьох років з різницею в кілька тижнів. Початок вегетації у вашому місці має вирішальне значення для першого обробітку ґрунту навесні, якщо ви хочете уникнути втрат поживних речовин і подальшого тиску бур'янів.

Ви можете розпізнати три фази весни за бутонізацією або початком цвітіння типових рослин.

Ущільнені ґрунти прогріваються повільніше. Тому для ярих посівів важливо розпушувати ґрунт улітку або восени попереднього року. Коріння проміжної культури зберігає розпушувальну дію до весни.

Короткі поради для щоденної практики

Ущільнення ґрунту наявне майже на всіх поверхнях і обмежує ефективність усіх інших робіт і ресурсів.

На бідних гумусом ґрунтах дисбаланс у насиченості основами особливо призводить до ущільнення.

Своєчасно розпушуйте ґрунт щадними методами, уведенням рослинних ферментів, регулюванням дисбалансу в базовому насиченні та за допомогою підсів і проміжних культур.

Технологія розпушування

За допомогою розпушування підґрунтя можна домогтися кращої врожайності. Це потребує максимально можливої внутрішньої поверхні для коренів ваших культур. Ви можете створити ґрунтові пори середнього розміру, а не «дупла», як ідеальне середовище існування для коренів і ґрунтових організмів. Тому розпушуйте ґрунт за допомогою обладнання, яке створює велику, дрібно розгалужену внутрішню поверхню, а не просто розриває отвори у ґрунті.

Найважливіша деталь: не їдьте надто швидко, коли розпушуєте підґрунтя, 5–6 км/год – це верхня межа для утворення дрібних тріщин уздовж природних ліній напруги у ґрунті. Якщо ви будете рухатися швидше, ви створите більші порожнини в землі. Пристрій розриває ґрунт на великі шматки замість того, щоб подрібнювати його на дрібну крихту. Ви помітите це: після розпушування викопайте яму, відріжте ґрунт лопатою і киньте його шматок на землю. Якщо утворилися дрібні тріщини, то розпушений ґрунт розсипається на дрібні шматочки. Якщо ви їдете занадто швидко, навколо будуть утворюватися великі груди.

Перед тим як стійка розпушувача буде заглиблена у ґрунт, дискові ножі повинні бути перед нею на відстані на 30–40 см. Це забезпечує низьку потребу у зчепленні, приблизно 100 к. с. для 3 м робочої ширини із чотирма лапами. Потім розпушувач запускається в попередньо розрізаний диском ґрунт. Це значно знижує потребу у зчепленні. Це уможливлює велику робочу ширину з існуючою тяговою потужністю.

Велика відстань між розпушувачами необхідна для того, щоб посередині залишалася вузька смужка нерозпушеного ґрунту. Це разом із низькою швидкістю руху приводить до утворення значно більшої кількості дрібних тріщин. Під час культивації лапи розпушувачів зближуються одна до одної, і ґрунт піднімається «цілим», стає занадто пухким і, імовірно, знову провалюється.

На кінчиках лап розпушувача повинна працювати тверда металева пластина, ширина якої відповідає приблизно 10 % робочої ширини пристрою. Це забезпечує мінімальний контакт між землею та металом, запобігає повторному стисненню землі. Тверда металева пластина має довжину приблизно 20 см, не досягає поверхні ґрунту, гладка й має горизонтальний нижній край, отже, розпушувач трохи ширший унизу, ніж на поверхні ґрунту. Це гарантує, що поверхня ґрунту не порушується. Таким чином ви не будете створювати «картопляні борозни» під час розпушування ґрунту. Найкращий ефект розпушування досягається під час руху лап розпушувача на глибині горизонту ущільнення. Ця вібрація приводить до утворення дрібних тріщин, навіть нижче глибини обробітку.

Правильна робоча глибина – не нижче горизонту ущільнення. Якщо ви працюєте нижче цього, частка порожнин, які занадто великі для коренів, збільшується. Окрім того, зменшується частка дрібних тріщин, а вони потрібні для швидкого підвищення мікробної активності ґрунту.

Отже, починаючи працювати із ґрунторозпушувачем, необхідно налаштувати пристрій, як і будь-який інший ґрунтообробний пристрій. Це потребує вашої уваги та знання того, чого ви хочете досягти.

Короткі поради для щоденної практики

Перевірте ефект розпушування. Це найкраще, коли ґрунтова цегла з горизонту ущільнення розпадається на дрібні ґрунтові агрегати «як кубики цукру» під час тесту на падіння.

Горизонтальні «дірки», які можна відчути ґрунтощупом після розпушування, свідчать про надмірну швидкість руху або невідповідну форму інструменту.

Біологічне зв'язування вивільнених під час розпушування поживних речовин

Коли ґрунтовий вал проходить через пристрій під час розпушування, ґрунт негайно аерується. Можна сказати, що ґрунт насичується повітрям і «провітрюється». Як тільки кисень досягає розпушеного ущільненого горизонту, мікроби починають розщеплювати наявні у ґрунті білки, легкорозчинні у воді. У цьому процесі втрачається велика кількість нітратів, пов'язаних із ґрунтом [10].

Оснастіть ґрунтовий розпушувач розпилювальними форсунками, щоб ви могли впорскувати рослинні ферменти у ґрунт під час розпушування. Це приводить до швидкого бродіння: поживні речовини, що розщеплюються в результаті аерації, довше залишаються у ґрунті та підживлюють його. Ґрунтові мікроби значно зростають в активності та біомасі, протягом одного-двох тижнів можна спостерігати збільшення розпушення ґрунту на лопаті. І це в попередньо дуже ущільненому ґрунті.

Органічна речовина в ущільненому горизонті

Там, де відбувається ущільнення ґрунту, грубі та середні пори ґрунту були втрачені. Ґрунтові мікроби та ґрунтові тварини раніше жили в цих порах. До ущільнення там було набагато більше коренів ваших культур. Отже, органічна речовина в горизонті ущільнення тепер має співвідношення C:N приблизно 10:1, що є дефіцитом вуглецю. За таких умов зв'язування поживних речовин у ґрунті зменшується. Мікропори залишаються. Вони дуже маленькі й містять мало кисню. Лише бактерії та археї (організми, схожі на бактерії, деякі з яких пристосовані до екстремальних умов навколишнього середовища) можуть колонізувати мікропори та розкладати органічні речовини. Коли повітря потрапляє в зону ущільнення, розкладання органічних речовин через процеси окислення значно посилюється. Це видно за швидким ростом сидератів після розпушування ґрунту.

Якщо ви утримуєте CO_2 і NO_3 у ґрунті за допомогою відповідного котка або зчепленої сівалки, уміст кисню у ґрунтовому повітрі тимчасово зменшиться.

Ґрунтові мікроорганізми, які активні у ферментації, потім виробляють ферменти, які утримують вивільнений вуглець і азот у ґрунті. Цьому процесу значно сприяє введення рослинних ферментів.

Короткі поради для щоденної практики

Поєднуйте розпушування підґрунтя з уведенням рослинних ферментів, щоб запобігти швидкій деградації білків з органічної речовини ґрунту.

Використовуйте розпилювачі, а не лише крапельні отвори.

Терміни проведення розпушення

Потреба в розпушуванні зазвичай висока на початку роботи з відновлення життя ґрунту й зменшується зі збільшенням умісту гумусу.

Розпушуйте ґрунт лише тоді, коли він досить прогрітий для активності мікроорганізмів.

Після цього розпушений ґрунт потрібно стабілізувати корінням рослин із максимально можливою інтенсивністю. Тому насамперед розпушування треба проводити в серпні-вересні, коли на полях проводиться підсів або сівба проміжних культур. Тому ви можете запланувати розпушування восени перед літніми культурами як стандарт.

Ви досягнете найкращих результатів, якщо розпушите ґрунт незадовго до або під час другого лущення чи сівби.

Існує також потреба в послабленні ущільнення на пасовищах, а також під час вирощування фруктів і винограду. Навантаження на вісь сучасної технології збирання кормів не менше, ніж навантаження на вісь у землеробстві, і зазвичай ви маєте ще більше проходів. Частота їзди по багаторічних культурах призводить до значного ущільнення технологічних колій навіть меншими машинами. Однак період розпушування більш тривалий, тому досягти добрих результатів можна із травня до кінця вересня.

Короткі поради для щоденної практики

Уникайте розпушування, якщо ґрунт занадто холодний для мікробних процесів.

Не варто недооцінювати необхідність розпушування на пасовищах і в безмінних посівах.

17.3. Роль зеленого добрива у відновлювальному землеробстві

Повного спектра продуктивності ґрунтового життя досягають завдяки мікробному розмаїттю. Створити це можна за допомогою оптимальних умов і різноманітності рослин. Практика показує, що рослини підвищують родючість ґрунту завдяки своїм відповідним видо- та сортоспецифічним мікробним ознакам. Чим різноманітніше обробіток, тим краще працюють ґрунтові організми.

Навіть невелика кількість насіння в суміші на гектар вирішує проблему. Ефект змішаної культури дозволяє покращити здоров'я рослин і поглинання поживних речовин навіть за невеликої кількості додаткової культури.

Підсів

За можливості не вирощуйте монокультури. Ущільнення більшості культур часто можливе у проміжних посівах додатковими культурами. Підсів закриває розрив у живленні ґрунтових організмів між дозріванням культури та закриттям проміжної культури. Поля з постійною рослинністю є важливим фактором для накопичення гумусу, особливо влітку. Однак не допускайте, щоб підсів тривав протягом зими після збору врожаю (за винятком надзвичайних ситуацій, наприклад, якщо восени йде безперервний дощ).

У підпосівних сумішах також важлива різноманітність: наприклад, якщо ви посієте зелених поглиначів вуглецю, ви отримаєте одинадцять видів рослин, тоді як з іншими сумішами ви отримаєте лише один або два види. Відсутність різних видів у сумішах приводить до дуже доброго обробітку ґрунту через трави, але до надто малого оздоровчого ефекту для культури та надто малого забезпечення поживними речовинами після лущення. Якщо як підсів використовувати лише конюшину, то після збору врожаю відбудеться величезне ущільнення ґрунту. Причина: конюшина має занадто малу кореневу масу й коріння мають занадто вузьке співвідношення C:N.

Нині для вирощування ріпаку розробляються різні комбінації підсіву та додаткового посіву. Метою тут також є досягнення ефекту придушення бур'янів, який обмежує потребу в гербіцидах. Мета полягає у зміцненні здоров'я рослин і уникненні зараження ріпаку під час наступних посівів.

Літні проміжні культури й озимі проміжні культури

Постійна зелена культивація важлива для відновлення ґрунту. Це приводить до постійного накопичення гумусу та знижує ризик урожайності протягом багатьох років. Почніть із проміжної культури перед літніми культурами, звичайно, у суміші. Перевагою спільного посіву є високе досяжне біорозмаїття, отже, більший ефект поживних речовин у наступному врожаї, ніж за спільного посіву з кількома видами.

Перед посівом озимих зернових, якщо для проміжної культури є можливий період росту шість тижнів, ви можете висіяти «домінантну суміш». Її не варто використовувати як промерзаючу проміжну культуру, треба збирати в кінці серпня до середини вересня, щоб уникнути негативної дії.

Якщо після збору врожаю спостерігається стійка посуха або якщо до наступного посіву залишилося менше шести тижнів росту, ви також можете дозволити падалиці попередньої культури взяти на себе завдання проміжної культури.

Проміжні культури можна висівати безпосередньо після збирання попередньої культури. Якщо ви вирощували попередню культуру з підсівом, за прямого посіву проміжної культури половину підсіву потрібно зрізати широкими сошниками. Для цього добре підходять точні культиватори та сівалки з лапами.

Якщо попередня культура не містила підсіяних культур, ви досягнете найкращих сходів у літню посушливість, якщо ви також посієте проміжну культуру безпосередньо за допомогою зубчастої сівалки, однодискового сошника або пневматично безпосередньо після роботи зернозбирального комбайна. Якщо

поле обробляють перед посівом проміжної культури, це зазвичай призводить до високого рівня втрати зернових. Тоді проміжний урожай часто надто рідкий.

За строки сівби до 31 серпня (у Центральній Європі) можна висівати промерзаючі проміжні культури в суміші з підсівом. Тоді навіть за вирощування проміжних культур улітку поля залишаться озимими.

Якщо у вашому господарстві немає необхідних знарядь для лущення, то для озеленення ваших полів підійде морозостійка суміш з періодом посіву від кінця липня до кінця серпня. Для наступних культур, які вирощують до або на початку вегетаційного періоду (наприклад, рання картопля), ви також можете висаджувати морозостійкі проміжні культури.

Перед коренеплодами з більш пізніми строками сівби варто віддати перевагу вирощуванню озимої покривної культури із гнучким строком сівби та міцним корінням, яке потім повинно бути загорнено лущенням.

Принципи сівозміни у відновлюваному землеробстві

1. Чергування озимих та ярих культур.

Вирощуйте приблизно половину озимих і половину ярих культур і чергуйте їх. Якщо ви не можете підтримувати це співвідношення на ваших культурах, важливо забезпечити постійне сидеральне добриво в інших місцях. В озимих сівозмінах використовуйте підсів і, якщо ви можете сіяти проміжні культури до кінця липня, використовуйте «панівні суміші», у ярих сівозмінах інтегруйте озимі проміжні культури.

2. Чергування двох сім'ядольних (коренеплоди та кормові культури) і однодольних (зернові, кукурудза та трави) культур.

Якщо ви дотримуєтеся дводольних культур із зерновими, кукурудзою та травами, вони, як відомо, отримують користь від цієї сівозміни. Тому після ріпаку, картоплі та буряка зазвичай ідуть зернові. Зерно, навпаки, використовується як компенсуюча культура в сівозмінах, багатих на сою та овочі. Це стає критичним тоді, коли ви вирощуєте широколистяні культури одну за одною, тому що залишки білка у ґрунті сприяють розвитку хвороб коренів і ранніх хвороб листя через розкладання. Наприклад, ріпак після гороху, зернобобові чи картопля після конюшини, цукровий буряк після редьки чи гірчиці. Останній приклад дуже поширений – замість проміжної культури хрестоцвітих спробуйте суміш з іншими видами.

Подвійний посів сидератів

За строки посіву до 30 липня доцільно проводити дворазові проміжки: дві вегетаційні суміші, два поверхневі загортання і двічі під осіннє підживлення забезпечують найшвидший і найвищий ефект утворення гумусу. Таким чином можна активувати ґрунтове життя.

Першу літню проміжну культуру можна висаджувати з «панівною сумішшю» за шість тижнів (у першій половині вересня) – навіть якщо ще очікується ріст на цей раз, ґрунт ще прогрітий і забезпечує швидке розкладання, щоб потім можна було сіяти проміжний урожай озимих. Якщо можливий ранній посів у першій половині вересня, то вже у квітні буде готовий значний урожай

озимих. За наявності досвіду лущення можна провести поверхневе розкладання рано посіяних проміжних культур перед буряком, квасолею та картоплею (квітнева посадка).

Якщо ваше господарство розташоване в місці, де збирання врожаю зазвичай відбувається пізно, ви все одно можете скористатися швидкістю утворення гумусу, висадивши подвійну проміжну культуру: залиште підсів у зерні й очистіть його в кінці серпня. Тому біорізноманіття в підсівах є важливим. Ви також можете посадити проміжну культуру двічі після збору врожаю.

Більшість виробників насіння мають у своєму асортименті проміжні культури для виробництва кормів. Збиральні покривні культури також є ефективним способом живлення ґрунтових організмів, особливо за вирощування змішаних культур. Поодинокий посів, наприклад, кормового жита, також є проблематичним. Особливо в посушливих регіонах самостійне вирощування призводить до зниження врожайності наступної культури. Просто заміною його на озиме жито ви отримаєте те й інше: високоврожайну, високоякісну кормову проміжну культуру та високоврожайну наступну культуру.

Для водоохоронних територій або спеціально для наступних культур (наприклад, буряків або зернобобових) на ринку доступні інші спеціальні суміші проміжних культур.

Додатковий підсів

Змішані посіви покращують стан листя та покращують урожайність. Ефект спільного посіву може бути настільки сильним, що ви можете взяти під контроль проблеми із захворюваннями, з якими інакше неможливо було б впоратися звичайними засобами. Приклад: антракноз люпину, особливо люпину білого. Якщо посіяти люпин одночасно із 25 кг/га вівса, тиск антракнозу значно зменшується.

Посівом також можна знизити сприйнятливість квасолі польової до бактеріальних хвороб листя та квасолевих жуків. Додатковий підсів зменшує пізній ріст бур'янів. Підживлення сіркою (після аналізу ґрунту) також посилює тут оздоровчий ефект.

Якщо перед посівом ріпаку розсипати бобові культури (наприклад, 50 кг/га квасолі польової або 25 кг/га люпину), яким дати дожити до заморозків, то в посівах буде менше бур'янів і підвищиться зимостійкість.

Змішане вирощування зернових і зернобобових культур на корм є хорошою альтернативою традиційному вирощуванню кукурудзи на силос. Переваги тут такі:

— відсутність потреби в гербіцидах;
— органічне підживлення можливе восени й навесні;
— дикі тварини не їдять рослинну суміш;
— отриманий силосний корм приводить до таких же надоїв.

Хоча вміст чистої енергії у виробленому кормі нижчий, ніж у кукурудзяному силосі, вищий уміст мінералів і життєво важливих речовин у зернових бобових культурах забезпечує постійні надої молока.

Щодо картоплі, пізньому росту бур'янів і пізньому пошкодженню бульб можна запобігти, якщо висіяти невелику кількість біорізноманітної проміжної

культури під час останнього догляду (рис. 17.3). До цього потрібно звикнути під час збору врожаю, але переваги очевидні. Пізній ріст бур'янів після в'янення бадилля, а пізніший тиск дротяників зменшується, а якість бульб підвищується.



Рисунок 17.3 – Картопля з біорізноманітною сумішшю

Короткі поради для щоденної практики

Зберігайте поля в рослинності. Особливо великі резерви підвищення родючості ґрунту мають підсів і проміжні озимі культури.

Використовуйте максимальне біорізноманіття в сумішах.

Не обмежуйте зелене добриво промерзаючими ярими проміжними культурами – існує принаймні чотири періоди посіву для різних типів зеленого добрива, тому зелене добриво можна інтегрувати з технологією вирощування різними способами.

17.4. Розклад органічної маси

Завдяки сировині, яка легко розкладається, з недерев'янистого зеленого рослинного матеріалу процес розкладу на поверхні відбувається швидко: він триває від кількох днів до кількох тижнів. Через температурну залежність не можна вказати фіксований період часу. Ви самі повинні контролювати процес. Загалом процес розкладу «завершується» за 1–2 тижні, тому можна проводити наступний етап. Характеристики ефекту розкладу у верхньому шарі ґрунту:

— сильний приріст круглої ґрунтової структури. Вона приблизно однакового розміру, приблизно 3–5 мм;

— землистий запах: «солодкуватий»;

— однорідний колір;

— подрібнені нежирні рослинні залишки. Швидке розкладання тонких частин рослин.

Коли ви знімаєте верхній прошарок, ґрунт пахне свіжими, подрібненими рослинами. Протягом наступних трьох днів запах рослин зникає, а ґрунт стає

без запаху. Приблизно через тиждень ви помітите посилення запаху. Спочатку він затхлий, але через кілька днів він змінюється на типову солодку, мінеральну ґрунтову нотку.

Якщо ґрунт без запаху, липкий або грудкуватий, то ефекту розкладу не відбулося. Якщо бур'яни проростають, розкладу також не відбувається. У такому разі незадовго до посіву треба провести трохи глибший обробіток ґрунту (культивація приблизно на 15 см) із застосуванням 100–150 л/га рослинної ферментації.

Якщо ви не живите «свої» ґрунтові мікроби належним чином та ігноруєте процеси розкладу у ґрунті, ваші культури більше не будуть рости оптимально, урожайність буде нижчою, а бур'яни будуть більше поширюватися.

Короткі поради для щоденної практики

Уведення ферментів є необхідною умовою для зв'язування поживних речовин із зеленого добрива у ґрунті. Це значно зменшує тиск бур'янів після посіву.

Перевірте ефект розкладу перед посівом. На родючому ґрунті росте менше бур'янів. Якщо ви бачите надзвичайно сильні бур'яни, що нещодавно з'явилися, незадовго до посіву обробіть ґрунт на кілька сантиметрів глибше, внісши ферментаційну ін'єкцію.

Час розкладу органічної речовини

Від температури залежать як фізико-хімічні процеси у ґрунті, так і життєдіяльність ґрунтових організмів. У холодних ґрунтах майже не відбувається біологічно активний обмін речовин. Якщо додати зелений рослинний матеріал занадто рано або занадто пізно, він буде розкладатися повільно або зовсім не розкладатиметься, і гумус не утворюватиметься.

Процеси життєдіяльності, включаючи мікробне перетворення сполук вуглецю на гумінові речовини, потребують тепла. Діяльність мікробів у ґрунті починається за середньої добової температури ґрунту приблизно 6 °С. Це початок вегетації, «рання весна». Рослини починають рости лише тоді, коли досягається тривалість вегетаційного періоду й ґрунт забезпечує достатню кількість води та поживних речовин, тому за флорою можна оцінити початок вегетації. Це називається фенологічними календарем.

Початок ранньої весни добре видно за розпусканням бруньок на горобині та розпусканням хвої на модрині європейській. Дні стають довшими, і ми все частіше радіємо теплим і сонячним дням. У середині ранньої весни розпускають листя каштан кінський, вільха чорна та береза сріблясta, зацвітають терен і клен гостролистий. Кінець ранньої весни відзначається, коли починають розквітати перші кульбаби, а тюльпани й нарциси перетворюють сад на барвисте море квітів.

Для першого весняного обробітку ґрунту повинна настати рання весна. Якщо почати робити обробіток заздалегідь, утрата поживних речовин значно збільшується. Для ґрунтових мікробів, які зв'язують поживні речовини, усе ще занадто холодно. Результатом є сильний ріст бур'янів.

Рання весна

Температура ґрунту <5 °С, уночі у ґрунті ще холодно.

Фотосинтез у рослин ще не відбувається.

Лише деякі групи ґрунтових мікробів можуть здійснювати обмін речовин. Вони живуть завдяки розкладанню органічних речовин.

Рання весна – початок вегетації

Листя крижовника розпускаються, форзиції починають цвісти. Наступного тижня зацвітає терен.

Температура ґрунту становить 8…12 °С, денні і нічні коливання температури ґрунту зменшуються, навіть у холодні ночі.

Починається формування листків і фотосинтез. Зростаючі корені виділяють речовини, які призводять до розмноження мікробів у кореневій зоні (ризосфері).

Ріст бур'янів після обробітку ґрунту значно зменшується.

Весна повна, ґрунтовий обмін активний

Починають цвісти кісточкові сорти.

Температура ґрунту в середньому >12 °С.

Підвищується продуктивність фотосинтезу та збільшується біомаса рослин.

Поживи для ґрунтових мікробів виробляється в надлишку, зв'язування поживних речовин у ґрунті є добрим, урожайність наступних культур може досягти високого рівня завдяки живленню рослин від метаболізму ґрунту.

На практиці мульчування або внесення проміжних культур стало звичайною практикою після середини листопада, тобто в період, коли температура часто падає нижче 6 °С. Закладати зелену масу після закінчення вегетації недоцільно. Ґрунтові організми здебільшого неактивні, а залишки органічних речовин починають розкладатися на поверхні ґрунті та у ґрунті у вологу погоду. Велика частина поживних речовин втрачається.

Деякі мікроби активні навіть за температури нижче 6 °С і повільно розщеплюють органічні речовини. Але ця мікрофлора дуже домінує і, ймовірно, сприятиме росту бур'янів і ранній появі хвороб наступної культури.

Сприяння життєдіяльності ґрунту починається із сумішей покривних культур, які містять багато видів, і продовжується осіннім удобренням, а також включає природне заморожування покривних культур. Проводити поверхневий розклад тільки в період вегетації за температури вище 6 °С. Це зменшує тиск на бур'яни та хвороби та робить будь-які заходи боротьби ефективнішими.

Короткі поради для щоденної практики

Обробіток і лущення за відповідної теплої температури ґрунту покращують ефективність поживних речовин, отже, баланс поживних речовин.

Спостерігайте за початком вегетації навесні та вирішуйте, виходячи з побаченого у природі.

Обробіток і лущення, коли ґрунт занадто холодний, завдають шкоди ґрунту, яка триває кілька років.

Технологічний ланцюг обробітку ґрунту

За ґрунтооздоровчих методів обробітку потрібна техніка для розпушування ґрунту та техніка для лущення.

Може знадобитися пристрій для підготовки посівного ложа, наприклад після плуга. Це залежить від вашої сівалки. Так само необхідна ґрунтообробна

техніка для широкорядних культур під час їх вирощування. Для другого обробітку ґрунту після лущення сидератів може вистачити пружинного лапового культиватора. Котування може знадобитися під час кущення зернових культур, кормових культур або гороху відразу після появи сходів.

Після того як ви переведете всі свої поля на постійний обробіток травами й нові операції стануть звичними, вам можуть більше не знадобитися стерньові культиватори, культиватори, дискові борони, плуги й ущільнювачі. Зменшується також потреба в техніці для лущення та боронування. Перш ніж відмовитися від використання цих пристроїв, ви повинні отримати належний досвід у вирощуванні, яке відновлює гумус і життя ґрунту.

Короткі поради для щоденної практики

Наявна на фермі технологія зазвичай підходить для початку регенеративного вирощування. Інвестиції потрібні лише за наявності досвіду впровадження.

Відповідна форма інструменту визначає успіх більше, ніж тип машини. Це економить час на перехід.

17.5. 7 кроків до відновлюваного землеробства

Працюйте з безпечної позиції. Натепер дотримуйтеся того, що виявилося успішним. Змінюйте свої методи роботи поетапно, не робіть все відразу, використовуйте максимум три методи одночасно.

Спочатку уточніть мету. Чи хочу я змінити себе та свій бізнес? Або я хочу «слідувати перевіреному рецепту» і просто щось замінити (наприклад: Чи підходить мені цей захід)?

Чи хочу я довіряти рослинам і ґрунтовим мікробам – забезпечувати їм найкращі умови?

Чи готовий я оцінювати свою роботу на основі їхньої поведінки (виміряної в термінах «благополуччя рослин» і «благополуччя життя у ґрунті»)?

Кроки для перетворення поточної сільськогосподарської діяльності на регенеративне сільське господарство:

Крок 1. Уточніть хімічний склад ґрунту, тобто рівень поживних речовин. Візьміть зразки ґрунту Альбрехта з еталонних полів і візьміть зразки листя з кожної основної культури раз на рік для аналізу рослин, щоб контролювати поглинання поживних речовин.

Крок 2. Потренуйтеся спостерігати. Восени й навесні проведіть повне оцінювання ґрунту на всіх полях, досліджуючи ґрунт лопатою та зондом, і задокументуйте побачене. Задокументуйте стадії розвитку та структуру коренів культур, а також появу бур'янів. Ці характеристики можуть швидко змінюватися та показувати вам, що успішно сприяє життю ґрунту та рослинам.

Крок 3. Сплануйте наступні кроки, наприклад упровадження двох принципів сівозміни, культивації ґрунту, обробітку ґрунту, удобрення та управління посівами. Візуалізуйте свій план і повісьте його там, де бачите його щодня.

Крок 4. Завершіть техніку (не лише ту, що має колеса). Наприклад, оснастити технологію обробітку ґрунту обприскувачем, установити ємності з підігрівом для виробництва ферментації рослин або придбати апарат для приготування компостного чаю та розпушувач ґрунту.

Крок 5. Навчіться нових технік, як-от приготування хороших рослинних ферментів і компостного чаю.

Крок 6. Випробуйте та перевірте методи спочатку на окремих площах, перш ніж переробляти цілі культури. Почніть із внесення добрив Альбрехт, розпушування ґрунту, підсіву під зернові, кукурудзу та зернобобові та проміжні культури. Обробку компостного чаю також можна впровадити в робочий процес від початку.

Крок 7. Спілкуйтеся з однодумцями, які також працюють над відновлюваним сільським господарством. Особливо цікаві компанії, які цілковито відрізняються від вашої.

Не думайте спочатку про нові технології. Зазвичай на фермі ви маєте вдосталь технологій, щоб підтримувати здоров'я ґрунту та врожай. Як керівник ферми ви є вирішальним фактором у відновленні вмісту гумусу, мікробного життя ґрунту та найвищої якості врожаю.

Запросіть своїх рідних, сусідів і колег відвідати поля. Створіть можливості для спільного мислення.

Завдання та питання для самостійної роботи

1. *Які передумови виникнення відновлювального землеробства?*
2. *Які основні принципи відновлювального землеробства?*
3. *Які способи рихлення ґрунту у відновлювальному землеробстві?*
4. *Що розуміють під активним і пасивним ущільненням ґрунту?*
5. *Який є зв'язок температури з ущільненням ґрунту?*
6. *Які є особливості технології розпушення ґрунту у відновлювальному землеробстві?*
7. *Як строки проведення розпушення ґрунту впливають на його ефективність у відновлювальному землеробстві?*
8. *Яка роль зеленого добрива у відновлювальному землеробстві?*
9. *Які головні цілі застосування ущільнених посівів у відновлювальному землеробстві?*
10. *Які є різновиди ущільнених посівів у відновлювальному землеробстві?*
11. *Які особливості застосування ущільнених посівів у відновлювальному землеробстві?*
12. *Які особливості розкладу органічної маси у відновлювальному землеробстві?*
13. *Який найліпший час розкладу органіної речовини у відновлювальному землеробстві?*
14. *Які технічні засоби є найбільш ефективними для рихлення ґрунту у відновлювальному землеробстві?*
15. *Які є етапи переходу на відновлювальне землеробство?*

Перелік джерел до розділу 17

1. Näser D. Regenerative Landwirtschaft. Dietmar Näser. 2., erweiterte Auflage 2021. 200 S., 110 Farbfotos, 15 farbige Zeichnungen, 25 Tabellen, kart.
2. Відновлювальне (регенеративне) землеробство: засади та досвід британських фермерів. URL: https://superagronom.com/blog/759-vidnovlyuvalne-regenerativne-zemlerobstvo-zasadi-ta-dosvid-britanskih-fermeriv
3. Відновлювальне землеробство. URL: https://www.regenerativ.ch/regenerative-landwirtschaft
4. Відновлювальне сільське господарство та вирішення проблеми вуглецю у ґрунті. URL: https://rodaleinstitute.org/wp-content/uploads/Rodale-Soil-Carbon-White-Paper_v8.pdf
5. Відновлювальне сільське господарство. Концепція. URL: https://www.mccain.com/media/4593/mccain_regenag_framework_2024.pdf
6. Відновлювальне сільське господарство: Принципи та практика. URL: https://justagriculture.in/files/newsletter/2022/september/33.%20Regenerative%20Agriculture-%20%20Principles%20and%20Practices.pdf
7. Регенеративне землеробство. URL: https://www.carboneg.com/ua/vidnovlyuvalne-zemlerobstvo
8. Регенеративне землеробство. URL: https://www.regenerative-landwirtschaft.de/
9. Сприяння добробуту фермерів: Інвестиції у відновлювальне сільське господарство. URL: https://www.wbcsd.org/wp-content/uploads/2023/09/Cultivating-farmer-prosperity_Investing-in-regenerative-agriculture.pdf
10. Як перетворити свою сільськогосподарську землю на поглинач вуглецю та отримати від цього прибуток. URL: https://regenagri.org/updates/how-to-turn-your-farmland-into-a-carbon-sink-and-profit-from-doing-so/

Розділ 18

ОСОБЛИВОСТІ ЖИВЛЕННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ В БІОЛОГІЧНОМУ ЗЕМЛЕРОБСТВІ

Ґрунт є живою системою, а його родючість визначає продуктивність сільськогосподарського виробництва. Саме у відтворенні родючості ґрунту полягає завдання першочерговості альтернативного землеробства – біологічного, органічного та відновлювального [1].

Величезна кількість мікроорганізмів, що мешкають у будь-який ґрунтовій системі, забезпечує протікання циклу поживних речовин і перетворення складних субстратів на найдрібніші частинки, які коренева система рослини може легко засвоїти.

Щоб підвищити стійкість сільського господарства, окрім ефективних водогосподарських заходів і управління рослинництвом, необхідно також оптимальним чином використовувати й зберігати родючість ґрунту та її фізичні властивості, які зумовлені біологічними процесами, що протікають в ньому, і ґрунтовим біорозмаїттям. Стійкість забезпечується впровадженням таких методів ведення сільського господарства, які в довгостроковій перспективі сприяють поліпшенню здоров'я ґрунту, його біологічної активності та родючості.

18.1. Особливості живлення біологічного відновлювального землеробства

Є два способи живлення культур: природне поглинання поживних речовин рослинами із ґрунту та постачання поживних речовин через удобрення. Другий спосіб добре відомий, але ґрунт – це не посудина, у яку треба багато покласти, щоб багато отримати. Удобрення за цією схемою ігнорує доступність поживних речовин через діяльність ґрунтових організмів і робить його дорогим. Живий ґрунт і рослини, що ростуть на ньому, можуть самі вивільнити всі поживні речовини для високого врожаю – це ваша економічна перевага. Ось чому так важливо постійно перевіряти та стимулювати активність ґрунтових організмів перед вирощуванням, а також під час росту культури. Якщо вдасться налагодити високу активність життєдіяльності ґрунту й не порушити її, то матимемо супутнє нарощування гумусу й отримання високих урожаїв, що є тим самим біологічним процесом, а не суперечністю [2; 5].

Підживлення азотними добривами в перехідний період

Коли ви починаєте впроваджувати відновлювальне землеробство, важливо мати стабільне живлення рослин. Ви можете зберігати ефект живлення, зменшуючи щорічно норми внесення добрив на 20 %. Коли поглинання поживних речовин із метаболізму ґрунту збільшується, можна починати скорочувати мінеральні підживлення. Унесення добрив варто зменшити в чотири щорічні етапи (паралельно із застосуванням регенеративних методів), щоб мінеральні добрива більше не були потрібні з п'ятого року.

