

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова праця на
правах рукопису

СПИЧАК ЮРІЙ ІВАНОВИЧ

УДК: 633.11:632.4:579.67(477.53)

ДИСЕРТАЦІЯ
МІКОБІОТА ТА ЯКІСТЬ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД
СИСТЕМИ ЗАХИСТУ В УМОВАХ ПІВНІЧНО-СХІДНОГО
ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

202 Захист та карантин рослин

20 Аграрні науки та продовольство

Подається на здобуття наукового ступеня

доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 /Юрій СПИЧАК/

Науковий керівник: Тетяна РОЖКОВА

Кандидат біологічних наук, доцент

СУМИ – 2025

АНОТАЦІЯ

Спичак Ю.І. Мікобіота та якість зерна пшениці озимої залежно від системи захисту в умовах Північно-східного Лісостепу України – кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 202 «Захист та карантин рослин» – Сумський національний аграрний університет. Суми, 2025.

Дослідження проведено в умовах Північно-Східного Лісостепу України на базі Сумського національного аграрного університету в типових агроекологічних умовах. У польовому досліді передбачено шість варіантів ділянок, з використанням контролю, хімічної та органічної систем захисту, що забезпечило об'єктивне порівняння їх впливу на ураженість рослин патогенами, структуру врожаю та фітосанітарний стан. Лабораторні дослідження включали стандартні мікологічні методики: висів насіння на картопляно-глюкозний агар, морфологічну ідентифікацію ізольованих культур. Застосування комплексу хімічних і біологічних препаратів дозволило всебічно оцінити їх вплив на мікобіоту насіння. Методологія досліджень поєднувала морфометричні, мікробіологічні та статистичні методи, що забезпечило достовірність висновків щодо впливу засобів захисту на видовий склад мікобіоти, проростання насіння та продуктивність рослин.

У дослідженні охарактеризовано склад мікобіоти насіння озимої пшениці, вирощеної в умовах Північно-Східного Лісостепу України в продовж 2022–2024 років. Установлено видовий склад грибів, серед яких постійно виявляли *A. tenuissima*, *Penicillium* spp., *F. oxysporum*, *Mucor* spp., що свідчить про їх сталу присутність в агроecosистемі регіону. У різні роки додатково ідентифікували *M. sitophila*, *A. oryzae*, *A. arundinis*, *Trichoderma* spp., *A. pullulans* та *A. infectoria*, що свідчить про змінність мікобіоти від метеоумов вегетації пшениці.

Найбільш численним і стабільним видом упродовж усього періоду спостережень залишався *A. tenuissima*, що підтверджує його високу адаптивність до змін погодних умов. Другим за чисельністю був *F. oxysporum*, кількість якого значно варіювала між роками, що свідчить про його чутливість до метеорологічних факторів. Статистичний аналіз підтвердив істотний вплив погодних умов на динаміку чисельності основних представників мікобіоти.

Мікобіота насіння пшениці озимої, вирощеної в умовах Північно-Східного Лісостепу України, відзначається значним видовим різноманіттям і функціональною неоднорідністю. Домінуючі види, можуть виконувати різні функції, такі як сапрофітні - *A. tenuissima* або патогенні - *F. oxysporum*, що негативно позначається на якості насіннєвого матеріалу. Особливу небезпеку становить *F. oxysporum*, оскільки він здатен продукувати мікотоксини. Водночас виявлення антагоністичних мікроміцетів, таких як *Trichoderma* spp., свідчить про наявність у складі мікобіоти елементів, здатних пригнічувати розвиток фітопатогенів і сприяти збереженню мікробіологічної рівноваги в агроценозі.

Загалом мікобіота насіння озимої пшениці у досліджуваному регіоні відзначається видовою різноманітністю, мінливістю залежно від року та функціональною неоднорідністю, що обумовлює її вагомую роль у формуванні фітосанітарного стану агроценозу.

Система захисту має істотний вплив на склад мікобіоти насіння озимої пшениці. За результатами трирічного дослідження (2022–2024 рр.), проведеного в умовах Північно-Східного Лісостепу України, встановлено, що видовий склад та структура мікобіоти насіння змінювалися залежно від сорту, погодних умов кожного року та застосованої системи захисту. Попри ці чинники, домінуючим залишався *A. tenuissima*, що свідчить про його високу екологічну пластичність та адаптивність до різних умов вирощування. Найбільша кількість колоній цього виду зафіксована у 2024 році, зокрема у контрольному варіанті без захисту: для сорту Аліот — 80,3%, для сорту Еміл — 76,9%.

Порівняльний аналіз ефективності хімічної та органічної систем захисту показав перевагу хімічної: вона забезпечувала більш суттєве зниження чисельності грибів, зокрема *A. tenuissima* та *F. oxysporum*. Водночас обидві системи сприяли зростанню *Penicillium* spp. у мікобіоті насіння, особливо сорту Еміл при хімічному захисті (до 39,6% у 2022 році), що впливало на ріст проростків. Сорт Аліот загалом виявився більш стабільним до змін у складі мікобіоти порівняно з Еміл.

Вивчення динаміки окремих видів показало варіабельність *F. oxysporum* залежно від захисту: його чисельність зменшувалась у хімічному варіанті, але зростала в органічному, зокрема у мікобіоті насіння сорту Еміл. Також у 2022 році виявлено *F. sporotrichioides* та *Curvularia* spp., які з'являлися лише в окремих варіантах хімічного захисту.

Дослідження впливу біологічних та хімічних протруйників на мікобіоту насіння показали, що хімічні засоби ефективно елімінують *A. tenuissima* і пригнічують більшість грибів, але водночас сприяють появі бактеріальних колоній. Біологічні препарати менш агресивні щодо патогенів, натомість сприяють зростанню інших видів, як *Mucor* spp. і *A. oryzae*. Найбільші зміни мікобіоти насіння фіксувалися при застосуванні Тебузан Ультра, F.C.S.

Установлено, що застосування хімічних протруйників сприяє зниженню чисельності мікроорганізмів у ґрунтовому середовищі, зокрема грибів і бактерій. Найбільш значне зниження чисельності продемонстрував препарат Селест Топ 312.5, FS, ТН, за дії якого чисельність грибів зменшилася до $3,8 \times 10^5$ колоній, а бактерій — до $0,9 \times 10^8$, що суттєво нижче від контрольного варіанта ($10,6 \times 10^5$ грибів і $1,6 \times 10^8$ бактерій відповідно). На відміну від хімічних засобів, біологічні препарати сприяли збереженню мікробіологічної рівноваги в ґрунті, зокрема шляхом підвищення кількості бактерій. Максимальне зростання чисельності мікроорганізмів спостерігалось при використанні препарату на основі *Bacillus megaterium*, що зумовило підвищення чисельності грибів до $13,5 \times 10^5$ колоній і бактерій — до $5,9 \times 10^8$.

У результаті дослідження встановлено, що більшість хімічних препаратів чинять пригнічувальний вплив на ріст проростків озимої пшениці. Водночас винятком став препарат Рекорд, F.C.S., який, навпаки, стимулював розвиток проростків, забезпечивши їх подовження на 11,92 см, що перевищувало показник контрольного варіанта (10,72 см). Застосування біологічних препаратів без винятків сприяло активізації ростових процесів, що проявлялося у збільшенні цього показника у діапазоні від 11,16 см до 13,59 см.

За дослідження впливу органічної та хімічної систем захисту на формування елементів структури врожайності, біологічну врожайність та якість зерна пшениці озимої, встановлено, що сорти Аліот та Еміл упродовж 2022–2024 років демонстрували варіативну реакцію на застосовані технології захисту залежно від року та погодних умов, проте найбільшу стабільність продуктивності та якості виявляв сорт Аліот.

Для сорту Аліот у 2022 році найвища біологічна врожайність (10,1 т/га) була зафіксована при застосуванні хімічної системи захисту завдяки зростанню кількості продуктивних стебел. У 2023–2024 роках хімічний захист забезпечував вищу масу 1000 насінин (58,5 г у 2023 р. і 40,6 г у 2024 р.) і врожайність (до 8,0 т/га). Хоча структура колосу дещо погіршувалася (зменшення довжини, маси та кількості насінин), зростання кількості продуктивних стебел компенсувало ці втрати. Органічна система у досліджувані роки знижувала кількісні показники структури врожаю.

Сорт Еміл у 2022 році також позитивно реагував на хімічний захист (урожайність 8,3 т/га), а у 2023 році обидві системи покращували урожайність порівняно з контролем. У 2024 році хімічний варіант залишався ефективнішим (4,6 т/га проти 3,6 т/га у контролі). За три роки хімічна система забезпечувала найвищі показники врожайності, довжини та маси колосу, кількості насінин і продуктивних стебел (до 6,5 т/га), тоді як органічна система позитивно впливала тільки на масу 1000 насінин.

У результаті дослідження якісних показників зерна пшениці озимої, встановлено суттєвий вплив систем захисту. Так, у 2022 році сорт Аліот

продemonстрував найвищий вміст білка (12,3%) і клейковини (21,9%) у контрольному варіанті. Проте впродовж 2023–2024 років найвищі показники якості спостерігалися за застосування органічної системи захисту, де вміст клейковини досягав 24,55%, а білка — 13,17%. Для сорту Еміл органічна система захисту стабільно забезпечувала вищу якість зерна з максимальним вмістом клейковини 23,4% і білка 12,74%. Натомість застосування хімічної системи у більшості випадків не сприяло покращенню якісних показників, а в окремих випадках зумовлювало їх зниження.

У середньому за три роки органічна система вирощування забезпечувала найкращу якість зерна для обох сортів (до 12,57% білка і 22,97% клейковини), тоді як хімічна система знижувала якість, особливо у сорту Аліот. Вологість зерна залишалась стабільною у межах 11,9–12,2%.

Таким чином, сорт Еміл показав більш чутливу реакцію на системи захисту, тоді як сорт Аліот відзначився більшою стабільністю, продуктивністю та якістю зерна, що свідчить про його високу адаптивність до агроекологічних умов Північно-Східного Лісостепу України.

Ключові слова: агроценоз, *Alternaria* spp., біологічно активні речовини, сорт, врожайність, заходи захисту, якість зерна, кліматичні умови, посів, структура посіву, пестициди, пшениця, структура врожаю, фунгіциди, вміст білка.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті, опубліковані у виданнях, проіндексованих у базах даних

Web of Science/Scopus

Spychak, Y., Rozhkova, T., Tytova, L., Bilyuvska, L., Bakumenko, O., Tatarynova, V. ... Burdulaniuk, A. (2025). Changes in the seed and soil micobiota caused by seed treatment with chemical and biological agents. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 26(1), 103-110.
<https://doi.org/10.12912/27197050/195636>

Статті, опубліковані у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України з присвоєнням категорії “Б”

Spychak, Y. (2024). MYCOBIOTA OF WINTER WHEAT (TRITICUM L.) SEEDS DEPENDING ON PROTECTIVE MEASURES. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology*, 57(3), 3-11.
<https://doi.org/10.32782/agrobio.2024.3.1>

Spychak, Y. I., & Butenko, S. O. (2023). THE INFLUENCE OF THE PROTECTION SYSTEM ON THE YIELD STRUCTURE AND GRAIN QUALITY OF WINTER WHEAT IN THE NORTH-EAST OF UKRAINE. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology*, 51(1), 111-119. <https://doi.org/10.32782/agrobio.2023.1.13>

Тези наукових доповідей

Спичак Ю.І., Рожкова Т.О. Результативність фітоекспертизи насіння пшениці озимої на фільтрувальному папері. V Міжнародна наукова конференція «Theoretical and Applied Aspects of the Application of Modern Science». 7–9 лютого 2022 року, м. Токіо, Японія. С. 16-18.

Рожкова Т.О., **Спичак Ю.І.** Особливості визначення основних представників мікобіоти насіння пшениці озимої. Міжнародна наукова

конференція «Захист і карантин рослин у XXI столітті: проблеми і перспективи». 20–21 жовтня 2022 року, м. Харків, Україна. С. 164-166

Рожкова Т.О., **Спичак Ю.І.** Структура врожайності пшениці озимої в залежності від системи захисту в північного-східному лісостепу. Міжнародна науково-практична конференція «Гончарівські читання»: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої 90-річчю з дня народження доктора сільськогосподарських наук, професора Гончарова Миколи Дем'яновича. 25 травня 2023 року, м. Суми, Україна. С. 198-198.

Спичак Ю.І., Рожкова Т.О. Визначення показників якості зерна пшениці озимої в залежності від системи вирощування методом інфрачервоної спектроскопії. II Міжнародна наукова конференція «Захист і карантин рослин у XXI столітті: проблеми і перспективи». 19–20 жовтня 2023 року, м. Харків, Україна. С. 148-150.

Спичак Ю.І. Вплив *F. oxysporum* на M1000 насіння. Науково-практична конференція викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ. 14-16 травня 2024 року, м. Суми, Україна. С. 96.

Спичак Ю.І., Рожкова Т.О. Identification of pathogenic microorganisms in winter wheat seeds: a study from the north-eastern Forest-steppe of Ukraine (2022-2023). XXIV Міжнародна науково-практична конференція "Modern technologies among us in the environment". 17-19 червня 2024 р., Рим, Італія. С. 31-33.

Спичак Ю.І., Рожкова Т.О. Сучасні методи виявлення внутрішніх інфекцій у насінні пшениці озимої та методи стерилізації поверхні зерна. XVII Наукова конференція молодих вчених «МІКРОБІОЛОГІЯ В СУЧАСНОМУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ». 25 жовтня 2024 року, м. Чернігів, Україна. С. 130-132.

Спичак Ю.І. Порівняльний аналіз ефективності хімічних та біологічних препаратів для захисту насіння озимої пшениці. Всеукраїнська наукова конференція студентів та аспірантів. 18-22 листопада 2024 року, м. Суми, Україна. С. 87.

ABSTRACT

Spychak Y.I. Seed Mycobiota and Grain Quality of Winter Wheat Depending on the Protection System in the Conditions of the Northeastern Forest-Steppe of Ukraine – Qualification scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 202 "Plant Protection and Quarantine" – Sumy National Agrarian University. Sumy, 2025.