Мінеральні добрива своєю сольовою дією завдають шкоди ґрунтовим організмам. Але є відмінності: хлориди, нітрати та водорозчинний фосфор найбільше знижують мікробіом ґрунту. Змініть тип добрива протягом вегетаційного періоду, особливо з азотними добривами. Уникайте підживлення хлоридом калію та водорозчинним фосфором. Заходи з ревіталізації ґрунту покращують доступність P і K. Їх також можна удобрювати органічними добривами [8].

Коли біота ґрунту починає забезпечувати поживними речовинами, доступність їх рослинам також починає збільшуватися. Ефективність засвоєння поживних речовин вирощуваними культурами збільшується, що легко розрахувати. За традиційного вирощування зернових високі врожаї доброї якості можливі за внесення азотних добрив. В органічному землеробстві, як показує досвід, це потребує на рік більше, але тоді ви також збираєте високі врожаї – без застосування добрив. Цей процес відбувається швидко з першого року відновлення ґрунту. Скільки часу знадобиться, щоб ваші культури дали нормальний урожай без унесення добрив, залежить від інтенсивності впровадження багаторічних культур [4].

Завдяки популяціям рослин, які поглинають необхідні їм поживні речовини у взаємодії з біологічно активним життям ґрунту, у вас є шанс отримати високі врожаї високої якості. Тоді врожайність і якість більше не суперечать одна одній, а зростають разом.

Осіннє підживлення

Якщо запас поживних речовин збільшується завдяки активізації життєдіяльності ґрунту, ви можете зосередити заходи внесення добрив переважно на сприянні метаболізму ґрунту. Обмін речовин у ґрунті посилюється за вирощування і обробітку проміжних культур. Ви досягнете найвищої ефективності добрива восени, якщо будете удобрювати проміжні культури, що ростуть, переважно восени. Таким чином ви можете досягти найкращого ефекту з мінімальними нормами внесення, оскільки поживні речовини метаболізуються у ґрунті та вводяться в нього живим шляхом. Ця форма зберігання поживних речовин, у живій органічній речовині та в поживному гумусі, убезпечена від вимивання, поживні речовини доступні для рослин відповідно до їхніх індивідуальних потреб і стадії росту. Це велика різниця в надходженні поживних речовин у формі добрив на окремих стадіях росту, коли маємо переповнення живлення рослини під тиском зовнішнього удобрення, що проявляється у зниженій якості вирощеного врожаю. Якість має бути вашим головним фактором під час визначення ціни на продукцію, тому ви повинні вирощувати високоякісні врожаї.

Осіннє підживлення

Вапно й елементарна сірка.

Мікродобрива.

Органічне добриво.

Для досягнення найкращого ефекту варто удобрювати восени. Перед літніми культурами це означає вирощування проміжних культур і внесення добрив під проміжні культури з кінця культури (тобто з висоти зростання приблизно 15 см).

Органічні добрива часто розкидають по стерні влітку, обробляють, а потім висівають проміжні культури. Це призводить до великих втрат через температуру та тривалий день. Обробіток ґрунту у спеку також сприяє розкладанню гумусу, тому влітку вміст гумусу суттєво не збільшується завдяки органічним добривам.

Заходи удобрення вирощуваних культур зменшуються завдяки осінньому внесенню добрив. Передусім відсутня потреба у внесенні поживних речовин під очікуваний урожай. Тому на початку переходу до регенеративного землеробства вам варто дотримуватися раніше перевірених заходів удобрення, але перевіряти їх за допомогою вікон удобрення. Також необхідно проводити тестування соку листя та ґрунту, щоб визначити, чи досить поглинання поживних речовин із ґрунту протягом вегетаційного періоду. У разі замалого надходження поживних речовин із ґрунту та недостатнього поглинання поживних речовин культурою виправте обидві недоліки, тобто удобрюйте й оживляйте активність ґрунтової біоти [7].

Важливість вапнування. Якщо під час оцінювання ґрунту восени ви не побачите карбонатів, варто розсипати високоактивне вапно на озимих зернових, озимому ріпаку й озимих проміжних культурах. Верхнє вапнування збільшує зв'язування азоту в органічній речовині ґрунту. Поглинання кальцію культурами збільшується. Зимостійкість покращується, раннє ураження хворобами (наприклад, побуріння основи стебла, розвиток гнилей, плям на листі, пожовтіння стебла) зменшується. Якщо потрібна сірка, можна посилити ефект підживленням елементною сіркою в той самий час, тобто на тому ж тижні. Сірку також можна додавати разом із насінням як підґрунтове добриво.

Збільшення фіксації азоту в органічній речовині ґрунту

Кальцій. Наявність розчиненого кальцію контролює мікробний метаболізм ґрунту, чи перетворюється постійна деградація білка на амоній ($NH4^+$) чи нітрат (NO_3). Якщо у ґрунтовому розчині присутній кальцій, уміст нітратів зменшується. Нітроген не потрібно відновлювати до амонію ґрунтовими мікробами та рослинами, що потребує багато енергії. Включення в їх біомасу, а потім і в гумус відбувається швидше. Однак концентрація кальцію не повинна бути настільки високою, щоб інші катіони витіснялися, і співвідношення між бактеріями та грибами у ґрунті ставало незбалансованим, оскільки ґрунтові гриби не можуть переносити занадто високу концентрацію кальцію. Це сприяло б процесам бактеріальної деградації та призвело б до виділення азоту та деградації гумусу.

Елементарна сірка посилює фіксацію азоту в органічних речовинах ґрунту. Він сприяє утворенню білка в життєдіяльності ґрунтових мікробів, оскільки пригнічує утворення нітратів шляхом нітрифікації. Після культивації ґрунту, тобто після посіву, утворення нітратів короткочасно є високим, оскільки культивація ґрунту приносить повітря у ґрунт, тим самим сприяє розкладанню органічних речовин. Тому цікавий ефект зниження нітратів особливо важливий під час посіву: ось чому підґрунтове удобрення елементарною сіркою довело свою ефективність. Також можна попередньо змішати посівну та гранульовану елементарну сірку, застосувати їх разом. Оскільки ця суміш не містить солей, її також можна попередньо змішати за кілька тижнів до посіву.

Добрива, що містять сульфатну сірку, мають значно менший цей азотфіксуючий ефект. Якщо вони необхідні, приблизно половину сірки варто додати у формі елементарної сірки.

Поверхневе вапнування гранульованим, високоактивним вапном (>80 % реакційної здатності) довело свою ефективність для збору врожаю; ви також можете застосувати недороге, вологе вапно. Кількість, яку треба використовувати, варто визначати на основі найменшої кількості, яка забезпечує ефект зниження нітратів. Норми внесення часто є технічно найнижчими, коли ви використовуєте вапно з високою реакційною здатністю. У разі нестачі сірки й вапна (або за необхідності підживлення) треба своєчасно внести елементарну сірку в посів після підживлення вапном. Обидва добрива потребують мікробної активності ґрунту, тому вони розміщуються на поверхні ґрунту й повинні бути затінені [6].

Якщо ви запланували підживлення сульфатами (гіпс, кізерит), ви можете вносити ці добрива й навесні. Вони не потребують розщеплення мікроорганізмами, оскільки вони більш розчинні у воді.

Якщо ви розсипаєте гранульоване вапно (гранульовану крейду) без магнію, але магній потрібен, то восени варто додати сульфат магнію (кізерит) розділеними дозами. Іншу половину розкидають навесні на початку росту пагонів або незабаром після внесення органічних добрив.

Якщо сірка цього типу раніше не використовувалася як добриво і є високий попит, ви можете вперше внести елементарну сірку рекомендованою високою дозою, незалежно від культури. У наступні роки можливе підґрунтове підживлення насінням.

Для зернових, ріпаку й інших культур, де зерно та добрива перемішують та вносять одночасно в рядок посіву (рис. 18.1), не варто перевищувати кількість 20 кг/га елементарної сірки або 25 кг/га елементарної сірки + бор.

Якщо технологія сівби забезпечує відстань між насінням і стрічкою добрив, як у кукурудзяних сівалок, можна вносити до 50 кг/га добрив.

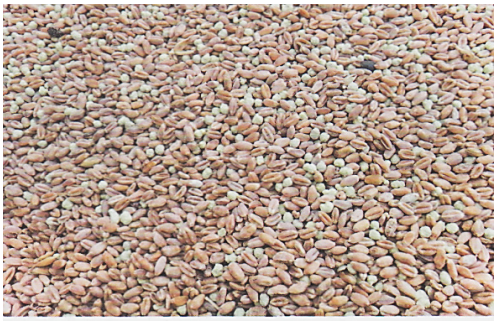


Рисунок 18.1 – Елементарна сірка в насінні, змішана перед посівом, для підгодівлі насіння сіркою

Наявність основних поживних речовин

Кальцій і сірка часто погано доступні рослинам, оскільки їхня доступність залежить від біологічної активності ґрунту. У бідних гумусом ґрунтах за ущільнення, висихання, а також за тривалих перерв між посівами ґрунт втрачає мікробну активність. За цих умов залишки пестицидів також розщеплюються повільніше, що ще більше знижує активність мікробів. Якщо насиченість основами не збалансована (для більшості ґрунтів: 68 % Ca, 12 % Mg, 5 % K і 15 % H^+), ґрунт втрачає свої ґрунтові пори, що погіршує середовище проживання ґрунтових мікробів і також знижує мікробну активність. Це призводить до дефіциту кальцію в насичених кальцієм ґрунтах. Це видно за жовтінням кінчиків листя в зерні, початком побуріння основи стебла та невеликою кількістю землі, що прилипає до нових коренів. Це також можна побачити в тесті листового соку на різкій межі заломлення в рефрактометрі, і його можна виміряти в листовому соку й у ґрунтовій суспензії [9].

Сірка вимивається з бідних гумусом ґрунтів, сульфат зменшує надлишкову насиченість основами і так само важливий для виробництва білка ґрунтовими мікробами, як і для рослин. Отже, удобрення сіркою, яке вноситься лише після збирання врожаю, призводить до дефіциту сірки під час вирощування наступної культури (хімічний склад ґрунту та мікробні процеси також зв'язують сірку). Тому в разі дефіциту добрива осіннє внесення сірки є не досить ефективним для наступної культури.

Варто уникати внесення калійних і органічних добрив перед посівом або посадкою, оскільки вони знижують засвоєння кальцію молодим урожаєм. Якщо проміжні культури висаджують перед основною культурою, їх необхідно удобрити органічними добривами. Або ви можете застосувати органічні добрива до основної культури під час основної фази росту. Це допомагає запобігти захворюванням у ранньому періоді вегетації через зниження споживання кальцію.

Органічні добрива та гній «живлять» ґрунтові організми й культури, коли вони ферментуються, але також можуть перебувати у стані розкладання, про що можна дізнатися за запахом гнилі [3].

Деградація органічних добрив відбувається через гниття білків, оскільки співвідношення C:N<10:1, тому азот розкладається. Вуглеводи з органічних добрив також втрачаються. Мікроби, які здійснюють цю деградацію, люблять продовжувати свою роботу у ґрунті. Це призводить до деградації гумусу через органічні добрива. Дуже поширена практика внесення органічних добрив і внесення їх в оброблені поля, таким чином, не приводить до збільшення вмісту гумусу у ґрунті. Тому ферментація свіжого органічного гною є важливою для ферм, які використовують органічні добрива.

Зменшити витрати на внесення органічних добрив і водночас підвищити коефіцієнт використання можна, якщо організувати внесення органічних добрив під проміжні культури або посіви у процесі виробництва. Удобрення проміжних культур приводить до найвищого ступеня метаболізму у ґрунті, отже, до найкращого використання органічних добрив, вироблених з великими зусиллями.

Підживлення мікродобривами. Мікроелементи можна легко розподілити як удобрення ґрунту органічними добривами. Обсяги мікроелементів розраховують відповідно до запланованої кількості органічних добрив на гектар і додають перед унесенням. Рекомендації щодо удобрення борною кислотою можна повторювати кілька разів, поки в аналізі рослин не буде досягнуто бажаного вмісту бору. Підживлення мідним і цинковим купоросом обмежено – 10 кг/га мідного купоросу та 20 кг/га цинкового купоросу, хоча рекомендовано більше. Якщо аналіз рослин не показує підвищення рівня, решту удобрення вносять під час повторного вирощування проміжних культур. Верхня межа досягається, коли подальші випробування ґрунту за 3–5 років не визначають потреби.

Мікроелементи додають у компост і розкладають разом із компостом (рис. 18.2). Це підвищує їхню ефективність.



Рисунок 18.2 – Додавання мікроелементів до компосту

Підживлення мінеральними добривами

Мінеральне підживлення необхідне на початку регенерації вмісту гумусу, коли співвідношення поживних речовин занадто сильно виходить із рівноваги, поживні речовини відсутні або не можуть бути засвоєні. Маються на увазі лише органічно схвалені поживні речовини та добрива. Мінеральне підживлення застосовують тільки на початку утворення гумусу.

18.2. Роль ґрунту в живленні рослин

Урожайність і якість не протилежні, а взаємозалежні. Якщо ви хочете виробляти високоврожайні високоякісні культури, вам потрібні знання біологічних процесів у ґрунті та рослинах на додаток до ноу-хау з управління фермою, живлення рослин і фітопатології. Добре знання живлення рослин і фітопатології є важливим, але недостатнім для розуміння взаємодії між рослинами та життям у ґрунті.

Сільське господарство може підвищити свою ефективність зі зменшенням потреби в ресурсах – якщо ви використовуєте базові знання з біології ґрунту та фізіології рослин у своїх щоденних рішеннях. Найважливіший зв'язок: життя рослин і ґрунту з їхнім спільним метаболізмом.

Живлення рослин – ґрунтове живлення

Як ефективно живити культуру? Є два шляхи: або ви вносите добрива і таким чином додаєте поживні речовини, або ви живите свій урожай завдяки активному метаболізму ґрунту. Ось приклад:

20 т гною, 10 ц NPK 3×15 або 300 ц зеленої маси проміжних культур містять приблизно однакову кількість поживних речовин.

Якщо врахувати транспортні витрати, то виходить такий розрахунок:

— для внесення 20 т/га гною, наприклад, транспортуємо на поле 20 тис. кг/га матеріалу, з мінеральними добривами транспортуємо 1000 кг/га матеріалу;

— для отримання 300 ц/га біомаси із зеленого добрива потрібно лише приблизно 50 кг/га насіння, що за масою на 19 950 кг/га менше, ніж удобрення гноєм.

Це очевидна економічна перевага. І не тільки це: таким чином ви навіть практикуєте «переробку зелених поживних речовин»: сієте, даєте сидератам вирости, очищаєте свою зелену масу для поверхневого розкладу і знову сієте.

Якщо ви вирішите використовувати поживні речовини завдяки ґрунтовому метаболізму (що показує наведений вище розрахунок), найважливішим питанням є: як ви отримуєте поживні речовини із зеленого добрива для наступного врожаю? Якщо ви дасте сидератам замерзнути або замульчуєте їх масу, ви втратите більшу частину поживних речовин, оскільки вони потраплять в атмосферу та вимиватимуться. Це не тільки створює навантаження на клімат і ґрунтові води, але також означає, що цих поживних речовин не вистачає для забезпечення високої врожайності наступних культур.

Найважливішим процесом біогенного зв'язування поживних речовин із зеленого добрива є поверхневий розклад. Відрізняється від поверхневого компостування тим, що життя ґрунту «живиться» швидко конвертованими цукристими сполуками та білками зі свіжого зеленого матеріалу, тому може працювати набагато швидше й ефективніше. Ці багаті енергією речовини у ґрунті використовуються під час росту культур, з них утворюється гумус.

Ви можете використовувати поверхневе компостування як ґрунтовий покрив під час вирощування сільськогосподарських культур. Отже, коріння та ґрунтові організми затінені – кондиціоновані – доти, поки ваші культури ще не припинили вегетацію. Для картоплі й овочів ви можете досягти ферментації та стабільних урожаїв, додаючи свіжу зелену подрібнену сировину.

Різниця між надходженням поживних речовин через удобрення та живленням рослин від метаболізму ґрунту виникає внаслідок роботи життєдіяльності ґрунту. Про це завжди «забувають» у сільськогосподарських циклах, тому цей метод живлення рослин настільки невідомий. Щоб контролювати цей процес, вам потрібні базові знання про життя ґрунту та фізіологію рослин.

Шляхи поглинання поживних речовин рослинами

Більшість поживних речовин засвоюється культурами на глибині ґрунту 0–10 см через дрібне коріння. Шляхи поглинання поживних речовин.

Масовий потік – поглинання біогенних речовин у воді із транспірацією:

1. Нітрат як кислотний залишок NO_3^-.
2. Сульфат як кислотний залишок SO_4^{2-}.
3. Кальцій як іон Ca^{2+}.
4. Магній як іон Mg^{2+}.
5. Кремній як ортокремнієва кислота.
6. Бор як кислотний залишок BO_3^-.

Ці поживні речовини стабільно засвоюються під час випаровування рослиною води і за непорушеного ущільненими горизонтами водопостачання. Ці поживні речовини швидко стають дефіцитними в рослині в ущільнених місцях і за сухих умов, а також у похмурих умовах або коли температура низька і вологість висока. Якщо виникає будь-яка із цих умов, стійкість рослин значно знижується, вони стають сприйнятливими до грибкових захворювань листя, як-от пероноспороз.

Кальцію та магнію також потрібна висока швидкість дихання ґрунту (CO_2) для утворення вугільної кислоти. Це дозволяє утворювати бікарбонати (подвійний карбонат кальцію та магнію), оскільки вони набагато краще розчиняються у воді, ніж проста карбонатна форма, яка використовується як добриво у формі карбонату вапна, мергелю або доломіту.

Карбонат кальцію $CaCO_3$, «однокарбонований» кальцій.

Бікарбонат кальцію $Ca(HCO_3)_2$, «подвійна вугільна кислота», вугільна кислота кальцію H_2CO_3 дисоціює у ґрунтовому розчині на:

$H^+ + HCO_3^-$ (іон гідрокарбонату).

Кремній стає доступним для рослин через метаболізм глинистих мінералів у мікробно активному середовищі. Різноманітний склад ґрунтових мікробів, особливо близьке грибно-бактеріальне співвідношення, сприяє його доступності. Джерелом доступності кремнію є ґрунтові гриби та багаті кремнієм рослини, як-от трави та волохаті бур'яни. Заходи з оздоровлення ґрунту, особливо розкладання органічної маси шляхом уведення рослинних ферментів і активізація компостним чаєм і добавками, сприяють поглинанню кремнію.

Дифузія – поглинання поживних речовин через градієнт розчину.

Калій як іон K^+.

Амоній, NH_4^+.

Це залежить головним чином від обмінної здатності ґрунту. За високої обмінної здатності та низької ревіталізації ґрунту надходження цих поживних речовин у ґрунтовий розчин є низьким (наприклад, на глинистих ділянках, а також на болотах із низькою обмінною здатністю (піщані ґрунти, суглинисті ґрунти з низьким умістом гумусу), концентрація постійно коливається, може витісняти поглинання мікроелементів. Обмінна ємність глинисто-гумусового комплексу є більш стабільною, коли активність мікробного життя ґрунту зростає.

Ріст коренів у напрямку зв'язаних поживних речовин (перехоплення)

Фосфор особливо міцно зв'язується хімічно у ґрунті. Лише завдяки метаболізму ґрунтових грибів на кінчиках коренів, особливо мікоризи, він перетворюється на абсорбовані форми, переважно органічних сполук. Коріння «розчиняють» фосфор – тому контроль над корінням важливий під час вирощування ваших культур.

Азот і сірка можуть засвоюватися із ґрунтових білків і амінокислот у глинисто-гумусовому комплексі. Це краща форма поглинання рослинами. Ви можете чітко бачити, як коріння отримують доступ до органічних речовин у ґрунті.

Більшість мікроелементів поглинається кінчиком кореня, що росте, у формі органічно-хімічних комплексів (хелатів): Мідь, Селен, Цинк, Молібден, Залізо, Кобальт, Марганець (рис. 18.3).

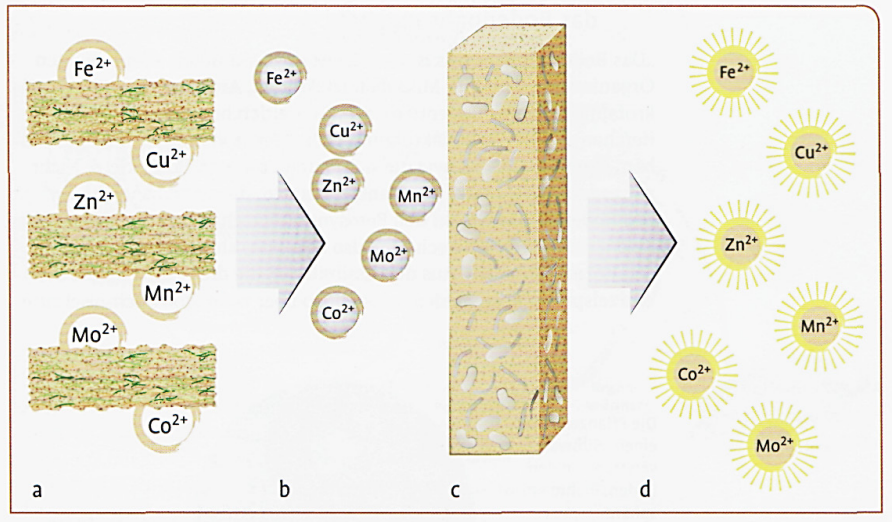


Рисунок 18.3 – Кореневе хелатоутворення мікроелементів:
a – глинисто-гумусовий комплекс як катіоніт; *b* – ґрунтовий розчин з поживними іонами;
c – жива органічна речовина, як ґрунт, метаболізує поживні іони;
d – поживні іони з білковою оболонкою як природні хелати, які засвоюються рослинами

Ці поживні речовини найкраще доступні в мікробно активному обробленому ґрунті. Вони дуже пригнічуються, коли метаболізм ґрунту є окислювальним, тобто деградаційним. Окрім того, надмірне внесення добрив (зокрема, органічних) витісняє поглинання мікроелементів. Зони ущільнення у ґрунті також мають пригнічувальний ефект через обмеження росту коренів.

Короткі поради для щоденної практики

Поглинанню всіх поживних речовин сприяє безперебійна висока активність мікробів у кореневій зоні.

Більшість поживних речовин засвоюється у формі органічного метаболізму. Ця форма є кращою, що можна спостерігати за ростом коренів. Рослина має спеціальні шляхи поглинання деяких поживних речовин, як-от іони солі.

Поглинання поживних речовин найвище тоді, коли середовище найбільш сприятливе для росту коренів.

18.3. Мережа живлення ґрунту

Рослини та ґрунтові мікроби утворюють мережу живлення ґрунту. «Ґрунтове життя» – це сукупність усіх живих організмів у ґрунті: мікроби (бактерії, археї та гриби), мікрофауна (найдрібніші ґрунтові тварини, наприклад, джгутикові, амеби, інфузорії), мезо- та макрофауна (наприклад, нематоди, колемболи, дощові черв'яки), а також видимі ґрунтові тварини. Життя у ґрунті відбувається завдяки продуктам фотосинтезу рослин, які розташовані над ними, але також включає в себе асиміляти, які рослини виділяють через кінчики коренів, на багатьох стадіях обміну речовин утворюється жива речовина ґрунту, а її метаболічний кінцевий продукт – гумус. Отже, джерелом енергії для гумусу є фотосинтез, сонячна енергія зафіксова в органічній масі, що потрапила в землю [10].

Життя у ґрунті функціонує як сітка. Загалом можна виділити кілька рівнів живлення (і «груп ґрунтових організмів, що живуть на цих рівнях»). На початку харчової сітки ґрунту розташована рослина, що зростає, яка виділяє значну частину своїх продуктів фотосинтезу, тобто прості вуглеводи (цукри), а також вторинні інгредієнти через коріння.

Першою функцією кореня є тимчасове зберігання асимілятів. Коріння постійно утворюються і руйнуються. Рослини живлять ґрунтове життя в безпосередній близькості від своїх коренів, у так званій ризосфері. Спільний метаболізм рослин і ґрунтових організмів – це вихідна точка сільського господарства, яка відновлює ґрунтове життя.

Оскільки різноманітність ґрунту зростає, наступні етапи живлення наступають після того, як ви створили початок – у формі рослинних полів. Це надає можливість пригнічувати бур'яни та хвороби родючих живих ґрунтів.

Етапи живлення описують співіснування ґрунтового життя з рослинами:

1. «Живлення» поживної мережі ґрунту багатими на енергію продуктами фотосинтезу (цукри тощо), які транспортуються «униз» через коріння та вивільняються звідти. Так само живлення ґрунтового життя органічними залишками.

2. Симбіонти рослин і розкладачі органічних залишків пропорційно – вони повинні бути в рівновазі один з одним. Рослини використовують симбіонтів, щоб збільшити поверхню коренів у ґрунті, але вони також використовують симбіонтів для боротьби з патогенами, що передаються через корені. Якщо симбіонти недостатньо живляться рослинами, кількість збудників кореневої гнилі та їх пошкодження зростає.

3. Види мікрофауни діють як хижаки, щоб контролювати розвиток мікробних спільнот і запобігати надмірному розмноженню окремих видів другого рівня живлення. Мікрофауна, багата видами, зменшує проростання бур'янів

і сприйнятливість культур до хвороб, водночас вони є «відкривачами поживних речовин» шляхом метаболізму мікробів. Відсутність видового розмаїття в мікрофауні призводить до типових «нітратних сплесків» у травні та серпні та спричинених ними захворювань у культурах.

4. Більші ґрунтові тварини також діють як хижаки і, таким чином, як контролери мікрофауни (дощові черв'яки, наприклад, харчуються ґрунтом, багатим найпростішими).

5. Ще більш високорозвинені тварини взаємодіють із життям ґрунту та рослинами. Таким чином створюється баланс, який дозволяє розвивати повну родючість і біорозмаїття ґрунту.

Ґрунтове життя, особливо мікробне ґрунтове життя, розвивається лише під час росту рослин. Якщо ґрунт обробляється надто довго та надто інтенсивно, життя ґрунту, отже, і родючість ґрунту, згасає.

Якщо ґрунт втрачає своє мікробне життя, він виробляє підвищену кількість тваринного білка у формі ґрунтових шкідників, як-от совки, дротяники, личинки довгоносиків, а також глибококопні дощові черв'яки.

Мікробна реколонізація ґрунту завжди починається бактеріально. Ці бактерії мобілізуються та виробляють велику кількість поживних речовин. Однак вони втрачаються їх через вузьке співвідношення C:N 5:1 і менше, якщо найпростіші, ґрунтові гриби та мікрофауна також не представлені багатьма видами. Надходження поживних речовин, зумовлене бактеріями, але більше не «оброблене» іншими ґрунтовими організмами, є найважливішим стимулом для проростання бур'янів. Ви можете запобігти цьому, уникаючи перерв у вегетації між культурами, а також працюючи з рослинними сумішами – це означає: підсів, ущільнений посів (наприклад, у ріпаку та зернових) і вирощування проміжних культур, де це можливо, щоб мікробна життєдіяльність ґрунту була ефективною.

Мікробні життєві функції ґрунту:

1. Зберігання поживних речовин у новоутвореному гумусі – засвоюється рослинами, але більше не вимивається.

2. Зменшення втрат поживних речовин і, таким чином, більша ефективність поживних речовин, що надходять.

3. Інфільтрація води та водопостачання зазвичай уважаються фізичною функцією ґрунту, але це не працює в неживому ґрунті.

4. Уникнення ерозії, розчинення ґрунтової крихти. Також уникають внутрішньої ерозії, тобто вимивання дрібного ґрунту в підґрунтя.

5. Легко працювати. Важкі ґрунти знову стають легшими для обробки, коли вони відновлюються. Це економить енергію та витрати.

6. Придушення бур'янів. Що менше життя у ґрунті, то більше поширюється бур'янів, тому велика кількість бур'янів є наслідком занадто малого життя у ґрунті, а не занадто слабкого контролю.

7. Придушення захворювань. Життєдіяльність ґрунту, багата видами, дозволяє культурам збалансовано, залежно від потреб, поглинати поживні речовини, завдяки чому культури стають стійкими. Змішана культура завжди допомагає від «неконтрольованих» хвороб.

8. Якість урожаю. Це також стосується тих випадків, коли ваші ґрунти багаті життям. Не завжди винен не той сорт, адже часто у ґрунті бракує життя.

Життя ґрунту складається з мікроорганізмів, так званого мікробіому, мікрофауни та більших ґрунтових тварин. В одному квадратному метрі живого ґрунту міститься така кількість ґрунтових організмів (див. табл. 18.1):

Таблиця 18.1 – Кількість ґрунтових організмів на 1 м^2 живого ґрунту

Ґрунтові організми	**Чисельність особин, шт.**	
Бактерії	100 000 000 000 000	10^{14} мікробів
Гриби	10 000 000 000 000	
Водорості	1 000 000 000 000	
Нематоди, кліщі	111 000 000 000	10^{11} мікротварин
Інші дрібні тварини	111 111 000	10^2 великих ґрунтових тварин
Дощові черв'яки	100	

З вищенаведеного можна припустити, що мікробіом є, імовірно, найефективнішим через велику кількість особин. Більші ґрунтові тварини – наприклад дощові черв'яки, є частиною ґрунтового життя, але їхнє значення переоцінюється, оскільки їх легко виявити. Тому знання про життя ґрунту повинні включати властивості мікробних груп.

Ґрунтові бактерії

Світ бактерій під нашими ногами можна умовно розділити на три метаболічні групи:

1. Будівельний / регенеративний / ферментативний (приблизно 10 %).
2. Нейтральний – опортуністичний (приблизно 80 %).
3. Деструктивний / дегенеративний / розлад та/або хвороботворний (приблизно 10 %).

Нейтральні мікроорганізми утворюють найбільшу групу й за так званим принципом домінування слідують за групою, яка є панівною в системі. Отже, якщо створюється середовище, у якому переважають будівельні мікроорганізми, то за процесом будівництва йдуть нейтральні. Цей принцип застосовний до будь-якої бактеріальної колонізації.

Домінування є найважливішою характеристикою бактерій. Ви можете використовувати це, щоб контролювати метаболізм ґрунту через окислювальне розкладання органічної речовини, коли нічого не росте під час обробітку ґрунту, тому рослини не можуть цього робити.

Типовим прикладом розвитку домінування у ґрунтових бактеріях є сінна паличка – *Bacillus subtilis*. Ця група живе близько до поверхні ґрунту, біля основи стебел трави, під нею. Там середовище за вологою і теплом нерівномірно змінюється щогодини. Ось чому *Bacillus subtilis* дуже адаптивний. Він може перемикатися між декількома метаболічними шляхами, залежно від середовища проживання, з повітрям чи без нього, а також під час адаптації до живлення. Наприклад, вбираючи кисень із ґрунтового повітря, *Bacillus*

subtilis може живитися шляхом ферментації. Коли прості цукри, як-от глюкоза, доступні, вони утворюють органічні кислоти, як-от молочна кислота. Якщо корінням виділяється вдосталь цукру, це може гарантувати, що інші ґрунтові бактерії, незважаючи на їхню різноманітність, переважно розвиватимуть молочнокислу фазу у ґрунтовому метаболізмі. Деградуючі мікроорганізми, які не здатні до цього «перемикання», витісняються з навколишнього середовища. Це запобігає розкладу та втратам поживних речовин.

Якщо ці ґрунтові бактерії присутні в достатній кількості, вони можуть витіснити види бактерій, що деградують, із середовища. Це запобігає процесам розкладу і хворобам. Мета полягає в тому, щоб збагатити ґрунт цими конструктивними мікробами, тобто «оживити» його. І тут вступає в дію контроль метаболізму ґрунту за допомогою рослинних ферментів під час лущення зеленої рослинної маси.

Бактерії мають властивість починати свою метаболічну діяльність лише тоді, коли вдосталь окремих клітин цього типу сконцентровано в одному місці, тоді їхній спільний, скоординований метаболізм виявляє таку здатність. Ось чому для контролю метаболізму у ґрунті спочатку потрібна більша кількість ферментів.

У природі панує принцип, згідно з яким здорові речі залишаються здоровими, а хворі розщеплюються і таким чином повертаються до циклу. Здорова мережа живлення ґрунту, як і здорові рослини, не піддаються нападам шкідливих бактерій чи грибків. Контроль метаболізму ґрунту під час поверхневого розкладу та внесення добрив, що збалансовує рівень поживних речовин і оживляє ґрунт, приводить до прояву властивостей ґрунту, які пригнічують бур'яни та хвороби. Це дивовижний ефект, який починається від початку регенеративного вирощування. Ваші знання властивостей ґрунтових організмів ведуть до придушення бур'янів і хвороб – легше й ефективніше, ніж ваша «боротьба із хворобами й бур'янами».

Деякі типові мікробні групи мережі живлення ґрунту:

— ціанобактерії;
— бактерії, що виробляють молочну кислоту;
— дріжджі;
— актиноміцети;
— ферментативно активні гриби.

Ціанобактерії раніше також називали синьо-зеленими водоростями. Вони здійснюють фотосинтез, як рослини, і живуть завдяки сполукам азоту. Передбачається, що вони були інтегровані в рослинні клітини як хлоропласти під час їхнього формування. Вони можуть жити без кисню, зв'язувати атмосферний азот і розщеплювати воду. Водночас утворюються ядра кисню та водню, іони H^+. Це катіони, як-от Ca_2^+, Mg_2^+ або K^+, тому їх утримує катіонообмінник, тобто глинисто-гумусовий комплекс. Джерелом енергії у ґрунті є ціанобактерії.

Це також аварійний мікроб: якщо ви бачите його зелене мерехтіння на поверхні ґрунту, це свідчить про ущільнення. Діяльність ґрунтових мікробів, яким для перетравлення органічних речовин потрібен кисень повітря, ускладнена. Тому дихання ґрунту, тобто утворення CO_2, в ущільненому ґрунті

відсутнє. Це зменшує поглинання поживних речовин рослинами й водночас живлення мікробів, що колонізують кореневу систему ґрунту. В ущільненому ґрунті відсутній органічно зв'язаний вуглець. Співвідношення вуглець – азот звужується нижче 9:1, азот втрачається, оскільки немає вуглецю для зв'язку N. Оскільки в цих умовах органічні речовини, необхідні для живлення всіх рівнів харчової мережі ґрунту, стають дефіцитними, кількість ціанобактерій помітно збільшується; оскільки організми можуть харчуватися фотоавтотрофно (тобто виробляти власну їжу за допомогою сонячного світла), вони не потребують органічних речовин або енергії із цукристих кореневих виділень.

Ферменти ціанобактерій здатні одночасно витягувати кисень із розщеплення води навіть у глибших шарах ґрунту, куди не може проникнути світло. Ферменти також діють тоді, коли мікроби, які їх виробляють, більше не активні. Таким чином ущільнений ґрунт повільно забезпечує себе новим киснем, тому ціанобактерії є частиною процесів відновлення пошкоджених ґрунтів.

Бактерії, що виробляють молочну кислоту. Існує багато видів бактерій, які здатні виробляти молочну кислоту. Одним із прикладів є вид *Bacillus subtilis*, згаданий вище, який може виробляти молочну кислоту шляхом метаболізму бродіння в анаеробному середовищі, коли доступні вуглеводи, які легко розкладаються, цукри. Це анаеробне середовище створюється утворенням CO_2 в результаті дихання ґрунту. Трапляється локально у ґрунті й переважно в ризосфері, на кінчиках коренів. Інтенсивне виділення цукру рослинами із ґрунту є джерелом короткої фази метаболізму молочної кислоти і є вирішальним процесом утворення гумусу та зв'язування поживних речовин у ґрунті. Ось чому так важливо забезпечити високу продуктивність фотосинтезу врожаю. Благополуччя рослин, високоактивна асимілююча рослина, разом із продуцентами молочної кислоти, є центральним фактором поглинання вуглецю, утворення гумусу у ґрунті також є антистресовим фактором для ґрунтових мікробів.

Ґрунтові гриби дотепер в основному сприймалися лише як шкідливі для сільськогосподарських культур. Їхні функції в мікробному співтоваристві у ґрунті тільки детальніше досліджуються. У ґрунтовому мікробіомі, що постійно заростає рослинністю, ґрунтові гриби можуть становити найбільшу частку біомаси. Розмаїтість їх видів вказує на те, що вони виконують широкий спектр завдань у ґрунті за допомогою культивування та культурних заходів.

Довгі вегетаційні перерви між культурами, висока інтенсивність культивації та висока інтенсивність агрохімікатів, а також надмірні органічні добрива пошкоджують різноманітність грибної флори ґрунту і тим самим пригнічують бажані ґрунтові функції грибів:

1) ґрунтові гриби можуть поглинати нітрати за короткий час та інтегрувати їх у свою біомасу (Strauss, 2017 р.). Тому вони є вирішальним чинником біогенного зберігання азоту у ґрунті. У цій перетвореній формі азот із нітрату більше не може вимиватися, але рослини можуть поглинати його за потреби. Нітратний азот повинен бути відновлений у рослинах і ґрунті в енергоємному процесі, щоб перетворитися на амоній або амінокислоти. Гриби можуть виконувати цю функцію, лише якщо вони отримують енергію від своїх рослин-партнерів у формі цукристих кореневих виділень, щоб мати можливість покрити

високі енергетичні потреби для зменшення нітратів. Завдяки цій функції ґрунтові гриби підвищують ефективність азоту і таким чином роблять значний внесок у захист ґрунтових вод;

2) ґрунтові гриби своїм розростанням утворюють стійку до дощу ґрунтову структуру. Також вони будують або формують своє середовище існування, середні пори у ґрунті, які сприяють рівномірному проникненню води та газообміну у ґрунті. Одним із добре відомих видів є мікоризні гриби, чий метаболічний продукт утворює круглі структурні частки;

3) ґрунтові гриби можуть виробляти антибіотики, тобто захищати себе та свої рослини-господарі від нападів хижаків (наприклад, шкідливих бактерій). Тому якщо їх розмаїття втрачається, культури стають вразливими до хвороб;

4) ґрунтові гриби потребують добре структурованого, пористого, живого ґрунту. Під час вирощування відновлювальної багаторічної рослинності ріст рослин значно посилюється. Особливо однодольні види рослин (трави) у сумішах або як підпосівні суміші сприяють розвитку різноманіття ґрунтових грибів. Дихання ґрунту інтенсивніше під травами, ніж під широколистими видами рослин, як і утворення вугільної кислоти H_2CO_3.

Це створює слабокисле середовище, трохи нижче pH 7, у якому найкраще розвиваються ґрунтові гриби. Це слабокисле значення pH, спричинене диханням ґрунту, є основною кислотністю ґрунту, що так важливо для високої доступності поживних речовин.

Оскільки гриби чутливі до інтенсивного обробітку ґрунту, поле треба обробляти якомога рідше. Пропонований обробіток ґрунту регенеративного землеробства – неглибоке лущення сидератів і розпушування ґрунту – залишає природне розшарування ґрунту до кількох сантиметрів на поверхні. Зокрема, використання рослинних ферментів у цих операціях призводить до швидкого збільшення живої, стійкої до дощу ґрунтової структури через біологічну активність ґрунтових грибів.

Мікоризні види є важливою групою ґрунтових грибів. Вони тісно пов'язані із життям коріння рослин, які живляться цими мікоризними грибами і яким мікориза постачає воду та поживні речовини. Цей симбіоз ефективно збільшує поверхню коренів, оскільки гіфи мікоризних грибів мають менший діаметр, ніж коріння волосся, і можуть відкривати пори ґрунту, недоступні для рослин.

Багато сільськогосподарських культур не живуть у симбіозі з мікоризними видами грибів на своїх коренях. Тому для покращення структури ґрунту важливо вирощувати проміжні культури, що містять трави, оскільки трави є чудовими мікоризними культурами. У ріпаку, який також не є мікоризним, теж можна здійснити підсів травами, що значно покращує мікоризну діяльність.

В овочівництві вирощують переважно безмікоризні види. Тут ви можете працювати із проміжними культурами між наборами або з підсівом, щоб у посівах капусти чи гарбузів також утворювалася мікориза й вироблявся гломалін. Вирощування овочів уважається шкідливим для ґрунту, але це не обов'язково так. Ви можете запобігти цьому використанням різноманітності рослин у немікоризних культурах.

Актиноміцети є ниткоподібними бактеріями, що означає, що вони можуть утворювати структури, схожі на гіфи грибів, які мають ознаки царства бактерій і грибів, і є групою проміжних. Вони стають активними лише за визначення кворуму: якщо їх занадто мало, вони не працюють; якщо їх більше через вирощування трави, ця колонія, що залишилася у ґрунті, знову розмножується і швидко стає активною. Окремі види можуть жити факультативно анаеробно, чого не може більшість грибів. Вони можуть розщеплювати вуглеводи, які важко розщеплювати, наприклад целюлозу та лігнін, чого не можуть зробити багато бактерій. Оскільки деякі з їхніх видів мають ознаки царства бактерій, вони можуть метаболізувати цукор шляхом бродіння та утворювати у ґрунті органічні кислоти. Слабокисле середовище, як і щодо ґрунтових грибів, тут також має сприятливу дію. Інші родини нитчастих бактерій, особливо Streptomyces, виділяють різноманітні вторинні речовини, як-от гриби: антибіотики (стрептоміцин, хлорфенікол, тетрацикліни), геосмін і леткі органічні сполуки (далі – ЛОС).

Актиноміцети виробляють мікотіол, що містить сірку. Він діє як антиоксидант амінокислоти цистеїну. Цистеїн використовується для утворення ферментів для енергетичного обміну, наприклад для синтезу жиру в рослинах. Таким чином актиноміцети із приємним запахом можуть підвищити якість рослин і плодів, що відображається у високому вмісті олії або утворенні помітно блискучого воскового шару на листках і плодах. Це свідчить про важливість удобрення сіркою для розвитку високої якості врожаю та здоров'я рослин.

Актиноміцети є важливим чинником утворення вітамінів у ґрунті. Наприклад, життєво важливий вітамін B12, який контролює утворення повних, високоскладних білків із мінеральних форм азоту. Ваші зібрані продукти можуть містити цей та інші вітаміни лише в тому випадку, якщо ви забезпечуєте безперервний розвиток актиноміцетів.

Оскільки актиноміцети завдяки своїм властивостям відіграють важливу роль в утворенні поживного гумусу, важливо сприяти їхньому розмноженню у ґрунті. Це досягається вирощуванням багатих цукром трав у суміші та трав'яних сумішок проміжних культур, що сприяє здоров'ю рослин, знижує проростання бур'янів і стабілізує врожайність.

Ґрунтові тварини – вивільнювачі поживних речовин ґрунтової харчової мережі.

Дощові черв'яки бідні видами порівняно з мікрофлорою і фауною ґрунту. Дощових черв'яків, які глибоко зариваються, як-от *Lumbricus terrestris*, можна розпізнати за їхнім плоским кінцем, «бобровим хвостом». Вони віддають перевагу біоплівкам на ущільнених ґрунтах, особливо в разі пасивного ущільнення – це майже індикатори. Якщо Lumbricus terrestris дуже багато на вашому полі, вам варто розібратися у причинах ущільнення ґрунту, які намагаються виправити дощові черв'яки, що глибоко копають.

Є види дощових черв'яків, які риють неглибокі тунелі. Вони швидші у зміні поколінь. Вони живуть у горизонтальних, дещо менших трубочках, не виходять на поверхню землі й не утворюють там купи посліду. Вони розмножуються тоді, коли популяція бактерій у ґрунті збільшується, тому що вони віддають перевагу пожирачам бактерій, найпростішим.

Дощові черв'яки забезпечують захищене середовище існування для молочнокислої фази метаболізму ґрунту, початку утворення гумусової речовини. Тому екскременти дощових черв'яків мають високий уміст поживних і гумінових речовин. Регенераційні заходи, серед інших ефектів, відновлюють цю молочнокислу фазу в метаболізмі ґрунту. Якщо відродження ґрунту збільшується завдяки вашим регенеративним заходам, а ферментативний метаболізм ґрунту стає все більш можливим без дощових черв'яків, тоді популяція дощових черв'яків стабілізується [11].

Окрім дощових черв'яків, ґрунт населяють також мікрофауна й інші ґрунтові тварини. Особливо виділяються дві групи: найпростіші та нематоди.

Найпростіші є одноклітинними та багатоклітинними тваринами мікрофауни. Наприклад, джгутикові, інфузорії та амеби. Втрати поживних речовин зменшуються, оскільки найпростіші мають співвідношення C:N приблизно 10:1, тобто їхня біомаса містить удвічі більше вуглецю, ніж бактеріальна флора. Вони забезпечують баланс між видами бактерій. Вони створюють трохи більші пори у ґрунті, ніж бактерії, щоб дістатися до своєї їжі, бактерій.

Якщо ґрунт мікробіологічно збіднений, наприклад, не вистачає поживних речовин, активність розкладання найпростіших призводить до виділення азоту. Отже, добре відомий сплеск мінералізації у травні є наслідком відсутності ґрунтових грибів у цю пору року; подібні наслідки з тієї ж причини спостерігаються в середині серпня та в середині вересня.

Бактерії є їжею для найпростіших, тому вам потрібні види рослин, що сприяють розвитку бактерій, як підсів або супутні культури на ваших посівах. Комбінація бобових і хрестоцвітих рослин або багатовидовий підсів особливо сприяє росту бактерій у ґрунтовому житті.

Інсектициди, імовірно, також обмежують активність найпростіших, тим самим зменшують виділення поживних речовин. Ви можете зменшити сприйнятливість культури до нападу комах і зменшити потребу в інсектицидах, сприяючи розвитку ґрунтового життя. Це також приводить до кращої ефективності поживних речовин.

Нематоди. Зазвичай їх сприймають як шкідників. Однак, як і гриби, лише деякі види нематод шкідливі для рослин. Вони атакують сільськогосподарські культури щоразу, коли різноманітність видів нематод значно зменшується.

Нематоди всеїдні, харчуються бактеріями, грибами, найпростішими, а також іншими видами нематод. Водночас вони вивільняють поживні речовини, зв'язані в них через метаболізм. Оскільки співвідношення C:N у їхній біомасі також вище, ніж у бактерій, приблизно 8–12:1, вони також є чинником зменшення втрат поживних речовин від метаболізму ґрунту. Якщо замало доступної їжі через те, що мікробна колонізація збідніла на полях, які тривалий час були оголеними, це також зменшує різноманітність нематод. Тому й у цьому разі вирощування вічнозелених рослин є важливим заходом для зменшення нематод, які завдають шкоди культурам.

Пошкодження нематодами є наслідком занадто малої кількості нематод у ґрунті. Ви можете заздалегідь виявити загрозливе пошкодження нематодами за високим або таким, що збільшується, рівнем нітратів у ґрунті.

Нематод настільки багато, що вони можуть бути найбільшим джерелом тваринного білка у ґрунті, набагато більше, ніж великих ґрунтових тварин. Отже, вони роблять значний внесок у постачання поживними речовинами завдяки метаболізму ґрунту.

18.4. Вплив живлення на стан рослин

Джон Кемпф розробив діаграму (рис. 18.4), щоб описати те, як ґрунти та рослини переходять до повної стійкості до шкідників і хвороб, коли вони досягають вищого рівня здоров'я.



Рисунок 18.4 – Піраміда здоров'я рослин за Джоном Кемпфом, 2018 р.

Джерело: [1]

Оптимальне живлення забезпечує розширені функції рослин. З переходом ґрунтів і сільськогосподарських культур на регенеративне землеробство вони проходять фази постійного покращення здоров'я. Прогрес у напрямі покращення здоров'я відновлює природні та біологічні можливості системи рослин і ґрунту. Під час цього процесу рослини виробляють підвищений імунітет до ґрунтових і повітряних патогенів, покращують стійкість до комах, покращують виробництво ліпідів, що забезпечує зміцнення клітинних мембран для смачніших фруктів із кращим терміном зберігання та багато іншого.

Перший і другий етапи здоров'я рослин є лише функцією цілісності живлення, їх неважко досягти на більшості культур і більшості ґрунтів, доповнених позакореневим унесенням трав'яних добавок. Для більшості культур ви зазвичай можете очікувати першого та другого рівнів у перші 3–4 місяці.

Рівнів 3 і 4 не так легко досягти, як перші два рівні. Щоб перейти до стадії 3, важливо, щоб у нас була здорова, енергійна «травна система ґрунту», яка може

задовольнити більшу частину харчових потреб рослин. Без цих мікробних процесів рослини не мають надлишку енергії, необхідної для виробництва високої кількості ліпідів, що забезпечують виробництво та зберігання енергії.

На перших двох рівнях піраміди здоров'я рослин відбуваються зміни в метаболізмі рослин. Третій і четвертий етапи виходять за рамки цього і включають додаткові зміни клітин, які роблять рослини стійкими до патогенів і оптимізують якість врожаю. Останні два етапи в сільському господарстві можуть бути досягнуті лише за допомогою регенеративного землеробства.

Рівень 1: повний фотосинтез

Спочатку утворюються прості цукри, як-от фруктоза, сахароза та декстроза, пізніше розвиваються більш складні вуглеводи, як-от целюлоза, лігнін, пектини і крохмаль.

Це робить рослини більш здоровими та знижує їхню сприйнятливість до ґрунтових грибів, наприклад, Verucillium, Fusarium, Rhizoctonia, Phytium, Phyto-phtora та інших.

Щоб досягти цієї стадії здоров'я, вашим посівам потрібна хороша доступність Mg, Fe, Mn, N і P від метаболізму ґрунту.

Регенераційні заходи:

1. Віталізація компостним чаєм, особливо на ранніх фазах росту під час стресу.
2. Короткі вегетаційні перерви між посівами та вирощуванням сидератів.
3. Обробіток ґрунту та розпушування ґрунту з унесенням ферментації.
4. Сидерат і поверхневе гниття.
5. Як спостерігати, чи ваші культури досягають повного фотосинтезу:

— висока схожість: 85–95 %;
— біла коренева шийка або біла основа стебла;
— велике прикріплення ґрунту до коренів.

Рівень 2: повний синтез білка

Рослина починає перетворювати всі розчинні сполуки азоту на амінокислоти та повноцінні білки, поглинений рослиною азот цілком перетворюється на білки у 24-годинному фотоциклі. У результаті протягом доби в соку рослини не залишається нітратів і амонію. Рівень енергії (який можна виміряти за допомогою провідності) зростає, і рослини роблять більшу кількість цукру доступною для спільноти мікробів у ризосфері через коріння. Ґрунтові мікроби стимулюються мінералізувати мінерали та мікроелементи та зробити їх доступними для рослин.

Рослини використовують ці мінерали як коферменти для повноцінного утворення білка. Зменшується вміст розчинних амінокислот, рослини несприйнятливі до комах із простою системою травлення, особливо до личинок молі (наприклад, гусениці сов, гусениці кукурудзяного метелика) і сисних комах (попелиці, листососів, білокрилки та трипси).

Рослинам потрібно вдосталь Mg, S, Mo та B, щоб досягти такого рівня здоров'я. Бор не бере безпосередньої участі в синтезі білка, але сприяє додатковій стійкості до шкідників.

Регенераційні заходи:

1. Позакореневе підживлення, також застосовуйте мікроелементи як удобрення ґрунту у проміжних культурах.
2. Забезпечте наявність вапна та сірки.
3. Підживлення кремнієм в органічній і мінеральній формі (особливо в разі появи волосистих бур'янів).

Як ви можете спостерігати, чи ваші культури досягають повного синтезу білка:

— уміст цукрів у листі й основі стебла зростає і є низьким уранці;
— зменшується рівень нітратів у соку листя та ґрунті;
— посилюється кущіння зернових культур, більш щільний ріст широколистяних культур;
— у фазі росту й дозрівання посіви вирівнюються;
— зменшується агресивний ріст бур'янів;
— на поверхні ґрунту більше не видно зеленуватої плівки водоростей.

3 рівень: підвищений синтез ліпідів

З підвищенням ефективності фотосинтезу рослини виробляють надлишок енергії, необхідної для росту та розвитку. Спочатку цей надлишок енергії передається кореневій системі у формі цукрів (до 70 % утворення асиміляту). Пізніше культура починає накопичувати цю надлишкову енергію у формі ліпідів (рослинних жирів) як у вегетативних, так і в репродуктивних тканинах.

З підвищенням рівня жиру клітинні мембрани стають міцнішими, епідерміс усе більше покривається воском, отже, рослина стає більш стійкою до повітряних спор грибків, як-от пероноспороз, борошниста роса, фітофтороз та іржа. Але опіків і бактеріальних плям також стає менше.

Щоб досягти цього, рослинам потрібен дуже різноманітний і активний рослинний мікробіом і функціонуючий метаболізм з мікробною спільнотою в ризосфері. Потім вони поглинають більшу частину поживних речовин у формі мікробних метаболітів. Високе біорозмаїття є необхідною умовою для цієї стадії здоров'я рослин, інакше їм не вистачатиме енергії, необхідної для виробництва ліпідів.

Регенераційні заходи:

1. Забезпечення вегетативного розмаїття шляхом підсіву, ущільненого посіву та змішаного посіву.
2. Високе масоутворення сидератів, багаторазове поверхневе гниття, удобрення твердими заквасками.
3. Позакореневе оброблення компостним чаєм і мінеральними добавками з додаванням рослинних екстрактів.

Спостереження, які можуть допомогти вам визначити, наскільки добре ваші культури зберігають надлишок енергії в ліпідах:

1. Посилюється блиск листя.
2. Збільшується провідність соку листя та ґрунту.
3. Сильне вкорінення.
4. Загальне зменшення зараження бур'янами. Зникають бур'яни.
5. Якість зібраного врожаю досягає високого рівня без особливих заходів.

Рівень 4: підвищений синтез вторинних інгредієнтів рослини

Вищі показники жиру використовуються рослиною для утворення вторинних рослинних інгредієнтів або ефірних олій для захисту від паразитів або УФ-випромінювання. Багато із цих сполук мають антибіотичні властивості та пригнічують травну систему шкідників. Вивільнення антимікробних рослинних інгредієнтів активується мікробами, які проникають у рослину. У цих місцях рослина виробляє фітоалексини (антимікробні вторинні метаболіти) як захисну реакцію, які є дуже ефективними. Рослинам потрібні відповідні мікроби в рослинному мікробіомі для імунної відповіді й досягнення цієї стадії здоров'я.

Коли культури досягають цього рівня продуктивності, вони стають несприйнятливими до нападів комах із краще розвиненою системою травлення. Тоді рослини розвивають підвищену стійкість до всіх родин комах (зокрема, японських жуків, кукурудзяних черв'яків, кабачкових жуків, колорадських жуків, огіркових жуків), клопів (наприклад, коричневих мармурових клопів), нематод (як-от нематоди кореневої гнилі) та вірусів. Стресостійкість дуже висока. Посіви досить добре переносять погодні умови.

Регенераційні заходи:

1. Постійне та послідовне впровадження регенеративної системи вирощування.
2. Обприскування кремнеземом або коноплею, позакореневе підживлення гуміновою кислотою.
3. Підтримання відновного, ферментативного метаболізму ґрунту.
4. Багатий різновидами сидерат між культурами, багатий на види ущільнений посів.

Спостереження:

— найвища якість урожаю з високою врожайністю. Рівномірність збору врожаю, висока маса зерна;

— висока схожість, низька зараженість;

— зменшуються втрати та псування;

— рослини мають запах.

Завдання та питання для самостійної роботи

1. *Які основні аспекти живлення в біологічному відновлювальному землеробстві?*
2. *Яким чином зменшується залежність живлення від унесення добрив у біологічному відновлювальному землеробстві?*
3. *Як впливають макро- та мікроелементи на вивільнення азоту у ґрунті?*
4. *Які особливості застосування органічних добрив у біологічному відновлювльному землеробстві?*
5. *Яку роль відіграє ґрунт у живленні рослин?*
6. *Які переваги удобрення зеленого добрива перед традиційним органічним та мінеральним туковим?*

7. *Які дієві шляхи поглинання поживних речовин рослинами в біологічному відновлювальному землеробстві?*
8. *Як відбувається кореневе хелатоутворення мікроелементів?*
9. *Що являє собою мережа живлення ґрунту?*
10. *Які основні етапи живлення в біологічному відновлювальному землеробстві?*
11. *Що відносять до мікробних життєвих функцій ґрунту?*
12. *Який склад ґрунтових організмів, що задіяні в живленні рослин, за ведення біологічного відновлювального землеробства?*
13. *Які функції виконують метаболічні групи бактерій у ґрунті?*
14. *Яка роль ґрунтових грибів у живленні рослин за ведення біологічного відновлювального землеробства?*
15. *Яка роль актиноміцетів у живленні рослин за ведення біологічного відновлювального землеробства?*
16. *Яка роль дощових червяків у живленні рослин за ведення біологічного відновлювального землеробства?*
17. *Яка роль нематод у живленні рослин за ведення біологічного відновлювального землеробства?*
18. *Як живлення впливає на стан рослин?*
19. *Розкрийте сутність 4 рівнів піраміди здоров'я рослин за Джоном Кемпфом.*

Перелік джерел до розділу 18

1. Näser D. Regenerative Landwirtschaft. Dietmar Näser. 2., erweiterte Auflage 2021. 200 S., 110 Farbfotos, 15 farbige Zeichnungen, 25 Tabellen, kart.
2. Біологічне землеробство : практичний посібник. URL: https://www.nuffieldscholar.org/sites/default/files/reports/2007_AU_Dr-Catherine-Harvey_Biological-Farming-A-Practical-Guide.pdf
3. Сидерати в сучасному землеробстві : науково-виробниче видання : монографія / І. А. Шувар та ін. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2018. 156 с.
4. Бобові – паливо для органічного землеробства: шанси, проблеми та сівозміни. URL: https://ukraine.fibl.org/fileadmin/documents-ukraine/ExperiencesTrefflerStriegel_LudwigAsam.pdf
5. Goulding K., Stockdale E., Watson C. Plant Nutrients in Organic Farming. Organic Crop Production – Ambitions and Limitations / H. Kirchmann, L. Bergström (eds.). Dordrecht : Springer, 2009. DOI: 10.1007/978-1-4020-9316-6_4
6. Управління поживними речовинами в органічному землеробстві. URL: https://extensionpubs.unl.edu/publication/g2295/na/html/view
7. Родючість ґрунту в системах органічного землеробства: набагато більше, ніж живлення рослин. URL: https://eorganic.org/node/787
8. Доступність поживних речовин в органічному сільському господарстві – забезпеченість рослин, джерела та регенерація. URL: https://www.researchgate.net/profile/Thomas-Kaetterer/publication/28610085_Nutrient_supply_in_organic_agriculture/

links/0fcfd50b33a1f67107000000/Nutrient-supply-in-organic-agriculture.pdf?origin=scientificContributions
9. Кругообіг поживних речовин на органічних фермах. URL: https://orgprints.org/id/eprint/8053/2/Goulding_Orgprints_8053.pdf
10. Добриво для регенеративного землеробства: чи використовується воно та чим воно відрізняється? URL: https://carnivoresnax.com/blogs/articles/regenerative-agriculture-fertilizer?srsltid=AfmBOorBlZvhho31x0Ev3nd_xQyVtm8JG-rlj3MSvyebuhGexE-oJauQ
11. Відновлювальне землеробство та утворення гумусу. URL: https://ch.timacagro.com/de/unkategorisiert/regenerative-landwirtschaft-und-humusaufbau

Розділ 19

СУЧАСНІ СВІТОВІ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

За сучасної інтеграції вітчизняної аграрної науки зі світовими інноваційними досягненнями і використання їхніх здобутків зростає частка високотехнологічного обладнання та відповідних методик, які апробуються в наших умовах. Збільшенню частки сортових ресурсів (сортів і гібридів) передувало їх випробування як на державних сортовипробувальних станціях, так і на демонстраційних полігонах місцевого та регіонального рівнів. Не секрет, що нині на ринку пестицидів домінують іноземні компанії [1]. Попереднє випробування їхньої ефективності відбувається за міжнародними стандартами [14–18].

Отже, нині в Україні наявна потреба в підготовці фахівців, які чітко розуміють основні підходи та володіють інструментами для вирішення наукових завдань європейського і світового рівнів.

19.1. Основні етапи підготовки та закладення дослідів із вивчення гербіцидів, фунгіцидів та інсектицидів

Передусім основні етапи підготовки та закладення дослідів передбачають: ознайомлення із протоколом досліду, зокрема з його об'єктами, рекомендованими розмірами ділянок, розміщенням варіантів і контрольними варіантами. Так, для проведення гербіцидних, фунгіцидних та інсектицидних дослідів мінімальний розмір ділянки має становити не менш ніж 15 м^2; форма ділянки має бути прямокутною зі співвідношенням сторін 1:2, 1:3 (типові розміри: 3×5, 3×7, 3×10 м). Повторність гербіцидних дослідів – триразова; фунгіцидних та інсектицидних – чотириразова. Для дослідів із протруйниками мінімальний розмір ділянки має становити не менше 15 м^2, форма ділянки прямокутна зі співвідношенням сторін 1:3, 1:6 (типові розміри: 1,5×10, 3×10 м). Повторність – чотириразова (у кожному з дослідів рекомендовано 2 види контролю). Перший вид – ділянки, безпосередньо віднесені до повторень, на кожні 10 варіантів досліду повинен припадати 1 контроль.

Другий вид – контрольні смуги – розміщуються суцільною смугою вздовж кожного повторення. Останній вид контролю дозволяє проводити об'єктивні обліки ефективності для кожного варіанта досліду. За допомогою картограми поширення шкідливих організмів визначити можливі локації закладання досвіду.

Необхідними є аналіз локацій щодо оптимізації логістики, організації траєлтурів і вибір оптимального варіанта [2].

Під час вибору місця необхідно враховувати такі вимоги: ділянка має розміщуватись на рівнинній місцевості, бути однотипною, з рівномірним розподілом та з достатнім для об'єктивної оцінки розвитком шкідливих об'єктів.

Відстань від найближчих насаджень дерев має становити дві висоти дерев (щоб уникнути впливу як кореневої системи насаджень, так і затінення). Ділянка має бути віддалена від найближчих доріг на відстань не менш ніж 15 м. На культурах суцільної сівби (міжряддя 7,5–30 см) варіанти розміщують впоперек напрямку посіву, на просапних культурах (45–70 см) – уздовж рядків.

Геометрія ділянки має бути організована таким чином, щоб забезпечити прохід техніки для суцільних технологічних обробок без шкоди для досліджуваних варіантів. Після визначення з місцем закладки досліду в натурі та його обстеження треба скласти схему рандомізованого розміщення варіантів досліду, визначитися з розміщенням як повторень, так і контролів [14].

Перед початком розбивки ділянки в натурі потрібно намітити прямий кут за правилом рівнобедреного трикутника або за допомогою спеціальних пристроїв – екера або теодоліта. Після закінчення розбивки ділянки та позначення її віхами зі спеціальними стрічками необхідно повідомити агроному / трактористу про закладення досліду, щоб уникнути несанкціонованого заїзду сільськогосподарської техніки під час виконання робіт.

Водночас доцільно отримати інформацію про сорт, технологію вирощування, історію поля, занести її до «Журналу обліку» [19–21].

Розмір ділянок має бути таким, щоб провести всі необхідні обліки. Форма ділянки для дрібноділянкових дослідів повинна бути прямокутною, довжина – перевищувати ширину 2 рівнобедреного трикутника у 10 разів. У дослідах із протруйниками варіанти розміщують за методом рандомізованого повторення або латинського квадрата. Мінімальний розмір ділянок:

— зернові й круп'яні культури: польові – 5–10 м^2, виробничі – 0,5 га;
— кукурудза: польові – 25 м^2, виробничі – 1,0 га;
— зернобобові: польові – 25 м^2, виробничі – 0,5 га.

Розбивку дослідного поля починають з виділення загального контуру й контурів повторень, а також захисних смуг шириною не менш ніж 5 м. Загальний контур і контур повторень визначають якомога точніше, похибка не повинна перевищувати 10 см на 100 м довжини. Після визначення загального контуру досліду його розбивають на повторності й ділянки за допомогою шнура та рулетки. Під час виконання польових робіт дуже важлива одночасність виконання операцій упродовж дня, розрив не повинен становити більш ніж 1 год. Необхідно ретельно дотримуватися методик проведення та високої якості виконання операцій, точно дозувати препарати, витрату робочої рідини, рівномірність її розподілу. Схема дослідів охоплює контроль, еталонний і дослідний варіанти. Якщо в досліді випробовують два і більше препаратів, що різняться за характером дії на цільові об'єкти, то для кожного з таких препаратів треба добирати аналогічний за дією еталон. Найдоцільніше дрібноділянкові досліди закладати в чотири-шестикратній повторності [2].

Наступним кроком є підготовка відповідної кількості польових маркерів із зазначенням номерів варіантів і повторень. Для рекогносціювання та вибору

місця для закладення досліду на вибраному полі необхідно брати польові маркери, трос для розмітки, віхи зі стрічками для позначення меж ділянок.

Обов'язкове дотримання однакових норм висіву насіння

Роблять наважки для кожного варіанта і засипають в окремі мішки, які етикетують. Мішки номерують за попередньо складеною схемою досліду. Установлюють сівалку на необхідну норму висіву. Перед заїздом на ділянку сівалку обережно прокручують для заповнення висівних апаратів. Зупинення агрегату під час сівби не можна допускати. У разі вимушеного зупинення сівалку відключають, відкочуються на 50–60 см і знову включають для продовження сівби. Сівбу починають із контрольних ділянок, які засівають необробленим насінням. Послідовно переходять до ділянок із більш високими нормами витрати препаратів. Якщо в досліді використовують препарати з різною токсичністю, починають із менш токсичних, а закінчують найбільш токсичними. Після завершення висівання насіння, обробленого одним із препаратів у всіх повтореннях, сівалку очищають від насіння над брезентом. Потім це насіння зважують і зменшений показник його маси заносять до журналу. Після завершення сівби ділянки оформляють за допомогою кілочків із номером варіанту й повторення.

Важливими показниками є параметри посіву, зокрема польова схожість. Обліки ***польової схожості*** проводять після повної схожості культури: на посівах дводольних культур – у фазі добре розвинених сім'ядоль, на злакових – у фазі двох-трьох листків.

Для обліків схожості й випаду ***зернових колосових*** культур беруть проби на ділянці 0,5 × 0,5 м у різних місцях ділянки на початковому етапі онтогенезу. Надалі зручніше проводити підрахунки на метровому відрізку двох спарених рядків.

На ***просапних культурах*** для зручності підраховують схожість на відрізку рядка, кратному довжині рядка на 1 га. Так, наприклад, схожість кукурудзи на ділянках підраховують на 4 відрізках довжиною 2,8 м, а на виробничих посівах на відрізках 14,3 м у 10 місцях поля за його діагоналлю [4].

Підрахувавши середню кількість рослин у пробі, перераховують ***густоту рослин на гектар*** за формулою:

$$X = (10\,000 \times a) / (P \times Ш \times Д),$$

де X – густота рослин, шт./га;
a – кількість рослин у пробі, шт.;
P – кількість рядків у пробі, шт.;
$Ш$ – ширина міжрядь, м;
$Д$ – довжина рядка проби, м.

На основі отриманої густоти рослин підраховують ***польову схожість насіння (Пс, %)***:

$$Пс = (100 \times C) / H,$$

де C – середня кількість сходів, шт./м рядка, або тис. шт./га;
H – середня кількість висіяних насінин, шт./м рядка, або тис. шт./га.

Обліки здійснюють двічі – у період повної схожості та за появи в рослин 5–6 листків. Перед збиранням урожаю ще раз визначають густоту стояння рослин.

Наступним етапом є розрахунок робочого розчину на кожну ділянку досліду (варіант). Знаючи фактичний розмір варіантів, проводять розрахунок потреби у препаратах за кожним варіантом досліду. Окрім того, визначають швидкість руху дослідника з обприскувачем, з урахуванням установленого типу форсунок та норми витрати бакової суміші.

Безпосередньо перед унесенням у лабораторних умовах, за допомогою передбачених засобів індивідуального захисту, під витяжною шафою проводять навішування продуктів. Попередньо продукти перевозять зі сховища у лотках з адсорбентом на спеціальній тачці.