The research was conducted in the conditions of the Northeastern Forest-Steppe of Ukraine at the Sumy National Agrarian University under typical agroecological conditions. The field experiment involved six treatment variants, including control, chemical, and organic protection systems, which allowed an objective comparison of their effects on pathogen infestation, yield structure, and phytosanitary state. Laboratory studies applied standard mycological techniques: seed plating on potato dextrose agar and morphological identification of isolated cultures. The use of both chemical and biological preparations enabled a comprehensive assessment of their effects on seed mycobiota. The research methodology combined morphometric, microbiological, and statistical methods, ensuring reliable conclusions regarding the influence of protection means on species composition of mycobiota, seed germination, and plant productivity.

The study characterized the species composition of seed mycobiota of winter wheat grown in the Northeastern Forest-Steppe of Ukraine during 2022–2024. Fungi such as *A. tenuissima*, *Penicillium* spp., *F. oxysporum*, and *Mucor* spp. were consistently identified, indicating their stable presence in the agroecosystem of the region. Additionally, *M. sitophila*, *A. oryzae*, *A. arundinis*, *Trichoderma* spp., *A. pullulans*, and *A. infectoria* were identified in certain years, highlighting the variability of mycobiota depending on weather conditions during the growing season.

A. tenuissima remained the most numerous and stable species throughout the observation period, confirming its high adaptability to changing weather. *F. oxysporum* was the second most prevalent, with notable annual fluctuations reflecting its sensitivity to meteorological factors. Statistical analysis confirmed the

significant influence of weather on the dynamics of major mycobiota representatives.

The seed mycobiota of winter wheat in the studied region was characterized by considerable species diversity and functional heterogeneity. Dominant species performed various functions, such as saprophytic (*A. tenuissima*) or pathogenic (*F. oxysporum*), which negatively affect seed quality. *F. oxysporum* poses particular risk due to its ability to produce mycotoxins. At the same time, detection of saprophytic and antagonistic micromycetes like *Mucor* spp. and *Trichoderma* spp. indicates the presence of elements in the mycobiota capable of suppressing phytopathogens and maintaining microbiological balance in the agroecosystem.

Overall, the mycobiota of winter wheat seed in the studied region is marked by species diversity, annual variability, and functional heterogeneity, which plays a significant role in shaping the phytosanitary state of the agroecosystem.

The protection system had a significant impact on the composition of winter wheat seed mycobiota. Based on a three-year study (2022–2024), it was found that the species composition and structure of mycobiota changed depending on the variety (Aliot, Emil), annual weather conditions, and the applied protection system. Despite these factors, *A. tenuissima* remained dominant, indicating its high ecological plasticity and adaptability to various growing conditions. The highest number of colonies was recorded in 2024 in the untreated control: 80.3% in the Aliot variety and 76.9% in Emil.

Comparative analysis of chemical and organic protection systems showed the superiority of the chemical system, which significantly reduced the incidence of pathogens, particularly *A. tenuissima* and *F. oxysporum*. Both systems increased the abundance of *Penicillium* spp., especially in the Emil variety under chemical protection (up to 39.6% in 2022), affecting seedling growth. The Aliot variety was generally more stable in response to changes in mycobiota composition than Emil.

The dynamics of certain species showed that *F. oxysporum* varied depending on protection: its abundance decreased under chemical protection but increased

under organic, especially in Emil. In 2022, *F. sporotrichioides* and *Curvularia* spp. were identified only in some chemically treated variants.

The effect of biological and chemical seed treatments on mycobiota showed that chemical agents effectively eliminated *A. tenuissima* and suppressed most fungi but stimulated bacterial colony formation. Biological treatments were less aggressive to pathogens but promoted growth of other fungi, such as *Mucor* spp. and *A. oryzae*. The most significant changes in seed mycobiota were recorded under the Tebuzan Ultra, F.C.S. treatment.

It was established that chemical treatments reduced microorganism populations in the soil, especially fungi and bacteria. The most substantial reduction was observed with Celest Top 312.5, FS, TH, reducing fungi to 3.8×10^5 CFU and bacteria to 0.9×10^8 , much lower than in the control (10.6×10^5 fungi and 1.6×10^8 bacteria). Unlike chemical agents, biological products maintained microbial balance in the soil, especially by increasing bacterial populations. The highest microorganism growth was observed with *Bacillus megaterium*-based treatment: up to 13.5×10^5 fungal and 5.9×10^8 bacterial CFU.

Most chemical agents inhibited winter wheat seedling growth. The exception was Record, F.C.S., which stimulated seedling elongation to 11.92 cm compared to 10.72 cm in the control. Biological products consistently enhanced growth processes, increasing seedling length from 11.16 cm to 13.59 cm.

The influence of protection systems on yield structure elements and grain quality of winter wheat varieties Aliot and Emil was also studied over 2022–2024. Both varieties responded variably depending on year and weather, but Aliot showed the most stable productivity and grain quality.

In 2022, the highest biological yield of Aliot (10.1 t/ha) was recorded under chemical protection due to an increased number of productive stems. In 2023–2024, chemical protection ensured higher thousand-kernel weight (58.5 g in 2023, 40.6 g in 2024) and yield (up to 8.0 t/ha). Despite a decrease in spike parameters (length, weight, number of grains), the increase in productive stems compensated for these losses. Organic protection reduced yield structure indicators each year.

Emil also responded positively to chemical protection in 2022 (yield 8.3 t/ha), and in 2023 both systems improved yield over control. In 2024, chemical protection remained more effective (4.6 t/ha vs. 3.6 t/ha in control). Over three years, chemical protection resulted in the highest yield, spike length and weight, grain number, and productive stems (up to 6.5 t/ha), while organic protection positively influenced thousand-kernel weight.

Analysis of grain quality revealed a significant influence of protection systems. In 2022, Aliot had the highest protein (12.3%) and gluten (21.9%) contents in the control. In 2023–2024, the best quality indicators were under organic protection (up to 24.55% gluten, 13.17% protein). In Emil, organic protection consistently ensured better grain quality with maximum values of 23.4% gluten and 12.74% protein. Chemical protection mostly did not improve, and sometimes reduced, quality indicators.

On average, over three years, organic protection provided the best grain quality in both varieties (up to 12.57% protein, 22.97% gluten), while chemical protection reduced quality, especially in Aliot. Grain moisture remained stable within 11.9–12.2%.

Thus, Emil showed greater sensitivity to protection systems, while Aliot demonstrated higher stability, productivity, and grain quality, indicating its high adaptability to the agroecological conditions of the Northeastern Forest-Steppe of Ukraine.

Keywords: agroecosystem, *Alternaria* spp., biologically active substances, variety, yield, protection measures, grain quality, climatic conditions, sowing, sowing structure, pesticides, wheat, crop structure, fungicides, protein content.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	16
РОЗДІЛ 1. МІКОБІОТА ЗЕРНА ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ТА ФАКТОРИ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ЇЇ ФОРМУВАННЯ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ).....	23
1.1. Мікобіота насіння пшениці озимої: видове різноманіття та біологічні особливості	24
1.2. Заселення грибами рослин та насіння пшениці	33
1.3. Фактори впливу на формування мікобіоти насіння пшениці	41
1.3.1. Погодні чинники як фактор впливу на розвиток мікобіоти	41
1.3.2. Агротехнічні фактори та їх вплив на мікобіоту зерна	43
1.3.3. Вплив системи захисту на розвиток мікобіоти	48
1.4. Хімічні та біологічні системи захисту пшениці озимої: вплив на врожай та його якість	54
1.4.1. Хімічні засоби захисту пшениці озимої	56
1.4.2 Вплив хімічного захисту на якість та безпечність зерна.....	58
1.4.3. Біологічні засоби захисту пшениці озимої.....	61
1.4.4 Вплив біологічного захисту на якість та екологічну безпеку зерна	63
1.4.5. Порівняльна оцінка хімічних та біологічних систем захисту	65
<i>Висновки до розділу 1:</i>	67
РОЗДІЛ 2 МІСЦЕ, УМОВИ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	69
2.1. Місце та умови проведення досліджень	69
2.2. Матеріали дослідження.....	74
2.3. Методики проведення досліджень	80

<i>Висновки до розділу 2:</i>	87
РОЗДІЛ 3 СКЛАД МІКОБІОТИ НАСІННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ В УМОВАХ ПІВНІЧНО-СХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ	88
3.1. Ідентифікація представників грибного комплексу насіння	88
3.2. Мікобіота насіння пшениці залежно від метеорологічних умов вегетації	98
<i>Висновки до розділу 3:</i>	111
РОЗДІЛ 4 ВПЛИВ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ НА МІКОБІОТУ НАСІННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ	113
4.1. Формування мікобіоти насіння в умовах хімічного та органічного захисту пшениці	113
4.2. Поширення основних представників мікобіоти насіння залежно від системи захисту та сорту	124
4.3. Вплив біологічних та хімічних протруйників на мікобіоту насіння та ґрунту	131
<i>Висновки до розділу 4:</i>	139
РОЗДІЛ 5 ФОРМУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СТРУКТУРИ ВРОЖАЙНОСТІ ТА ЯКОСТІ ЗЕРНА, У ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ.....	142
5.1 Вплив системи захисту на формування елементів структури врожайності пшениці озимої	142
5.2 Вплив системи захисту на якісні показники пшениці озимої.....	162
<i>Висновки до розділу 5:</i>	175
ВИСНОВКИ	177
РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ:	180
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	181
ДОДАТКИ	229

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

F.C.S. – fluid suspension concentrate (текучий концентрат суспензії);

FS – Flowable concentrate (текучий концентрат);

WG – water-soluble granules (водорозчинні гранули);

EC – emulsifiable concentrates (концентрат емульсії);

CS – concentrate suspension (концентрат суспензії);

BI – bioinoculant (біоінокулянт);

BE – biological extract (біологічний екстракт);

CB – complex biological product (комплексний біопрепарат);

S – suspension (суспензія);

spp. – species pluralis (“види” у множині);

M1000 – маса 1000 насінин;

НІР – найменша істотна різниця;

КУО/см³ – колонієутворюючі одиниці на кубічний сантиметр;

pH – показник кислотності;

т/га – тонн на гектар;

шт – штук;

см – сантиметри

мм – міліметри

рис. – рисунок

табл. – таблиця

ВСТУП

Обґрунтування теми дисертаційного дослідження. Озима пшениця є однією з основних зернових культур у світі, що забезпечує значну частину продовольчої безпеки людства завдяки своїй універсальності, високій поживній цінності та широкому спектру використання. Світове виробництво озимої пшениці демонструє тенденцію до зростання, проте залишається вразливим до кліматичних змін та обмежень агротехнічного характеру. Україна стабільно входить до числа провідних виробників і експортерів озимої пшениці, використовуючи природно-кліматичні переваги та агротехнологічні інновації. У 2023-2024 маркетинговому році Україна експортувала близько 16,8 млн тон пшениці, з яких 80-90% становить озима пшениця (за даними Української зернової асоціації та USDA). Посівні площі під озиму пшеницю в Україні у 2023-2024 роках склали 4,2-4,5 млн га, з середньою врожайністю 4,0-4,5 т/га (за даними Держстату та FAO). Однак у контексті глобальних змін клімату, а також викликів війни, що скоротили посівні площі та ускладнили логістику, важливим завданням є адаптація систем вирощування, екологізація виробництва, удосконалення сортового складу та впровадження сучасних технологій для збереження і підвищення врожайності та якості зерна.

Необхідно досліджувати кожен регіон України, щоб детально вивчити особливості складу мікобіоти, оскільки різні кліматичні та ґрунтові умови можуть впливати на поширення й активність патогенних грибів. Основними представниками мікобіоти, що становлять загрозу для сільськогосподарських культур, є роди: *Fusarium* spp., *Alternaria* spp. та *Penicillium* spp. Фітопатогенні представники мікобіоти не лише знижують схожість насіння і врожайність, але й можуть продукувати мікотоксини, такі як афлатоксини, фумонізени, охратоксини та зеараленон, які забруднюють продукцію та становлять серйозну небезпеку для здоров'я людини і тварин. У регіоні північно-східного Лісостепу України, де високий рівень вологості та помірні температури сприяють розвитку грибних патогенів, особливо важливо впроваджувати

моніторинг і заходи контролю, включаючи використання стійких сортів культур, фунгіцидів та агротехнічних прийомів, спрямованих на зменшення контамінації мікотоксинами.

Зміни клімату, зокрема підвищення температур, зміна режиму опадів та почастищення екстремальних погодних явищ, створюють серйозні виклики для вирощування сільськогосподарських культур, зокрема пшениці. Ускладнення вирощування культур змушує аграріїв переглядати традиційні методи захисту рослин, зменшуючи застосування хімічних препаратів через їх негативний вплив на довкілля, здоров'я людини та стійкість патогенів до фунгіцидів. Перехід до біологічних систем захисту пшениці є перспективним рішенням, яке включає використання біологічних агентів, таких як антагоністичні мікроорганізми (наприклад, *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp.), природні препарати на основі рослинних екстрактів, а також впровадження стійких сортів пшениці. Крім того, інтегровані агротехнічні підходи, такі як сівозміна, оптимізація строків сівби та використання органічних добрив, сприяють зниженню патогенного тиску та підвищенню стійкості агроєкосистем. У регіоні північно-східного Лісостепу України, де кліматичні зміни особливо відчутні, впровадження біологічних систем захисту є ключовим для забезпечення стабільної врожайності та безпечності продукції.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами. Дослідження за темою дисертаційної роботи виконано в Сумському національному аграрному університеті впродовж 2022–2024 років. Експериментальні та теоретичні розробки є складовою частиною науково-дослідних тем: «Фітосанітарний стан пшениці озимої залежно від системи захисту на Північному Сході України» (№ держреєстрації 0122U001776, 2022–2026 рр.); «Фітоекспертиза насіння сільськогосподарських культур» (№ держреєстрації 0122U001785, 2022–2026 рр.), у межах яких автор є співвиконавцем.

Робота охоплює питання впливу систем захисту на фітосанітарний стан посівів, мікобіоту насіння, а також якість зерна пшениці озимої в умовах Північно-Східного Лісостепу України.

Мета дослідження. Визначити вплив різних систем захисту на формування мікобіоти зерна та його якість, а також елементи структури врожайності пшениці озимої в агроекологічних умовах Північно-Східного Лісостепу України.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано такі завдання:

1. Ідентифікувати видовий склад мікобіоти насіння пшениці озимої в умовах північно-східної частини Лісостепу України, встановити домінуючі роди й види грибів та їх частку у загальній структурі грибів насіння.
2. Визначити вплив метеорологічних умов вегетаційного періоду на формування мікобіоти насіння пшениці озимої у роки досліджень.
3. Оцінити вплив різних систем захисту на видовий склад і щільність заселення насіння озимої пшениці грибами з урахуванням сорту культури.
4. Дослідити дію протруйників біологічного та хімічного походження на зміну мікобіоти у насінні пшениці озимої та ґрунті, а також виявити їх вплив на особливості розвитку проростків.
5. Проаналізувати вплив різних систем захисту на формування елементів структури врожайності озимої пшениці, зокрема кількості продуктивних стебел, кількості зерен у колосі, довжини колосу та маси 1000 зерен у досліджуваних сортів.
6. Встановити залежність між системою захисту рослин і якісними показниками зерна пшениці озимої, зокрема вмістом білка, сирової клейковини.
7. Сформулювати практичні рекомендації щодо ефективного застосування систем захисту та протруйників, спрямованих на покращення фітосанітарного стану посівів, зниження мікотоксикологічного ризику та забезпечення стабільного рівня врожайності й якості зерна озимої пшениці.

Об'єкт дослідження – система захисту пшениці озимої в агроекологічних умовах Північно-Східного Лісостепу України.

Предмет дослідження – процеси удосконалення системи захисту, мікобіота, елементи структури врожайності та якості зерна пшениці озимої,

сформовані за різних систем захисту в агроекологічних умовах Північно-Східного Лісостепу України.

Методи дослідження. Задля досягнення мети дисертаційного дослідження використовувалися як загальнонаукові методи (аналіз, синтез, порівняння, гіпотетико-дедуктивний підхід, узагальнення), так і спеціалізовані агрономічні, мікробіологічні та лабораторні методи. Фенологічні спостереження за розвитком пшениці озимої проводилися візуально, з урахуванням ключових фаз розвитку пшениці озимої (сходи, кущіння, вихід у трубку, колосіння, налив зерна, повна стиглість). Для дослідження мікобіоти зерна застосовували фітопатологічні та мікробіологічні методи, зокрема:

- метод висівання зерна на поживні середовища для виявлення колоній грибів;
- мікроскопічну ідентифікацію культур за морфологічними ознаками спороносних структур.

Біометричні показники (кількість продуктивних стебел, маса 1000 зерен, тощо) визначалися вимірювально-ваговими методами. Для оцінки якості зерна застосовували лабораторні методики відповідно до чинних ДСТУ. Обробку результатів досліджень здійснювали із використанням методів дисперсійного аналізу ANOVA, за допомогою програми Microsoft Excel.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

Вперше в умовах Північно-Східного Лісостепу України досліджено мікобіоту сорту Аліот (української селекції), яка складається з наступних видів і родів: *F. oxysporum*, *A. tenuissima*, *Penicillium* spp. *M. sitophila*, *F. sporotrichoides*, *Mucor* spp., *A. oryzae*, *Trichoderma* spp., *Curvularia* spp. *F. poae*, *A. arborescens*, *A. infectoria*, *A. arundinis*.

Встановлено, що у грибних комплексах насіння сортів Аліот та Еміль найчисельнішими видами мікобіоти, незалежно від метеорологічних умов та систем захисту, є *A. tenuissima*, *Penicillium* spp. та *F. oxysporum*.

Вперше проведено порівняльний аналіз впливу хімічної та органічної систем захисту на мікобіоту насіння сортів озимої пшениці Аліот і Еміль,

встановлено видоспецифічну дію органічної системи, яка сприяє мікробному різноманіттю.

Вперше встановлено, що органічна система захисту, яка включає мульчування, обробку насіння, обприскуванням рослин у фазу колосіння-цвітіння (20%-им розчином часнику), сприяє підвищенню якості насіння пшениці озимої сортів Аліот та Еміль порівняно з контрольним варіантом та хімічною системою захисту.

Практичне значення отриманих результатів. Полягає в тому, що отримані науково обґрунтовані рекомендації можуть бути використані для вибору ефективної системи захисту сорту озимої пшениці Аліот в умовах Північно-Східного Лісостепу України. Встановлено, що хімічна система захисту забезпечує підвищення врожайності (до 10,1 т/га), тоді як біологічна система сприяє покращенню якісних показників зерна – вміст клейковини до 24,55%, білка – до 13,17%. Це дозволяє обирати систему залежно від виробничої мети – отримання високого врожаю чи підвищення якості продукції.

Підтверджено ефективність біологічного препарату Віолар, ВЕ та штаму *Bacillus megaterium* у зниженні чисельності фітопатогенної мікрофлори (переважно *A. tenuissima*) та покращують мікробіологічний стан ґрунту, а також хімічного препарату Рекорд, F.C.S., який забезпечує пригнічення патогенних грибів і сприяє росту проростків пшениці (до 11,92 см). Ці препарати рекомендуються для впровадження у виробничу практику для зниження фітопатогенного навантаження та стимуляції росту рослин.

Результати дослідження впроваджено в Інституті сільського господарства Північного Сходу НААН (с. Сад, Сумська область), де застосування 20% водного екстракту часнику для передпосівної обробки насіння та обприскування у фазі колосіння знизило рівень контамінації зерна патогенами (*Penicillium* spp., *F. oxysporum*, *A. tenuissima*) та підвищило вміст сирої клейковини на 1,7%, білка – на 1,0% у порівнянні з контролем. Екстракт є безпечним для довкілля і рекомендований для органічного землеробства.

Практичні результати включено до навчальних програм освітніх компонентів спеціальності «Захист і карантин рослин» першого та другого рівнів вищої освіти (Додаток А), зокрема: «Прогноз розвитку хвороб сільськогосподарських культур», «Основи біологічного захисту рослин», «Сільськогосподарська фітопатологія», «Комплексні системи захисту культур», «Патологія насіння та сучасні методи діагностики хвороб». Це сприяє підготовці фахівців з актуальними знаннями про насінневу мікобіоту та сучасні методи захисту рослин.

Одержані результати впроваджено у виробничу діяльність кафедри селекції і насінництва ім. професора М.Д. Гончарова (Додаток А), що сприяло вдосконаленню технологій вирощування озимої пшениці, підвищенню її врожайності та якості зерна в регіональних умовах.

Особистий внесок здобувача. Полягає у суттєвій участі в проведенні дослідження, що включає аналіз і узагальнення наукових праць. Здобувач самостійно виконав експериментальну частину роботи, яка охоплювала як польові, так і лабораторні дослідження, провів математико-статистичну обробку отриманих результатів, а також розробив практичні висновки та рекомендації для впровадження у виробництво. Під керівництвом наукового керівника були узагальнені основні положення дисертаційної роботи, що підлягають захисту.

Апробація результатів. Результати, отримані в ході проведення досліджень, були висвітлені на: V Міжнародній науковій конференції «Theoretical and Applied Aspects of the Application of Modern Science», 7–9 лютого 2022 року, м. Токіо, Японія; Міжнародній науковій конференції «Захист і карантин рослин у XXI столітті: проблеми і перспективи», 20–21 жовтня 2022 року, м. Харків, Україна; Міжнародній науково-практичній конференції «Гончарівські читання», 25 травня 2023 року, м. Суми, Україна; II Міжнародній науковій конференції «Захист і карантин рослин у XXI столітті: проблеми і перспективи», 19–20 жовтня 2023 року, м. Харків, Україна; Науково-практичній конференції викладачів, аспірантів та студентів

Сумського НАУ, 14-16 травня 2024 року, м. Суми, Україна; XXIV Міжнародна науково-практична конференція "Modern technologies among us in the environment", 17-19 червня 2024 р., Рим, Італія; XVII Наукова конференція молодих вчених «Мікробіологія в сучасному сільськогосподарському виробництві», 25 жовтня 2024 року, м. Чернігів, Україна; Всеукраїнська наукова конференція студентів та аспірантів, 18-22 листопада 2024 року, м. Суми, Україна.

Публікації. Результати дисертаційного дослідження опубліковані у 11 наукових працях, зокрема, статей у фахових виданнях України – 2; ті, що входять до міжнародних наукометричних баз (Web of Science) – 1; тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях – 8.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота включає вступ, 5 розділів, висновки, практичні рекомендації, перелік використаних джерел. Матеріали роботи розміщені на 234 сторінках комп'ютерного тексту і містять 17 таблиць та 16 рисунків. Перелік використаної літератури включає 376 джерел.

РОЗДІЛ 1.

МІКОБІОТА ЗЕРНА ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ ТА ФАКТОРИ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ЇЇ ФОРМУВАННЯ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

Пшениця озима є однією з найважливіших зернових культур, що забезпечує продовольчу безпеку та стабільний урожай у багатьох регіонах світу. Однак її продуктивність і якість зерна значною мірою залежать від дії біотичних та абіотичних факторів. Одним із ключових аспектів, що впливає на збереженість і харчову цінність зерна, є мікобіота. Мікобіота – це, сукупність мікроскопічних грибів, які можуть сприяти як поліпшенню, так і погіршенню якісних характеристик врожаю.

Серед основних загроз, пов'язаних із мікобіотою зерна пшениці, особливе значення мають фітопатогенні гриби, що спричиняють розвиток хвороб та накопичення мікотоксинів. Забруднення зерна токсичними метаболітами грибів є серйозною проблемою для агропромислового комплексу, оскільки може негативно впливати на здоров'я людей і тварин, а також знижувати товарну цінність продукції. Важливу роль у регулюванні мікобіоти відіграють агротехнічні заходи та системи захисту, які використовуються під час вирощування культури.

Оптимізація системи захисту пшениці озимої дозволяє не лише зменшити ураженість зерна грибними патогенами, але й покращити його якість та безпечність. На сьогодні існують різні підходи до контролю мікобіоти, зокрема хімічні, біологічні та агротехнічні методи. Однак ефективність цих заходів значною мірою залежить від природно-кліматичних умов, типу ґрунту, рівня агротехнологій та біологічних особливостей самого патогенного комплексу.

1.1. Мікобіота насіння пшениці озимої: видове різноманіття та біологічні особливості

Насіння пшениці озимої (*Triticum aestivum*) є не лише структурною одиницею розмноження культури, але й складною мікроекосистемою, що підтримує існування численних грибних мікроорганізмів. Ці мікроорганізми — як патогенні, так і сапротрофні або умовно симбіотичні — супроводжують рослину протягом усього онтогенезу, здійснюючи суттєвий вплив на її розвиток, продуктивність, якість зерна та стійкість до хвороб (Khan et al., 2023; Abdelsalam et al., 2024).

Згідно з даними сучасних досліджень, насіння пшениці може бути колонізоване грибами, що належать до понад 160 родів і 110 родин, переважно з відділів *Ascomycota* Caval.-Sm., 1998 та *Basidiomycota* Whittaker ex Moore 1980 (Becker et al., 2024). Найчастіше ізольованими родами є *Alternaria* Nees, 1817, *Fusarium* Link, 1809, *Aspergillus* P. Micheli ex Haller, 1768, *Cladosporium* Link, 1816, *Epicoccum* Link, 1816, *Penicillium* Link, 1809, *Blumeria* Golovin ex Speer, 1975, *Stymphylium* Wallr. 1833 і *Filobasidium* L.S. Olive, 1968. Зокрема, *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. (1912) визнано найбільш поширеним патогеном, здатним колонізувати зерно різних генотипів пшениці (Khan et al., 2023).

Склад мікобіоти насіння формується під дією комплексу чинників. Визначальну роль відіграють генотип рослини, ґрунтово-кліматичні умови вирощування, технології обробітку та зберігання насіннєвого матеріалу. Установлено, що хоча обробка фунгіцидами та географічне розташування мають певний вплив, домінуючим фактором залишається генетична детермінація – сорт чи підвид пшениці (Sapkota et al., 2015; Malacrino et al., 2022).

Ряд авторів відзначає стабільність мікобіоти насіння в різних екологічних умовах. Так, дослідження, проведені в США, Європі, Китаї та Північній Африці, демонструють, що у різних агроєкологічних зонах переважають одні й ті самі роди грибів — *Alternaria*, *Fusarium* та *Aspergillus*,

хоча їхня чисельність та патогенність можуть суттєво варіювати (Krulj et al., 2016; Qiu et al., 2016; Becker et al., 2024).

Зокрема, *Alternaria* spp. є домінуючим родом на зерні пшениці в Європі, де його виявлено у понад 40% зразків. *Fusarium* spp. та *Aspergillus flavus* Link, 1809 виявлялися меншою мірою, але останній становить серйозну загрозу через здатність продукувати афлатоксини (Krulj et al., 2016). У Китаї домінуючим видом є *Fusarium graminearum* Schwabe, 1839, особливо 3ADON-генотип, який зберігає стабільність упродовж понад 40 років у системах сівозміни з рисом (Qiu et al., 2016).

Біологічні особливості грибів, пов'язаних із насінням, визначають їхні екологічні функції. Так, частина з них є ендofітами (наприклад, *Alternaria infectoria* E.G. Simmons, 1986), які колонізують тканини насіння без явного спричинення хвороб, але можуть переходити у патогенну форму за певних умов (Sharon et al., 2023). Водночас деякі гриби виконують антагоністичну функцію по відношенню до фітопатогенів, сприяючи формуванню резистентності рослини (Becker et al., 2024).

Іншим важливим аспектом є структура грибних спільнот: вона може бути сформована як шляхом селективних механізмів (наприклад, у твердих сортів пшениці), так і шляхом випадкових (стохастичних) процесів, як це характерно для пшениці м'якої (Malacrino et al., 2022). Це свідчить про складність і динамізм формування мікобіоти у межах одного виду в різних екосистемах.