Під час зважування всю тару нумерують згідно з варіантом досліду, після чого поміщають у спеціальний металевий бокс, призначений для транспортування. Після зважування всі продукти повертають до сховища на свої місця та здійснюють запис про використання препаратів у «Журналі руху пестицидів» [7].

Перевіряють справність і комплектність обприскувача, об'єм стисненого повітря в балонах. За необхідності проводять накачування балонів повітрям, з дотриманням правил роботи з компресорами та балонами високого тиску; калібрування обприскувача на задану норму робочого розчину чистою водою на спеціальному майданчику.

Внесення пестицидів краще планувати в ранковий або вечірній час за температури 18…24 °С, швидкості вітру – не більше за 5 м/с, вологості повітря – не нижче за 40 %. Варто врахувати також можливість опадів.

Зазвичай для більшості продуктів повинно пройти не менше 1 год з моменту внесення до можливих опадів (але попередньо необхідно перевірити цю інформацію щодо кожного з досліджуваних продуктів).

Після прибуття до місця закладки досліду потрібно робоче місце, де готуватимуть робочий розчин і заправку обприскувача, розмістити так, щоб уникнути впливу вітру й інших зовнішніх факторів, які можуть призвести до розливання робочого розчину або препаратів, забруднення навколишнього середовища тощо.

Перед початком унесення продуктів за допомогою анемометра фіксують та записують до «Журналу обліків» погодні дані (температура, швидкість вітру, вологість повітря), а також дані про розвиток і поширення культури, шкідливих організмів тощо.

Проводимо фотофіксацію стану культури та шкідливих об'єктів. Одягнувши всі необхідні засоби індивідуального захисту, збираємо та налаштовуємо обприскувач, закріплюємо на ньому план рандомізації та схему досліду.

Проводимо калібрування обприскувача в натурі. Для цього готуємо порцію чистої води, яка кількісно відповідає нормі робочого розчину з розрахунку на 1 варіант досліду, і вносимо її на варіанті контролю. Після калібрування проводимо внесення препаратів відповідно до схеми досліду.

Зазвичай процес внесення здійснюють 2 робітники: один виконує власне внесення, інший – підготовку робочого розчину. Під час заправляння

обприскувача обов'язково необхідно здійснювати додатковий контроль відповідності робочого розчину варіанту внесення. Вода для приготування робочого розчину для забезпечення гарної розчинності продуктів повинна мати температуру +18…25 °С.

Варто зазначити, що поки відбувається внесення пестицидів на полі, доцільно приготувати робочий розчин наступного варіанту, здійснити перемішування доти, поки не відбудеться повне розчинення препарату й утворення однорідної консистенції розчину, перемішування не припиняємо до повного заправляння обприскувача.

Якщо під час приготування робочого розчину утворюється осад або гуща, про це повідомляють співробітнику, який проводить внесення, і цей факт обов'язково фіксують у «Журналі обліків», а також проводять фото/відеофіксацію.

У разі розливання або потрапляння робочого розчину на робочу поверхню або ґрунт необхідно провести знезараження адсорбційним матеріалом, після чого останній зібрати у спеціальний контейнер. Після закінчення технічних робіт дослідник із захисту рослин переходить до офісного приміщення та заносить усі дані із «Журналу обліків» до електронної бази (Exell або Scout) чи іншої форми звітності. Після цього працюють з отриманими фотоматеріалами: здійснюють сортування, ідентифікацію тощо.

Особливості організації та проведення обліків на дослідах із вивчення гербіцидів, фунгіцидів та інсектицидів. Ознайомитись у протоколі з видами, кількістю та інтервалом проведення обліків. Підготувати під кожен облік електронні (у разі використання планшета) чи паперові (у разі використання журналу обліків) форми для заповнення даних. Після безпосередньої закладки досліду в робочому календарі позначити дату закладки досліду та спланувати всі передбачені протоколом обліки. У день проведення обліку перед виїздом на поле взяти із собою: питну воду; аптечку; анемометр; планшет з електронними формами обліку або журнал обліку з паперовими формами; кулькову ручку; мірну лінійку; фотоапарат; стенд для фотографування [10; 14].

Час обліків необхідно планувати таким чином, щоб уникнути інтенсивного сонячного світла, що ускладнить ідентифікацію симптомів прояву дії продуктів та їх фотофіксації. Із цією метою краще вибирати ранкові або вечірні години.

Облік необхідно виконувати у спеціальному одязі та рукавичках, уникаючи прямого контакту рослин зі шкірою дослідника із захисту рослин. У разі проведення обліку раніше ніж за 7 днів після внесення препаратів необхідно додатково забезпечити захист органів дихання (використовувати респіратори з фільтрами відповідного рівня захисту).

Перед виходом на ділянку необхідно фіксувати дату, час, метеорологічні дані та вносити їх до «Журналу обліку». Насамперед облік проводять на контролі, фіксують фазу розвитку культури, покриття площі культурою, видовий склад шкідливих організмів, фазу чи стадії їхнього розвитку, покриття та поширення шкідливих організмів.

Після цього виконують безпосередньо запланований вид обліків. Під час проведення обліку на оброблених варіантах постійно здійснюють порівняння з ділянками контрольної смуги, що розміщена поряд.

Наступним кроком є фотофіксація симптомів фітотоксичності чи ефективності дії продуктів [21].

Після повернення на базу дані обліків необхідно відразу занести у форму звітності та провести їх аналіз. У разі неточностей чи нелогічних зв'язків необхідно пізніше, наступного дня провести додаткові обліки за тими варіантами, де виникли сумніви чи неточності. Заповнивши звітну форму, необхідно перейти до перегляду, підписування та сортування фотоматеріалів. У разі виявлення неякісних фото треба пізніше, наступного дня перефотографувати вищезазначені варіанти.

Вивчення фітотоксичності гербіцидів для культури. Умови проведення обліків. Ділянки для дослідів повинні бути вибрані так, щоб мати різну за видовим складом, але однорідну за розміщенням популяцію (популяції) бур'яну, типову (ні) для окремої культури. Популяція (популяції) бур'яну має відповідати встановленому спектру дії випробуваного продукту.

Дослідні ділянки мають бути максимально вільними від бур'янів. Збурені бур'яни можуть бути видалені вручну або механічно. Інші гербіциди не варто використовувати.

Симптоми фітотоксичності можуть бути тимчасовими або тривалими проявами, виявлятися на окремих органах рослин (тільки листках, стеблах, суцвіттях, кореневій системі тощо) або по всій рослині. У разі появи перших симптомів обов'язково треба зазначити фазу розвитку культури, погодні умови на момент обліку, детальну симптоматику та зробити фотографії.

Експериментальні умови

Основні типи гербіцидних дослідів		
Селективність	**Ефективність**	**Наслідки (післядія)**

Рисунок 19.1 – Основні типи досліджень з гербіцидами

Фітотоксичність, як і ефективність, вимірюють у відсотках за шкалою від 0 (вплив на культуру відсутній) до 100 (повністю мертві рослини) порівняно з необробленою ділянкою (контролем). Спочатку фіксують загальну фітотоксичність – прояв на ділянці, потім – окремі симптоми на рослинах культури. Симптоми фітотоксичності: модифікації в циклі розвитку, зрідженість посіву, некротизація, модифікації у фарбуванні, деформація, зміна врожаю.

Облік модифікації в циклі розвитку, зрідженості посіву

Затримка появи: у днях або відносних відсотках появи чи зростання культурних рослин порівняно з необробленою ділянкою (контролем).

Вирідженість: у кількості рослин на ділянці, окремій площі або на одиницю довжини ряду, після появи всіх сходів.

Затримка або прискорення фаз росту: у днях досягнення окремої фази росту (50 % рослин) або у відсотках кількості рослин, що досягли визначеної фази росту ВВСН на цей день.

Пригнічення або стимуляція: за окремими органами (висота, довжина, діаметр тощо) в абсолютних або відносних числах.

Модифікації в забарвленні, некроз, деформація: визначається кількість рослин (або органів рослин), нетипових на ділянці (площі тощо), або використання шкали (наприклад, немає відхилень, невеликі, середні, сильні), або у відсотку пошкодженої площі поверхні, або щодо необробленої ділянки.

Умови випробування. Випробування продуктів ЗР повинно проводитись у захищених умовах поля, за винятком будь-якого пошкодження посіву, можливості внесення інших агрохімікатів.

Дослідну ділянку розміщують на такій відстані: 10 м від огорож, доріг; 10–15 м від краю поля; 40 м від лісопосадок і будівель; 100 м від великого лісового масиву, водних басейнів.

Не можна розміщувати дослідну ділянку на схилах. Ділянка, на якій будуть проводитися випробування, повинна бути однорідною за типом та механічним складом ґрунту, умістом гумусу, кислотністю, вирівняністю рельєфу.

Обов'язково потрібно записувати: попередню культуру; гербіциди, які використовують на ділянці до або після внесення випробуваного продукту.

Потрібно уникати ділянок, на яких застосовувалися гербіциди, що можуть мати ефект фітотоксичності для рослин культури, які досліджують; ґрунтові умови (уміст гумусу, рівень pH, тип ґрунту); особливості території (якщо такі є).

Схема досліду повинна відображати:

— контроль: на кожні 10 варіантів передбачено одну ділянку контролю;

— випробуваний продукт; еталонний (стандартний) продукт(и), з визначеними дозами та фазами внесення, розміщеними методом рандомізованих повторень. Можна використовувати окремо закладені ділянки, що покривають вогнища популяції бур'янів (для багаторічних бур'янів) (табл. 19.1, див. с. 486).

Внесення пестицидів. Тип обладнання. Застосування пестицидів має здійснюватися з використанням обладнання, яке забезпечить рівномірний розподіл препарату на всій ділянці або його точне цільове застосування відповідно до плану проведення (рис. 19.2).

Фактори, які можуть вплинути на ефективність та/або тривалість контролю бур'янів та/або фітотоксичності (зокрема, тиск, тип нагнітання, висота внесення (якщо не зазначено у протоколі досліду – унесення проводять на висоті 50 см від культури), повинні вибиратися відповідно до запланованого використання.

Дуже важливо підібрати правильний тип форсунок залежно від виду оброблення та забезпечити максимально рівномірне покриття цільового об'єкта. Кількість та дати оброблення повинні визначатися відповідно до запланованого використання випробуваних препаратів.

Для гербіцидів існують такі типи обробок:

— перед посівом (посадкою): передпосівне внесення (early pre-plant: epp), передпосівне внесення (pre-plant: ppi, ppsa);

— перед появою сходів: досходове (pre-emergence: pre);

— після появи сходів культури: раніше післясходові (erly post-emergence – erpost), післясходові (posn-emergence – post).

Для однорічних культур передусім час обробітків пов'язаний з появою рослин культури та бур'янів (для вивчення контролю бур'янів) і має бути: а) перед посівом або посадкою рослин культури (спільно або окремо); б) перед або після



Рисунок 19.2 – Обприскувач Штайге (Steige) для проведення досліджень (ННВК Сумського НАУ, 2024 р.)

Таблиця 19.1 – Розмір облікової ділянки та кількість повторень

Культура	**Мінімальний розмір облікової ділянки (без збирання врожаю), м²**	**Мінімальний розмір облікової ділянки (зі збиранням урожаю), м²**	**Мінімальна кількість повторень*, шт.**
Злакові зернові	10	12	4
Кукурудза	12 (4 ряди)	20	4
Соя, горох, квасоля	12	20	4
Цукровий і кормовий буряк	12	20	4
Соняшник	12 (4 ряди)	20	4
Озимий і ярий ріпак	12	20	4
Картопля	15 (4 гребні)	20	4
Капуста (для рослин, висіяних насінням)	5	Уся ділянка	4
Капуста (для рослин, висаджених розсадою)	10	20 рослин	4
Овочеві коренеплоди (для рослин, висіяних насінням)	5	Уся ділянка	4
Овочеві коренеплоди (для рослин, висаджених розсадою)	10	20 рослин	4
Плодові овочі	10	10	4
* – може бути зменшено до 3, якщо випробування повторено в достатній кількості ділянок, щоб дозволити аналіз як ряд.			

появи сходів культури та посадки рослин у ґрунт (спільно або роздільно), або у визначеній культурі (повсюди чи спрямовано).

Якщо дата застосування не буде визначена для наміченого використання, це залежатиме від мети випробування та активної речовини у випробуваному продукті. Той самий продукт може бути застосований одноразово або в послідовних застосуваннях.

Дози й обсяги. Зазвичай випробуваний продукт повинен застосовуватись у дозуванні, визначеному для наміченого використання, але може бути перевірений в інших дозах (Стандарт СТР ЕРРО 1/225 Мінімальна ефективна доза).

Для вивчення фітотоксичності принаймні повинна бути досліджена подвійна доза випробуваного продукту та його еталона (стандарту). Якщо для наміченого використання не зазначена кількість води, що використовується, і буде залежати від типу дії продукту, застосовуваного обладнання та/або місцевого досліду.

Дози, які застосовують, зазвичай виражаються так: у кілограмах (або літрах) підготовленого препарату на гектар. Також може бути корисним облік дози у грамах активної речовини на гектар.

Для аерозолів також необхідно зазначати дані щодо концентрації (%) та обсягу (L ha-1). Якщо препарат рекомендують для використання з ад'ювантом, то дози внесення препарату повинні передбачати використання ад'юванту відповідно до рекомендацій.

Під час застосування пестицидів потрібно обов'язково враховувати той факт, що перед початком обприскування на кожній окремій ділянці дослідникові потрібні час і додатковий обсяг робочого розчину для заповнення системи обприскувача та забезпечення рівномірної роботи форсунок. Тому під час розрахунків норми внесення препарату й об'єму води на кожен варіант додатково додаємо по 10 % до розрахункової кількості.

Принципи внесення пестицидів

Перед унесенням:

— визначте необхідну кількість навішування препарату для кожного варіанту досліду;

— визначте об'єм води для приготування робочого розчину – з розрахунку 200–500 л/га;

— переконайтесь, що всі форсунки розпорошують однаково та потік робочого розчину за одиницю часу постійний;

— починати внесення продукту необхідно лише за рівномірної роботи всіх форсунок;

— та сама людина повинна здійснювати внесення пестицидів у межах повторення або досліду.

Під час унесення:

— обов'язково перевіряйте роботу кожної форсунки перед кожним початком унесення;

— штанга обприскувача повинна утримуватися на постійній висоті протягом усього часу внесення;

— необхідно стежити та підтримувати постійну швидкість та тиск протягом усього процесу внесення;

— не рекомендується проводити внесення пестицидів, якщо вітер перевищує 3 м/с;

— не залишайте варіант досліду до спустошення бака й припинення роботи всіх форсунок.

Після внесення:

— уникайте ходіння по обприсканих ділянках, щоб зменшити ймовірність переміщення продуктів із варіанту на варіант та забруднення робочого одягу;

— ретельно очистіть обладнання після внесення пестицидів.

Дані про інші продукти захисту рослин

Якщо необхідно застосовувати інші препарати для захисту рослин (або агенти біорегулювання), це повинно здійснюватися однаково на всіх ділянках, окремо від тестових і порівняльних препаратів. Їхній можливий взаємний вплив має бути зведений до мінімуму. Будь-які взаємодії з іншими обробками мають бути зареєстровані.

Метеорологічні та ґрунтові дані

У дні до та після застосування препарату (протягом 7–10 днів до застосування та протягом 7–10 днів після застосування) та обов'язково в день проведення обприскування потрібно записувати метеорологічні дані:

— наявність та кількість атмосферних опадів (обов'язково наявність або відсутність опадів протягом 24 год до та після обприскування, якщо після обприскування випали опади, потрібно зазначати час після обприскування та до опадів, кількість і характер опадів);

— хмарність – інтенсивність хмарного покриву;

— швидкість та напрямок вітру (якщо швидкість вітру більше за 3–4 м/с або до 18 км/год, обприскування бажано не проводити);

— температура повітря (для ґрунтових препаратів – температура ґрунту) (середня, максимальна, мінімальна, у °С), для обприскування температура повітря має бути в межах 8…25 °С;

— вологість повітря: для дослідів із випробування гербіцидів вологість повітря на момент внесення препаратів повинна бути такою: коли температура повітря до 10 °С – вологість повітря – 13–75 %; 15 °С – 28–80 %; 20 °С – 37–83 %; 25 °С – 44–85 %. У звіті зазначають, чи вологі листки під час оброблення. Фіксують також будь-які суттєві зміни погоди, особливо тоді, коли проводять оброблення.

Протягом усього часу проведення досліджень також фіксують дані про екстремальні погодні умови, як-от сильні або тривалі посухи, рясні дощі, пізні заморозки, град тощо, які, найімовірніше, можуть вплинути на результати оцінювання ефективності. Усі дані щодо поливу також фіксують відповідним чином.

Популяція(ції) бур'яну(ів), розміщена на дослідній ділянці, може бути зафіксована в кількісному вираженні – шт./м^2, % проєктивного покриття, а також

у кг або г/га, м^2. Кількість бур'янів за видами можна враховувати за допомогою облікових рамок, або ж у відсотках покриття на дослідній ділянці.

Ефективність гербіцидів проти виду бур'яну враховують, якщо його кількість на контрольних ділянках на момент унесення більше ніж 5–15 шт./м^2 (оптимально – 40 шт.).

1. *Абсолютна оцінка.*

Для кожного виду бур'янів підраховують індивідуальні рослини або зважують масу рослин кожного виду. Оцінювання має проводитися на цілих ділянках або випадково відібраних, відмічених квадратах у кожній ділянці.

2. *Візуальна оцінка.*

На кожній ділянці (варіанті) порівняно з контрольною (необробленою) ділянкою або смугою оцінюється популяція (популяції) окремого (умовного) бур'яну. Оцінювання передбачає загальне оцінювання повної популяції (популяцій) бур'янів та/або окремих різновидів бур'янів, об'єднаних в одне число покриття, висоти та маси бур'янів (тобто фактично обсяг бур'янів).

Результат може бути виражений як відсоток (тобто в лінійному масштабі, 0 % – жодного впливу на бур'ян, 100 % – повний контроль бур'янів). Незалежно від методу оцінки виявлені ознаки пошкодження бур'янами необхідно точно описати (зупинення росту, хлороз, деформація тощо).

Таблиця 19.2 – Шкала оцінювання засміченості за ступенем покриття площі бур'янами

Бал	Покриття площі бур'янами (%)	Ступінь засміченості	Приблизна кількість бур'янів на 1 м^2, шт.
0	—	Бур'янів немає	0
1	До 10	Дуже слабка	До 5
2	11–25	Слабка	6–15
3	26–35	Середня	16–50
4	36–50	Сильна	51–100
5	51–75	Дуже сильна	Понад 100

Тип, час і частота оцінювання. У польових умовах найчастіше застосовують метод «суб'єктивної оцінки» ефективності застосування засобів захисту рослин за принципом «відчуття різниці» між обробленими та необробленими ділянками, що виражається у відсотковому співвідношенні. Цей метод здебільшого застосовують для гербіцидних дослідів, але, на жаль, він не дає правильної картини в разі врахування ефективності інсектицидних і фунгіцидних дослідів, де часто оперують кількісними показниками.

Ефективність застосування інсектицидів і фунгіцидів рекомендовано визначати з використанням 2 методів:

а) в умовах гомогенності (збереження однорідності вихідних даних на контролі на час обробки та згодом на момент обліку) – за формулою "Abbott":

$$\% \text{ ефективності} = ((Ca - Ta)/Ca) \times 100,$$

де Ca – ступінь інфікування під час контролю на момент обліку;
Ta – ступінь інфікування на варіанті на момент обліку;

б) в умовах гетерогенності (зміна вихідних даних на контролі на час обробки та згодом на момент обліку) – за формулою Хендерсона – Тілта:

$$\% \text{ ефективності} = (1 - (Та - Са) / (Сб - Тб)) \times 100,$$

де *Са* – ступінь інфікування під час контролю на момент обліку;
Та – ступінь інфікування на варіанті на момент обліку;
Сб – ступінь інфікування на контролі перед обробкою;
Тб – ступінь інфікування на варіанті перед обробкою.

Параметри застосування та обліків
на основних сільськогосподарських культурах

Озимі зернові злаки

Застосування до посіву та до сходів

1-ша оцінка (фітотоксичність і ефективність): після формування 1-го листка (ВВСН 11–12) – особливу увагу варто звертати на затримку появи листка (колеоптиля) та його витончення.

2-га оцінка (фітотоксичність та ефективність): протягом проростання (ВВСН 21–23 фази культури).

3-тя оцінка (фітотоксичність та ефективність): фаза культури ВВСН 30–31.

4-та оцінка (тільки контроль бур'янів): коли проросла більшість бур'янів (переважно у фазі ВВСН 37–39).

Післясходове застосування: осіння обробка

Попереднє оцінювання популяції (популяцій) бур'янів: на момент обробки.

1-ша оцінка (фітотоксичність): за 7 днів після обробки.

2-га оцінка (фітотоксичність та ефективність): 10–14 днів після обробки.

3-тя оцінка (фітотоксичність та ефективність): протягом проростання (фаза культури ВВСН 21–23).

4-та оцінка (фітотоксичність та ефективність): фаза культури ВВСН 30–31.

5-та оцінка (тільки контроль бур'янів): навесні, коли проросла більшість бур'янів (переважно у фазі ВВСН 37–39).

Післясходове застосування: весняна обробка

Попереднє оцінювання популяції (популяцій) бур'янів: на момент обробки.

1-ша оцінка (фітотоксичність та ефективність): за 10–14 днів після обробки.

2-га оцінка (фітотоксичність та ефективність): за 21–28 днів після обробки.

3-тя оцінка (фітотоксичність та ефективність): на період появи прапорцевого листка, коли проросла більшість бур'янів (ВВСН 37–39).

4-та додаткова оцінка (тільки контроль бур'янів): незадовго до збирання врожаю.

Ярі зернові злаки

Застосування до посіву або досходове

1-ша оцінка (фітотоксичність та ефективність): після формування 1-го листка (ВВСН 11–12) – особливу увагу варто звертати на затримку появи листка (колеоптиля) та його витончення.

2-га оцінка (фітотоксичність та ефективність): протягом проростання (фаза культури ВВСН 21–23).

3-тя оцінка (фітотоксичність та ефективність): фаза культури ВВСН 30–31.

4-та оцінка (тільки контроль бур'янів): коли проросла більшість бур'янів (переважно у фазі ВВСН 37–39).

Час та частота проведення обліків на кукурудзі

Післясходове застосування

Попереднє оцінювання популяції (популяцій) бур'янів: на момент обробки.

1-ша оцінка (фітотоксичність та ефективність): за 10–14 днів після обробки.

2-га оцінка (фітотоксичність та ефективність): за 21–28 днів після обробки.

3-тя оцінка (фітотоксичність та ефективність): на період появи прапорцевого листка, коли проросла більшість бур'янів (ВВСН 37–39).

4-та додаткова оцінка (тільки контроль бур'янів): незадовго до збирання врожаю.

Застосування до сівби або до сходів

1-ша оцінка (фітотоксичність та ефективність): після формування першого листка культури (ВВСН 11–12), особливу увагу варто звертати на затримку появи листка, його витончення.

2-га оцінка (фітотоксичність та ефективність): за 25–30 днів після обробки.

3-тя оцінка (фітотоксичність та ефективність): у фазі виходу волоті (ВВСН 51–59).

4-та додаткова оцінка (тільки контроль бур'янів): незадовго до збирання врожаю.

Післясходове застосування

Попереднє оцінювання популяції (популяцій) бур'янів: на момент обробки.

1-ша оцінка (фітотоксичність та ефективність): за 10–14 днів після обробки.

2-га оцінка (фітотоксичність та ефективність): за 20–25 днів після обробки.

3-тя оцінка (фітотоксичність та ефективність): у фазі виходу волоті (ВВСН 51–59).

4-та додаткова оцінка (тільки контроль бур'янів): незадовго до збирання врожаю.

Час і частота проведення обліків на бобових (соя, горох, квасоля)

Застосування до посіву або досходове

1-ша оцінка (фітотоксичність та ефективність): після формування першої пари справжніх листків культури (ВВСН 12), особливу увагу варто звертати на затримку появи сходів. Друга оцінка (фітотоксичність та ефективність): за 25–30 днів після обробки.

3-тя оцінка (фітотоксичність та ефективність): у період цвітіння (ВВСН 61–69).

4-та додаткова оцінка (тільки контроль бур'янів): перед збиранням урожаю.

Післясходове застосування

Попереднє оцінювання популяції (популяцій) бур'янів: на момент обробки.

1-ша оцінка (фітотоксичність та ефективність): за 10–14 днів після обробки.

2-га оцінка (фітотоксичність та ефективність): за 21–28 днів після обробки.

3-тя оцінка (фітотоксичність та ефективність): у період цвітіння (ВВСН 61–69).

4-та додаткова оцінка (тільки контроль бур'янів): перед збиранням урожаю.

Час і частота проведення обліків на соняшнику

1-ша оцінка (фітотоксичність та ефективність): після формування першої пари справжніх листків культури (ВВСН 11–12), особливу увагу варто звертати на затримку появи листя, їх витончення.

2-га оцінка (фітотоксичність та ефективність): за 25–30 днів після обробки.

3-тя оцінка (фітотоксичність та ефективність): у період цвітіння (ВВСН 61–69).

4-та додаткова оцінка (тільки контроль бур'янів): незадовго до збирання врожаю.

Післясходове застосування

Попереднє оцінювання популяції (популяцій) бур'янів: на момент обробки.

1-ша оцінка (фітотоксичність та ефективність): за 10–14 днів після обробки.

2-га оцінка (фітотоксичність та ефективність): за 21–28 днів після обробки.

3-тя оцінка (фітотоксичність та ефективність): у період цвітіння (ВВСН 61–69).

4-та додаткова оцінка (тільки контроль бур'янів): незадовго до збирання врожаю.

Час і частота проведення обліків на озимому ріпаку

1-ша оцінка (фітотоксичність та ефективність): після формування першого справжнього листя культури (ВВСН 11–12), особливу увагу варто звертати на затримку появи листя, його витончення.

Друга оцінка (фітотоксичність та ефективність): наприкінці вегетації восени або на початку відновлення вегетації навесні.

3-тя оцінка (фітотоксичність та ефективність): у період цвітіння (ВВСН 61–69).

4-та додаткова оцінка (тільки контроль бур'янів): перед збиранням урожаю.

Післясходове застосування: осіння обробка

Попереднє оцінювання популяції (популяцій) бур'янів: на момент обробки.

1-ша оцінка (фітотоксичність та ефективність): за 10–14 днів після обробки.

Друга оцінка (фітотоксичність та ефективність): наприкінці вегетації восени або на початку відновлення вегетації навесні.

3-тя оцінка (фітотоксичність та ефективність): у період цвітіння (ВВСН 61–69).

4-та додаткова оцінка (тільки контроль бур'янів): перед збиранням урожаю.

Післясходове застосування: весняна обробка

Попереднє оцінювання популяції (популяцій) бур'янів: на момент обробки.

1-ша оцінка (фітотоксичність та ефективність): за 10–14 днів після обробки.

2-га оцінка (фітотоксичність та ефективність): за 21–28 днів після обробки.

3-тя оцінка (фітотоксичність та ефективність): у період цвітіння (ВВСН 61–69).

4-та додаткова оцінка (тільки контроль бур'янів): перед збиранням урожаю.

Час і частота проведення обліків на ярому ріпаку, гірчиці

1-ша оцінка (фітотоксичність та ефективність): після формування першого справжнього листя культури (ВВСН 11–12), особливу увагу варто звертати на затримку появи листя, його витончення.

2-га оцінка (фітотоксичність та ефективність): за 25–30 днів після обробки.

3-тя оцінка (фітотоксичність та ефективність): у період цвітіння (ВВСН 61–69).

4-та додаткова оцінка (тільки контроль бур'янів): незадовго до збирання врожаю.

Післясходове застосування

Попереднє оцінювання популяції (популяцій) бур'янів: на момент обробки.

1-ша оцінка (фітотоксичність та ефективність): за 10–14 днів після обробки.

2-га оцінка (фітотоксичність та ефективність): за 21–28 днів після обробки.

3-тя оцінка (фітотоксичність та ефективність): у період цвітіння (ВВСН 61–69).

4-та додаткова оцінка (тільки контроль бур'янів): незадовго до збирання врожаю.

Кількісний і якісний облік урожайності. Для випробування селективності препаратів необхідно зібрати врожай, але це є доповненням у випробуванні контролю бур'янів (якщо в цьому є зацікавленість). Зазвичай це передбачає врожайність зерна в кілограмах, центнерах або тоннах на 1 га за стандартної вологості (національний стандарт).

Водночас залежно від культури можуть досліджуватися такі показники, як маса 1000 насінин; вага зерна в 1 гектолітрі; уміст білка, олії, цукру, крохмалю, сухої речовини; якості плодів та інше.

Урожай з ділянок одного досліду збирають в один день, однаковим способом чи однією збиральною машиною.

Втрати врожаю недопустимі, оскільки вони можуть вносити похибки в результати досліду. Урожай з кожної ділянки збирають і обліковують окремо. Зерно треба цілком очищати від полови та рослинних залишків бур'янів. Одночасно зі зважуванням урожаю треба відбирати проби для визначення його якісних показників.

У разі різкої строкатості стану рослин на одній повторності досвіду порівняно з іншими через екстремальні умови ділянки вибраковують. Якщо помітні відхилення спостерігаються у двох повторностях із чотирьох, а у виробничих дослідах – в одному із трьох, то вибраковують увесь варіант.

Збирання комбайном та облік урожаю. Ділянки повинні бути видовженої форми й такої ширини, що дає змогу проходити комбайну один або кілька разів на всю ширину захвату жниварки. Після збирання кожної ділянки комбайн зупиняють на 3–5 хв, не виключаючи молотильного апарата, щоб витрусити все зерно.

Із кожної ділянки зерно збирають у мішки, куди кладуть етикетки із зазначенням варіантів, номерів повторності та маси зерна.

Метод пробних ділянок. Точність досліду в разі визначення біологічного врожаю за методом пробних ділянок залежить від їхньої кількості, рівномірності розміщення на полі. За площі поля до 30 га рекомендують брати 200–300 проб, 30–100 га – 300–400 проб. Зібрані з поля снопи обмолочують разом, а потім визначають урожай.

Для культур суцільного висіву найпоширенішими пробними ділянками є 0,25 м^2 (50×50 см) – 1 м^2 (100×100 см). Для просапних культур можуть бути

10 м довжини рядка або 10 м^2. Проте більш зручними на просапних культурах є пробні ділянки (10 м^2), що містять два суміжні рядки, кратні 0,001 довжини рядка на 1 га поля.

На зернових колосових культурах проби беруть із відміряних ділянок і зважують разом із соломою на полі. Після цього із проби відбирають пробний сніп, який одразу зважують і вміщують у марлевий мішок для підсушування та обмолоту. Після підсушування пробні снопи обмолочують та зважують.

На основі даних про масу зерна та снопа до обмолоту визначають урожай зерна з ділянки. Урожай на 1 га розраховують за формулою:

$$У=(100\times б\times в)/(а\times П),$$

де $У$ – урожайність зерна, ц/га;
$а$ – маса пробних снопів одразу після збирання, кг;
$б$ – маса зерна із пробних снопів, кг;
$в$ – маса всього врожаю з ділянки разом із соломою, кг;
$П$ – площа пробної ділянки м^2.

Для уточнення особливостей дії протруйників визначають структуру врожаю (аналіз із 25 рослин), відібравши середню пробу зі снопового зразка.

Суттєве значення має вологість зерна. Відразу після обмолоту відбирають середню пробу та визначають її вологість. Величину врожаю з поправкою на стандартну вологість визначають за формулою:

$$У=(у\times(100-в))/(100-св),$$

де $У$ – урожай із поправкою на стандартну вологість, ц/га;
$у$ – урожай під час збирання, ц/га;
$в$ – вологість урожаю, %;
$св$ – стандартна вологість для окремої культури, %.

За Держстандартом із сортовипробування визначено такі величини стандартної вологості: соняшник, льон, гірчиця біла – 13 %, пшениця, ячмінь, жито, овес, гречка, рис, горох, кукурудза, соя – 14 %.

Кукурудза. Для визначення врожаю качанів і зерна у стані повітряної вологості відразу після їх зважування відбирають із загальної маси качанів проби по 10–15 кг і висушують до постійної маси. Після висушування качани зважують, зерно вилущують і зважують. Знаючи масу взятих для проби вологих і сухих качанів і масу повітряно-сухого зерна в них, визначають урожай із гектара.

19.2. Вегетаційні індекси: принципи побудови

Відомо, що спектр сонячного випромінювання, яке досягає землі, складається з ультрафіолетового (100–400 нм), видимого (380–760 нм) та інфрачервоного (понад 760 нм). Видимий спектр поділяється на фіолетове (380–440 нм), синє (440–495 нм), зелене (495–580 нм), жовте

(580–640 нм) та червоне (640–760 нм) світло. Інфрачервона область (ІЧ) теж ділиться на близьку (760–2500 нм), середню (2500–25 000 нм) і далеку (25 000–500 000 нм).

Потік сонячної радіації, що надходить в оболонку землі після проходження через атмосферу, розподіляється на кілька компонентів: одна частина випромінювання поглинається природними об'єктами, інша – проходить крізь них, а третя – відбивається. Завдяки тому, що співвідношення цих енергетичних компонентів відрізняється для різних природних об'єктів, людське око може їх розрізняти. Взаємодію електромагнітного випромінювання із земною поверхнею можна описати за допомогою такої формули:

$$Ei(\gamma)=Er(\gamma)+Ea(\gamma)+Em(\gamma),$$

де *Ei* – потік енергії, що спадає;
Er – потік енергії, що відбивається;
Ea – адсорбована (поглинута) енергія;
Em – передана (пропущена транзитом) енергія.

Детально ці процеси описані в наукових роботах Роберта Шовенґердта та інших [3; 23].