Окрім складу, важливо враховувати ще й функціональну роль мікобіоти. Зокрема, деякі представники можуть впливати на проростання насіння, вміст біологічно активних речовин, фітогормональний баланс та навіть синтез мікотоксинів, що суттєво позначається на якості зерна й можливостях його використання (Gruet et al., 2022). З цієї точки зору дослідження не лише таксономічного складу, а й функціональної активності грибів є перспективним напрямом.

Фактори навколишнього середовища, такі як температура та вологість, значно впливають на склад мікобіоти. Наприклад, *Alternaria* spp. найчастіше виявляють під час цвітіння пшениці та дозрівання зерна, що свідчить про його чутливість до метеорологічних умов. Генотип озимої пшениці впливає на склад мікобіоти насіння, визначаючи рівень колонізації окремими грибними видами. Наприклад, *Alternaria* spp. частіше зустрічається в певних сортах пшениці, що може впливати на їхню загальну стійкість до захворювань. (Beznosko et al., 2021). Деякі генотипи пшениці володіють фізіологічними та біохімічними механізмами, що обмежують ріст і споруляцію патогенних грибів. Це сприяє підвищенню стійкості рослин до грибних інфекцій (Rozhkova, 2021).

Мікробний склад насіння, включаючи ендofітні гриби, відіграє ключову роль у стійкості рослин до стресових факторів. Наприклад, у посушливих умовах присутність корисних грибів, таких як *Penicillium* spp., сприяє підтримці екологічного балансу та підвищенню врожайності пшениці (Vujanovic et al., 2019).

Розуміння функціональної ролі мікобіоти відкриває перспективи для її використання в селекції. Зокрема, можна здійснювати добір сортів пшениці з певним складом мікобіоти, спрямованим на підвищення стійкості до стресових умов (Becker & Cubeta, 2024).

Видове різноманіття мікобіоти пшениці озимої є важливим аспектом вивчення екології та здоров'я рослин. Дослідження показують, що генотип господаря є важливим фактором, що формує філосферні грибні спільноти, тоді як обробка фунгіцидами та місце розташування мають менший вплив (Sapkota et al., 2015). Різноманітність грибів у частинах рослин пшениці, насінні та ґрунті виявляє значну кількість родів, таких як *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., та *Fusarium* spp., які домінують у ґрунті та ризосфері (Minati & Mohammed-Ameen, 2020). Крім того, дослідження показують, що різноманітність арбускулярних мікоризних грибів, асоційованих з пшеницею, може значно відрізнятися залежно від сорту пшениці та умов ґрунту (Aguilera et al., 2014).

Важливо також зазначити, що різноманітність мікобіоти насіння пшениці залишається стабільною в різних географічних умовах, що свідчить про адаптацію до різноманітних середовищ (Becker et al., 2024).

Види *Alternaria* spp. широко поширені в посівах пшениці в різних регіонах, включаючи Китай, Ліван, Італію, Німеччину, Казахстан. У Китаї альтернаріоз був виявлений у значній частині зразків пшениці, причому високий рівень зараження зареєстрований у провінціях Аньхой і Хебей (Xu et al., 2016; Jiang et al., 2020). У Лівані зараження *Alternaria* spp. було виявлено на 97% перевірених полів із різними рівнями зараження залежно від регіону (Masiello et al., 2022). Подібним чином в Італії види *Alternaria* spp. були виявлені в 98% зразків пшениці з ознаками чорної точки (Masiello et al., 2020).

В Україні *Alternaria* spp. поширені в різних регіонах, часто співіснуючи з видами *Fusarium* spp.. Взаємодія між цими грибами може впливати на загальний профіль мікотоксинів у зерні пшениці. Значна присутність *Alternaria* spp. в українській пшениці викликає занепокоєння, особливо через потенційне накопичення мікотоксинів (Mykhalska et al., 2019; Holosna, 2021).

Дослідження показують, що генотип озимої пшениці суттєво впливає на наявність у насінні видів *Alternaria* spp. Різні сорти пшениці демонструють різні рівні толерантності до *Alternaria* spp., при цьому деякі генотипи мають нижчий рівень зараженості. Умови навколишнього середовища також відіграють важливу роль. Наприклад, кліматичні зони України, зокрема Полісся та Лісостеп, впливають на поширеність альтернаріозу, спричиняючи помітні відмінності у популяціях грибів у цих регіонах (Rozhkova, 2021).

Основними мікотоксинами, які продукуються видами *Alternaria* spp. у пшениці, є альтернаріол (АОН), альтернаріол монометилловий ефір (АМЕ), теназонова кислота (ТеА) та альтенуен (АЛТ). Серед них найчастіше виявляється ТеА, яка у багатьох дослідженнях визначається як найпоширеніший токсин у зразках пшениці. Мікотоксини АОН та АМЕ також часто зустрічаються, зазвичай супроводжуючи ТеА, і були виявлені в різних

регіонах при дослідженні інфікованої пшениці (Li & Yoshizawa, 2000; Somma et al., 2019; Orina et al., 2021).

На присутність мікотоксинів *Alternaria* spp. в пшениці впливає кілька факторів, включаючи географічне положення, погодні умови та методи ведення сільського господарства. Вологі роки та деякі попередні культури, такі як кукурудза, пов'язані з вищим рівнем забруднення мікотоксинами (Müller & Korn, 2013). Використання природних проти грибних агентів, таких як магнолол, продемонструвало потенціал у зниженні ризиків, пов'язаних із мікотоксинами *Alternaria* spp (Jiang et al., 2020).

Фузаріозні хвороби пшениці широко поширені в різних регіонах світу, включаючи Європу, Азію та Північну Америку. Основними представниками роду *Fusarium*, які викликають фузаріоз колоса є *F. graminearum* Schwabe, 1839, *F. culmorum* (W.G.Sm.) Sacc., 1895 і *F. asiaticum* O'Donnell, T. Aoki, Kistler & Geiser, 2004, тоді як фузаріозна гниль стебла часто викликається *F. culmorum* і *F. pseudograminearum* O'Donnell & T. Aoki, 2004. Поширеність цих патогенів залежить від кліматичних умов регіону, рівня вологості та агротехнічних заходів (Karlsson et al., 2017; Alisaac & Mahlein, 2023; Qiu et al., 2019).

В Україні фузаріоз є однією з найпоширеніших хвороб пшениці, що спричиняє значні втрати врожаю та зниження якості зерна. Найчастіше ізольованими видами є *F. graminearum*, *F. culmorum*, *F. avenaceum* (Fr.) Sacc., 1886, *F. sporotrichioides* Sherb. (1915) та *F. poae* (Peck) Wollenw., 1913. Домінуючими є *F. graminearum* та *F. culmorum*, при цьому *F. culmorum* є найпоширенішим збудником у деяких регіонах країни (Dzham & Mykhailenko, 2021; Hrytsev et al., 2018; Dolhalova et al., 2022). Регіональні особливості поширення *Fusarium* spp. також варіюються: *F. avenaceum* більш поширений у Центральній, Східній та Південній Україні, тоді як *F. graminearum* та *F. tricinatum* (Corda) Sacc., (1886) домінують у зерновому матеріалі різних регіонів (Mykhalska et al., 2019).

Види *Fusarium* spp., що вражають пшеницю, продукують низку небезпечних мікотоксинів. Найбільш поширеним є дезоксиніваленол (DON), який часто зустрічається у шведській пшениці, а також в інших країнах із помірним кліматом (Lindblad et al., 2013; Španić et al., 2023). Інші важливі токсини включають зеараленон (ZEA), що має естрогеноподібний вплив, та ніваленол (NIV), який часто співіснує з DON у заражених зразках (Qiu et al., 2019).

На рівень зараження фузаріозом впливає низка факторів. Серед них головну роль відіграють кліматичні умови, особливо висока вологість і помірні температури під час цвітіння пшениці (Karlsson et al., 2017; Alisaac & Mahlein, 2023). Важливим чинником також є попередники у сівозміні – пшениця, вирощена після кукурудзи або соняшнику, має вищий рівень зараження порівняно з тією, що вирощена після сої (Kirilenko et al., 2023). Крім того, система землеробства суттєво впливає на розвиток патогену: мінімальний обробіток ґрунту або нульова оранка можуть сприяти накопиченню інфікованих рослинних решток і підвищенню ризику зараження (Xu et al., 2021).

Дослідження, проведене в Едірне (Туреччина), показало, що гриби роду *Penicillium* spp. були виявлені у 73,33% зразків пшениці, що робить їх одними з найпоширеніших поряд з *Alternaria* spp. та *Aspergillus* spp. В ході цього дослідження було ідентифіковано 12 різних видів *Penicillium* spp., що підкреслює значну різноманітність цих грибів у середовищах зберігання зерна (Aydoğdu, 2016).

Окрім безпосередньої присутності у зернових культурах, *Penicillium* spp. можуть проникати й у продукти переробки. В Іспанії *P. verrucosum* Dierckx, 1901 було виявлено у зразках пшеничного борошна, що продавалося в роздрібній торгівлі, що вказує на його поширення в ланцюгу постачання харчових продуктів (Cabañas et al., 2008).

В Україні наявність *Penicillium* spp. на пшениці впливають кліматичні умови. У періоди сильної посухи *Penicillium* spp. є основним забруднювачем

зерна пшениці. Навпаки, у періоди достатнього зволоження захворюваність *Penicillium* spp. зменшується, а інші гриби, такі як *Fusarium* spp., стають більш поширеними (Bogach et al., 2024a).

Одним із ключових механізмів позитивного впливу грибів *Penicillium* spp. є солюбілізація фосфатів. Такі види, як *P. bilaiae* Chalab., 1950 та *P. Radicum* Hocking, A.D.; Whitelaw, M.; Harden, T.J. 1998, розчиняють фосфати, підвищуючи поглинання фосфору пшеницею. Це сприяє збільшенню росту та врожайності, особливо на ґрунтах з низьким вмістом фосфору (Hansen et al., 2019; Wakelin et al., 2004; Whitelaw et al., 1997). Окрім цього, ці гриби можуть покращувати поглинання інших мікроелементів, таких як мідь, залізо та цинк, що позитивно впливає на здоров'я рослин (Kucey, 1988).

Окремі представники *Penicillium* spp. мають біоконтрольні властивості. Наприклад, *P. olsonii* Bainier & Sartory, 1912 виявлено як ефективний засіб боротьби з фузаріозом пшениці. Цей гриб активує місцеві захисні механізми в колосках пшениці, зменшуючи симптоми захворювання та рівень шкідливих метаболітів, що виробляються *F. graminearum* (Rojas et al., 2022).

Попри корисні властивості, деякі види *Penicillium* spp. можуть спричиняти забруднення зерна мікотоксинами. Наприклад, *P. verrucosum* Dierckx, 1901 виробляє охратоксин А (ОТА), що є нефротоксином і може забруднювати зерно під час зберігання. Це створює ризики для здоров'я людини та тварин, особливо за неналежних умов зберігання (Cabañas et al., 2008; Oluwakayode et al., 2024). Деякі види *Penicillium* spp. також мають фітотоксичні властивості. Зокрема, *P. griseofulvum* (*P. Urticae*) Dierckx, 1901 продукує патулін – сполуку, що пригнічує ріст пшениці та може мати негативний вплив на врожайність (Norstadt & McCalla, 1963).

Поширеність *Penicillium* spp. у зернових культурах значною мірою залежить від погодних умов. Наприклад, у північно-західному регіоні Чорного моря в Україні періоди сильної посухи сприяють підвищенню рівня

забруднення зерна цим грибом. Натомість у вологі роки домінують патогенні гриби роду *Fusarium* spp (Bogach et al., 2024a).

Також дослідження показали, що військові дії можуть впливати на видовий склад мікроміцетів у зернових культурах. Зокрема, зміни екологічних умов унаслідок бойових дій на півдні України вплинули на поширеність *Penicillium* spp., хоча загальний рівень зараження цим грибом залишився незмінним (Bogach et al., 2024b).

Види *Penicillium* spp. можуть виступати як ендofіти або патогени. Наприклад, *P. roqueforti* проявляє корисні властивості, підвищуючи стресостійкість пшениці, вирощеної на ґрунтах із забрудненням важкими металами. Це свідчить про можливий симбіотичний зв'язок (Ikram et al., 2018). Водночас *P. urticae* здатний пригнічувати ріст пшениці через продукування фітотоксичних речовин (Norstadt & McCalla, 1963).

Aureobasidium pullulans (de Bary & Löwenthal) G.Arnaud, 1918 є ефективним антагоністом щодо різних патогенних мікроорганізмів. Він здатний пригнічувати ріст інших мікроорганізмів, включаючи шкідливі бактерії та гриби (Wachowska et al., 2016). Це пояснюється конкуренцією за поживні речовини та простір, а також виробництвом летких органічних сполук, що пригнічують розвиток патогенів.

Особливо важливим є застосування *A. pullulans* як агента біоконтролю у сільському господарстві. Він сприяє зменшенню залежності від хімічних фунгіцидів, що робить його перспективним для екологічного землеробства (Wachowska et al., 2016; Wachowska et al., 2022).

Дослідження мікробіоти насіння пшениці в Україні показали, що *A. pullulans* є одним із домінантних мікроорганізмів, особливо після біологічної обробки насіння. Наприклад, обробка Фітоспорином-М значно збільшує його популяцію, тоді як застосування хімічних протруйників може змінювати склад мікробіоти, витісняючи *A. pullulans* іншими мікроорганізмами (Rozhkova et al., 2021).

Також цей гриб має антагоністичні властивості щодо *Fusarium* spp., основних збудників фузаріозу пшениці. Він знижує ріст фузаріозного патогену та вироблення мікотоксинів, що є важливим для підвищення якості та безпечності зерна (Gqozo et al., 2020).

Як агент біоконтролю, *A. pullulans* утворює біоплівки на поверхні рослин, що допомагає захищати їх від патогенів. Крім того, він продукує леткі органічні сполуки, які мають антимікробні властивості (Di Francesco, Zajc, & Stenberg, 2023; Shi et al., 2023). Це робить його ефективним не тільки проти грибних інфекцій, а й у боротьбі з бактеріальними патогенами.

Окрім основних представників мікобіоти пшениці озимої, таких як *Alternaria*, *Fusarium*, *Penicillium* і *Aureobasidium*, на насінні пшениці можуть також розвиватися інші види грибів, що здатні впливати на якість зерна та його схожість. Серед них варто відзначити *Epicoccum nigrum* Link, *Phoma* (Saccardo, 1880), *Aspergillus* spp., *Cladosporium* Link spp., *Bipolaris sorokiniana* (*Cochliobolus sativus* (S. Ito & Kurib.) Drechsler ex Dastur (1942)), *Curvularia* Boedijn, 1933, *Nigrospora oryzae* (Berk. & Broome) Petch, 1924 і *Rhizopus* Ehrenb. (1820). За даними наукових досліджень, ці гриби по-різному впливають на насіння, знижуючи його посівні якості та змінюючи механізми росту і розвитку рослини, що необхідно враховувати при виборі методів протруювання та систем агротехнічного догляду. (Duan et al., 2007; Eser et al., 2024; Jedidi et al., 2017; Khan et al., 2023; Rozhkova et al., 2022).

Мікобіота насіння озимої пшениці представлена широким видовим різноманіттям грибів, серед яких домінують представники родів *Alternaria* spp., *Fusarium* spp., *Penicillium* spp. і *Aureobasidium* spp. Їхній склад формується під впливом екологічних умов, агротехнічних заходів та генетичних особливостей сорту. Деякі представники мікобіоти виконують антагоністичну роль щодо патогенних організмів, сприяючи підвищенню стійкості рослин до стресових факторів, тоді як інші є джерелом хвороб і накопичення мікотоксинів. Розуміння біологічних особливостей і видової

структури мікобіоти насіння є необхідним для розробки ефективних заходів селекції, захисту рослин і підвищення якості зерна.

1.2 Заселення грибами рослин та насіння пшениці

Гриби є постійними супутниками зерна на всіх етапах його розвитку — від формування в колосі до зберігання. До насіння гриби можуть потрапляти різноманітними шляхами: з ґрунту, з рослинних залишків, з повітря, з комахами за їх живлення та існує їх вертикальна передача. Поширення грибів залежить від умов навколишнього середовища, агротехнічних заходів і рівня захисту рослин. Розуміння основних шляхів заселення є ключовим для розробки ефективних методів контролю мікобіоти зерна та забезпечення його високої якості.

• Заселення рослин ґрунтовими грибами

Ґрунт є основним джерелом патогенних грибів, які можуть інфікувати зерно пшениці. Дослідження показують, що різноманітність грибів у ризосфері пшениці значно впливає на розвиток хвороб, зокрема кореневої гнилі, що в свою чергу, може вплинути на якість зерна. Основні патогенні гриби, що виявляються в ґрунті, включають роди *Fusarium* spp, *Penicillium* spp, *Aspergillus* spp. та інші. Ці гриби є збудниками ряду хвороб, таких як фузаріоз, альтернаріоз та інші, що ведуть до зниження якості зерна та збільшення рівня мікотоксинів (Vrandečić et al., 2019).

Агротехнічні практики, такі як обробка ґрунту та внесення добрив, значною мірою впливають на ступінь зараження зерна грибами. Наприклад, система без обробки ґрунту сприяє більшому зараженню зерна грибами роду *Fusarium*, оскільки гриби залишаються в поверхневих шарах ґрунту і можуть безперешкодно проникати в рослини через кореневу систему. Крім того, залишки попередніх культур, таких як кукурудза, можуть стати джерелом збагачення ґрунту грибами, включаючи *Fusarium* spp., що також збільшує ризик зараження зерна (Cobo-Díaz et al., 2021).

Хімічні та фізичні властивості ґрунту, зокрема рН, вміст азоту та інших елементів, також мають значний вплив на розвиток грибних інфекцій. Наприклад, низький рН ґрунту сприяє розвитку кореневої гнилі пшениці, оскільки кисле середовище є більш сприятливим для зростання певних видів патогенних грибів. Також висока концентрація амонійного азоту може створювати умови, які стимулюють ріст грибів, що негативно позначається на здоров'ї рослин і якості продукції (Zhang et al., 2021).

Ґрунт є важливим резервуаром фітопатогенів, як приклад гриби роду *Alternaria*, можуть зберігатися у вигляді спор або міцелію. Потрапляючи на поверхню проростків або молодих рослин, ці гриби можуть поширюватися на надземні органи, включаючи колос і зерно. Особливо інтенсивне інфікування ґрунтового походження спостерігається за високої вологості, що сприяє розвитку патогенів (Thomma, 2003).

- **Насіннєвий матеріал як джерело грибів**

Насіннєвий матеріал є важливим джерелом потрапляння у посіви пшениці різних грибів, що може призводити до значних втрат врожаю. Розуміння механізмів передачі інфекцій через насіння є критичним для розробки ефективних стратегій контролю захворювань. Інфікування через насіння може мати серйозні наслідки для здоров'я рослин, оскільки патогени, що потрапляють у ґрунт, можуть продовжувати поширюватися і спричиняти подальші епідемії хвороб.

Контаміноване насіння є одним з головних джерел збудників *Alternaria* spp. у посівах. Ці види можуть перебувати як на поверхні оболонки, так і всередині зерна, передаючись з генерації в генерацію. У результаті зараження в полі або під час зберігання патоген зберігається на насінні, сприяючи первинному інфікуванню майбутніх сходів (Khan et al., 2023; Masiello et al., 2022).

Ще одним значущим патогеном є *Bipolaris sorokiniana*, що викликає захворювання "гельмінтоспориозної плямистості", яке знижує якість насіння і є основним джерелом інокулюму для інших захворювань, таких як коренева

гниль і плямистість. Зараження насіння цим патогеном є особливо проблематичним через здатність зберігати життєздатність грибних спор в умовах зберігання, що підвищує ризик поширення інфекцій у наступних поколіннях рослин (Al-Sadi, 2021).

Під час зберігання зерна відбувається значне зараження грибами, що може призвести до серйозних втрат якості зерна. Один із найбільш поширених патогенів під час зберігання – є *F. culmorum*, який може швидко поширюватися на зернах під час зберігання, викликаючи ураження та зниження якості продукції (Schmidt et al., 2016). Окрім того, інші види грибів, зокрема *Aspergillus flavus* Link, 1809 і *R. oryzae*, є домінуючими в умовах зберігання зерна. Ці гриби можуть продукувати токсичні мікотоксини, такі як афлатоксини, які є шкідливими для здоров'я і можуть суттєво знизити харчову цінність зерна. Зараження під час зберігання є важливим аспектом, який потребує уваги при розробці заходів контролю, таких як правильне зберігання, моніторинг вологості та температури, а також використання біо- та хімічних засобів захисту (Kumari et al., 2019).

- **Інфікування через рослинні рештки**

Інфікування пшениці різноманітними грибами, зокрема через рослинні рештки, є важливим фактором, що впливає на врожайність і якість зерна. Рослинні рештки слугують основним джерелом інокулюму для багатьох збудників, зокрема *F. graminearum* — основного збудника фузаріозу колоса пшениці. Цей патоген здатен виживати на рештках протягом зими, що забезпечує йому сприятливі умови для інфікування посівів у наступному сезоні. На таких рештках розвиваються спори, які можуть поширюватися при сприятливих умовах, особливо під час вологих періодів вегетації. Інфекція може значно знизити якість зерна, а також спричинити забруднення зерна мікотоксинами, що становлять небезпеку для здоров'я людей та тварин (Fernandez & Chen, 2005; Kerdraon et al., 2016; Matelionienė et al., 2022).

Інфекція “септоріозу пшениці” також здатна поширюватися через рослинні рештки. Спори цього патогену, зокрема аскоспори, розвиваються на

рештках, а потім можуть бути рознесені вітром або водою. Рослинні рештки таким чином служать джерелом первинного інокулюму, що може спричинити епідемії хвороби в наступному сезоні. Поширення хвороби через ці спори підвищує ризик зараження нових посівів (Brokenshire, 1975; Suffert et al., 2011).

Поширення інфекції відбувається через спори, які можуть бути рознесені на короткі відстані від джерела інокулюму. Важливо зазначити, що для зменшення ризику інфекцій необхідно контролювати кількість рослинних решток. Спори можуть залишатися в рештках до наступного вегетаційного сезону, сприяючи ранньому зараженню рослин. Вологі умови, часті дощі або висока вологість сприяють розвитку спор патогенів, що може спричинити значне поширення захворювань (Keller et al., 2010; Wulff & Jones, 2020).

Зменшення кількості рослинних решток на полі є важливим етапом у боротьбі з інфекціями. Це може бути досягнуто через видалення решток, їх компостування або обробку спеціальними методами, такими як обробка біофунгіцидами чи застосування механічних способів для знищення залишків хвороботворних організмів. Таким чином, правильне управління рослинними рештками дозволяє знизити рівень інокулюму і зменшити ризик поширення хвороб на наступні врожаї (Booth & Taylor, 1976; Ćosić et al., 2008).

- **Повітряно-крапельне поширення спор**

Поширення спор грибів через повітря є важливим механізмом для їх виживання та поширення. Вони можуть переноситися на великі відстані, що дає можливість патогенам колонізувати нові території та заражати рослини, тварин або навіть людей. Цей процес розповсюдження значною мірою залежить від аеродинамічних властивостей спор та метеорологічних умов, таких як температура і вологість, що можуть впливати на їх концентрацію в повітрі протягом року.

Одним із механізмів поширення є аеродинамічні властивості, оскільки спори грибів є частиною первинних біологічних аерозольних частинок (PBAPs) і можуть перебувати в повітрі навіть за несприятливих умов. Такі спори можуть бути присутні в атмосфері протягом всього року, а їх

концентрація змінюється залежно від погодних умов і місця розташування (Martínez-Bracero et al., 2022; Madelin, 1994). Окрім того, спори можуть пасивно переноситися через вентиляційні системи, такі як системи кондиціонування повітря (HVAC), що може знижувати їх концентрацію в приміщеннях (Lin et al., 2021; Buttner et al., 1999). Деякі спори також мають здатність довготривало виживати в умовах низької вологості та температури, що дозволяє їм долати великі відстані та залишатися активними навіть у несприятливих умовах (Segers et al., 2023; Aylor, 1986).

Контроль за поширенням спор грибів є важливою частиною боротьби з патогенами, і застосування нових технологій, таких як плазмонні композити, може допомогти в обмеженні їх поширення. Наприклад, використання Ag-AgCl/ α -Fe₂O₃ показало ефективність у запобіганні поширенню *Aspergillus flavus* у повітрі (Sun et al., 2022).

Спори грибів також можуть поширюватися через воду, що є важливим шляхом їхнього поширення. Це може відбуватися через дощову воду та іригаційні системи.

Дощова вода є одним з основних шляхів поширення грибних спор, оскільки вона змиває спори з поверхонь і переносить їх на великі відстані. Відомо, що дощова вода містить велику кількість спор грибів, що можуть бути рознесені вітром, сприяючи їх поширенню на нові території (Fitt et al., 1989). Іригаційні системи також можуть стати джерелом зараження рослин, оскільки вода для поливу може містити спори грибів, що заражають сільськогосподарські культури, як це було зафіксовано на прикладі *F. circinatum* у розсадниках (Fernandes et al., 2023).

Так, одним з провідних способів поширення *Alternaria spp.* є утворення спор, які транспортуються повітряними потоками або дощовими краплями. Таке поширення особливо інтенсивне в період цвітіння та наливу зерна, коли вологість і температура сприяють інфекції колосу та формуванню зерна. Спори можуть потрапляти як на поверхню зерна, так і проникати в його тканини (Masiello et al., 2022; Attiq-Ur-Rahman et al., 2018).

- **Вертикальна передача грибів у рослин**

Вертикальна передача грибів у рослин — це процес передачі грибів від материнських рослин до нащадків, зазвичай через насіння. Такий механізм є поширеним серед різних груп рослин, включаючи злаки, бобові, лікарські рослини та інші, і відіграє ключову роль у формуванні фітосфери, мікробіому насіння та життєздатності рослин у наступних поколіннях (Hodgson et al., 2014; Kim et al., 2022).

Передача може здійснюватися безпосередньо через інфіковану насіннєву тканину або опосередковано — через пилок. Багато патогенних грибів, таких як *Fusarium moniliforme* J. Sheld. (1904), *A. alternata*, *Cladosporium sphaerospermum* Penz. (1882).

Вертикальна передача має значні екологічні та агрономічні наслідки. У багатьох випадках вона сприяє формуванню менш вірулентних або навіть симбіотичних взаємин між грибами та рослинами. Це пов'язано з тим, що для виживання і поширення гриба потрібне виживання господаря. Разом з тим, деякі високо патогенні гриби можуть підтримуватися завдяки ефективній вертикальній передачі (Fang et al., 2021; Kover & Clay, 1998).

Поширеність вертикальної передачі у злакових культурах, зокрема у пшениці (*Triticum aestivum*), має велике значення для насіннєвої фітопатології. Патогени, які передаються через насіння, важко контролювати хімічними методами, оскільки вони можуть знаходитися всередині зерна, де недоступні для традиційної обробки. Це ускладнює контроль над хворобами та збільшує ризик поширення мікотоксинів у партіях зерна (Bacon et al., 2001; Sharon et al., 2023).

Окрім того, вертикально передані гриби можуть впливати на конкурентоспроможність проростків, стійкість до патогенів і навіть формувати системний імунітет у молодих рослин. Цей ефект зберігається протягом поколінь і залежить як від генотипу рослини, так і від ґрунтових умов, у яких формувалося насіння (Lv et al., 2023; Afkhami & Rudgers, 2008).