Поглинуте випромінювання – це частина світлового потоку, яка, взаємодіючи з об'єктом, перетворюється на енергію інших форм. Поглинальна здатність більшості природних об'єктів має спектрально селективний характер. Наприклад, рослини переважно поглинають випромінювання блакитного та червоного діапазонів спектра, що є необхідним для процесу фотосинтезу (рис. 19.3, див. с. 496). У неживих об'єктах поглинута променева енергія трансформується в теплову, механічну або хімічну енергію. Частина цієї енергії, що сприяє нагріванню поверхні, випромінюється назад як теплове випромінювання, в інфрачервоному діапазоні спектра. Відбите об'єктами випромінювання загалом складається із двох компонентів: енергії, що відбивається безпосередньо від поверхні, та енергії, розсіяної внутрішніми структурними елементами об'єкта.

Отже, сонячне світло, що потрапляє на об'єкти, одні частини цього спектра поглинає, а інші відбиває. Хлорофіл, пігмент у листках рослин, активно поглинає видиме світло в діапазоні 400–700 нм для забезпечення процесу фотосинтезу [11; 12]. Водночас клітинна структура листків інтенсивно відбиває ближнє інфрачервоне випромінювання (NIR) у діапазоні 760–1100 нм. Саме на основі фіксації невидимого для людського ока спектра NIR, який добре відбивається здоровими рослинами та значно більше поглинається пригніченими, ґрунтується розрахунок різних вегетаційних індексів. Що здоровіша рослина, то вищий рівень відбитого NIR, тоді як в ослаблених рослин цей показник знижується через активніше поглинання інфрачервоного випромінювання клітинами. На різниці поглинутого й відбитого спектрів обчислюються вегетаційні індекси, серед яких NDVI використовували чи не найчастіше, щоб просто й швидко ідентифікувати стан рослинного ландшафту. І він залишається найвідомішим показником, який найчастіше використовують для виявлення рівня вегетаційного розвитку рослин у мультиспектральних даних дистанційного зондування.

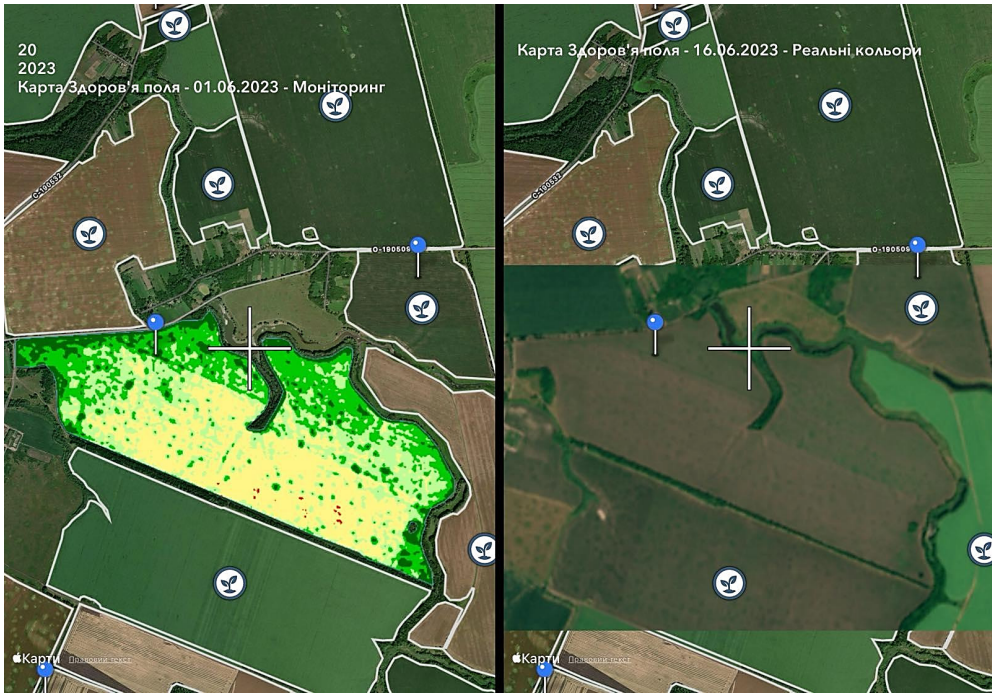


Рисунок 19.3 – Карта інфрачервоного випромінювання (NIR) та реальні кольори

NDVI обчислюють з видимого та ближнього інфрачервоного світла, відбитого рослинністю, за формулою:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

де *NDVI* – значення вегетаційного індексу;
NIR – значення невидимого інфрачервоного спектра сонячного променя;
RED – значення видимого червоного спектра.

Отже, здорова рослинність (посів) поглинає значно більшу частину видимого світла, яке потрапляє на вегетуючу (живу) рослину, та відбиває велику частину ближнього інфрачервоного світла. Нездорова (ушкоджена) або рідка рослинність відбиває видиме світло й меншою мірою – ближнє інфрачервоне світло.

Обчислення NDVI базується на двох найстабільніших ділянках спектральної кривої, що мінімально залежать від зовнішніх чинників. У червоному діапазоні спектра (0,6–0,7 мкм) спостерігається максимальне поглинання сонячного випромінювання хлорофілом, тоді як в інфрачервоній області (0,7–1,0 мкм) відбувається максимальне відбивання світла клітинними структурами листка. Отже, інтенсивний фотосинтез, що характерний для густої рослинності, спричиняє зниження відбивання в червоному діапазоні та підвищення у ближньому

інфрачервоному. Аналіз співвідношення цих показників дозволяє ідентифікувати рослинні об'єкти та чітко відмежовувати їх від інших типів поверхонь.

Застосування нормалізованої різниці замість простого співвідношення мінімального і максимального значень відбивання підвищує точність вимірювань, а також зменшує вплив таких чинників, як неоднорідність освітлення, наявність хмарності, серпанку та поглинання радіації атмосферою.

Для стандартного розрахунку NDVI з видимого спектра використовують значення червоної області. Загалом визначення вегетаційних індексів ґрунтується на різниці між поглиненим і відбитим рослинами випромінюванням. За допомогою математичних формул, що враховують різні діапазони як видимого, так і невидимого спектра, отримують широкий набір вегетаційних індексів [3].

У сучасній науковій літературі описано більше десяти різних вегетаційних індексів, які можуть характеризувати окремі властивості стану рослин у полі. Спробуймо розібратися, що таке NDVI. Цей індекс ще називають індексом вегетаційної маси. Він полягає в оцінюванні стану біомаси, її розвитку. Він добре корелює з урожайністю і використовується для прогнозу врожаю. У період активного росту рослин NDVI майже завжди має позитивну динаміку росту, бо відповідає активному розвитку рослин; вегетативна маса зростає часто незалежно від пошкодження шкідниками або ураження хворобами. Цей індекс – переважно грубий індикатор біомаси, окрім того, його значення швидко досягає насичення зі зростанням щільності рослинного покриву. А індикатором погіршення розвитку рослин може бути, наприклад, погіршення фотосинтетичної діяльності. Можемо припустити, що культура має порівняно рівномірний розвиток вегетаційної маси на цей момент, але рівень фотосинтетичної активності на окремих ділянках істотно погіршується.

Ще один приклад, де ми можемо порівняти поле за двома індексами NDVI та EVI. EVI – удосконалений індекс рослинності, розроблений для поліпшення NDVI шляхом оптимізації сигналу рослинності в районах із високим індексом площі листків (LAI). Індекс використовує синю область відбивання для корекції фонових сигналів ґрунту й зменшення атмосферних ефектів, зокрема розсіювання аерозолю. Його розраховують за формулою:

$$EVI = 2,5\frac{(NIR - Red)}{NIR + 6 \times Red - 7,5 \times Blue + 1}.$$

Із цієї формули бачимо, що за використання EVI ми можемо виявити більше проблемних зон розвитку рослин, ніж за використання класичного NDVI. А це може бути дуже важливим для оцінювання посівів, оскільки саме у визначених невеликих локальних зонах можуть бути осередки поширення хвороб і шкідників. Якщо їх не зупинити вчасно на початкових етапах, то втрати майбутнього врожаю і затрати на збереження рослин у період вегетації суттєво зростуть.

Отже, на практиці треба використовувати різні індекси, бо вони характеризують відмінні фізіологічні показники стану рослин у полі та допомагають зменшити вплив фізичних чинників на показники індексу вегетації (атмосферні явища, фон ґрунту тощо).

Вегетаційні індекси та сфери їх застосування. Після впровадження методу спектрального аналізу стану рослинного покриву за допомогою NDVI стало очевидним, що він не може цілком задовольнити всі потреби сучасного агропромислового виробництва. Це новий етап розвитку аграрної науки для дистанційного моніторингу, але в нього обмежені можливості аналізу розвитку рослин. Він непогано прогнозував майбутню врожайність сільськогосподарських культур, показував стан розвитку й допомагав виявити проблемні ділянки в період активної вегетації (рис. 19.4).

Ці ділянки мають майже однакову площу. Особливість такої візуалізації полягає в тому, що зерно на ділянках із нижчим індексом вологовмісту є сухішим, що сприяє його кращому обмолочуванню. Водночас на більш вологих

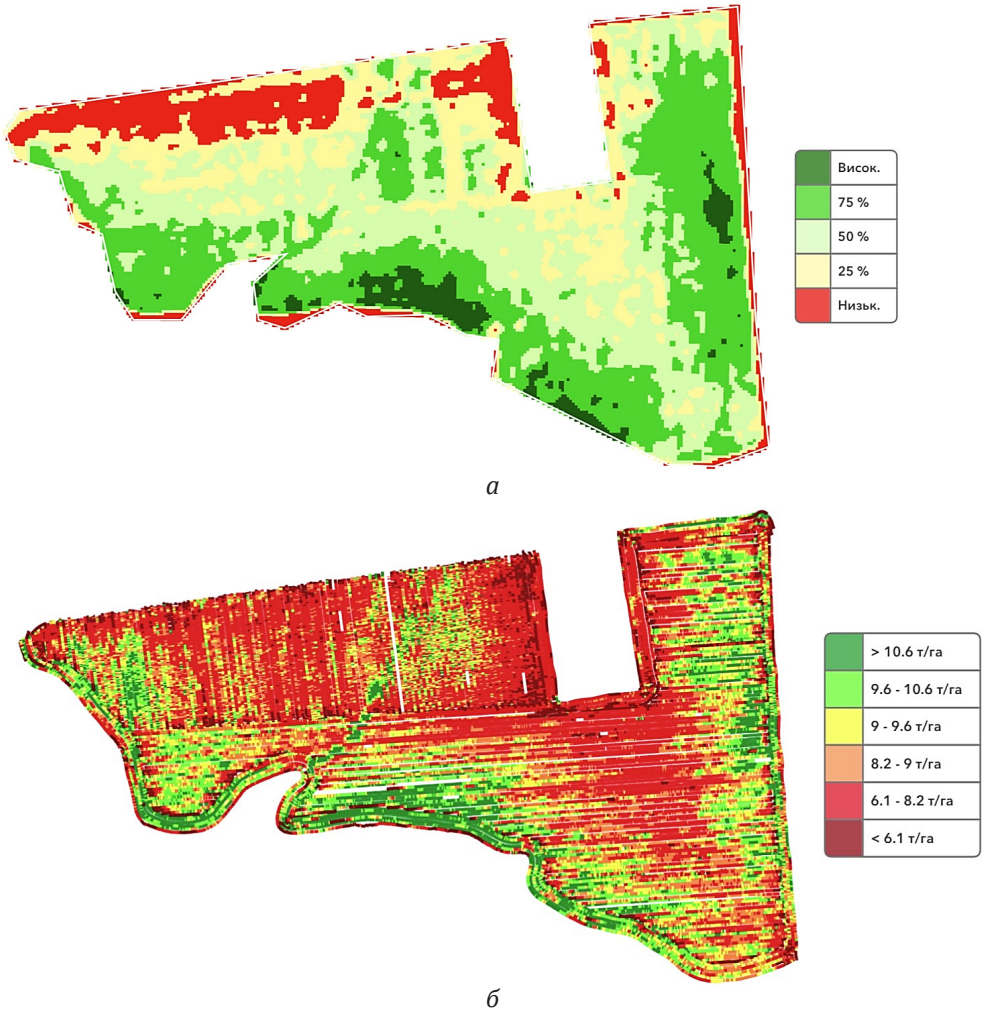


Рисунок 19.4 – Карта поля індексів (*а*) та врожаю (*б*)

ділянках втрати є значно вищими, оскільки комбайн налаштований саме на збирання сухого зерна [3].

У результаті проведеного аналізу даних з полів К1 і К2 можна виявити деякі закономірності та визначити врожайність кожної ділянки відповідно до значень індексу. Різницю між урожайністю ділянок із низьким і високим вегетаційними індексами можна розглядати як втрати, спричинені нерівномірним дозріванням зерна [5]. У такому разі агроном налаштовує комбайн на збирання сухішого зерна, оскільки площа таких ділянок більша. Якби домінувала площа з вологішим зерном, налаштування комбайна змінили б відповідно, що призвело б до більших втрат на ділянках із сухим зерном через його осипання.

Отже, значення вегетаційного індексу та площа відповідних ділянок є вихідними параметрами для подальшого аналізу.

На основі цих даних оцінюють потенційні збитки, спричинені нерівномірним дозріванням зерна на конкретному полі, зокрема визначають можливі втрати врожаю шляхом аналізу рівня дозрівання культури та розподілу площі між зонами з різним ступенем стиглості.

Щоб вчасно виявити загрози для посіву, агроному потрібно мати дані про розвиток рослин на початкових фазах. NDVI дає велику похибку, пов'язану із впливом фону ґрунту, коли площа непокритого ґрунту вище за 40 %. Можна зробити хибний висновок про гарний стан унаслідок забур'яненості посіву; є ще багато показників, які неможливо визначити за допомогою класичного NDVI.

За необхідності визначення водного балансу, активності процесу фотосинтезу, розвитку листкового апарату й інших параметрів застосовують індекси, які доповнюють один одного у глобальних дослідженнях рослинності й допомагають виявити зміни їхнього стану.

Так, у разі зріджених посівів або на початку вегетації, коли рівень покриття ґрунту зеленою масою низький, краще використати SAVI – ґрунтовий вегетаційний індекс, який для мінімізації впливу ґрунту на результати досліджень має коефіцієнт корекції за ґрунтом L у рівнянні NDVI, щоб зменшити вплив ґрунту (показники ґрунту: вологість, колір, мінливість відмін ґрунту за регіонами тощо). Його розраховують за формулою:

$$SAVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)}(1 + L),$$

де *SAVI* – вегетаційний індекс;
NIR – значення невидимого інфрачервоного спектра сонячного променя;
RED – значення видимого червоного спектра.

Формула подібна до обчислення NDVI, але в ній є коефіцієнт L, що робить поправку на покривання землі рослинами. Його показник коливається від 0 до 1 і свідчить про рівень покривання зеленими рослинами. 0 – це 100 % покривання землі зеленою масою, а 1 – це майже чиста поверхня ґрунту. Так, за візуальною оцінкою відсотка покривання ґрунту на полі ставиться відповідний коефіцієнт. За замовчуванням використовують коефіцієнт 0,5, що умовно відповідає 50 %-му покриванню ґрунту зеленою масою.

Є індекси, за допомогою яких можна оцінити вміст хлорофілу (CAI, G, gNDVI тощо), водний стрес (DSWI), уміст каротиноїдів (CRI), уміст води в період вегетації (LWVI1), стрес рослин (CSI1), інтенсивність фотосинтезу (CUR), біомасу (NDVI, BRI, CAI, HNDVI, SWIRVI) та багато інших показників.

Якщо проаналізувати формули, за допомогою яких обчислюється все розмаїття індексів, стає очевидним, що всі вони базуються на чотирьох спектрах: червоному (R), зеленому (G), блакитному (B) та невидимому (NIR). Останній ділять на ближній NIR і дальній NIREdge. Перші три спектри – частина видимого діапазону, їх використовують у звичайних фотоапаратах і кінокамерах, називають RGB-камерами (за першими літерами англійських назв кольорів).

Кожен із цих спектрів повинен перебувати в певному діапазоні довжини хвиль. Наприклад, у червоного спектра довжина хвилі 625–740 нм, у синього – 435–500 нм, у зеленого – 500–565 нм, NIR>740 нм. У низці формул використовують весь діапазон спектра; іноді – тільки окрему довжину хвилі, тоді у формулі пишуть літеру R і довжину хвилі. Наприклад, R500 означає, що для обчислення вегетаційного індексу взяли параметри хвилі довжиною 500 нм. Якщо записані абревіатури RED, GREEN, BLUE, NIR, то в розрахунках відповідно беруть значення всього діапазону червоного, зеленого, синього або ближнього інфрачервоного спектрів.

Для обчислення вегетаційних індексів можна вибрати готові алгоритми або ввести дані у свою просту алгебраїчну формулу. Візьмімо для прикладу найпоширеніший вегетаційний індекс NDVI, що описують рівнянням [21]:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)},$$

де *NIR* – значення ближнього інфрачервоного каналу;
Red – значення червоного каналу.

Вище наведено приклад простої лінійної функції, але для розрахунку окремих індексів використовують складніші нелінійні функції. Наприклад, GEMI – нелінійний індекс рослинності для глобального моніторингу навколишнього середовища за допомогою супутникових знімків. Він подібний до NDVI, але менш чутливий до впливу атмосфери. Він має таку формулу розрахунку:

$$GEMI = eta \times (1 - 0{,}25 \times eta) - ((Red - 0{,}125)/(1 - Red)),$$

де $eta = (2 \times (NIR2 - Red2) + 1{,}5 \times NIR + 0{,}5 \times Red)/(NIR + Red + 0{,}5)$;
NIR – значення ближнього інфрачервоного каналу;
Red – значення червоного каналу.

Цей індекс дуже чутливий до фону ґрунту, тому не рекомендовано використовувати його на полях зріджених або з не досить щільною рослинністю [13]. Результат визначення більшості вегетаційних індексів, зокрема й NDVI, коливається від –1 до 1. Негативні значення відповідають ділянкам із водними поверхнями, штучними спорудами, скелями, хмарами, снігом; яскравість ґрунту зазвичай перебуває в межах 0,1–0,2; рослини завжди мають позитивні значення від 0,2 до 1. Здоровий щільний покрив рослинності повинен мати індекс вище за 0,5; на ділянках із низькою щільністю рослинності або із пригніченим

розвитком рослин він може знизитися – бути в межах 0,2–0,5. Однак це лише узагальнений погляд, завжди варто брати до уваги умови вегетаційного сезону, тип/вид рослини та регіональні особливості, щоб вибрати потрібний для оцінювання стану посіву вегетаційний індекс (рис. 19.5).

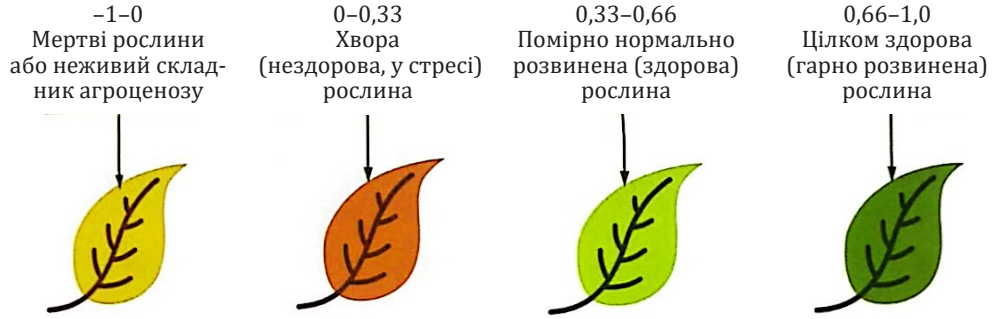


Рисунок 19.5 – Величина вегетаційного індексу та стан рослин

19.3. Проведення досліджень та доповнення об'єктивних даних

За сучасної технології вирощування с.-г. культур зростає значення внесення добрив і регуляторів росту по листку (позакореневого). Доцільність таких заходів доведена багатьма вченими й базується на високій ефективності позакореневого застосування та низькій окупності мінеральних добрив за внесення у ґрунт. Від рівня обладнання та дотримання наявного регламенту залежать об'єктивність отриманих даних і зроблені висновки. Одним із важливих складників є використання сучасного обприскувача. Так, у навчально-науково-виробничому комплексі Сумського національного аграрного університету використовують обприскувач Штайге (Steige), що дозволяє швидко готувати суміші препаратів і рівномірно їх уносити.

Для побудови математичної моделі оптимізації посівів на визначеній території, знаходження оптимального вирішення цього завдання та забезпечення прозорості дослідження застосовують метод уведення додаткових евристик. Цей підхід успішно використовують у слабоструктурованих і неструктурованих предметних областях [1].

Очевидно, що бракуватиме повних даних про врожайність поля. Це зумовлено труднощами інформаційного забезпечення, розбіжностями між реальними умовами та змодельованими сценаріями тощо. Зокрема, на врожайність впливають погодні фактори, стан ґрунту, особливості росту культури, строки й умови збирання врожаю, а також рівень кореляції між зовнішніми спостереженнями й агрономічними характеристиками культури. З огляду на відмінності між ідеалізованою моделлю та природною різноманітністю сільськогосподарських угідь необхідно впроваджувати додаткові евристики для корекції моделі та підвищення її точності.

Хоча індексів, які пропонують для застосування, чимало, кількість їх щороку зростає, на практиці застосовують далеко не всі. Вони доступні в сучасних супутникових системах моніторингу посівів, зокрема американській FarmShort і українській Cropio. Кожна із цих систем має свої переваги, тому вибирають ті індекси, що відповідають основним цілям і завданням.

Для агрономічного аналізу стану рослин можна використовувати різні індекси, досліджувати стан поля в кількох варіантах індексів різного призначення (вегетаційного, стресу, водного, інтенсивності фотосинтезу тощо). Багато супутникових платформ (наприклад, FarmShort) дозволяють використовувати кілька індексів, перехід з одного на інший потребує лічених секунд – лише час на перемикання з однієї віртуальної кнопки на іншу. Так дослідник має змогу оцінити стан посіву за різними критеріями й виявити проблемні зони. Ознакою таких зон може бути не тільки зменшення вегетаційної маси, а й інтенсивність фотосинтезу або стресовий стан унаслідок дисбалансу водного обміну тощо.

Варто звернути увагу ще на один індекс, що може стати корисним для оцінення посівів. Це LAI (Leaf Area Index), або індекс листкової поверхні (далі – ІЛП), що є мірою кількісної оцінки цільової площі. Він позначає співвідношення розміру поверхні рослин (м*) до площі ґрунту (м). Для зернових культур ІЛП розраховують за формулою:

$$ІЛП = \text{висота рослин (м)} \times \text{кількість стебел на м}^2/100.$$

Значення індексу може бути ≥0. Чим вище значення, тим більша площа листкової поверхні. Цей індекс використовували для оцінювання росту дерев інструментальними методами за допомогою оптичних приладів, зокрема LAI2000 американської компанії "LI-COR Inc.", Lincoln. Використання цих приладів дороге й трудомістке.

Нині є змога вирахувати цей індекс непрямим способом за допомогою спектральних камер за формулою:

$$LAI = 0{,}1663^{4{,}2731 MSAVI} \quad \text{або} \quad LAI = 0{,}0918^{6{,}0002 RDVI},$$

де $MSAVI$ – поліпшений $SAVI$ з коефіцієнтом самоналагоджування L;
$RDVI$ – ренормалізований індекс вегетації рослинності.

Є інші формули для розрахунку LAI. Цей індекс може бути використано для диференційованого внесення фунгіцидів проти хвороб листя і колосу під час проведення другого й третього обприскувань фунгіцидами [6; 9]. Також є можливість регулювати норму внесення препаратів залежно від площі листкової поверхні. Такий принцип нині застосовують під час оброблення садів, де норма використання пестицидів залежить від об'єму крони. Якщо площа крони на деревах порівняно стала й можна відрегулювати норму пестициду, то для польових культур це непросте завдання, оскільки площа листкової поверхні змінюється динамічно, відстежити її важко. Проте з появою LAI стало можливо навіть онлайн визначати зміни цього показника і для польових культур за допомогою супутника або дрона та коригувати норму витрати пестицидів. Таким способом можна економити витрати й зменшувати негативний вплив на екосистеми.

Також можна розрахувати LAI (ІЛП) за площею листкової поверхні (ПЛП) рослини та густотою стояння рослин. Нині є багато методик, специфічних для окремих груп культур. Зокрема, поряд із класичним методом за допомогою «висічок» А. О. Ничипоровича існують більш сучасні. Відомо, що метод «висічок» має складності та похибки, адже базується на вимірюванні ПЛП за загальною масою листків і переведенні у площу:

$$S = \frac{P \times S_1 \times n}{P_1},$$

де S – загальна площа листків, см^2;
S_1 – площа однієї висічки, см^2;
P – загальна маса листків, г;
P_1 – маса висічок, г;
n – число висічок, шт.

Для соняшнику має місце метод Л. С. Осипової та П. П. Літуна, де розраховується площа листкової поверхні рослин за лінійними параметрами листків. Позитивним є те, що зривання листків за цієї методики не потрібне, оскільки це робить більш ефективними (достовірними) спостереження за рослинами до фази збирання [2].

Інноваційний прилад "WinDIAS" призначений для вимірювання площі ураження листка. Він оснащений спеціальною камерою-сканером, підсвіткою та програмним забезпеченням для оброблення цифрових даних (рис. 19.6). Завдяки цьому пристрою можна отримати точний звіт про відсоток ураження листкової поверхні хворобами, про пошкодження чи ознаки дефіциту поживних елементів. Це дозволяє швидко оцінити рівень ураження, підвищити точність аналізу ефективності засобів захисту рослин та мінімізувати суб'єктивність візуальної оцінки. Отримані результати є об'єктивними та більш надійними.



Рисунок 19.6 – Сканери для визначення площі листкової поверхні та частки її ураження

Ключовим компонентом цієї системи є програмне забезпечення, яке здатне розпізнавати ділянки з різними відтінками, ідентифікувати їх на площині сканування та визначати їх частку від загальної площі. Якщо спробувати оцінити площу ураження листків на рис. 19.6 без використання приладу, а потім порівняти свої результати з реальними показниками, імовірно, отримані значення будуть різними, що свідчить про суб'єктивність візуальної оцінки.

Одним із недоліків приладу є необхідність зривати листки, транспортувати їх до лабораторії та проводити аналіз уже в контрольованих умовах. Це потребує не лише часу, а й правильного зберігання зразків, спричиняє пошкодження рослин.

Водночас велика площа сканування дозволяє одночасно аналізувати кілька листків або зразки з розширеною поверхнею. Для вимірювань безпосередньо в польових умовах розроблено портативний пристрій ***"ADC AM350"*** від компанії ***"ADC BioScientific"*** (рис. 19.6). Він складається з високоточного сканера та сканборду, а також оснащений великим дисплеєм, який у режимі реального часу відображає зображення листка разом із його площинними параметрами в міліметрах або сантиметрах.

Головною перевагою цього приладу є можливість вимірювати площу ураження безпосередньо на рослині, не відриваючи листки. Усі результати зберігаються в пам'яті пристрою, що дає змогу проводити повторні вимірювання того самого листка в різні проміжки часу. Це дозволяє відстежувати зміни площі листкової пластинки та моніторити динаміку розвитку хвороби.

Ще однією корисною функцією цих сканерів є можливість визначення площі кореневої системи та ризоморфів. Традиційні методи проведення таких вимірювань часто незручні й потребують багато часу, тоді як використання сучасних сканерів дозволяє здійснити аналіз швидко та з високою точністю. Для цього кореневу систему рівномірно розміщують на аркуші білого паперу визначеного розміру, після чого прилад аналізує її площу щодо площі аркуша. Це дає змогу точно визначити розмір кореневої системи й отримати об'єктивні результати.

Такий метод також дозволяє оцінювати вплив різних чинників на ріст рослин, зокрема ефективність протруйників, стимуляторів росту, добрив, а також якість насіння.

Градації стану розвитку рослин незалежно від використовуваного вегетаційного індексу здебільшого близькі за величинами. Однак залежно від стадії розвитку рослин (ранні, середні чи пізні; сходи, вегетативний чи генеративний період розвитку) посіви варто оцінювати за різними індексами. У період цвітіння величини вегетаційного індексу можуть знижуватися, хоча рослина активно розвивається, оскільки жовтий колір квітучих рослин спектральна камера сприймає як листок, що вмирає.

Різноманітні вегетаційні індекси дають агроному змогу оцінити стан посіву за багатьма параметрами: динамікою набору вегетативної маси, інтенсивністю фотосинтезу, масою сухої речовини – оцінити стресові чинники, порушення водного балансу, характеристики різних пігментів та інше. Чим більше дослідник зможе отримати показників, тим більше матиме інформації про стан

посівів. Тому варто аналізувати не за одним індексом, виявляти проблемні зони, з'ясовувати причини погіршення цього параметра та планувати додаткові обстеження у визначених точках.

19.4. Практичне використання спектрофотометрії в польових обстеженнях

Визначення вмісту хлорофілу та потреби рослин в азоті

Окрім супутникових систем і застосування БПЛА, є розробки з використанням цифрових безконтактних методів в агрономії, зокрема прилади наземного використання. Є широка пропозиція датчиків для визначення доз внесення азоту пд час підживлення. Відомо кілька конструкцій, у яких застосовано різні принципи. Одним із перших був SPAD-502 від компанії "Konica Minolta" (Японія). Широко застосовуваний N-тестер побудовано на елементній базі SPAD-502. Прилад має датчик (фотодіод), який вимірює кількість світла, що проходить крізь листкову пластину (рис. 19.7).

На рис. 19.7 показано поглинання спектрів світла хлорофілом двома листками А і В. Уміст хлорофілу в листку В менший, ніж в А. Бачимо, що основне поглинання світла хлорофілом відбувається в синій і червоній зонах світлового



а *б*

Рисунок 19.7 – Використання хлорофілометра "SPAD-502 Plus" (*а*) та збір даних показників SPAD-одиниць (*б*)

Джерело: фото автора

спектра. Тому для визначення вмісту хлорофілу у приладі використовують червону (у якій немає впливу вмісту каротиноїдів) та інфрачервону зони.

Ця конструкція хлорофіломіра має два світлодіоди, що випромінюють світло, у цей момент вимірювальна головка закрита листком усередині. Світло проходить крізь випромінювальне вікно, потім крізь листок зразка, вставлений у вимірювальну головку, і потім потрапляє на детектор (кремнієвий фотодіод), що перетворює його на аналоговий сигнал. Перед початком вимірювання треба відкалібрувати прилад шляхом вимірювання без зразка. У комплекті із хлорофіломіром є калібрувальний фільтр. Уловлене світло перетворюється на електричний сигнал, відповідно обчислюється інтенсивність випромінювання двох світлодіодів і розраховується співвідношення інтенсивності їхнього випромінювання. Після того як зразок вставили у вимірювальну головку, світлодіоди вмикають знову. Світло, що пройшло крізь листок, уловлює детектор і перетворює на електричний сигнал. І знову вираховується співвідношення інтенсивності випромінювання цих двох світлодіодів. Значення, одержані за калібрування та вимірювання зразка, використовують для обчислення вмісту хлорофілу.

На основі встановленої прямої кореляції між умістом хлорофілу в листках і рівнем азотного живлення рослин є можливість визначити потребу посіву в азоті. Вимірювання зазвичай проводять на 30 рослинах – на наймолодшому повністю розвинутому листку всередині листкової поверхні. Під час використання цього приладу передумова ефективної роботи – відсутність у посівах симптомів нестачі хлорофілу, спричинених іншими чинниками. Наприклад, дефіцит сірки або магнію, а також ураження хворобами, втрата тургору листків через посуху, дія гербіцидів тощо.

Визначення рівня стресового стану рослин методом вимірювання змін флуоресценції

Квантовий вихід фотосистеми II, визначений за допомогою флуоресценції хлорофілу, і квантовий вихід поглинання CO, визначений за допомогою газообміну, – два фізіологічно важливі методи вимірювання для з'ясування реакції культурної рослини на стрес навколишнього середовища. Обидва методи вимірювання потребують точної оцінки поглинання світла листками в діапазоні довжин хвиль фотосинтетично активного випромінювання (400–700 нм).

Отже, аналіз показників флуоресценції хлорофілу – достовірний інструмент виявлення впливу основних зовнішніх чинників на рослину. Важливий доробок у цьому напрямі когорти таких учених, як: H. Kautsky, W. Apel, H. Amann (1960); M. Kitajima, W. L. Butler (1975); B. Genty, J. Harbinson, J.-M. Briantais, N. R. Baker (1990) та ін. [3; 11–13].

Відомо, що хімічні фактори та кліматичні умови можуть бути як інгібіторами, так і активаторами біоенергетичних процесів, що відбуваються в тилакоїдах рослинних клітин. Вони здатні впливати на кінетичні параметри та спектральні характеристики флуоресценції, а також змінювати її стаціонарний рівень. Дослідження кінетики флуоресценції надає цінну інформацію про вплив навколишніх чинників на фотосинтетичні процеси, що може бути застосовано для екологічного моніторингу й оцінювання стійкості рослин до стресових

умов. Один із сучасних флуориметрів "Plant Stress Kit" від компанії "Opti-Sciences, Inc." (США) показано на рисунку 19.8.

Фізіологічно значущі дані флуориметра "Y(il) meter & Plant Stress Kit" ґрунтуються на аналізі викладених нижче параметрів.

Fm – максимальна флуоресценція, виміряна під час першого імпульсу насичення після темнової адаптації. Fm являє собою багаторазові обороти QA з усіма закритими доступними реакційними центрами. Уся енергія спрямовується на флуоресценцію.

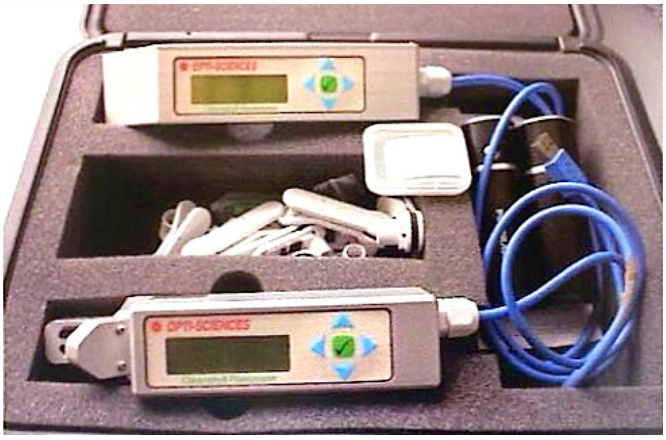


Рисунок 19.8 – Флуориметр "Y(Il) meter & Plant Stress Kit" від компанії "Opti-Sciences"

Fs також відомий як F' – це рівень флуоресценції, створюваний актинічним світлом. Спочатку значення високе, із часом зменшується до значень стійкого стану через ініціювання транспорту електронів, карбоксилювання і нефотохімічне гасіння. Fs також використовувався для позначення стабільних станів F.