Одним із ключових компонентів мікробіому насіння є ендоефітні гриби. Вони являють собою мікроорганізми, що заселяють внутрішні тканини рослин без спричинення видимих ознак хвороби. На відміну від патогенів, хоча й передаються схожим вертикальним шляхом — через насіння, ендоефіти здебільшого проявляють симбіотичні або мутуалістичні властивості (Rodriguez et al., 2008; Hodgson et al., 2014). У багатьох випадках їх присутність сприяє підвищенню стійкості проростків до несприятливих чинників довкілля, зокрема до абіотичних (посуха, засолення) та біотичних (ураження патогенами, шкідниками) стресів.

Одним із добре досліджених прикладів вертикально переданих ендоефітів є гриби роду *Epichloë* (Fr.) Tul. & C. Tul., 1865 spp., які утворюють системну асимптоматичну колонізацію у злакових рослинах та передаються переважно через насіння. Вони можуть синтезувати алкалоїди, які пригнічують розвиток фітопатогенів і фітофагів, а також покращують адаптацію рослин до несприятливих умов середовища (Clay & Schardl, 2002; Saikkonen et al., 2010).

Також відомі випадки, коли ендоефіти родів *Trichoderma* spp., *Beauveria* Vuill., 1912 spp., *Alternaria* spp. виявлялися у внутрішніх тканинах насіння сільськогосподарських культур і передавалися наступному поколінню, сприяючи стимуляції росту, індукції системної резистентності та пригніченню конкурентних патогенів (Behie et al., 2012; Grabka et al., 2022).

Цікаво, що межа між ендоефітом і патогеном іноді є динамічною і контекстно-залежною. Відомо, що деякі гриби, які зазвичай вважаються патогенами, можуть існувати у стані ендоефітної латентності протягом значного часу, не викликаючи хвороб, але потенційно активуючись при зміні умов середовища або ослабленні імунітету рослини (Schulz & Boyle, 2005). Такий стан називається ендоефітно-патогенним континуумом і часто спостерігається у грибів родів *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Cladosporium* spp.

З іншого боку, стабільні вертикально передані ендоефіти можуть конкурувати з патогенами за ніші колонізації та ресурси, що створює певний

природний захист для проростків. Таким чином, формування ендofітного мікробіому під час проростання є ключовим чинником у розвитку здоровї фітосфери та визначає подальшу імунну програму рослини.

Розуміння механізмів вертикальної передачі ендofітів відкриває перспективи для біотехнологічного використання цих мікроорганізмів як агентів біоконтролю або біостимуляторів. Інокуляція насіння корисними ендofітами, які здатні зберігати життєздатність у наступних поколіннях, може стати альтернативою хімічному протруєнню або доповненням до традиційного насіннєвого захисту. Особливо перспективними є дослідження з добору сортів, які мають стабільні вертикальні взаємодії з симбіотичними грибами.

Загалом, вертикальна передача є не лише джерелом патогенів, але й потенційним інструментом біологічного контролю, якщо є можливість керувати складом ендofітної мікробіоти в насінні. Вивчення механізмів вертикальної передачі має ключове значення для майбутніх стратегій захисту рослин і зниження накопичення мікотоксинів у зернових культурах.

Основними джерелами інокулюму зерна пшениці озимої грибами є ґрунт, насіннєвий матеріал, рослинні рештки, повітря, комахи та інші фактори середовища, які сприяють поширенню патогенів на різних етапах росту й зберігання зерна. Встановлено, що зараження може починатися ще з ґрунтового середовища, продовжуватись через інфіковане насіння та рослинні залишки, а також посилюватися під час зберігання за несприятливих умов. Розуміння джерел і механізмів поширення грибів є критично важливим для розробки комплексних систем захисту зерна від мікотоксинів і зниження втрат урожаю.

1.3. Фактори впливу на формування мікобіоти насіння пшениці

Формування мікобіоти насіння пшениці є складним біологічним процесом, що перебуває під впливом цілого ряду абіотичних та біотичних чинників. Серед них ключову роль відіграють погодні умови, агротехнічні заходи, а також застосування засобів захисту рослин. Від балансу цих факторів залежить видовий склад мікобіоти, інтенсивність розвитку фітопатогенних грибів, рівень інфікування насіння та його посівні якості. Розуміння впливу кожного з цих чинників є необхідним для розробки ефективної системи захисту та забезпечення високої якості посівного матеріалу.

1.3.1. Погодні чинники як фактор впливу на розвиток мікобіоти

Погодні фактори, що впливають на розвиток мікобіоти на пшениці, включають ряд чинників, таких як температура, вологість та опади. Вони суттєво впливають на склад та активність мікробних популяцій, що розвиваються на рослинах та в ґрунті. Зокрема, зміна цих умов може впливати як на корисні мікроорганізми, так і на патогенні.

Температура є одним з найважливіших кліматичних факторів, що визначає активність мікобіоти. Вона безпосередньо впливає на ріст та розвиток мікроорганізмів, оскільки кожен вид має свої оптимальні температурні умови для розвитку. Грибні та бактеріальні спільноти мають оптимальні температури росту в межах 25-30°C. При підвищенні температури понад 30°C активність грибів знижується більш різко, ніж у бактерій, що призводить до зміни співвідношення їх росту (Pietikäinen et al., 2005). Зміни температури можуть також сприяти активізації росту патогенних мікроорганізмів, таких як *Fusarium* spp., або бактерій, що заражають рослини. Мікробні спільноти адаптуються до місцевих температурних умов, і, наприклад, підвищення середньорічної температури на 1°C може змістити

температурні характеристики мікробів, що вплине на їхню активність і, відповідно, на вуглецевий цикл (Cruz-Paredes et al., 2023; Tájmél et al., 2020).

Крім того, клімат є важливим фактором, що визначає біогеографію грибів. Зміни клімату можуть вплинути на розподіл і різноманітність грибних спільнот, зокрема, на їхню здатність колонізувати нові території (Větrovský et al., 2019). Ці чинники можуть порушувати екологічну рівновагу, сприяючи розвитку деяких патогенних видів при одночасному зниженні чисельності корисних мікроорганізмів. Теплі умови можуть стимулювати активне розмноження термотолерантних грибів, які здатні адаптуватися до підвищених температур, що, у свою чергу, може посилювати їхню патогенність (Leach & Cowen, 2013; Nnadi & Carter, 2021). Наприклад, гриби, такі як *Aspergillus terreus* Thom (1918), демонструють здатність до розмноження при високих температурах, що може бути важливим для їх виживання в екстремальних умовах (Pang et al., 2020).

Вологість повітря та ґрунту є важливими факторами для розвитку мікобіоти на пшениці. Висока вологість створює сприятливі умови для розвитку грибних захворювань, таких як борошниста роса або кореневі гнилі, оскільки багато грибів і бактерій потребують води для активації своїх патогенних процесів. Зокрема, висока вологість сприяє розвитку патогенів, таких як *F. graminearum*, що може призводити до збільшення мікотоксинів у зерні (Zhang et al., 2019; Manstretta et al., 2016).

Низька вологість може знижувати активність мікробіоти, але деякі мікроорганізми можуть адаптуватися до посушливих умов, пристосовуючи свої метаболічні процеси до дефіциту води. Водночас це може обмежити розвиток деяких патогенів. Вологість ґрунту, водний стрес та генотип рослин суттєво впливають на реакцію мікробіоти пшениці на короткочасні періоди зниження вологозабезпечення. Відповідь мікробіоти на зниження вологості ґрунту в основному обумовлюється попереднім водним стресом, якого зазнавав ґрунт (Azarbad et al., 2020). Затоплення, як екстремальний випадок

вологості, може призводити до значних змін у складі мікобіоти, збільшуючи кількість патогенних грибів (Francioli et al., 2022).

Опади мають значний вплив на мікобіоту пшениці, оскільки вони визначають рівень зволоженості ґрунту та атмосфери, що безпосередньо впливає на розвиток як корисних, так і патогенних мікроорганізмів. Часті та інтенсивні дощі можуть сприяти розвитку грибних інфекцій, таких як фузаріоз, який викликає утворення токсинів на зерні. Це підвищує ризик зараження пшениці шкідливими мікотоксинами, зокрема тим, які продукуються грибами *Fusarium* (Bankina et al., 2017; Dong et al., 2016). Водночас високий рівень опадів сприяє активізації мікроорганізмів, що беруть участь у розкладі органічних залишків, покращуючи структуру ґрунту.

Недостатня кількість опадів, в свою чергу, може призвести до зниження активності деяких мікроорганізмів, що обмежує розвиток корисної мікрофлори та знижує стійкість рослин до патогенів. Цикли висихання і повторного зволоження ґрунту, викликані коливаннями кількості опадів, мають особливо виражений вплив на ґрунтові мікробні спільноти, змінюючи їх різноманіття та структуру. Це може вплинути на колообіг поживних речовин і здоров'я рослин, а також сприяти зміні складу мікобіоти в напрямку збільшення патогенів, таких як *Gibberella intricans* Wollenw, 1930 (син. *Fusarium gibbosum* Appel & Wollenw) і *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt., (1894), що знижує стійкість пшениці до хвороб (Francioli et al., 2022; Wang et al., 2022).

1.3.2. Агротехнічні фактори та їх вплив на мікобіоту зерна

Агротехнічні фактори, зокрема система обробки ґрунту, сівба, догляд за посівами, а також застосування добрив і засобів захисту рослин, мають значний вплив на формування мікобіоти зерна пшениці озимої. Ці фактори можуть як стимулювати, так і пригнічувати розвиток мікроорганізмів, що впливає на якість зерна та його безпеку. Вивчення впливу агротехнічних

практик на мікобіоту є важливим для розуміння механізмів зміни біологічної активності ґрунту та розвитку культур, що в свою чергу забезпечує більш ефективне управління якістю продукції та підвищення її стійкості до хвороб і шкідників.

- **Вплив сівозміни та попередників**

Сівозміна є важливим фактором, що впливає на структуру грибних угруповань у ґрунті та коренях рослин, що, у свою чергу, визначає частоту і тип грибних інфекцій у пшениці. Зокрема, дослідження показують, що правильний вибір попередніх культур може значно змінити кількість патогенних грибів, зокрема *Fusarium* spp., що є одними з основних збудників грибних захворювань пшениці.

Одним із важливих аспектів впливу сівозміни є мікотоксини *Fusarium* spp., які можуть бути присутні у зернових культурах. Сівозміна здатна зменшити концентрацію цих токсинів у пшениці, особливо якщо культура вирощена після певних попередників. Так, пшениця, що була вирощена після кукурудзи, продемонструвала меншу частоту та концентрацію трихотеценових мікотоксинів порівняно з пшеницею, яка росла після рису (Dong et al., 2022). Це свідчить про те, що сівозміна може бути важливим засобом зменшення рівня мікотоксинів і запобігання грибковим інфекціям.

Додавання зернобобових культур, таких як нут, сочевиця та горох, до сівозміни пшениці може також впливати на структуру грибних угруповань в ризосфері. Це може призвести до покращення здоров'я ґрунту та підвищення продуктивності наступного врожаю пшениці. Однак, детальне вивчення впливу таких культур на *Fusarium* spp. потребує подальших досліджень (Borrell et al., 2017).

Тип попередньої культури має значний вплив на грибну спільноту в ризосфері пшениці. Наприклад, пшениця, вирощена після ріпаку, має більшу кількість збудника “Септоріозу пшениці (*Septoria tritici* Roberge in Desmaz)”. Це може сприяти розвитку хвороб. Водночас пшениця, що росла після

польового гороху, може збагатити корисні грибні спільноти, зменшуючи навантаження патогенів (Lurwayi et al., 2024).

Різноманітна сівозміна є важливим чинником, що сприяє збагаченню та оздоровленню ґрунтової грибної спільноти, що, в свою чергу, може пригнічувати розвиток патогенних грибів і підвищувати врожайність пшениці. Системи, що включають більше органічної речовини та азоту, показують більшу різноманітність грибних угруповань, що корисно для здоров'я ґрунту і стійкості врожаю (Šeremešić et al., 2024; Town et al., 2022).

Окрім того, безперервний посів пшениці без сівозміни може призвести до підвищеної чутливості до патогенів та зниження врожайності. Водночас сівозміна з такими культурами, як соя або арахіс, може збільшити різноманітність ґрунтових грибних угруповань, що допомагає зменшити поширеність патогенів (Jin et al., 2022; Liu et al., 2020).

- **Вплив обробітку ґрунту**

Обробіток ґрунту є одним з основних агротехнічних факторів, який суттєво впливає на мікобіоту зерна пшениці озимої. Процеси, що відбуваються під час обробки ґрунту, змінюють його фізичні, хімічні та біологічні властивості, що, в свою чергу, впливає на чисельність та різноманітність мікроорганізмів, які проживають в ньому. Ці зміни можуть мати як позитивний, так і негативний ефект на мікобіоту зерна пшениці, що вкрай важливо для визначення якості отриманого врожаю.

Традиційний обробіток (плугування) сприяє підвищенню доступності поживних речовин для рослин, що може призвести до зростання врожайності. Однак, цей метод часто супроводжується зниженням різноманітності мікробних спільнот у порівнянні з методами мінімального обробітку, що може негативно впливати на здоров'я ґрунту в довгостроковій перспективі. Плуговий обробіток може також порушувати баланс між аеробними та анаеробними мікроорганізмами, що може змінити динаміку патогенів у ґрунті (Dong et al., 2017; Symanczik et al., 2025; Li et al., 2020).

Методи мінімального обробітку ґрунту на відміну від традиційного, підвищує різноманітність мікробних спільнот, включаючи корисні бактерії та гриби. Цей метод сприяє покращенню здоров'я ґрунту та стійкості агроecosистем, оскільки збереження ґрунтової структури стимулює розвиток корисних мікроорганізмів, таких як *Bacillus* Cohn 1872 і *Trichoderma* Pers. (1801). Ці мікроорганізми покращують взаємодію рослин з мікробами та можуть допомогти в боротьбі з патогенними грибами та бактеріями. Крім того, мінімальний обробіток зменшує ерозію та зберігає вологу, що є важливим для стійкості рослин до посухи (Behr et al., 2024; Naumova et al., 2022).