Fm' – значення імпульсу насичення, не адаптоване до темряви, має знижені значення від Fm через NPQ або нефотохімічне гасіння. Коли цей параметр досягає стабільного стану, його використовують для обчислення квантового виходу фотосистеми II – Y(II) чи Д/Fm' разом із Fs. Fm' у стабільному стані також використовують як компонент для обчислення qN, NPQ, q, qL, Y(NPQ), Y(NO), qE, qT і ql.

Fo – мінімальна флуоресценція після адаптації до темряви. Вона вимірюється з модульованою інтенсивністю світла, занадто тьмяною, щоб вести фотосинтез, та все ж досить яскравою, щоб виявити флуоресценцію антен до «фотосинтезу».

Ft – це поточний миттєвий флуоресцентний сигнал, що відображається на екрані вимірювання флуорометра. Його використовують для встановлення модульованої інтенсивності джерела світла.

Fv/Fm=(Fm–Fo)/Fm – адаптований до темряви нормалізований тест, який використовують для визначення максимального квантового виходу PSII.

Це співвідношення – оцінка максимальної частки поглинених квантів, що використовуються в реакційних центрах PSII. Інший спосіб подивитися

на Fv/Fm – це коефіцієнт вимірювання, який представляє максимальну потенціальну квантову ефективність фотосистеми II, за умови, що всі доступні реакційні центри були відкриті.

Від 0,79 до 0,84 – приблизний оптимальний діапазон значень для більшості видів наземних рослин; якщо значення знижені, то це свідчить про стрес у рослин.

Fv/Fo=(Fm–Fo)/Fo – адаптований до темряви тест, який використовують для неістотного поліпшення виявлення стресу Fv/Fm. Хоча це число може коливатися від нуля до нескінченності, насправді воно зазвичай працює від нуля до приблизно чотирьох. Чим менше число, тим більший стрес у рослини.

PAR – фотосинтетично активне випромінювання від 400 до 700 нм. Вимірюється або в мкмоль, або в мке. PAR може вимірюватися в різних одиницях, як-от вати на метр, мікроейнштейни або мікромолі. У разі використання кліпси темнової адаптації PAR розміри завжди будуть в еквівалентних одиницях, мікроейнштейнах або мікромолях PAR або PPFD; температура листя вимірюється за допомогою вимірювача Y(I) разом із вимірами Y або Y(II). Оскільки Y((I) змінюється залежно від рівнів PAR (або освітлення), температури та стресу рослин, здатність реєструвати значення виходу за допомогою цих параметрів забезпечує контроль над важливими змінними. Це дозволяє розрахувати відносну ETR або швидкість транспорту електронів.

PPFD (щільність фотосинтетичного потоку фотонів) – це щільність потоку фотонів PAR, вимірюється в мкмоль або PPFD, або щільність потоку фотонів – це кількість фотонів PAR, що падають на поверхню і вимірюються в часі та площі (квадратний метр на секунду). Ці терміни еквівалентні вимірюванню радіаційного випромінювання листків у кліпсі PAR. Окрім того, обидва вони можуть бути представлені в будь-якому еквівалентному вимірі – мікромолях (мкмоль) або мікроейнштейнах (µE).

Y(I), або AF/Fm', ао Y – це квантовий вихід PSII=(Fm'–Fs)/Fm'. Квантовий вихід PSII – це тест, адаптований до швидкого світла, який виконують за стаціонарних рівнів фотосинтезу. Це нормоване співвідношення, що забезпечує визначення показника фактичного або ефективного квантового виходу. Це співвідношення – оцінка ефективної частки поглинених квантів, що використовуються в реакційних центрах PSII [9]. На нього впливає закриття реакційних центрів, спричинене розсіюванням світла й тепла, залученим у нефотохімічні механізми гасіння, тому він чутливий до багатьох видів стресу рослин. Y (II) дозволяє досліджувати процес фотосинтезу, поки він відбувається. Темнової адаптації не потрібно. Щоб отримати надійне вимірювання Y(Il), фотосинтез повинен досягти стаціонарного стану.

Установлено, що Y(II) чутливіший до більшої кількості стресів рослин, ніж Fv/Fm, але варто порівнювати вимірювання лише на одному рівні освітлення, бо значення змінюється за різних умов освітлення.

Фотосинтетичні методи вимірювання успішно використовують для досліджень генетичної різноманітності та з'ясування фізіологічних реакцій впливу на рослини навколишнього середовища (світло, температура, вологість, сольовий стрес тощо), а також компонентів технологій, наприклад пестицидів.

Практичні підходи до застосування сучасної прикладної бази (експрес-діагностики)

Часто необхідно оцінити комплексний вплив окремих пестицидів або технологій захисту рослин на стан і розвиток культури. Кожен препарат, окрім прямої дії, яку можна оцінити за ефективністю, має додаткові/побічні ефекти. Наприклад, відмінну ефективність проти цільового об'єкта, а також фітотоксичну дію на культурну рослину. Або навпаки, окрім високої ефективності, матиме стимулювальний ефект, що забезпечує йому переваги під час вибору препарату чи технології.

Поширений вислів «бункер покаже» у такому разі не завжди обґрунтований, бо ні окремі засоби захисту рослин, ні їх системи не збільшують урожайність культури. Вони тільки дають змогу зберегти, зменшити втрати того, що було закладено в потенціалі насіння, системі добрив, системі обробітку ґрунту, рівні природної родючості, доступної вологи тощо. І не завжди ефективний захист на початку вегетації може бути знівельовано іншими агрономічними помилками або погодними умовами вегетаційного сезону.

Важливий момент – не тільки оцінювання дії препаратів безпосередньо на збудників хвороб, шкідників і бур'яни, а і їхнього вплив на культурну рослину. Усе це в комплексі (біологічна ефективність проти шкідливих організмів і побічні ефекти) може впливати на розвиток і фізіологічний стан культурної рослини, який можна оцінити за допомогою різних вегетаційних індексів і отримати інтегровану оцінку впливу препарату або системи захисту. Зазначимо й те, що в полі оцінюємо не окремі вибірки, а весь масив посіву.

Завдання та питання для самостійної роботи

1. *Основні вимоги до ділянок для проведення дослідів із пестицидами.*
2. *Вимоги до агротехнічних заходів під час проведення дослідів із пестицидами.*
3. *Розрахунки густоти рослин та польової схожості.*
4. *Сучасні обприскувачі та методики розрахунку робочого розчину.*
5. *Обліки та методики визначення фітотоксичності.*
6. *Ґрунтові та метеорологічні умови досліджень.*
7. *Параметри застосування та обліків на основних сільськогосподарських культурах.*
8. *Кількісний та якісний обліки врожаю.*
9. *Збирання дослідних ділянок.*
10. *Метод пробник ділянок.*
11. *Вегетаційні індекси та принципи їх побудови.*
12. *Світло якого діапазону поглинає рослина?*
13. *Світло якого діапазону відбиває рослина?*
14. *Назвати способи обчислення індексів NDVI та EVI.*
15. *Що таке LAI і як він розраховується?*
16. *Назвати основний принцип роботи приладу "SPAD-502 Plus".*
17. *Які параметри вимірюють за допомогою флуориметра "Plant Stress Kit"?*

18. *Що означають параметри Fo, Fm, Fs, Ft. PAR, PPFD, Y(I), Y(II)?*
19. *Навести алгоритм проведення цифрового моніторингу посіву на прикладі.*
20. *Описати основні принципи використання зондування землі та його використання для аграрного сектору.*

Перелік джерел до розділу 19

1. Гнатієнко Г. М., Снитюк В. Є. Експертні технології прийняття рішень : монографія. Київ : ТОВ «Маклаут», 2008. 444 с.
2. Дослідна справа в агрономії : навчальний посібник : у 2 кн. Кн. 2 : Статистична обробка результатів агрономічних досліджень / А. О. Рожков та ін. Харків : Майдан, 2016. 342 с.
3. Цифрові технології у рослинництві : монографія / О. Л. Зозуля та ін. Київ : ІФРГ НААН України ; ТОВ «Сингента», 2020. 72 с.
4. Рослинництво з основами технології переробки. Практикум : навчальний посібник / за ред. А. В. Мельника, В. І. Троценка. Суми : ВТД «Університетська книга», 2008. 384 с.
5. Climate Corporation. FieldView Performance Report. 2023. URL: https://www.climate.com (дата звернення: 15.08.2024).
6. Dammer K.-H., Wollny J., Giebel A. Ermitlung des Blattflachenindex (LAI) in Getreideschlagen zur Festlegung der Aufwandmenge ber sensorgestutzuen Fungizidappapplikation. Mitteilungen aus der Biolgischen Bundesanstalt fur Land-und Forstwirtscchalt. Heft 400. 2006. P. 69–79.
7. EPPO (2012a) EPPO standard PP 1/225 Minimum effective dose. EPPO Bulletin/Bulletin OEPP. 42. P. 403–404.
8. Frießleben R., Roßlenbroich H. J., Elbert A. Dose expression in plant protection product field testing in high crops: need for harmonization. *Bayer CropScience Journal (formerly PflanzenschutzNachrichten Bayer)*. 2007. № 60. P. 85–96.
9. Genty B., Harbinson J., Briantais J.-M., Baker N. R. The realationship between nonphotochemical quenching of chlorophyll fluorescence and the rate of photosystem II photochemistry in leaves. Photosynth. Res. 1990. № 25. P. 249–257.
10. ISO (2004) ISO 4120: Sensory analysis – Methodology – Triangle Test. International Standards Organization. Geneve (CH).
11. Kautsky H., Apel W., Amann H. Chlorophyl floureszenz und Kohlensaureassimilation. Die Fluoreszenkure und die Photochemie der Planze der Pflanze Biochem Zei. 1960. 322. P. 277–292.
12. Kitajima M., Butler W. L. Quenching of chlorophyll fluorescence and primary photochemisyry in chloroplasts by dibromothymoquinone. *Biochem Biophy Acta*. 1975. P. 105–115.
13. Pinty B., Verstraete M. M. GEMI: a non-linear indexto monitor global vegetationfrom satelites. *Plant Ecology.* 1992. Vol. 101. P. 15–20.
14. PP 1/152(4) Design and analysis of efficacy evaluation trials. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*. 2012. № 42 (3). P. 367–381. DOI: 10.1111/epp.2610

15. PP 1/181 (5) Conduct and reporting of efficacy evaluation trials, including good experimental practice. *EPPO Bulletin*. 12 November 2021. Vol. 52. Iss. 1. P. 4–16. DOI: 10.1111/epp.12788
16. PP 1/239 (3) Dose expression for plant protection products. OEPP/EPPO. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*. 2021. P. 1–24. DOI: 10.1111/epp.12704
17. PP 1/248 (2) Harmonized classification and coding of the uses of plant protection products. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*. 2014. № 44 (3). P. 294–298.
18. PP 1/319 (1) General principles for efficacy evaluation of plant protection products with a mode of action as plant defence inducers. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*. 2020. P. 1–5. DOI: 10.1111/epp.12692
19. Regulation (EC) (2009) Commission Regulation (EU) № 1107/2009 of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 concerning the placing of plant protection products on the market and repealing Council Directive 79/117/EEC and 91/414/EEC. *Official Journal of the European Union*. 2009. L 309. P. 1–50.
20. Regulation EC (2013) Commission Regulation (EU) № 284/2013 of 1 March 2013 setting out the data requirements for plant protection products, in accordance with Regulation (EC) № 1107/2009 of the European Parliament and of Council concerning the placing of plant protection products on the market. *Official Journal of the European Union*. 2013. L 93/85.
21. Rouse J. W., Haas R. H., Schell J. A., Deering D. W. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Prog. Rep. RSC. Texas : College station, 1973. 93 p.
22. Rueegg J., Siegfried W., Raisigl U., Viret O., Steffek R., Reisenzein H., Persen U. Registration of plant protection products in EPPO countries: current status and possible approaches to harmonization. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*. 2001. № 31. P. 143–152.
23. Schowengerdt R. A. Remote Sensing Models and Methods for Image Processing. Elsevier, Dec 2. Technology @ Engineering. 522.

Розділ 20

ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ

20.1. Вступ

20.1.1. Інструментальні методи дослідження біологічних об'єктів. Практичні завдання дисципліни

У наш час не існує такої галузі господарства, яка б не використовувала хімічні процеси або продукти хімічних перетворень. Завдяки вивченню складу та будови речовин, законів їх перетворень людина винаходить такі речовини, застосування яких поліпшує її стан здоров'я, подовжує життя, полегшує працю, робить більш багатим і гармонійним її побут [9; 10].

Хімія – це наука про склад, властивості й будову речовин, про їхні перетворення, про залежність властивостей від складу й будови речовин, про взаємодію, добування, використання речовин.

Аналітична хімія відіграє важливу роль у сільському господарстві, зокрема в аналізі води, ґрунту, оцінюванні впливу добрив на родючість і застосуванні засобів захисту рослин. Під час дослідження нових сполук спочатку визначають їхній якісний склад, а потім проводять кількісний аналіз. Якщо якісний склад відомий, одразу переходять до кількісного аналізу, вибирають найбільш зручний метод. Сучасна аналітична хімія використовує хімічні, фізичні, фізико-хімічні та біологічні методи [5; 14].

Аналітична хімія – наука про методи й засоби встановлення хімічного складу речовин чи їхніх сумішей. Її поділяють на два розділи – якісний і кількісний аналіз.

Предмет інструментального методу досліджень – теорія і практика методів аналізу речовини.

Теоретичну основу хімічного аналізу становить ряд фізико-хімічних законів: Д. І. Менделєєва, закон збереження маси, закон сталості складу, закон еквівалентів, закон діючих мас, а також основні теоретичні положення загальної хімії: комплексоутворення, амфотерність гідрооксидів, гідроліз солей, окислювально-відновні реакції, теорія електролітичної дисоціації, хімічна рівновага в гетерогенних системах та ін.

Головне завдання предмета – встановлення хімічного складу речовини.

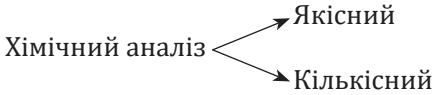
Об'єкт аналізу – речовина, аналіз якої виконується.

Хімічний аналіз – це процес (комплекс заходів, операцій) визначення складу речовини.

Основні функції хімічного аналізу:

— розв'язання загальних питань хімічного аналізу (створення теоретичних основ, метрологія);

— розроблення нових методів аналізу;
— вирішення конкретних аналітичних завдань, створення методик.



Якісний аналіз дозволяє встановити, з яких хімічних елементів складається досліджуваний зразок, які іони, функціональні групи або молекули входять до його складу. У дослідженні невідомих речовин якісний аналіз завжди передує кількісному [5].

Мета якісного аналізу – виявлення елементів (чи іонів), що містяться в досліджуваній речовині.

Кількісний аналіз полягає у визначенні кількісного співвідношення складових частин об'єкта аналізу (його результати зазвичай виражають у масових частках (%)).

Залежно від складу досліджуваного об'єкта розрізняють:

— аналіз неорганічних речовин, який включає знаходження катіонів і аніонів;

— аналіз органічних речовин, який включає:

а) елементний аналіз – знаходження і визначення хімічних елементів;

б) функціональний аналіз – визначення функціональних груп, які містять декілька хімічних елементів і мають визначені властивості;

в) молекулярний аналіз – знаходження окремих хімічних сполук.

Тому основним завданням якісного аналізу є знаходження в досліджуваній пробі відповідних катіонів, аніонів, функціональних груп, молекул тощо.

Основним завданням кількісного аналізу є визначення того, скільки компонента міститься в аналізованій пробі.

Загалом хімічний аналіз складається з таких етапів:

1) переведення досліджуваної речовини в розчин;

2) відокремлення елементів, що визначаються, від інших, їх концентрування;

3) якісне виявлення та кількісне визначення [3; 7; 8].

Для відокремлення, концентрування та визначення елементів застосовуються хімічні реакції осадження, комплексоутворення та окисно-відновні. Розділення іонів ґрунтується на реакціях осадження, а хроматографічний аналіз використовує різну адсорбцію компонентів суміші. Реакції комплексоутворення застосовуються для розділення елементів, наприклад, осадження Феруму купфероном. Екстрагування переводить комплексні сполуки з водного розчину в органічний розчинник для розділення та концентрування. Окисно-відновні методи, зокрема цементація, дозволяють виділяти метали, наприклад, осадження міді дією металічного цинку.

Методи та засоби визначення хімічного складу

Засоби визначення хімічного складу – спеціальне обладнання, реактиви, теоретичне та програмне забезпечення, що дозволяє визначати хімічний склад речовини (засоби залежать від розвитку наук, постійно розвиваються).

Метод – універсальний і теоретично обґрунтований спосіб визначення складу, неконкретизований щодо об'єкта аналізу.

Методика аналізу – детальне викладення послідовності й змісту аналізу об'єкта за допомогою методу аналізу [9; 17].

Класифікація методів хімічного аналізу:

I. *За природою:*
— ізотопний;
— молекулярний;
— фазовий;
— елементний.

II. *За кількісними показниками:*
— мікрометоди (10^{-6} г);
— ультрамікрометоди (до 1 г);
— мікрометоди.

III. *За засобами:*
— хімічні;
— фізико-хімічні;
— фізичні.

На основі вимірюваних параметрів методи кількісного аналізу поділяють на хімічні, фізико-хімічні, фізичні та біологічні [7; 8].

Хімічні методи кількісного аналізу засновані на використанні різних типів хімічних реакцій, які кількісно протікають у розчинах, розплавах, твердих тілах або газах. Їх поділяють на [2; 10; 11]:

— *гравіметричні (вагові)*, які полягають у точному вимірюванні маси компонента, що аналізується, у досліджуваному розчині. Гравіметричний метод аналізу поділяють на: метод відгонки, осадження, виділення;

— *титриметричні (об'ємні)*, коли кількісний склад досліджуваної проби визначають шляхом точного вимірювання об'єму розчину реагента відомої концентрації (титранту), який взаємодіє в еквівалентних кількостях з речовиною, що визначається [5].

Хімічні методи кількісного аналізу, або класичні методи, є точними, простими у виконанні та не потребують спеціальної апаратури. Вони продовжують розвиватися, але можуть мати труднощі з виділенням компонентів зі складних сумішей і порівняно невисоку межу чутливості.

Фізичні методи кількісного аналізу базуються на вимірюванні фізичних параметрів речовин, що залежать від їхнього кількісного складу. Вони відзначаються експресністю, низькою межею визначення, об'єктивністю результатів і можливістю автоматизації, але можуть бути неспецифічними через вплив домішок. Часто потребують використання складної апаратури.

Фізико-хімічні методи кількісного аналізу базуються на вимірюванні фізичних параметрів, що змінюються внаслідок хімічних реакцій. Вони характеризуються низькою межею визначення та швидкістю виконання й включають електрохімічні, оптичні та хроматографічні методи [6].

20.1.2. Оптичні, електрохімічні, хроматографічні та радіобіологічні методи аналізу, їхнє значення в сучасній біотехнології

Фізичні й фізико-хімічні методи об'єднує спільна назва – «інструментальні методи аналізу». Методика проведення фізико-хімічних аналізів переважно однакова і зводиться до такого [4]:

— залежно від аналізованої системи вибирається необхідний метод аналізу;

— готується низка стандартних розчинів (серій);

— вимірюються фізичні властивості розчинів на відповідному приладі;

— за отриманими даними будується калібрувальний графік у координатах склад – властивість;

— вимірюється фізична властивість аналізованого зразка, за графіком визначається його склад.

Залежно від використовуваного фізичного явища фізико-хімічні методи аналізу поділяються на оптичні, фотометричні, електрохімічні, хроматографічні. Чутливість фізико-хімічних методів визначається двома факторами: інтенсивністю вимірюваної фізичної властивості і чутливістю детекторів сигналу в приладі [5].

Оптичні методи

Засновані на вимірюванні оптичних властивостей розчинів:

— *поляриметричні* – вимір кута обертання площини поляризації в розчині речовини;

— *рефрактометричні* – вимір кута переломлення світла в розчині;

— *фотометричні* – вимір пучка світла, що пройшов крізь розчин;

— *спектрофотометричні* – вимір інтенсивності пучка світла визначеної довжини хвилі, що пройшов крізь розчин [1; 3].

Оптичні методи аналізу класифікують на:

I. *Абсорбційні методи:* основані на вимірюванні поглинання речовиною світлового випромінювання:

1) колориметрія;
2) фотоколориметрія;
3) спектрофотометрія.

II. *Емісійні методи:* засновані на вимірюванні інтенсивності світла, що випромінюється речовиною:

1) емісійний спектральний аналіз;
2) полум'яна фотометрія.

III. *Методи, засновані на вимірюванні інтенсивності світла* після взаємодії його зі суспендованими частками в розчині (емульсії, суспензії):

1) флуорометрія;
2) турбідиметрія;
3) нефелометрія.

IV. *Методи, засновані на явищі поляризації молекул під дією світлового випромінювання:*

1) рефрактометрія;
2) поляриметрія [4].

Методи молекулярно-абсорбційного аналізу

Аналіз, оснований на вимірюванні поглинання електромагнітного випромінювання молекулами або іонами у видимій, ультрафіолетовій або інфрачервоній області спектра:

1) *колориметрія* – метод, оснований на візуальному порівнянні інтенсивності забарвлення розчинів різних концентрацій;

2) *фотоколориметрія* – метод, оснований на вимірюванні ступеня поглинання немонохроматичного або частково монохроматичного випромінювання речовиною, що визначається, у видимій області спектра;

3) *спектроскопія у видимій, ультрафіолетовій та інфрачервоній області спектра* – методи, основані на вимірюванні поглинання речовиною монохроматичного випромінювання у видимій (360–760 нм), ультрафіолетовій (180–360 нм) та інфрачервоній області (760–1100 нм) спектра. Оптична густина розчинів підлягає дії закону світлопоглинання [5; 16].

Застосування інфрачервоної та ультрафіолетової спектроскопії в аналітичному аналізі

1. Інфрачервона спектроскопія:

1) *якісний аналіз.* Метод застосовується для ідентифікації речовин:

— за характерними максимумами в області «відбитків пальців» за відповідних характеристичних частот (600–1500 $см^{-1}$);

— шляхом порівняння спектра речовини, що аналізується, зі спектром речовини-стандарту.

Для визначення структури органічних і неорганічних сполук за характерним поглинанням (максимуму у спектрі) для кожної групи атомів;

2) *кількісний аналіз.* Визначення основані на використанні закону Бугера – Ламберта – Бера, проте це незручно, оскільки величина *l* дуже мала (вимірювання проводять у вузькій кюветі);

3) *метод градуйованого графіка*;

4) *метод базової лінії*.

2. Ультрафіолетова спектроскопія:

1) *якісний аналіз.* Метод використовується для:

— встановлення структури органічних сполук (за характерними для окремих груп хімічних зв'язків довжинами хвиль максимумів або мінімумів поглинання, за інтенсивністю поглинання) [2];

— вивчення міжмолекулярної взаємодії, утворення комплексів з переносом зарядів (π-комплексів);

— для ідентифікації речовин за величиною ε у точці максимуму для розчинів з відомою концентрацією і за величиною на півширини хвилі смуги поглинання;

— для характеристики енергетичних рівнів електронів в органічних сполуках;

2) *кількісний аналіз.* В основі визначення лежить закон Бугера – Ламберта – Бера. Визначення концентрації речовин проводять одним із методів (колориметрія, фотоелектроколориметрія).

Колориметрія – цей метод використовують для приблизного оцінювання забарвлених розчинів. Якщо речовина не має забарвлення, проводять

фотометричну реакцію, яка супроводжується утворенням забарвленої сполуки. Не потребує дотримання закону Бугера – Ламберта – Бера [6].

Кількісні визначення проводять:

1. *Методом вирівнювання забарвлення:* вимірюють товщину шару дослідного та стандартного розчинів, досягають рівної інтенсивності їхнього забарвлення. Розрахунок концентрації дослідного розчину (C_x) проводять за формулою:

$$C_x = \frac{C_{ст} \times l_{ст}}{l_x},$$

де $C_{ст}$ – концентрація стандартного розчину;

$l_{ст}$, l_x – товщина шару стандартного й дослідного розчинів відповідно.

2. *Методом стандартних серій:* готовлять серію стандартних розчинів з точно відомою концентрацією розчину, що аналізують, порівнюють інтенсивність забарвлення з інтенсивністю забарвлення розчину, що аналізують. Концентрація такого розчину дорівнює концентрації стандартного розчину з рівною інтенсивністю забарвлення.

3. *Колориметричне титрування:* за рівних умов додають фотометричний реагент до дослідного розчину й до води. Потім з бюретки до води додають стандартний розчин дослідної речовини. Водночас до розчину, що аналізують, уодять воду, щоб об'єми рідин увесь час були однаковими, домагаються зрівняння забарвлення двох розчинів.

Фотоелектроколориметрія – метод, придатний для визначення концентрації забарвлених розчинів шляхом вимірювання оптичної густини (A) або пропускання (T) розчину.

Дотримання закону Бугера – Ламберта – Бера обов'язково.

$$A = \lg \frac{I_0}{I};\ \text{I=I0}\times 10^{-\varepsilon \text{Cl}};\ \text{A=}\varepsilon\ \text{C}\ 1;$$

$$T = \frac{I}{I_0};\ A = \lg \frac{1}{T};\ \varepsilon^{\lambda} = \frac{A^{\lambda}}{C \times 1};\ E^{1\,\%}_{1\ \text{см}} = \frac{A^{\lambda}}{C \times 1},$$

де ε – молярний коефіцієнт світлопоглинання, рівний оптичній густині (A), розчину з концентрацією C=1 моль/л і товщиною шару l=1 см;

$E^{1\,\%}_{1\ \text{см}}$ – питомий коефіцієнт світлопоглинання, рівний оптичній густині A розчину з концентрацією C=1 % і товщиною шару l=1 см.

$$\varepsilon = E^{1\,\%}_{1\ \text{см}} \times \frac{M}{10},$$

де M – молекулярна маса речовини.

Визначення концентрації проводять:

1) методом градуйованого графіка;
2) за середнім значенням коефіцієнта (ε);
3) методом добавок;
4) методом диференційної фотометрії;
5) екстракційно-фотометричним методом.

Класифікація коливальних інфрачервоних спектрів

Нормальні коливання (проявляють тільки ті молекули, у яких проходять зміни їхнього електронного дипольного моменту, ядра всіх атомів коливаються з однаковою частотою і фазою):

1) *валентні коливання ν* (після збудження молекули змінюється довжина зв'язку без зміни кутової відстані між зв'язками):

— симетричні *ν(S)*;

— асиметричні *ν(aS)*;

2) *деформаційні коливання* σ (після збудження молекули змінюється кут між зв'язками).

Емісійні методи аналізу

Емісійні методи аналізу базуються на визначенні якісного та кількісного складу речовини за спектрами випромінювання атомів і молекул.

Емісійний спектральний аналіз вимірює довжину хвилі й інтенсивність випромінювання, що виникає за збудження атомів у високотемпературних джерелах світла, як-от електрична дуга чи іскра.

Полум'яна фотометрія використовує спектральне випромінювання атомів, збуджених у газовому полум'ї, застосовується для аналізу лужних і лужноземельних елементів.

Флуорометрія визначає інтенсивність флуоресценції речовин, що випромінюють світло після збудження електромагнітним випромінюванням.

Емісійний спектральний аналіз

Емісійний спектральний аналіз ґрунтується на властивості збуджених атомів випромінювати лінійний спектр. У якісному аналізі головне завдання – виявити спектральні лінії якогось елемента у пробі, визначають їхню належність за довжиною хвилі й інтенсивністю. Границя виявлення становить 10^{-2}–10^{-5} %.

Кількісний аналіз базується на зв'язку між інтенсивністю спектральних ліній і концентрацією елемента. Зазвичай використовують не окрему лінію, а співвідношення інтенсивностей ліній визначуваного елемента та внутрішнього стандарту. Залежно від способу оцінювання інтенсивності розрізняють візуальні, фотографічні та фотоелектричні методи. Межа виявлення – до 0,1 %, або 10^{-7}–10^{-9} г [5].

Емісійна полум'яна фотометрія

Емісійна полум'яна фотометрія заснована на збудженні атомів елементів у полум'ї газової суміші, що складається з газу-топлива та газу-окисника (наприклад, ацетилен+кисень). Випромінювання визначуваного елемента виділяється світлофільтром або монохроматором, який налаштовують на довжину хвилі спектральної лінії цього елемента.

Кількісний аналіз базується на залежності інтенсивності спектральної лінії від концентрації елемента в розчині. Основне рівняння: $\lg I = \lg a + b \times \lg C$, де *a* залежить від температури та стабільності джерела збудження, а *b* ураховує

самопоглинання світла незбудженими атомами. Кількісні визначення проводять методом градуйованого графіка або методом добавок. Середня границя виявлення становить 10^{-3}–10^{-4} % [6].

Флуорометрія

Флуорометрія ґрунтується на здатності речовин люмінесціювати за відповідних умов. Органічні сполуки ідентифікують за спектральними характеристиками флуоресценції або кольором випромінювання. Для неорганічних іонів застосовують реакцію утворення комплексів з органічними реагентами, що спричиняють люмінесценцію, наприклад, натрій-цинк-уранілацетат світиться зеленувато-жовтим. Для сумішей використовують світлофільтри для вибору випромінювання потрібної довжини хвилі.

Кількісний аналіз базується на залежності інтенсивності флуоресценції від концентрації речовини. Для розбавлених розчинів (10^{-7}–10^{-4} моль/дм^3) інтенсивність визначають за формулою:

$$F = I_0 \times 2{,}3 \times \varepsilon \times C \times b \times \varphi,$$

де F – інтенсивність флюоресценції, квант × с$^{-1}$;
I_0 – інтенсивність збудженого світла, квант × с$^{-1}$;
C – концентрація розчину, моль × л$^{-1}$;
ε – молярний коефіцієнт поглинання;
b – товщина шару, що флуоресціює;
φ – квантовий вихід флуоресценції, що залежить від природи речовини.

Границя виявлення 10^{-7} моль/дм^3.

Для аналізу речовин із домішками, що заважають визначенню, застосовують екстракційно-люмінесцентний метод. Досліджувану речовину екстрагують органічним розчинником і аналізують стандартним способом.

Методи, основані на вимірюванні інтенсивності світла під час взаємодії із суспендованими частками в розчині поділяють на:

1) *турбідіметрію:* метод визначення концентрації, оснований на вимірюванні інтенсивності світла, що пройшло крізь середовище, яке містить суспендовані частки (суспензії, емульсії) [5].

$$S = A = \lg \frac{I_0}{I} = -k \times 1 \times C,$$

де S – мутність розчину (відповідає оптичній густині (A) і визначається за законом Бугера – Ламберта – Бера);
k – коефіцієнт мутності розчину;
1 – товщина шару;
C – концентрація суспендованих часток.

Рівняння справедливе тільки для дуже розбавлених суспензій;

2) *нефелометрію:* метод визначення концентрації, оснований на вимірюванні інтенсивності світла (I_p), розсіяного суспендованими частками, яка пропорційна концентрації суспендованих часток (C).

$$I_p = k \times C.$$

Для двох мутних середовищ із частками однакової форми й розмірів відношення інтенсивності розсіяного світла пропорційно відношенню концентрації розчину.

$$\frac{I_p^1}{I_p^2} = \frac{C_1}{C_2};\ C_1 = \frac{I_p^1 \times C_2}{I_p^2}.$$

Методи, основані на явищі поляризації молекул під дією світлового випромінювання. До них відносять:

1) *рефрактометрію:* метод, оснований на вимірюванні відносного показника відбиття світла (*n*) дослідною речовиною:

$$n = \frac{V_1}{V_2} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta},$$

де *n* – відношення швидкості розповсюдження світла в повітрі (V_1), або синусу кута падіння (sin α) до швидкості світла в розчині, що аналізуємо, (V_2), або синусу кута відбиття (sin β) в розчині, що аналізуємо.

Прийнято наводити значення *n* за визначених умов: t_0=20 °С; λ=589,3 нм (жовта лінія натрію).

Прилад для вимірювання – *рефрактометр*.

Точність вимірювання $\pm 2 \times 10^{-4}$.

Показник відбиття позначають n_D^{20};

2) *поляриметрію:* метод, оснований на вимірюванні кута обертання плоскості поляризації (α) поляризованого променя світла, що пройшов крізь оптично активне середовище:

$$[\alpha]_D^{20} = \frac{\alpha \times 100}{1 \times C},$$

де $[\alpha]_D^{20}$ – величина питомого обертання (const);
α – виміряний кут обертання, у градусах;
l – товщина шару, у дм;
C – концентрація розчину, у г/100 мл.

α залежить від:
— природи розчинника;
— концентрації оптично активної речовини (*C*);
— товщини шару оптично активної речовини (*l*).

Умови: t_0=20 °С; λ=589,3 нм.

Прилад для вимірювання α – *поляриметр*.

Точність вимірювання ±0,02°.

Хроматографічний аналіз – це фізико-хімічний метод розділення складних сумішей газів, пари, рідин або розчинених речовин на окремі компоненти за допомогою сорбції в динамічних умовах [6].

Сорбцією (від лат. *sorbeo* – вбираю, втягую) називають будь-який процес вбирання однієї речовини іншою. Залежно від механізму сорбції розрізняють адсорбцію, абсорбцію, хемосорбцію та капілярну конденсацію [5].

Речовину, що вбирається іншою речовиною, називають сорбтивом, а речовину, що сама вбирає – сорбентом.