Глибокий обробіток може призвести до зниження родючості ґрунту в його верхніх шарах, що зменшує доступність поживних речовин для рослин. Однак цей метод сприяє зростанню певних родів грибів та бактерій, таких як *Arthrobacter* Conn and Dimmick 1947 (Approved Lists 1980) і *Mortierella* Coem. (1863), що можуть покращити якість ґрунту і допомогти у підтримці його біологічної активності. Глибокий обробіток також може сприяти аерації ґрунту, що покращує умови для розвитку аеробних мікроорганізмів і зменшує кількість патогенів (Sui et al., 2024).

• **Вплив добрив**

Вплив добрив на мікобіоту зерна пшениці є важливим аспектом агрономічної практики, оскільки добрива можуть значно змінювати мікробіологічну активність ґрунту та впливати на здоров'я рослин.

Органічні добрива позитивно впливають на мікобіоту зерна пшениці, підвищуючи різноманітність корисних мікроорганізмів. Зокрема, застосування органічних добрив сприяє збільшенню популяцій корисних бактерій, таких як *Bacillus* та *Actinobacteria* Stackebrandt et al. 1997, що відіграють важливу роль у покращенні родючості ґрунту та підвищенні врожайності пшениці (Bai et al., 2024; Cheng et al., 2020). Також органічні добрива можуть знижувати кількість патогенних мікроорганізмів, таких як *Fusarium* spp., що є основними збудниками хвороб пшениці (Li et al., 2021). Окрім цього, органічні добрива сприяють підвищенню ферментативної

активності ґрунту, що, у свою чергу, покращує доступність поживних речовин для рослин (Li et al., 2022).

Мінеральні добрива можуть мати змішаний вплив на бактеріальні спільноти, змінюючи їхню різноманітність у різних частинах рослини, таких як корені та колоски (Amadou et al., 2020). Зокрема, це може призводити до зниження кількості корисних мікроорганізмів у ризосфері, що негативно впливає на здоров'я ґрунту (Francioli et al., 2016). Однак, комбінація мінеральних добрив з мікробними інокулянтами може допомогти покращити структуру мікробіому та підвищити врожайність пшениці (Latković et al., 2020).

Комбіноване використання органічних та мінеральних добрив може забезпечити оптимальний баланс між корисними та патогенними мікроорганізмами в ґрунті. Це дозволяє покращити родючість ґрунту, підвищити біологічну активність ґрунтових мікроорганізмів та сприяти зменшенню розвитку патогенів (Wang et al., 2021; Yuan et al., 2023). Таке поєднання також сприяє збереженню мікробіологічної різноманітності, що позитивно впливає на стійкість агроecosистем (Gao et al., 2022).

Застосування органічних і мінеральних добрив впливає на мікобіоту зерна пшениці, причому органічні добрива покращують різноманітність корисних мікроорганізмів і зменшують кількість патогенних мікроорганізмів, тоді як мінеральні добрива можуть змінювати структуру мікробіому, знижуючи різноманітність корисних бактерій. Однак комбіноване використання обох типів добрив дозволяє підтримувати оптимальний баланс між корисними та патогенними мікроорганізмами, що сприяє покращенню здоров'я ґрунту та підвищенню врожайності пшениці.

1.3.3. Вплив системи захисту на розвиток мікобіоти

Система захисту рослин є однією з ключових складових сучасного агрономічного виробництва, яка впливає на здоров'я культур і, відповідно, на врожайність. Вибір ефективних методів боротьби з патогенними організмами може не тільки зменшити втрати урожаю, але й змінити склад мікобіоти що має значний вплив на якість вирощуваних культур. Мікробіологічний склад ґрунту, що включає бактерії, гриби та інші організми, здатний взаємодіяти з кореневою системою рослин, забезпечуючи необхідні поживні речовини або, навпаки, спричиняючи хворобам.

Застосування пестицидів, фітосанітарних заходів, а також альтернативних методів захисту рослин може значно змінювати динаміку розвитку мікобіоти, що, в свою чергу, впливає на якість зерна. Дослідження взаємозв'язку між системами захисту і мікробіологічною активністю ґрунту є важливим аспектом для розробки стійких до хвороб сортів пшениці та збереження її високої якості. Тому вивчення впливу різних систем захисту на мікобіоту є важливим етапом у процесі пошуку оптимальних агротехнічних заходів, які дозволяють збалансувати екологічні та економічні аспекти сільськогосподарського виробництва.

- **Хімічні методи контролю мікобіоти**

Хімічні засоби, зокрема гербіциди, фунгіциди та добрива, мають значний вплив на мікобіоту пшениці, змінюючи її структуру, функціонування та взаємодію з рослиною. Ці зміни можуть мати як позитивні, так і негативні наслідки для росту рослин, а також екологічну стабільність агроєкосистем.

Одним з основних ефектів хімічних обробок є зміна домінуючих видів грибів у мікобіоті пшениці. Зокрема, обробка насіння фунгіцидами може призвести до заміни домінування таких грибів, як *Alternaria* spp., на *A. pullulans* та дріжджів. Це зміщення може мати вплив на розвиток рослин, оскільки мікробіота, яка асоціюється з кореневою системою, активно бере участь у живленні та захисті рослини від патогенів (Rozhkova et al., 2021).

Хімічні добрива, а також обробка ґрунту, можуть змінювати різноманітність мікробіоти в ризосфері пшениці. Дослідження показали, що генотип рослин та їх фенотипічна пластичність мають більший вплив на мікробіоту, ніж хімічні засоби, хоча останні все ж можуть впливати на її структуру. Це може змінювати функціонування екосистеми та взаємодію між різними видами мікроорганізмів (Jasquiod et al., 2022).

Використання хімічних засобів може змінювати функціональні характеристики мікробіоти пшениці, зокрема підвищуючи чисельність автотрофних мікробних груп або зміщуючи мікробіоту до хемо-гетеротрофії. Це може бути корисним для росту рослин, оскільки забезпечує кращий доступ до поживних речовин, однак такі зміни можуть також впливати на стійкість рослин до патогенів та інших стресових факторів (Przemieniecki et al., 2025).

Обробка пшениці хімічними засобами захисту, зокрема фунгіцидами, ефективно знижує активність патогенних грибів, таких як *Fusarium* spp., що сприяє зменшенню ризику розвитку хвороб (Polunina et al., 2020). Проте застосування фунгіцидів, наприклад з діючою речовиною тебуконазол, може призводити до зниження різноманіття грибів і бактерій у ґрунті та насінні пшениці, що впливає на стабільність і функціонування мікробних угруповань (Zhang et al., 2024). Окрім того, хімічні обробки можуть сприяти зростанню чисельності патогенних мікроорганізмів, які не є чутливими до відповідних препаратів, створюючи потенціал для виникнення нових хвороб. Це вимагає ретельного моніторингу фітопатогенного стану посівів і застосування комбінованих підходів у системі захисту рослин.

Фунгіциди також мають здатність впливати на мікробні угруповання у філосфері пшениці. Дослідження показали, що хімічний захист змінює відносну чисельність сапротрофів і патогенів, що може як пригнічувати, так і стимулювати розвиток певних груп грибів (Karlsson et al., 2014; Knorr et al., 2019). При цьому обробка фунгіцидами нерідко зменшує рівень мікотоксинів у зерні, однак повністю уникнути їх накопичення не вдається (Kleber et al., 2023).

Особливої уваги заслуговує вплив фунгіцидів на ендоефітні мікроорганізми насіння пшениці. Системні фунгіциди можуть значно скорочувати чисельність ендоефітів, що є важливою складовою мікробного захисту і регуляції росту рослин. Деякі дослідження свідчать, що втрата ендоефітів після хімічної обробки може бути компенсована біологічним відновленням, однак ефективність такого процесу значною мірою залежить від складу ґрунтової мікробіоти та агротехнічних прийомів (Ayesha et al., 2021).

Крім впливу на грибні спільноти, фунгіциди змінюють і бактеріальний склад фітоценозів. Так, після обробки фунгіцидами з групи стробілуринів спостерігалось зростання чисельності бактерій роду *Pantoea* Gavini et al. 1989, які конкурують із фітопатогенами, потенційно підвищуючи біологічний захист рослини (Gu et al., 2010). Водночас попри зниження біорізноманіття, обробка насіння фунгіцидами може позитивно впливати на продуктивність пшениці, особливо при комплексному застосуванні разом із ризобактеріями (Cook et al., 2002).

Доведено, що гербіциди можуть істотно змінювати структуру мікробних спільнот у ризосфері пшениці, зменшуючи загальне різноманіття, однак інколи сприяючи зростанню окремих груп мікроорганізмів. Наприклад, застосування *S-метолахлору* призводить до зниження насиченості ризосферного мікробіому, однак підвищує чисельність корисних бактерій, таких як представники родин *Rhizobiaceae* Conn 1938 і *Burkholderiaceae* Garrity et al. 2006. Ці бактерії здатні активно колонізувати ризосферу завдяки привабливості до органічних кислот, що виділяються рослинами під час стресу, спричиненого гербіцидним навантаженням (Qu et al., 2021; Zhou et al., 2022).

Попри потенційні переваги використання хімічних засобів для боротьби з патогенами та підвищення врожайності, їх застосування може мати негативні екологічні наслідки. Зокрема, це може призвести до зниження якості ґрунту та підвищення викидів парникових газів, що сприяє зміні клімату. Тому важливо

розглядати більш стійкі та екологічно безпечні альтернативи для збереження довгострокової стабільності агроecosистем (Shrestha et al., 2021).

Хімічні засоби значно впливають на мікобіоту пшениці, змінюючи її склад, різноманітність та функціональні характеристики. Вони можуть сприяти зниженню ризику захворювань, але їх використання також може мати негативні екологічні наслідки, що підкреслює необхідність пошуку більш стійких альтернатив у сільському господарстві. Врахування цих аспектів є важливим для розвитку сталого землеробства та збереження біорізноманіття агроecosистем.

- **Біологічні методи контролю мікобіоти**

Біологічні засоби, зокрема біоконтрольні агенти та рослинні екстракти, мають значний вплив на мікобіоту пшениці, змінюючи її склад, функціональність і взаємодію з навколишнім середовищем. Ці методи здатні сприяти росту рослин та зменшити вплив патогенів, що є важливим аспектом у землеробстві.

Використання біоконтрольних агентів, таких як *Streptomyces Waksman* and *Henrici* 1943 (Approved Lists 1980), може значно змінювати склад мікробіоти коренів пшениці. Наприклад, ці агенти здатні зменшити чисельність *Paenibacillus* Ash et al., 1994 та одночасно збільшити присутність інших бактеріальних та грибних таксономічних одиниць (OTUs), що сприяє росту рослин та дозріванню колосу. Крім того, *Streptomyces* може допомогти зменшити вплив серйозних грибних інфекцій, таких як *Rhizoctonia solani* J.G. Kühn, 1858, що значно покращує здоров'я рослин (Araujo et al., 2019).

Рослинні екстракти, зокрема екстракти з *Citrus limon* та *Zingiber officinale*, мають здатність змінювати кількісний та якісний склад мікобіоти насіння пшениці. Наприклад, обробка насіння цими екстрактами може призвести до зменшення домінування таких грибів, як *Alternaria* ssp., та збільшення присутності *Penicillium* spp. і *A. pullulans*. Ці зміни можуть бути корисними для покращення стійкості пшениці до патогенів. Однак деякі

рослинні розчини можуть негативно впливати на розвиток проростків, що вимагає обережного підходу при їх використанні (Rozhkova et al., 2022).

Біологічні засоби також можуть ефективно впливати на грибні патогени, такі як *F. culmorum*, шляхом змін у мікобіоті залишків пшениці. Наприклад, ізоляти *Pythium Pringsheim, 1858* spp. виявляють антагоністичну активність проти *F. culmorum*, що дозволяє використовувати їх для біоконтролю фузаріозу колоса пшениці — однієї з найбільш шкідливих хвороб пшениці. Це відкриває нові можливості для зменшення використання хімічних засобів в агросекторі (Sarrocchio et al., 2012).

У боротьбі з фузаріозом особливу увагу привертають ендоефітні гриби — *Sarocladium zeae* W. Gams & D.R. Sumner, 2011, *Purpureocillium lilacinum* (Thom) Luangsa-ard, Houbraken, Nywel-Jones & Samson, 2011 та *Chaetomium globosum* Kunze ex Fries, 1829. Вони здатні не лише конкурувати з патогенами за простір і поживні речовини, а й продукувати антимікотичні сполуки та активувати системний імунітет рослин. Застосування цих агентів істотно знижує прояв симптомів фузаріозної кореневої гнилі та зменшує рівень мікотоксинів у зерні (Kemp et al., 2020; Kimotho et al., 2024; Feng et al., 2023).

Крім ендоефітів, значний потенціал продемонстрували бактерії роду *Bacillus* — *Bacillus amyloliquefaciens* (ex Fukumoto 1943) Priest et al. 1987, *Bacillus subtilis* (Ehrenberg 1835) Cohn 1872 (Approved Lists 1980) та *Bacillus velezensis* Ruiz-Garcia et al. 2005, які пригнічують розвиток *Fusarium* spp. шляхом продукції ліпопептидів та інших біоактивних сполук, знижуючи не тільки інтенсивність інфекційного процесу, але й рівень мікотоксинів у зерні (Zalila-Kolsi et al., 2016; Yi et al., 2024; Asaturova et al., 2022).

Ще одним важливим напрямом біозахисту є зменшення шкідливого впливу *Alternaria* spp., що є причиною альтернаріозу пшениці та джерелом мікотоксинів. До перспективних антагоністів відносяться флуоресцентні *Pseudomonas* Migula 1894 (Approved Lists 1980), які здатні істотно знижувати продукцію альтернарієвих токсинів на зерні, хоча повного пригнічення росту патогену при цьому не спостерігається (Müller et al., 2018).