Адсорбцією називають зміну концентрації речовини на межі поділу фаз, тобто це поглинання речовин (адсорбтивів) поверхнею твердого або рідкого тіла (адсорбента). Процес адсорбції зазвичай супроводжується виділенням теплоти, саме тому з підвищенням температури адсорбція зменшується. Адсорбція – процес зворотний. У системі існує рівновага між явищами вбирання речовини поверхнею (адсорбцією) і явищами виділення цієї ж речовини з поверхні адсорбента (десорбцією). З підвищенням температури рівновага зміщується в бік десорбції.

Коли вбирання однієї речовини іншою не обмежується поверхневим шаром, а відбувається в усьому об'ємі сорбенту, таке явище називають ***абсорбцією***.

Вбирання однієї речовини іншою, що супроводжується хімічними реакціями, називають ***хемосорбцією*** (вбирання діоксиду вуглецю оксидом кальцію).

Капілярна конденсація – це зрідження пари в мікропористих сорбентах.

Отже, сорбційні процеси різні за механізмом, проте будь-який із них починається з адсорбції на межі стикання фаз, які можуть бути рідкими, газоподібними або твердими.

Хроматографічний метод розділення речовин ґрунтується на пропусканні газової суміші або розчину крізь колонку з адсорбентом (оксид алюмінію, силікагель, карбонат кальцію тощо). Компоненти суміші поглинаються з різною швидкістю: речовини з більшою здатністю до адсорбції затримуються у верхній частині колонки, з меншою – просуваються вниз.

Зональний розподіл компонентів суміші вздовж адсорбенту називається ***хроматограмою***. Хроматограма дає можливість виділити та проаналізувати окремі складники суміші [5].

Хроматографію розрізняють за:

— характером середовища, у якому провадиться розділення (газова, газорідинна, рідинна);

— механізмом розділення (молекулярна адсорбційна, осадова, іонообмінна й розподільна);

— способами проведення процесу (колонкова, капілярна, паперова й тонкошарова) [6].

Біологічні методи

Основу біологічних і біохімічних методів дослідження становлять реакції рослин, тварин і мікроорганізмів на дію чинника. Зміни можуть відбуватися на різних рівнях.

Біоіндикація – це оцінювання стану довкілля за реакцією живих організмів.

Біоіндикатори – живі організми, за наявністю, станом і поведінкою яких можна робити висновки про ступінь зміни довкілля, зокрема й про наявність забруднювальних речовин.

20.1.3. Сфери застосування інструментальних методів досліджень

Інструментальні методи аналізу незамінні для дослідження мікрокількостей речовин, коли хімічні методи дають великі похибки або не досить чутливі. Вони також ефективні в аналізі матеріалів із високим умістом компонента, але обмеженою масою проби [11].

Методи широко застосовуються у швидкому контролі виробництв, як-от металургія, нафтохімія та біотехнологія, дозволяють оперативно коригувати технологічні процеси. Їхньою перевагою є можливість автоматизації, комп'ютеризації та авторегулювання [5].

20.2. Потенціометрія і електрометрія

20.2.1. Потенціометричні методи досліджень

Потенціометрія – це метод аналізу, заснований на вимірюванні електродних потенціалів і електрорушійних сил гальванічних елементів. Він вирізняється високою точністю (до 0,02–0,05 моль/л) і швидким встановленням рівноважного потенціалу, що робить його ефективним для біологічних досліджень.

Метод застосовується в багатокомпонентних системах, мутних, пофарбованих розчинах і в'язких середовищах. Для визначення pH потенціометричним методом використовують гальванічний ланцюг з індикаторним електродом, потенціал якого змінюється залежно від концентрації іонів водню.

Як індикаторні можуть бути використані *водневий* електрод, *хінгідронний*, *сурм'яній* і *скляний* електроди:

1) $Pt(H_2) \mid H^+$, $e = -0{,}059$ pH;
2) $Pt \mid H^+_{х.г.}$, $e = 0{,}7 - 0{,}059$ pH;
3) $Sb, Sb_2O_3 \mid H^+$, $e = e^{0'} - 0{,}059$ pH;
4) ск. ел. $\mid H^+$, $e = e^{0'}_{ск.} - 0{,}059$ pH.

Другим електродом у гальванічному ланцюзі для виміру *pH* має бути електрод порівняння, що в цих умовах має постійне значення електродного потенціалу.

Як електроди порівняння можуть бути використані *каломельний* і *хлорсрібний* електроди.

Найчастіше використовують як електрод порівняння хлорсрібний електрод (більш зручний за конструкцією).

Потенціометричне титрування проводять тоді, коли хімічні індикатори використати не можна або за відсутності належного індикатора.

У потенціометричному титруванні як індикатор використовують електроди потенціометра, занурені в розчин, що титрується. У процесі титрування змінюється концентрація іонів, що реєструється на шкалі вимірювального приладу потенціометра [5; 16].

20.2.2. Типи електродів: скляні іоноселективні, рідинні іонообмінні й тверді електроди

Класифікація електродів

Залежно від будови й електродної реакції електроди поділяють на:

1. *І-го роду*, потенціал яких визначається концентрацією аніона або катіона.
2. *ІІ-го роду*, потенціал яких визначається концентрацією аніона й катіона.
3. *Окислювально-відновні (ІІІ-роду)* – редокс-електроди у вузькому значенні цього слова, тому що всі електроди є окислювально-відновними.
4. *Мембранні електроди:*

а) *електроди І-го роду:*

— металеві електроди: пластина, занурена в розчин власної солі: Me/Me^{n+}. На електродах відбувається реакція:

$Me^0 - n\bar{e} \rightarrow Me^{n+}$;

$Me^{n+} + n\bar{e} \rightarrow Me^0$.

Електродний потенціал розраховується за рівнянням Нернста.

Стандартний водневий електрод записується так:

$Pt(H_2) \mid H^+$,

за P_{H2}=101,3 кПа; α_{H+}=1 моль/л; $e_{H+/1/2H2}$=–0,059 pH,

e^0=0, тоді за рівнянням Нернста в умовах, відмінних від стандартних:

$e = e^0 + 0{,}059/n \times \lg[H^+]$, $e_{H2/H+}$=–0,059 pH;

б) *електроди ІІ-го роду.*

Це зазвичай метал, покритий важко розчинним золем цього металу та зануре-ний у розчин солі з однойменним аніоном:

$Me, MeA \mid A^{n-}$.

До них належать:

— каломельний: $Hg, Hg_2Cl_2 \mid KCl$ (нас);

— хлорсрібний: $Ag, AgCl \mid KCl$ (нас);

— сурм'яний: $Sb, Sb_2O_3 \mid H^+$;

в) *електроди ІІІ роду (редокс-електроди).*

Назва окисно-відновних електродів (редокс-електродів) походить від reduction – відновлення або oxidation – окислення.

Окисно-відновні електроди – це електроди, що складаються з інертного металу (зазвичай Pt, Au), зануреного в розчин, що містить окислену й відновлену форми однієї речовини;

г) *мембранні електроди.*

Якщо напівпроникну мембрану помістити між двома розчинами різних концентрацій, то за деякий час по один бік мембрани виникає надлишок негативних іонів, а по інший – позитивних. У такому разі виникає електрохімічна різниця потенціалів, названа мембранним потенціалом [5].

20.2.3. Потенціометричне титрування

Потенціометричний метод аналізу ґрунтується на вимірюванні потенціалу електрода, який залежить від його природи, складу розчину, температури й інших чинників (рівняння Нернста). Визначенням різниці потенціалів електродної пари можна контролювати перебіг хімічних реакцій і технологічні процеси.

Метод широко застосовується в лабораторній практиці для визначення еквівалентної точки в титруванні, концентрації іонів у розчині та дослідження хімічних реакцій. Пряма потенціометрія дозволяє розрахувати концентрацію іонів, зокрема водневих, що робить її точним методом визначення pH.

За потенціометричного титрування замість кольорового індикатора використовують електрод, а точку еквівалентності визначають за стрибком потенціалу. Для цього застосовують систему з індикаторного й електрода порівняння (частіше каломельного або хлорсрібного). Наприклад, за титрування кислоти лугом концентрація іонів H^+ поступово зменшується, що відобивається на зміні потенціалу. Зразок кривої титрування представлено на рисунку 20.1.



а *б*

Рисунок 20.1 – Криві потенціометричного титрування кислоти лугом:
а – інтегральна крива; *б* – диференціальна крива

У точці еквівалентності за потенціометричного титрування спостерігається різкий стрибок електродного потенціалу, який залежить від сили кислоти та концентрації розчину. Якщо кислота дуже слабка або розчин дуже розведений, стрибок невиражений, що унеможливлює визначення точки еквівалентності.

Точку еквівалентності часто знаходять графічно, будують криву залежності зміни потенціалу від об'єму титранту. Аналогічні криві отримують за титрування методами осадження, комплексоутворення та окисно-відновних реакцій. Якщо в розчині є речовини, що утворюють сполуки різної розчинності чи стійкості, можливі додаткові коливання потенціалу.

Окрім класичного методу, існують некомпенсаційні варіанти титрування, де точку еквівалентності визначають за зміною сили струму або різницею потенціалів між біметалічними електродами, як-от платиновий і вольфрамовий.

Основні переваги методу – висока точність, чутливість, можливість аналізу розбавлених розчинів і одночасного визначення кількох компонентів без

їх попереднього розділення. Використання неводних розчинників розширює сферу застосування, дозволяє аналізувати речовини, які у воді не розчиняються або розкладаються. Метод легко піддається автоматизації, що реалізується в автотитраторах.

До недоліків належить не завжди швидке встановлення потенціалу після додавання титранту та необхідність проведення повторних вимірювань для підвищення точності [5].

Полярографія. Теоретичні основи методу

Полярографічний аналіз розроблений у 1922 р. чеським ученим Я. Гейровським. Принципова схема полярографічної установки представлена на рисунку 20.2.

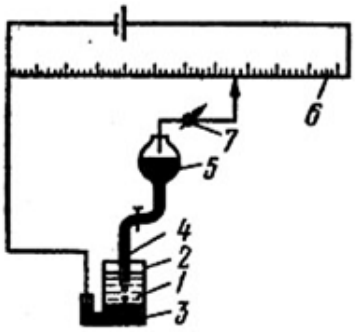


Рисунок 20.2 – Схема полярографічної установки

В електролізері із ртутним анодом і краплинним ртутним катодом подана напруга визначає потенціал катода, оскільки анод має велику поверхню і практично не поляризується. Опір розчину не враховується завдяки наявності дисоційованого фонового електроліту.

Якщо в розчині немає відновлюваних речовин, залежність сили струму від напруги буде лінійною, відповідно до закону Ома. У разі наявності таких речовин починаються електрохімічні процеси, що змінюють характер кривої [12].

Коли досягається потенціал відновлення, іони починають розряджатися на катоді, збільшують силу струму. Концентрація іонів біля катода падає майже до нуля, але завдяки дифузії із глибини розчину відбувається їх постійне поповнення, що підтримує силу струму. Умови полярографічного аналізу забезпечують мінімальний вплив інших механізмів перенесення іонів [5].

20.2.4. Полярографічна хвиля. Рівняння полярографічної хвилі

Серед недифузійних механізмів перенесення іонів основну роль відіграє їх міграція до катода під дією електричного поля. Якщо міграційний струм не усунути, загальний струм стане неконтрольованим, що обмежить можливості полярографічного аналізу.

Для придушення міграційного струму в розчин додають індиферентний (фоновий) електроліт, який не бере участі в електродній реакції та має значно більш негативний потенціал виділення, ніж аналізований іон. Катіони фонового електроліту екранують електрод, зводячи міграцію іонів майже до нуля.

За визначеного потенціалу швидкість розряду іонів на катоді зрівнюється зі швидкістю їх дифузії, установлюється рівновага, що проявляється як постійний струм, який не змінюється з напругою. Такий струм називають дифузійним, або граничним.

Типова залежність сили струму від докладеної напруги подана на рисунку 20.3.

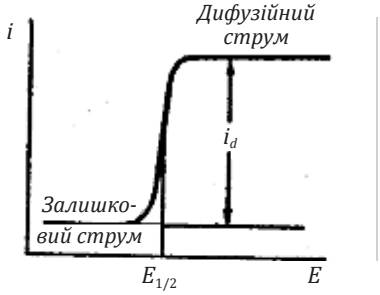


Рисунок 20.3 – Полярограма

За невеликого потенціалу катода сила струму повільно збільшується зі зростанням потенціалу – це так званий залишковий струм, його величина має порядок 10^{-7} А. Після досягнення потенціалу відновлення на катоді починається розряд іонів і сила струму різко зростає, прагнучи до граничної величини дифузійного струму. Потенціал відновлення, за якого починається розряд іона на катоді, залежить від концентрації іона, що відновлюється, тобто не є постійним.

Залежність струму i від докладеної напруги E за зворотного електродного процесу передається рівнянням зворотної полярографічної хвилі:

$$E = E_{1/2} + \frac{RT}{nF} \ln \frac{i_d - i}{i}, \qquad (20.1)$$

де $E_{1/2}$ – потенціал на півхвилі;
i_d – дифузійний (граничний) струм.

У разі незворотних процесів рівняння полярографічної хвилі ускладнюється. За $i = 1/2\, i_d$ рівняння (20.1) переходить у

$$E = E_{1/2}. \qquad (20.2)$$

Це співвідношення показує незалежність потенціалу на півхвилі від струму, отже, від концентрації іона, що відновлюється. Потенціал на півхвилі є якісною характеристикою іона в розчині даного фонового електроліту, і визначення потенціалу напівхвилі становить основу якісного полярографічного аналізу.

Однак потенціал напівхвилі істотно залежить від середовища й наявності в розчині речовин, здатних до комплексоутворення з досліджуваним іоном.

Присутність у досліджуваному розчині ліганду зміщує потенціал напівхвилі в негативну область тим більше, чим міцніший комплекс і вище концентрація ліганду. Це значно розширює можливості полярографічного аналізу, дозволяє створювати умови для визначення декількох компонентів в одному розчині без їх попереднього поділу. Якщо в розчині містяться кілька речовин, здатних відновлюватися на ртутному катоді, то на полярограмі буде не одна хвиля, а декілька – за числом іонів, що відновлюються (рис. 20.4).

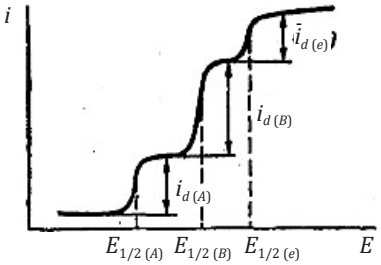


Рисунок 20.4 – Полярограма за наявності в розчині речовин A, B і C

Можна одержати, таким чином, полярографічний спектр іонів, а потім за цими даними й виміряним потенціалом напівхвилі ідентифікувати невідому речовину. Положення елемента в такому спектрі буде залежати від фонового електроліту, його природи й концентрації.

Рівняння Ільковича

На полярограмах часто виникають максимуми різної форми, що заважають визначенню дійсної величини потенціалу напівхвилі й сили струму. Розрізняють максимуми I і II роду.

Кількісний полярографічний аналіз заснований на рівнянні Ільковича, що зв'язує дифузійний струм i_d з концентрацією іона C, інших величин:

$$i_d = 605 z D^{1/2} m^{3/2} t^{1/6} c, \qquad (20.3)$$

де z – заряд іона;
D – коефіцієнт дифузії;
m – маса ртуті, що випливає з капіляра за 1 с, мг;
t – час утворення краплі (період крапання).

Серед величин, що входять у це рівняння, найважче піддається експериментальному визначенню коефіцієнт дифузії D, а використання відповідних довідкових даних не завжди можливо. Тому у практиці кількісного полярографічного аналізу коефіцієнт пропорційності між концентрацією речовини й силою дифузійного струму зазвичай визначають за допомогою стандартних розчинів. За постійних умов полярографування D, m і t постійні, тому рівняння (20.3) переходить у

$$i_d = kC. \qquad (20.4)$$

У зв'язку із цим в опублікованих роботах з полярографії завжди повідомляється так звана характеристика капіляра, що обчислюється як $m^{3/2}t^{1/6}$.

Найширше застосовується в кількісній полярографії метод каліброваного графіка на основі рівняння (20.4). Графік будують за даними полярографування зазвичай не менш ніж трьох стандартних розчинів. На осі координат відкладається пропорційна силі дифузійного струму висота полярографічної хвилі, а за віссю абсцис – концентрація іона, що відновлюється. Відповідно до рівняння (20.4) калібрований графік має являти собою пряму лінію, що проходить через початок координат. За відхилення від лінійної залежності доводиться збільшувати число стандартних розчинів для того, щоб збільшити число точок для побудови каліброваного графіка. Метод дає точні результати за умови строгої ідентичності умов полярографування стандартних розчинів і невідомої проби. До умов полярографування відносять умови роботи капіляра, температуру й середовище (фоновий електроліт). Метод каліброваного графіка є найбільш трудомістким, але й найбільш точним методом кількісної полярографії [5; 18].

20.2.5. Метод стандартних розчинів

Під час проведення аналізу деяких систем, для яких застосовність рівняння (20.4) цілком надійна, часто застосовують менш трудомісткий метод стандартних розчинів. У цьому методі в однакових умовах знімають полярограми стандартного й аналізованого розчинів, із пропорції, заснованої на рівнянні (20.4), розраховують невідому концентрацію C_x:

$$C_x = C_{\text{ст}} \frac{h_x}{h_{\text{ст}}},$$

де $C_{\text{ст}}$ – концентрація стандартного розчину;
h_x і $h_{\text{ст}}$ – висота хвилі за полярографування аналізованого і стандартного розчинів відповідно. Метод придатний лише за умов стандартизації полярографування.

Дуже поширений у кількісній полярографії метод «добавок». Деякою мірою він близький до методу стандартних розчинів. Нехай за полярографування досліджуваного розчину сила дифузійного струму дорівнює:

$$i_x = KC_x.$$

Додаємо до цього розчину відому кількість стандартного розчину $C_{\text{ст}}$ і знову визначаємо дифузійний струм:

$$i_{x+\text{ст}} = K(C_x + C_{\text{ст}}).$$

Після розподілу розподілу одержуємо:

$$\frac{i_x}{i_{x+\text{ст}}} = \frac{C_x}{C_x + C_{\text{ст}}},$$

звідки

$$A = \lg \frac{I_0}{I_t} = \varepsilon \times l \times c. \qquad (20.5)$$

За співвідношенням (20.5) знаходимо концентрацію аналізованого розчину.

У методі «добавок» автоматично враховується вплив фону й так званих третіх компонентів, що є значною перевагою методу й дозволяє застосовувати його для проведення аналізу складних сумішей [5].

Електроди в полярографії

Об'єктами полярографічного аналізу є не тільки неорганічні речовини чи іони, але й багато органічних речовин, здатних до електрохімічних перетворень. В електродній реакції органічної речовини зазвичай беруть участь іони водню:

$$R + nH^+ + ne^- = RH_n.$$

Електрохімічне відновлення більшості органічних речовин має незворотний характер, тому рівняння полярографічної хвилі стає складнішим і рівняння Ільковича часто не дотримується. Проте для багатьох органічних речовин знайдені умови, за яких вони можуть бути кількісно визначені полярографічним методом. До полярографічно активних угруповань відносять, наприклад, >CHO; >C=N-; NO_2^-; -NHOH; -O-O-; -S-S- та багато інших.

Полярографічний метод дозволяє визначати багато органічних сполук, зокрема альдегіди, кетони, азо- і нітросполуки, аміно- та галогенопохідні, органічні кислоти й пероксиди. Кількість таких сполук постійно зростає.

Окрім ртутних електродів, у полярографії використовують тверді мікроелектроди із платини, золота або графіту. Вони мають малу поверхню, що забезпечує високу щільність струму й дозволяють працювати в більш позитивній області потенціалів (до 1,3 В), тоді як ртутний краплинний електрод функціонує в межах від 0,3 до –2,0 В. Тверді електроди нетоксичні, на відміну від ртутних, робота з якими потребує дотримання суворих заходів безпеки.

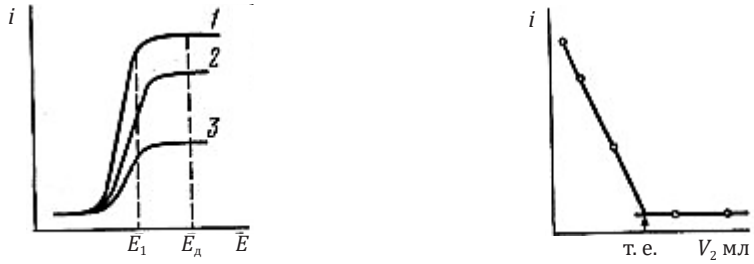
Водночас тверді електроди мають недоліки: необхідність частого очищення, збіднення приелектродного шару розчину та повільне встановлення граничного струму, що обмежує їх застосування. Однак обертові й вібруючі платинові мікроелектроди дозволяють підтримувати високу концентрацію речовини біля електрода, що покращує точність вимірювань. Хоча ці методи поступаються за точністю ртутному краплинному електроду, вони значно розширюють область потенціалів, придатну для полярографічних досліджень.

Амперометричне титрування

Амперометричному титруванню належить особливе місце в полярографічному аналізі. Його проводять в електролізері полярографа, вимірюють силу дифузійного струму після додавання порцій реактиву. Як індикаторні електроди використовують ртутний краплинний, обертові платинові, графітові, інші тверді електроди.

Для визначення полярографічно-неактивних речовин застосовують спеціальні методики, уводять у розчин іон-індикатор, який реагує з тим же титрантом, що й досліджувана речовина. Назва «амперометричне титрування» критикується в науковій літературі за невідповідність суті методу, однак вона широко використовується, тому її продовжують застосовувати.

Вид кривої титрування залежить від того, який компонент бере участь в електродній реакції та за якого потенціалу проводиться титрування. Реакція титрування протікає незалежно від цих чинників. Наприклад, за титрування Ag^+, Pb^{2+}, Bi^{3+} або інших іонів осаджувачем їхня концентрація в розчині поступово зменшується, що відбивається на полярограмах як зниження величини дифузійного струму (рис. 20.5, *а*).



а *б*

Рисунок 20.5 – Амперметричне титрування катіона, який відновлюється на катоді:
а – полярограма за різних кількостей доданого титранту: 1 – 0 мл; 2 – V_1 мл; 3 – V_2 мл; ($V_2 > V_1$); *б* – крива титрування

Джерело: [5]

У точці еквівалентності струм падає до мінімуму й далі залишається постійним. Крива цього титрування представлена на рисунку 20.5, *б*, де на графіку відкладена сила дифузійного струму як функція об'єму доданого реактиву. Точка еквівалентності (т. е.) знаходиться як точка перетину прямих.

Знімати повну полярограму після кожного додавання титранту немає необхідності, тому що для побудови кривої титрування і визначення точки еквівалента досить знати силу дифузійного струму за напруги $E_д$. Титрування за іншого потенціалу, наприклад E_1, буде давати меншу точність, тому що за цього потенціалу буде вимірюватися недифузійний струм. Вимірюваний за потенціалом E_1 струм не буде досить стабільний, крива титрування в такому разі не буде лінійною. Отже, амперометричне титрування варто проводити за потенціалу, що відповідає області дифузійного струму. Зазвичай титрують за потенціалу на 0,2–0,3 В, більш від'ємному, ніж потенціал напівхвилі полярографічно активної сполуки. Крива титрування має інший вигляд (рис. 20.6), ніж на рисунку 20.5, якщо в електродну реакцію вступає не досліджувана речовина, а титрант, як це має місце, наприклад, за титрування барію хроматом:

$$Ba^{2+} + CrO_4^{2-} = BaCrO_4$$

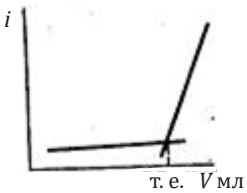


Рисунок 20.6 – Крива амперметричного титрування барію хроматом

До точки еквівалентності дифузійний струм хромату невеликий, тому що концентрація хромату незначна. Після точки еквівалентності надлишкова концентрація хромату в розчині спричиняє різке збільшення сили дифузійного струму.

На рисунку 20.7 наведена крива амперометричного титрування за дифузійним струмом, зумовленим концентрацією продукту реакції, що утворився під час титрування.

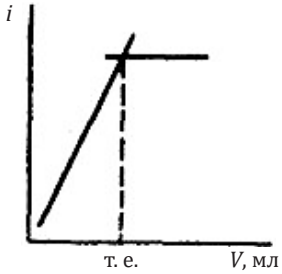


Рисунок 20.7 – Крива амперметричного титрування миш'якової кислоти йодидом калію

Цей випадок реалізується, наприклад, за титрування миш'якової кислоти йодидом калію:

$$H_2AsO_4^- + 2I^- + H^+ = HAsO_3^{2-} + I_2 + H_2O.$$

З титруванням концентрація вільного йоду, що виділяється як продукт реакції, буде зростати до точки еквівалентності, після чого залишиться постійною.

Окрім основних типів амперометричного титрування, існують інші методики, зокрема титрування із двома індикаторними електродами, також відоме як біамперометричне титрування, або метод мертвої кінцевої точки. У цьому методі в розчин уводять два електроди (платинові або інші) під малою постійною напругою (0,02–0,05 В), під час титрування вимірюють силу струму.

Зазвичай у такому титруванні відбувається окисно-відновна реакція. До початку титрування струм між електродами практично відсутній, оскільки без окисно-відновної пари електродні процеси не відбуваються. Додавання титранту створює дві окисно-відновні пари: до точки еквівалентності в розчині переважають компоненти, утворені титрованою речовиною, а після – ті, що утворені титрантом. Вид кривої титрування визначається електрохімічною зворотністю цих пар.

Якщо обидві окисно-відновні пари зворотні, як, наприклад, у реакції титрування заліза (II) сіллю церію (IV):

$$Fe^{2+} + Ce^{4+} = Fe^{3+} + Ce^{3+}.$$

Додавання перших же порцій солі Ce4+ спричиняє утворення в розчині окисно-відновної пари Fe^{3+}/Fe^{2+}, у ланцюзі з'явиться струм, тому що відновлення Fe^{3+} на катоді й окиснення Fe^{2+} на аноді внаслідок високої зворотності системи відбуваються за мінімальної різниці потенціалів. Сила струму буде

зростати, поки не прореагує приблизно половина Fe^{2+}, потім розпочне зменшуватися й упаде майже до нуля в точці еквівалентності. Після точки еквівалентності на катоді буде відновлюватися Ce^{4+}, а на аноді окислюватися Ce^{3+}, струм у ланцюзі знову з'явиться [5].

Якщо система, утворена досліджуваною речовиною, зворотна, а титр – незворотний, як, наприклад, за титрування Fe^{2+} перманганатом, крива титрування до точки еквівалентності не буде відрізнятися від кривої на рисунку 20.8, *а*, тому що в обох випадках струм у системі до точки еквівалентності контролюється електрохімічно зворотною системою. Однак після точки еквівалентності зростання струму не відбудеться, тому що за цієї різниці потенціалів Mn^{2+} на аноді окислюватися не буде.



а *б*

Рисунок 20.8 – Криві амперметричного титрування із двома індикаторними електродами:
а – обидві пари зворотні; *б* – незворотна система титрується зворотною

Якщо титрується електрохімічно незворотна система, а титрант утворить зворотну окисно-відновну пару, до точки еквівалентності струму не буде, а після точки еквівалентності він різко зростає (рис. 20.8, *б*). Такою є крива титрування, наприклад, перманганату розчином солі Мору чи тіосульфату розчином йоду.

Метод амперометричного титрування із двома індикаторними електродами відзначається високою точністю і чутливістю, дозволяє аналізувати розчини з концентрацією речовини до 10^{-5} М і менше. Він простіший в апаратурному оформленні порівняно з методом, що використовує один електрод. Часто немає потреби будувати криву титрування, оскільки точку еквівалентності визначають за різким припиненням або появою струму.

Цей метод більш універсальний, ніж потенціометричне титрування, оскільки допускає використання різноманітних реагентів, зокрема органічних. Він набув широкого застосування завдяки високій точності, швидкості аналізу та можливості проведення титрування без попереднього хімічного розділення розчину [11].

Полярографічні методи аналізу засновані на процесах поляризації на ртутному або іншому електроді. Вони універсальні, швидкі та дозволяють визначати кілька речовин у суміші без їх попереднього розділення. Метод відзначається високою точністю і чутливістю: похибка становить ±2 % для розчинів концентрації 10^{-3}–10^{-4} моль/л і приблизно ±5 % для більш розбавлених розчинів. Полярографію використовують для аналізу металів і органічних сполук [5].

Амперометричне титрування застосовується для визначення катіонів і аніонів у природних водах, мінеральній сировині, промислових розчинах

і технічних об'єктах. Завдяки можливості використання реакцій осадження, комплексоутворення та окисно-відновних процесів метод підходить для аналізу більшості елементів періодичної системи.

20.3. Електрофорез

20.3.1. Електроміграційні методи

Електрофорез (від електро- і грец. φορέω – переносити) – процес розділення іонних форм і частинок дисперсної фази речовин, унаслідок різниці в їх міграції під впливом електричного поля. Під міграцією розуміють різну відстань чи швидкість переміщення.

Різні іонні форми речовини (у розчині), від простих (одноатомних) іонів до складних макромолекулярних систем (білків і деяких полімерів), характеризуються різними:

1) розмірами та формою;
2) зарядом (величина та знак);
3) сольватною (гідратною) оболонкою;
4) рухливістю;
5) сорбційними властивостями тощо.

Ці чинники зумовлюють різну міграцію частинок у розчині, що є основою електрофоретичного розділення.

За апаратурним оформленням розрізняють:

— площинний (класичний) електрофорез;

— капілярний електрофорез (високоефективний капілярний електрофорез (далі – ВЕКЕ).

Фактори, які впливають на розділення речовин методом електрофорезу

На швидкість міграції зон, їх розділення, розмивання та відтворюваність результатів, окрім вищезгаданих «внутрішніх» факторів, впливають:

1. Градієнт потенціалу (напруга / відстань між електродами).
2. Природа та властивості носія (інертного матеріалу), його сорбційні та хімічні властивості.
3. Природа та концентрація фонового електроліту (іонна сила).
4. pH електроліту, його буферна ємність.
5. Температура та її зміни у процесі розділення.
6. Наявність додаткових компонентів (модифікаторів) електроліту.

У процесі проведення розділення наявний ***потік води в напрямку від анода до катода***, у зв'язку з тим, що катіони є більш сольватованими (більші числа сольватації) порівняно з аніонами. Це явище називається ***електроосмос***, воно приводить до переміщення нейтральних молекул від точки внесення до катода на деяку відстань. Коли реєстрація аналітичного сигналу

здійснюється за допомогою відповідного детектора, пов'язаного з комп'ютером чи самописцем, а проба вводиться за допомогою спеціальної системи вводу, різновид називають високоефективним капілярним електрофорезом.

Препаративний електрофорез застосовують для виділення значної кількості препарату для подальшого його застосування.

Аналітичний електрофорез застосовують для визначення компонентів у суміші, контролю чистоти речовини й іншого.

За способом розміщення носіїв розрізняють горизонтальний і вертикальний електрофорез [5].

Залежно від мети досліджень найчастіше застосовують *фронтальний електрофорез* (або метод рухомої межі), *зональний електрофорез* (або електрофорез на носії), *ізоелектрофокусування*, *ізотахофорез*, *імуноелектрофорез*. Кожний із цих методів має низку модифікацій, які іноді набувають певної самостійності. Основні з них: електрофорез у градієнті густини, у колонках, у блоці й неперервний (проточний), диск-електрофорез, на носіях – папері, ацетаті целюлозі, у тонких шарах, гелях та іншому.

Розрізняють фронтальний, капілярний електрофорез, ізотахофорез та ізоелектричне фокусування.

20.3.2. Зонний електрофорез на папері

Капілярний зонний електрофорез є найрозповсюдженішим. Він передбачає застосування одного буфера як розділювального середовища. Розділення компонентів проби базується на розбіжностях у рухливостях заряджених молекул чи іонів. Метод широко застосовують для визначення пептидів, білків, амінокислот, лікарських препаратів, неорганічних іонів і багатьох інших об'єктів.

Капілярний іонний аналіз є різновидом капілярного зонного електрофорезу, що застосовується для визначення неорганічних іонів за допомогою посереднього фотометричного детектування. Капілярна електрокінетична хроматографія базується на розділенні нейтральних частинок в електричному полі завдяки молекулярним силам, іон-парній взаємодії та комплексоутворенню.

Електрофорез використовують для фракціонування білків у буферному середовищі, де швидкість їхнього руху залежить від заряду та молекулярної маси. Після обробки барвниками концентрацію білкових фракцій визначають за інтенсивністю забарвлення [5].

Система для електрофорезу включає стабілізоване джерело струму (2–100 мА, 180–300 В) і електрофоретичну камеру, де підтримується вологість для запобігання висиханню носія. Важливо уникати реофорезу, що може змінити форму білкових фракцій, тому в деяких камерах передбачена система охолодження.

Горизонтальний електрофорез забезпечує точніші результати. Носій (ацетатцелюлозна плівка, хроматографічний папір) має бути добре натягнутий і однорідний, оскільки капілярний шар буферного розчину може погіршити якість поділу. Вибір хроматографічного паперу впливає на результати, тому

його сорт не варто змінювати. Напрямок волокон целюлози визначають за формою розтікання краплі води.

Підготовка до електрофорезу та процедура його проведення

Перед електрофорезом камеру встановлюють горизонтально, а кювети заповнюють буферним розчином на однаковий рівень. Відділення кожної кювети з'єднують смужкою фільтрувального паперу. Смужки ацетатцелюлозної плівки або хроматографічного паперу рівномірно натягують між кюветними відділеннями так, щоб їхні кінці, зволожені буфером, були занурені в буферний розчин.

Оптимальні результати дає метод просочування хроматографічного паперу буферним розчином, але частіше його змочують і підсушують між листами фільтрувального паперу. Біологічний матеріал наносять за допомогою аплікатора або мікропіпетки.

Склад, pH, концентрація буферного розчину значно впливають на електрофоретичне фракціонування білків, визначають їхній заряд і поведінку. Найчастіше використовують веронал-медиаловий, веронал-ацетатний, медиаловий, трис-боратний і фосфатний буфери. Особливо ефективний трис-буфер за pH 8,9, що дозволяє виділити до дев'яти фракцій білків сироватки крові [6].

20.3.3. Гель-електрофорез

Гель-електрофорез (Gel-electrophoresis) – метод розділення заряджених макромолекул за їхнім розміром, зарядом і швидкістю міграції крізь гель в електричному полі. Рух частинок залежить від їхніх фізико-хімічних характеристик, а також від параметрів середовища та напруги електричного поля. Для електрофорезу використовують поліакриламідний (далі – ПААГ) гель, агарозу, змішані гелі й ацетатцелюлозну плівку.

Поліакриламідний гель отримують шляхом полімеризації акриламіду за допомогою ініціаторів, як-от персульфат амонію або рибофлавін, у присутності зшиваючих агентів (наприклад, метиленбісакриламіду). Акриламід є токсичною речовиною, тому з ним треба працювати обережно. ТЕМЕД використовується як каталізатор полімеризації, а персульфат амонію – як ініціатор. Агароза випускається у формі порошку й розчиняється в гарячому буфері, після чого застигає, утворює гель із пористістю, що впливає на розділення молекул [5].

Змішані гелі (наприклад, ПААГ з агарозою) поєднують механічну міцність і гарні розділові властивості, що важливо для фракціонування великих білків.

Окрім гель-електрофорезу, існують інші методи. Капілярний електрофорез ґрунтується на розділенні молекул у вузьких капілярах під впливом електричного поля. Ізотахофорез передбачає розміщення між двома електролітами, що дозволяє частинкам формувати чіткі зони відповідно до їхньої рухливості. Ізоелектрофокусування базується на розподілі амфотерних сполук уздовж градієнта pH, що дозволяє розділяти білки відповідно до їхніх ізоелектричних точок.

20.3.4. Методи забарвлення зразків після електрофоретичного розділення

Для фарбування електрофореграм сухі або зволожені буферним розчином стрічки кладуть у плоскі кювети та рівномірно обробляють розчином барвника. Під час фарбування електрофореграми не можна згортати або накладати одна на одну [5].

Фарбувальні реагенти містять індикатори, як-от бромфенол синій, кислотний синьо-чорний, які вибірково зв'язуються з білками. Для виявлення амінокислот використовують нінгідрин – органічну сполуку, що реагує з первинними амінами, утворює сині, фіолетові або червоні плями, за винятком проліну й оксипроліну. У криміналістиці нінгідрин застосовують для виявлення слідів папілярного узору на пористих поверхнях.

20.4. Хроматографія

20.4.1. Теоретичні основи методів хроматографії

Хроматографія – метод розділення речовин на основі їх розподілу між двома фазами: нерухомою і рухомою, яка переміщується вздовж нерухомої, багаторазово повторюючи процеси сорбції та десорбції. Цей метод дозволяє ефективно розділяти речовини, які мають подібні хімічні властивості, що неможливо зробити за допомогою звичайних хімічних реакцій.

Основною перевагою хроматографії є те, що речовини не змінюються хімічно, а також можливість розділення як газоподібних, так і рідких сполук. Класифікація хроматографічних методів базується на природі фаз, механізмі розділення та способі елюції. Серед основних видів – адсорбційна, розподільна, йонообмінна, газова, рідинна та молекулярно-ситова хроматографія.

Принцип роботи хроматографічних методів полягає в рівноважному розподілі компонентів між фазами. Це може бути розподіл між двома рідинами (паперова хроматографія), між газовою та рідкою фазами (газорідинна хроматографія), між твердим адсорбентом і рідиною (адсорбційна хроматографія) або між йонообмінною смолою та електролітом (йонообмінна хроматографія). Завдяки різній взаємодії речовин із нерухомою фазою їх розділення відбувається ефективно та вибірково [5; 14].

20.4.2. Газова хроматографія

Газова хроматографія – це метод розділення речовин, у якому рухомою фазою є газ або пара. Вона поділяється на газоадсорбційну хроматографію, де нерухомою фазою є твердий адсорбент, і газорідинну, де нерухома фаза

представлена рідиною, нанесеною на твердий носій. Існують також проміжні методи, що поєднують властивості обох підходів.

Перевагами газової хроматографії є висока точність розділення, можливість аналізу малих проб, швидкість процесу, ідентифікація та кількісне визначення компонентів складних сумішей, а також препаративне виділення чистих речовин. Вона дозволяє вивчати фізико-хімічні взаємодії в газах, рідинах і на твердих поверхнях, що робить її незамінною в багатьох аналітичних дослідженнях.

Газ-носій, який елює компоненти через колонку, зазвичай представлений гелієм, аргоном, воднем, азотом або карбон (IV) оксидом. Нерухомою фазою в газорідинній хроматографії є рідина, нанесена на твердий носій, який може бути подрібненою цеглою, спеціально обробленою глиною або пористими матеріалами. У капілярних колонках роль твердого носія виконують внутрішні стінки капілярів [6].

Як адсорбенти в газовій хроматографії використовують алюміній оксид, силікагель, активоване вугілля, цеоліти та пористі полімери. Основним приладом для проведення аналізу є газовий хроматограф.

Майже будь-який прилад для проведення газохроматографічного розділення та визначення компонентів, тобто лабораторний газовий хроматограф, складається з таких базових вузлів (рис. 20.9):

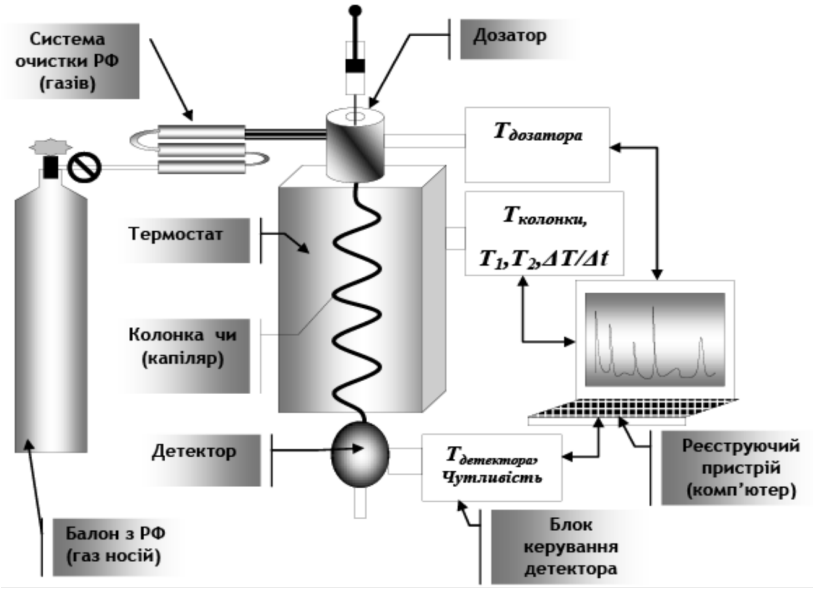


Рисунок 20.9 – Схема газового хроматографа

Принципи вибору сорбенту та нерухомої фази в ГХ

Нерухома фаза у хроматографії повинна мати високу селективність, яка визначається її полярністю та здатністю ефективно розділяти сполуки. Вона забезпечує отримання симетричних піків, що залежить від лінійності ізотерм сорбції та відсутності залишкової активності носія.

Для високої швидкості та роздільної здатності хроматографічного процесу фаза повинна витримувати необхідні температурні умови. Важливо, щоб вона була доступною, економічною та дозволяла створювати колонки з максимальною ефективністю.

Для надійної ідентифікації сполук рекомендується використовувати дві фази з різною полярністю – полярну та неполярну, що дозволяє отримати більш точні результати розділення [5].

Правила вибору (оптимізації) режимів розділення в газовій хроматографії

Для розділення сумішей із близькими температурами кипіння застосовують ізотермічний режим, підтримують температуру в межах кипіння аналітів. Складні суміші або ті, де компоненти мають значні відмінності в температурах кипіння, розділяють у режимі програмування температури.

Якщо речовини мають подібні температури кипіння, але відрізняються за хімічною природою [10; 13], використовують селективні нерухомі фази з різними константами Мак-Рейнольдса. Ефективність колонки безпосередньо впливає на якість розділення, низьку селективність фази можна компенсувати застосуванням колонок із вищою ефективністю.

Перекривання піків можна усунути за допомогою високоселективних детекторів, що реєструють лише потрібні аналіти. Капілярні колонки забезпечують кращу ефективність порівняно з аналітичними, але для їх використання потрібні високочутливі детектори [6].

20.4.3. Високоефективна рідинна хроматографія та її методичні основи

Рідинна хроматографія – метод розділення сумішей, у якому рухомою фазою є рідина, а нерухомою – тверда фаза, рідина або гель. Це один з універсальних і найпоширеніших видів хроматографії, який використовується для аналізу та розділення речовин незалежно від їхньої леткості та термічної стабільності.

У класичному колонковому варіанті процес проходить повільно під дією сили тяжіння, тому його застосовують переважно для лабораторних і демонстраційних цілей. Значно ефективнішою є високоефективна рідинна хроматографія (далі – ВЕРХ), яка використовує дрібнозернисті сорбенти, нагнітальні насоси та чутливі детектори. ВЕРХ широко застосовується в адсорбційній, розподільній, іонній і ексклюзійній хроматографії.

На відміну від газової хроматографії, де газ виконує лише транспортну функцію, у рідинній хроматографії рухома фаза може сорбуватися на поверхні нерухомої. Це впливає на параметри утримування речовин, робить процес більш керованим.

Швидкість і ефективність колонкової рідинної хроматографії підвищуються за використання вузьких колонок великої довжини, високого тиску (2–40 МПа) та неперервного детектування. Такий підхід, відомий як високоефективна

рідинна хроматографія, почав розвиватися в 1970-х рр. і забезпечує високу швидкість аналізу та розділення будь-яких речовин, окрім газів, із чутливістю до 10^{-9}–10^{-10} г.

20.4.4. Площинна хроматографія

Площинна хроматографія – метод розділення, що проводять на спеціальному папері (паперова хроматографія) або в тонкому шарі сорбенту на скляній чи алюмінієвій пластинці (тонкошарова хроматографія (далі – ТШХ)).

Окрім адсорбції, ТШХ може ґрунтуватися на розподілі, йонному обміні й ексклюзії. Розділення відбувається за принципом перенесення компонентів рухомої фази вздовж нерухомої фази з різними швидкостями, відповідно до їхніх коефіцієнтів розподілу.

20.4.5. Тонкошарова хроматографія

У тонкошаровій хроматографії (далі – ТШХ) нерухому фазу у вигляді тонкого шару сорбенту (100–300 мкм) наносять на скляну, полімерну або металеву пластинку. Розчинник може рухатися висхідним (угору під дією капілярних сил), низхідним (униз під дією гравітації) або горизонтальним способом (безперервне надходження розчинника). Горизонтальний метод застосовують для кращого розділення речовин із близькими значеннями Rf [5].

Метод ТШХ широко використовують для швидкого якісного та кількісного аналізу у фармацевтиці, хімічних дослідженнях, токсикології та клінічній діагностиці. Радіальна ТШХ прискорює розділення, змушує зони переміщуватися від центра до периферії. Мікротонкошарова хроматографія підвищує чутливість та зменшує час аналізу завдяки сорбентам із дрібними частинками (2–5 мкм) і зменшенню товщини шару до 150–200 мкм. Це дозволяє визначати слідові кількості токсичних елементів, що важливо для аналізу навколишнього середовища [1; 18].

Паперова хроматографія використовує смужки фільтрувального паперу як носій нерухомої фази. Розділення речовин відбувається завдяки їх розподілу між водною фазою в целюлозі та рухомою фазою. Окрім розподільного механізму, можливе адсорбційне закріплення речовин на папері або механізм іонного обміну за імпрегнації паперу іонообмінними смолами.

20.4.6. Афінна (споріднена) хроматографія

Афінна хроматографія – це метод розділення біохімічних сполук, заснований на специфічній взаємодії між молекулами, як-от антиген – антитіло, фермент – субстрат або рецептор – ліганд. Назва методу підкреслює його основу – спорідненість між речовинами, що взаємодіють з високою вибірковістю.

Суть методу полягає в тому, що одна з таких сполук, що взаємодіють, закріплюється на носії, зберігаючи свої біохімічні властивості. За пропускання розчину через систему закріплена молекула зв'язує лише свою специфічну пару, відокремлює її від суміші інших речовин. Після цього колонку промивають, а цільову сполуку вибірково елююють за допомогою спеціальної рідини.

За технічним виконанням афінна хроматографія схожа на інші методи колонкової хроматографії, але її ефективність визначається саме високою специфічністю взаємодії між молекулами [5; 6].

20.5. Спектроскопія

20.5.1. Основні закони поглинання світла. Закон Ламберта – Бера

Закон визначає залежність поглинання світла від концентрації речовини та товщини шару розчину. Речовини, що поглинають світло у видимому спектрі (400–760 нм), мають власне забарвлення.

Фотометричні методи аналізу базуються на вимірюванні інтенсивності світлового потоку, що проходить через речовину. Основні методи – фотоелектроколориметрія, яка використовує поліхроматичне світло у видимій області, і спектрофотометрія, що застосовує монохроматичне світло у видимій, ультрафіолетовій та інфрачервоній частинах спектра. Оцінювання інтенсивності світлових потоків здійснюється за допомогою фотоелементів, що забезпечує об'єктивність аналізу.

Спектроскопічні методи аналізу вивчають взаємодію електромагнітного випромінювання з речовиною, що проявляється в поглинанні або випусканні світла. Вони поділяються на атомну та молекулярну спектроскопію. Атомно-емісійна спектроскопія аналізує світло, що випромінюється атомами у збудженому стані, а молекулярна абсорбційна спектроскопія – світло, яке поглинається молекулами. Методи, що вимірюють поглинання випромінювання у видимому й ультрафіолетовому діапазонах, належать до спектрофотометричних.

Єдиною теоретичною основою всіх різновидів спектрофотометрії є ***закон Бугера – Ламберта – Бера***, математичний вираз якого:

$$A = \lg \frac{I_0}{I_t} = \varepsilon \times l \times c ,$$

де A – оптична густина (абсорбція);

I_0 – інтенсивність падаючого світлового потоку, Вт·см$^{-2}$ (або Вт·м$^{-2}$);

I_t – інтенсивність світлового потоку після проходження через поглинаюче середовище, Вт·см$^{-2}$ (або Вт·м$^{-2}$);

ε – молярний коефіцієнт світлопоглинання, л·моль$^{-1}$·см$^{-1}$;

l – товщина поглинаючого шару, см;

c – молярна концентрація розчиненої поглинаючої речовини, моль·л$^{-1}$.

Закон Бугера – Ламберта – Бера визначає, що оптична густина розчину пропорційна концентрації речовини, товщині шару та молярному коефіцієнту світлопоглинання. Найточніші результати отримують за оптичної густини приблизно 0,4. Якщо густина перевищує 0,8, треба використовувати кювети з меншою товщиною, а за значення 0,1 і менше – з більшою.

Фотометричні методи аналізу застосовуються для визначення речовин за їхнім власним забарвленням, а також за утворенням забарвлених продуктів у результаті хімічних реакцій, як-от окиснення або відновлення. Ще один підхід базується на вимірюванні інтенсивності забарвлення надлишку реагента.

20.5.2. Спектрофотометрія

Власне ***спектрофотометрія*** – це метод вимірювання поглинання і пропускання світла в ультрафіолетовій, видимій та інфрачервоній частинах спектра (220–1100 нм). Прилади, що вимірюють світлопоглинання, називаються абсорбціометрами. До них належать фотоелектроколориметри, які працюють у видимому діапазоні, та спектрофотометри, що охоплюють ширший спектр хвиль і дозволяють аналізувати як забарвлені, так і безбарвні розчини.

Спектрофотометрія застосовується для визначення чистоти речовин, ідентифікації сполук, аналізу кислотно-основних рівноваг і дослідження комплексоутворення. Інфрачервоні спектри дозволяють вивчати структуру речовин, оскільки наявність смуг поглинання дає змогу розшифровувати їхню будову. Ультрафіолетові вимірювання проводять у розчинах, за допомогою таких розчинників, як вода, кислоти, луги та спирти, які не повинні поглинати світло в тій же області, що й аналізована речовина [5].

Атомні спектри мають лінійну структуру і складаються з дискретних спектральних ліній, що дає змогу визначати хімічні елементи у зразку [13]. Молекулярні спектри складніші, оскільки містять електронні, коливальні й обертальні переходи. Інфрачервоні спектри пов'язані з обертально-коливальними переходами, тоді як ультрафіолетові й видимі спектри включають електронно-коливально-обертальні переходи, які утворюють широкі перекриваючі смуги.

Молекулярні спектри є унікальними для кожної речовини, що робить їх важливими для ідентифікації сполук і вивчення їхньої структури. Спектральні смуги характеризуються довжиною хвилі, максимальною інтенсивністю та шириною, що дозволяє проводити точний аналіз речовин.

20.5.3. Якісний і кількісний спектрофотометричний аналізи

Спектри використовують для якісного та кількісного аналізу речовин.

У якісному аналізі головними характеристиками є положення максимумів спектральних ліній, що визначаються природою речовини й не залежать від її концентрації. Для ідентифікації використовують спектральну вісь абсцис.

Важливим показником є ширина ліній: якщо вони надто розширені, спектри різних компонентів можуть перекриватися, ускладнюючи аналіз.

Кількісний аналіз базується на інтенсивності спектральних ліній, яка залежить від концентрації речовини. Вимірювання проводять за спектральною віссю ординат. Як і в якісному аналізі, ширина ліній має значення, оскільки їх перекриття може спричиняти систематичні похибки.

20.5.4. Інфрачервона спектрофотометрія

Інфрачервона спектроскопія досліджує коливальні переходи молекул у діапазоні 10^3–10^5 нм. Вона заснована на рухах функціональних груп, як-от карбонільна чи амідна, що включають розтягування зв'язків і зміну кутів між ними.

Цей метод особливо цінний, оскільки коливання кожної групи чутливі до змін хімічної структури, конформації та оточення. Інфрачервона спектроскопія дозволяє аналізувати хімічні групи, які неможливо дослідити за допомогою ультрафіолетової та видимої абсорбційної спектроскопії [5].

20.6. Світлова мікроскопія

20.6.1. Будова світлового мікроскопа. Типи й класи світлових мікроскопів. Оптичні системи мікроскопа та їхні характеристики. Процедури настроювання і обслуговування мікроскопів

Світловий мікроскоп – це оптичний прилад, що дозволяє отримувати збільшені зображення біологічних об'єктів, невидимих неозброєним оком. Він складається з оптичних і механічних частин.

Оптичні частини мікроскопа: об'єктиви, окуляр, дзеркало й конденсор з ірисовою діафрагмою. Об'єктив – ключовий складник, що створює зображення препарату. Він складається з кількох лінз, які коригують оптичні спотворення. Об'єктиви класифікують за ступенем збільшення (мале – 10×, середнє – 40×, велике – 90×), виправленням аберацій (монохромати, ахромати, апохромати) та за типом середовища (сухоповітряні або іммерсійні). Іммерсійні об'єктиви використовують спеціальні рідини для досягнення максимальної чіткості зображення.

Окуляр служить для спостереження за зображенням, яке формує об'єктив. Він складається із двох лінз – очної та польової, збільшує зображення в 5–25 разів. Дзеркало спрямовує світловий потік через конденсор, який збирає та фокусує світло на об'єкті дослідження. Конденсор забезпечує рівномірне освітлення препарату та регулюється за допомогою механізму переміщення.

Механічні частини мікроскопа включають основу, що забезпечує стійкість приладу, тубусотримач, предметний столик з отвором для світла

та револьвер, який містить змінні об'єктиви. Тубус – це порожниста металева трубка, у якій встановлюється окуляр. Фокусування здійснюється за допомогою макро- та мікроґвинтів: перший забезпечує грубе налаштування, а другий – точне регулювання.

Основні характеристики мікроскопа визначають його якість і функціональність.

Збільшення – це співвідношення лінійних розмірів зображення до реальних розмірів об'єкта. Воно залежить від кратності об'єктива й окуляра.

Якість зображення залежить від корекції оптичних спотворень. Основні аберації включають сферичну (неоднорідне заломлення світла, що спричиняє розмитість зображення) та хроматичну (кольорові спотворення через розкладання світла). Вони виправляються спеціальними оптичними системами, як-от ахромати й апохромати.

Роздільна здатність визначає мінімальну відстань між двома точками, на якій вони сприймаються окремо. Для світлового мікроскопа цей показник становить приблизно 0,2 мкм, що відповідає половині довжини хвилі видимого світла.

Світловий мікроскоп залишається основним інструментом у біологічних дослідженнях, забезпечує точне й детальне вивчення мікроскопічних структур [5].

20.6.2. Фіксація та мікротомія біологічного матеріалу. Типи мікротомів. Методи фарбування тканин. Гістохімічні барвники для фарбування базо- й оксифільних структур. Фіксація та мікротомія біологічного матеріалу

Фіксація – це перший і найважливіший етап підготовки гістологічних препаратів, який забезпечує збереження структури тканин. Для цього використовують різні фіксатори, як-от формалін, спирт, глютаральдегід або чотириокис осмію. Після фіксації матеріал промивають, зневоднюють і ущільнюють спиртом або ксилолом, а потім заливають у парафін, целоїдин чи желатин.

Мікротомія та типи мікротомів

Для отримання тонких зрізів тканин використовують спеціальні апарати – ***мікротоми***. Залежно від методу підготовки матеріалу вони поділяються на два основні типи:

Перший тип – це мікротоми для виготовлення зрізів із парафінових і целоїдинових блоків. Вони бувають ковзаючі (полозкові) та ротаційні (барабанні). Сучасні моделі включають комбіновані та вібраційно-лезові варіанти, які автоматизують процес нарізання зрізів.

Другий тип – це заморожувальні мікротоми, які використовуються для виготовлення зрізів із замороженого матеріалу. Вони оснащені металевим столиком, який охолоджується вуглекислотою або термоелектричним ефектом. В Україні поширені моделі МЗ-2.

Будь-який мікротом містить основні компоненти: масивну станину для стійкості, тримач ножа, механізм мікроподачі, тримач блока та мікротомний ніж. У заморожувальних мікротомах є спеціальний пристрій для заморожування зразків.

Методи фарбування тканин

Після виготовлення зрізів їх фарбують, щоб зробити структури тканин більш видимими під мікроскопом. Гістохімічні методи фарбування використовують спеціальні барвники для вибіркового забарвлення різних структур. Базофільні компоненти (наприклад, ядра клітин) фарбуються основними барвниками, як-от гематоксилін, а оксифільні – кислими барвниками, наприклад, еозином.

Для електронної мікроскопії застосовують контрастування солями важких металів, як-от цитрат свинцю та уранілацетат, що дозволяє краще візуалізувати ультраструктури клітин.

Завдяки фіксації, мікротомії та правильному фарбуванню біологічні тканини стають придатними для детального вивчення під мікроскопом, що є основою гістологічних і цитологічних досліджень [5].

20.6.3. Спеціальні методи мікроскопії

Темнопольовий мікроскоп використовується для дослідження прозорих об'єктів, які слабко заломлюють світло. Спеціальний конденсор спрямовує світлові промені так, що вони не потрапляють безпосередньо на об'єкт, а лише відбиваються від його частин, створюючи ефект світіння на темному фоні. Цей метод дозволяє спостерігати частинки до 2 нм, але не дає змоги визначити їхню форму та внутрішню структуру.

Фазово-контрастний мікроскоп дає змогу вивчати малоконтрастні прозорі об'єкти, зокрема живі клітини без фарбування. Він перетворює невидимі фазові зміни світла на амплітудні, створює чітке контрастне зображення. Його різновиди – інтерференційний мікроскоп, що вимірює масу тканин, та диференціальний інтерференційний мікроскоп (оптика Номарського), який дозволяє аналізувати рельєф поверхні клітин. Ці методи дають змогу спостерігати клітини під час руху та поділу, а також реєструвати ці процеси методом покадрового знімання.

Поляризаційний мікроскоп дозволяє визначати структури, що заломлюють світло по-різному (ізотропні, анізотропні). Він використовує призму Ніколя для створення поляризованого світла й аналізатор, який обертається для виявлення анізотропних об'єктів.

Ультрафіолетовий мікроскоп застосовує ультрафіолетове випромінювання, що зменшує межу роздільної здатності до 0,1 мкм. Оскільки УФ-промені невидимі для людського ока, отримане зображення реєструється на фотопластинах або перетворюється на видиме за допомогою спеціальних пристроїв.

Люмінесцентний (флуоресцентний) мікроскоп використовується для аналізу хімічного складу клітин і тканин. Він заснований на явищі люмінесценції,

коли окремі біологічні молекули випромінюють світло після збудження. Щоб посилити цей ефект, препарати обробляють флуоресцентними барвниками, які не змінюють структуру клітин, що дозволяє досліджувати живі об'єкти з високою чутливістю та специфічністю [2].

Електронний мікроскоп дозволяє отримати зображення об'єктів розміром 0,1–0,7 нм завдяки використанню електронного пучка замість світла. Джерелом електронів є розжарена вольфрамова нитка, а замість скляних лінз використовуються електромагніти. Існують два основні типи електронних мікроскопів:

1. ***Растровий (сканувальний) електронний мікроскоп*** дає змогу отримати тривимірне зображення поверхні об'єкта. Він працює за принципом послідовного сканування сфокусованим електронним променем, що забезпечує високу роздільну здатність та глибину різкості.

2. ***Просвічувальний електронний мікроскоп*** створює плоске зображення внутрішньої структури об'єкта. Він дозволяє детально вивчати ультраструктуру клітин, макромолекули та віруси.

Мікрометр – спеціальний прилад, що використовується для вимірювання розмірів мікроскопічних об'єктів [5].

Сучасна мікроскопія пропонує широкий вибір методів для детального дослідження біологічних структур на різних рівнях, від клітин і тканин до молекул і вірусів.

20.6.4. Інші інструментальні методи візуального аналізу біологічних об'єктів

Люмінесцентна (флуоресцентна) мікроскопія – це метод оптичного дослідження мікрооб'єктів, які світяться під впливом ультрафіолетового випромінювання. Для цього використовують спеціальні барвники – флюорохроми, які вибірково зв'язуються з окремими структурами клітин. Наприклад, акридиновий помаранчевий фарбує нуклеопротеїди, аурамін взаємодіє з мікобактеріями. Деякі об'єкти володіють природною люмінесценцією, зокрема хлорофіл, вітаміни А і B_2, тетрациклін і деякі пігменти.

Люмінесцентний мікроскоп – це біологічний мікроскоп, оснащений джерелом ультрафіолетового світла та світлофільтрами. Основною перевагою є висока контрастність: яскраве світіння структур спостерігається на темному фоні. Метод дозволяє досліджувати живі клітини, простежувати розподіл хімічних речовин і вивчати тонкі внутрішньоклітинні процеси [11; 14].

Флуоресцентна гібридизація in situ (FISH)

Це ***метод цитогенетичного аналізу***, що дозволяє виявляти та локалізувати послідовності ДНК на хромосомах за допомогою флюоресцентних ДНК-зондів. FISH використовується для діагностики хромосомних аномалій, як-от делеції, транслокації, ампліфікації.

Ультрафіолетова мікроскопія працює в діапазоні 250–400 нм і дозволяє підвищити роздільну здатність мікроскопа, оскільки УФ-промені мають

коротшу довжину хвилі, ніж видиме світло. Деякі біологічні речовини, зокрема ДНК і РНК, поглинають УФ-випромінювання, що дозволяє їх виявляти без застосування барвників. Використовується кварцова оптика, оскільки звичайне скло не пропускає ультрафіолет.

Електронна мікроскопія дозволяє досліджувати структури на атомному рівні (до 0,1 нм) завдяки використанню електронного пучка замість світла. Електрони, що проходять через зразок, створюють зображення на люмінесцентному екрані або фотоплівці.

Розрізняють два основні типи електронних мікроскопів:

1. *Просвічувальний електронний мікроскоп* забезпечує детальне зображення внутрішньої структури клітин і макромолекул.
2. *Растровий (сканувальний) електронний мікроскоп* дозволяє отримати тривимірне зображення поверхні зразка, аналізуючи відбиті електрони.

Методи отримання зображень в електронній мікроскопії

Вторинні електрони – відбиваються від поверхні зразка, створюють деталізоване рельєфне зображення.

Відбиті електрони – взаємодіють з атомами об'єкта, змінюють траєкторію, що дозволяє аналізувати склад матеріалу.

Поглинені електрони – залишаються у зразку, утворюючи струм, який можна використовувати для вивчення структури та складу речовини.

Радіоізотопний аналіз

Метод базується на використанні радіоактивних ізотопів для дослідження біологічних зразків, що дозволяє діагностувати захворювання та відстежувати обмін речовин. Радіоактивність виникає внаслідок розпаду нестабільних ядер атомів, що супроводжується випромінюванням альфа-, бета- та гамма-променів [4].

Іонізуюче випромінювання

Іонізація виникає під час взаємодії випромінювання з атомами, що приводить до утворення заряджених частинок. Це явище застосовується в медичних і наукових дослідженнях, зокрема для аналізу складу біологічних тканин.

Сучасні методи мікроскопії дозволяють досліджувати об'єкти з високою точністю, аналізувати як їхню внутрішню будову, так і хімічний склад, що має велике значення для біології, медицини та матеріалознавства [5].

Завдання та питання для самостійної роботи

1. *Яка головна мета якісного аналізу?*
2. *Чим відрізняється якісний аналіз від кількісного?*
3. *Які основні етапи проведення хімічного аналізу?*
4. *Як класифікуються методи хімічного аналізу за природою досліджуваних речовин?*

5. *Які є основні фізико-хімічні методи аналізу?*
6. *Які характеристики мають оптичні методи аналізу?*
7. *Чим відрізняються абсорбційні й емісійні методи оптичного аналізу?*
8. *Що таке спектрофотометрія, які її основні принципи?*
9. *Як працює інфрачервона спектроскопія, де вона застосовується?*
10. *Що таке флуорометрія, як вона використовується в аналізі?*
11. *Які основні принципи потенціометричного аналізу?*
12. *Що таке полярографія, які її основні етапи?*
13. *Як застосовується амперометричне титрування?*
14. *Що таке електрофорез, які чинники впливають на швидкість міграції частинок?*
15. *У яких сферах застосовуються інструментальні методи аналізу?*

Перелік джерел до розділу 20

1. Моніторинг навколишнього середовища : навчальний посібник / О. І. Бондар та ін. Київ ; Харків : ДЕІ-ГТІ, 2005. 126 с.
2. Зінчук В. К., Левицька Г. Д., Дубенська Л. О. Фізико-хімічні методи аналізу : навчальний посібник. Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2008. 362 с.
3. Моніторинг і методи вимірювання параметрів навколишнього середовища : навчальний посібник / В. М. Ісаєнко та ін. Київ : Вид-во Нац. авіа. ун-ту «НАУ-друк», 2009. 312 с.
4. Кіцно В. О., Поліщук С. В., Гудков І. М. Основи радіобіології та радіоекології : навчальний посібник. 3-те вид. Київ : Хай-Тек Прес, 2010. 320 с.
5. Лабораторна справа в агрономії : навчальний посібник / І. М. Коваленко та ін. Суми, 2020. 293 с.
6. Лисенко О. М., Набиванець Б. Й. Вступ до хроматографічного аналізу : навчальний посібник. Київ : Корвінпрес, 2005. 187 с.
7. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища / Ю. Г. Масікевич та ін. Чернівці : Зелена Буковина, 2005. 341 с.
8. Посудін Ю. І. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища. Київ : Світ, 2003. 288 с.
9. Дослідна справа в агрономії : навчальний посібник / А. О. Рожков та ін. Кн. 1 : Теоретичні аспекти дослідної справи. Харків : Майдан, 2016. 316 с.
10. Скоробогатий Я. П., Федорко В. Ф. Хімія і методи дослідження сировини і матеріалів. *Фізична і колоїдна хімія та фізико-хімічні методи дослідження*. Львів, 2005. 245 с.
11. Практикум з аналітичної хімії: інструментальні методи аналізу / Я. І. Студеняк та ін. Ужгород, 2014. 129 с.
12. Федорко В. Ф. Хімія і методи дослідження сировини і матеріалів. *Фізична і колоїдна хімія та фізико-хімічні методи дослідження*. Львів, 2005. 245 с.
13. Чеботарьов О. М., Щербакова Т. М., Гузенко О. М. Аналітична хімія. Якісний та кількісний аналіз : методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів I–II курсів заочного відділення хімічного та біологічного факультетів. Одеса : Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, 2015. 84 с.

14. Rouessac F., Rouessac A. Chemical analysis: modern instrumentation and methods and techniques / translated by S. Brooks, F. and A. Rouessac. 2nd ed. John Wiley & Sons Ltd., 2007. 586 p.
15. Harris D. C. Quantitative chemical analysis. 7-ed. New-York : Freeman & company, 2007. 807 p.
16. Miller J. N., Miller J. C. Statistics and chemometrics for analytical chemistry. 5th ed. Pearson Education Limited, 2005. 285 p.
17. Robinson J. W., Skelly Frame E. M., Frame G. M. II Undergraduate instrumental analysis. 6th Ed. New-York : Marcel Dekker, 2005. 1083 p.
18. Practical Guide to Chemometrics / Edited by P. Gemperline. London ; New York : LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group Boca Raton, 2006. 520 p.

Навчальне видання

Серія «На допомогу аспіранту»

Мельник Андрій Васильович
Данько Юрій Іванович
Міщенко Юрій Григорович та ін.

АГРОНОМІЯ

Підручник

За загальною редакцією
А. В. Мельника, Ю. І. Данька

Дизайн обкладинки *В. Савельєва*
Технічний редактор *О. Гринюк*
Верстка *О. Данильченко*

Підписано до друку 02.10.2025 р.
Формат 70x100/16. Папір офсетний.
Цифровий друк. Гарнітура Cambria.
Ум. друк. арк. 44,69. Наклад 300.
Замовлення № 1125-096.

Видавництво та друк: Олді+
65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1,
тел.: +38 (095) 559-45-45, e-mail: office@oldiplus.ua
Свідоцтво ДК № 7642 від 29.07.2022 р.

Замовлення книг:
тел.: +38 (050) 915-34-54, +38 (068) 517-50-33
e-mail: book@oldiplus.ua