Окрім того, успішно зарекомендували себе консорціуми екстремофільних бактерій, зокрема *Leclercia* Tamura et al. 1987 spp., *Sphingomonas paucimobilis* Holmes et al. 1977; Yabuuchi et al. 1990 та *Lactobacillus plantarum* (Orla-Jensen 1919) Zheng et al. 2020, які не тільки пригнічують розвиток *Alternaria*, але й стимулюють ріст проростків пшениці, позитивно впливаючи на загальний мікробіом зерна (Asyakina et al., 2023).

Гриби роду *Trichoderma* spp. також відомі своїм антагоністичним впливом на *Alternaria* spp., завдяки чому можуть знижувати патогенне навантаження в агроценозах пшениці (Şcerbasova et al., 2022).

До природних антимікотичних речовин, що впливають на мікобіоту зерна, відносять білковий агент PgAFP, який значно знижує акумуляцію мікотоксинів *Alternaria* spp. без негативного впливу на якість продукції (Da Cruz Cabral et al., 2019). Крім того, сполука магнолол має сильний антимікотичний ефект проти *Alternaria* spp., що може бути використано як природний фунгіцид у післязбиральний період для збереження безпеки зерна (Jiang et al., 2020).

Біологічні засоби мають потенціал для значного впливу на мікобіоту пшениці, сприяючи росту рослин та зменшуючи вплив патогенів. Інтеграція цих методів в управління здоров'ям рослин може сприяти сталому сільському господарству, що мінімізує використання хімічних засобів і зберігає екологічну рівновагу агроєкосистем.

Формування мікобіоти насіння пшениці озимої є багатофакторним процесом, на який суттєво впливають як природні, так і антропогенні чинники. Погодні умови, зокрема температура та вологість, визначають умови розвитку грибів у період вегетації та дозрівання зерна. Агротехнічні заходи — обробіток ґрунту, сівозміна, удобрення — формують мікробне середовище поля, що впливає на зараження рослин. Системи захисту, зокрема хімічні та біологічні препарати, здатні змінювати видовий склад мікобіоти, зменшуючи чисельність патогенів або стимулюючи розвиток корисних мікроорганізмів.

Узгоджене врахування цих факторів дозволяє керувати мікобіотою насіння та знижувати ризики грибних інфекцій.

1.4. Хімічні та біологічні системи захисту пшениці озимої: вплив на врожай та його якість

Одним із ключових елементів забезпечення стабільного врожаю та високої якості сільськогосподарської продукції є ефективний захист культурних рослин від комплексу шкідливих організмів, зокрема фітопатогенних грибів. Пшениця озима, як одна з провідних хлібних культур, є чутливою до ураження широким спектром грибних хвороб, що можуть суттєво знижувати урожайність і погіршувати показники якості зерна, зокрема спричиняти забруднення мікотоксинами.

У зв'язку з цим, розробка та впровадження ефективних систем захисту пшениці озимої від фітопатогенів залишається пріоритетним завданням сучасної аграрної науки та практики. Система захисту рослин передбачає комплекс організаційних, агротехнічних, хімічних, біологічних та інтегрованих заходів, спрямованих на обмеження чисельності шкідливих організмів до економічно незначного рівня та забезпечення екологічної рівноваги в агроєкосистемах. Основною метою такої системи є запобігання масовому розвитку хвороб, мінімізація їх негативного впливу на рослини та, як наслідок, на урожай та якість зерна.

Сучасні системи захисту пшениці озимої умовно поділяють на хімічні, біологічні, агротехнічні та інтегровані. Хімічні методи захисту рослин, зокрема застосування пестицидів, займають провідне місце завдяки своїй високій ефективності та швидкому пригніченню збудників хвороб (Yildirim, 2023). Основними компонентами хімічного захисту залишаються синтетичні пестициди, які забезпечують контроль фітопатогенних організмів шляхом специфічного механізму дії (Naq et al., 2020). Однак поряд із перевагами, широке застосування хімічних препаратів викликає певні ризики

— накопичення залишкових кількостей токсичних сполук у сільськогосподарській продукції, забруднення довкілля та формування резистентності у патогенних мікроорганізмів (Huded et al., 2023).

Для мінімізації негативного впливу хімічних препаратів на агроєкосистеми та здоров'я людини рекомендується застосовувати пестициди з вузьким спектром дії, коротким періодом напіврозпаду, а також дотримуватися принципів цільового застосування засобів захисту рослин (Borysenko et al., 2021).

Водночас альтернативою хімічному захисту є біологічні методи, які передбачають використання антагоністичних мікроорганізмів, продуктів їх метаболізму чи інших біоактивних агентів для пригнічення розвитку патогенів природним шляхом. Біологічні засоби, на відміну від хімічних, сприяють збереженню мікробного балансу в ґрунті та знижують ризик розвитку стійких рас патогенів (Maciąg et al., 2023; Curk & Trdan, 2024).

Серед ефективних методів біологічного захисту особливе місце посідає використання мікробних консорціумів (BCA — biological control agents), які забезпечують синергетичний ефект у боротьбі з патогенами, покращуючи стійкість рослин-господарів до збудників (Maciąg et al., 2023). Крім того, класичний біологічний контроль передбачає введення природних ворогів для зниження чисельності шкідливих організмів, що дозволяє не лише ефективно захищати посіви, але й зберігати біорізноманіття агроєкосистем (Driesche et al., 2010).

Перспективним напрямом є також застосування біотремології — використання вібраційних сигналів для регуляції поведінки шкідників та природних ворогів, що дозволяє контролювати фітосанітарний стан без застосування токсичних речовин (Pekas et al., 2023).

У сучасній аграрній практиці все більшого значення набуває інтегрований підхід до захисту рослин, який передбачає комбіноване застосування агротехнічних, хімічних та біологічних методів. Такий підхід дозволяє підвищити загальну ефективність захисту пшениці озимої, зменшити

антропогенне навантаження на довкілля, сприяти збереженню мікобіоти ґрунтів та знизити ризики мікотоксинного забруднення зерна.

Раціональне поєднання хімічних і біологічних методів захисту забезпечує зменшення втрат урожаю, підвищення якісних показників зерна пшениці озимої та сприяє формуванню стабільного фітосанітарного стану в агроценозах.

1.4.1. Хімічні засоби захисту пшениці озимої

Забезпечення стабільної врожайності та високої якості зерна пшениці озимої неможливе без ефективного контролю шкідників, що уражають рослини на різних етапах вегетації. Одним із найпоширеніших та технологічно доступних методів захисту посівів є застосування хімічних засобів захисту рослин (ХЗЗР), зокрема фунгіцидів, інсектицидів, протруйників та інших пестицидів (Cilia & Kandris, 2023; Pilarczyk & Konodyba-Rorat, 2023; Masaltsev et al., 2024). Завдяки високій ефективності, швидкому впливу на широкий спектр шкідливих організмів та відносній простоті застосування, хімічні препарати тривалий час залишаються основною частиною систем захисту сільськогосподарських культур, зокрема пшениці озимої (Hrytsiuk et al., 2023; Yakovenko & Cherchenko, 2024).

Поряд із беззаперечними перевагами використання хімічних засобів захисту рослин існує низка обмежень, пов'язаних із їхнім впливом на агроєкосистеми, мікобіоту зерна та якісні характеристики врожаю. Тривале застосування певних груп препаратів може сприяти не лише накопиченню токсичних залишків у продукції, а й зміні структури мікробіому, формуванню стійких до дії хімічних агентів штамів патогенів, що зумовлює зниження ефективності захисту у наступних сезонах.

Пестициди мають значний негативний вплив на агроєкосистеми, зокрема, знижують біорізноманіття ґрунтових мікроорганізмів та порушують функціонування корисних симбіонтів, таких як арбускулярні мікоризні гриби

(Riedo et al., 2021). За даними Deihimfard та ін. (2007), інтенсивне використання гербіцидів у межах проєктів, спрямованих на самозабезпечення пшеницею, зокрема в Ірані, не лише не забезпечило зростання врожайності, а й призвело до зростання екологічних ризиків, що потенційно загрожує довгостроковій стійкості агроєкосистем (Deihimfard et al., 2007).

Використання пестицидів також суттєво впливає на мікобіоту зерна. Встановлено, що пестициди здатні змінювати склад мікрофлори пшениці: окремі препарати можуть сприяти розвитку мікроскопічних грибів, тоді як інші негативно впливають на бактеріальні колонії, що свідчить про складну та неоднозначну відповідь мікобіоти на застосування хімічних засобів захисту (Кос et al., 2020). Окрім того, використання певних комбінацій гербіцидів і фунгіцидів може призводити до зниження рівня мікотоксинів у зерні, що побічно свідчить про вплив на популяцію токсин-продукуючих мікроорганізмів (Nugmanov et al., 2018). Також пестициди здатні модифікувати метаболічні процеси у рослинах пшениці, змінюючи профіль метаболітів, впливаючи як на концентрацію мікотоксинів, так і на швидкість розпаду самих пестицидів у рослинах (Iwaniuk et al., 2023).

Щодо якісних характеристик урожаю, наукові дослідження доводять, що хоча пестициди можуть забезпечувати підвищення врожайності пшениці, залишкові кількості хімічних речовин у зерні знижують його якість і становлять потенційний ризик для здоров'я людини (Rajak et al., 2023). Зокрема, пестициди здатні накопичуватися у тканинах рослин, що безпосередньо впливає на безпечність кінцевого продукту (Liu et al., 2021).

Таким чином, пестициди мають комплексний, здебільшого негативний вплив на агроєкосистеми: знижують біорізноманіття ґрунту, змінюють структуру мікобіоти зерна та погіршують якість урожаю. Попри те, що використання пестицидів може тимчасово підвищувати врожайність, їх довгострокове застосування ставить під загрозу стійкість агроєкосистем і безпеку харчових продуктів.

1.4.2 Вплив хімічного захисту на якість та безпечність зерна

Хімічний захист рослин, зокрема використання пестицидів, суттєво впливає на врожайність пшениці залежно від типу засобу, рівня шкідливого тиску та умов вирощування. Загалом, інсектициди та фунгіциди демонструють позитивний ефект у випадках значного ураження шкідниками або патогенами, тоді як зменшення застосування гербіцидів не завжди супроводжується зниженням врожайності.

За результатами численних досліджень встановлено, що застосування пестицидів може позитивно впливати на формування якісних показників зерна, зокрема таких як вміст білка, клейковини та маса 1000 зерен. Так, Wenshan (2008) зазначає, що обробка посівів пшениці озимої хімічними препаратами в оптимальних дозах сприяє підвищенню вмісту білка та крохмалю в зерні, покращуючи тим самим його технологічні властивості (Wenshan, 2008).

Nafikova та ін. (2020) вказують, що поєднання пестицидів із біостимуляторами, зокрема Melafen, не лише підвищує урожайність, але й сприяє покращенню якісних показників зерна. Зі свого боку, Perkins та ін. (2018) довели, що застосування інсектицидних протруйників на основі неоніотиноїдів або обробка рослин інсектицидами по листку дозволяє суттєво знизити чисельність попелиць — основних переносників вірусу жовтої карликовості ячменю. У результаті було зафіксовано приріст урожайності на 5,3–7,2% (280–381 кг/га), а додаткове листкове внесення інсектициду забезпечувало ще +3,4% до урожайності (Perkins et al., 2018). Зниження чисельності шкідників призводить до зменшення механічних ушкоджень рослин, які є первинними шляхами інфікування патогенами. Це сприяє зниженню рівня інфекційної захворюваності, підтриманню оптимального фітосанітарного стану посівів та підвищенню загальної резистентності рослин до біотичних стресів Agrios (2005).

Фунгіцидні обробки також відіграють важливу роль у підвищенні продуктивності, особливо в умовах інтенсивного поширення хвороб. Jaenisch і Lollato (2018), а також Jaenisch та ін. (2022) на прикладі агроєкосистем штату Канзас показали, що застосування фунгіцидів забезпечувало приріст урожайності до 19 бушелів з акра, що еквівалентно приблизно 1,3 т/га (Jaenisch & Lollato, 2018; Jaenisch et al., 2022).

Дані українських дослідників підтверджують ефективність застосування пестицидів у сучасному землеробстві. Зокрема, Matyukha та ін. (2021) встановили, що використання бакової суміші гербіциду Діалін супер у дозі 0,8 л/га разом із регулятором росту Гулівер стим у дозі 1,0–1,5 л/га забезпечувало повний контроль бур'янів і сприяло досягненню найвищого рівня врожайності — 6,0–6,4 т/га (Matyukha et al., 2021). Це пояснюється значним зменшенням біомаси бур'янів до 1,0–3,1 г/м² порівняно з 59,6 г/м² у контрольному варіанті. У свою чергу, Storchous та ін. (2019) зазначають, що осіннє внесення гербіциду Гранстар голд 75 у нормі 0,035 кг/га на ранніх фазах розвитку культури забезпечувало 100% технічну ефективність і позитивно впливало на урожайність (Storchous et al., 2019).

Voloshchuk та ін. (2020) довели, що застосування регулятора росту Вимпел-2 (0,5 л/га) у поєднанні з мікродобривом Oracle colofermin copper (1,0 л/га) знижувало розвиток основних хвороб пшениці озимої (борошниста роса, септоріоз, темно-бура плямистість) на 10–15% та забезпечувало приріст урожайності на 0,45–0,55 т/га (Voloshchuk et al., 2020).

Крім того, перспективним напрямом є зменшення хімічного навантаження на агроценози шляхом впровадження фізичних та біологічних методів захисту. Так, дослідження Bezpal'ko et al. (2021) показали, що поєднання пестицидної обробки з мікрохвильовим опроміненням сприяло підвищенню врожайності на 15–20%, одночасно зменшуючи негативний вплив на довкілля (Bezpal'ko et al., 2021).

Однак надмірне або необґрунтоване застосування хімічних засобів захисту може знижувати поживну цінність зерна. Наприклад, зафіксовано

зменшення концентрації амінокислот у зерні під впливом певних пестицидів, що може погіршувати харчову цінність кінцевого продукту (Iwaniuk et al., 2022). Дослідження також вказують, що ефективність і безпечність хімічного захисту суттєво залежать від сортових особливостей пшениці та погодних умов року вирощування (Dorrian et al., 2024).

Щодо безпеки зерна, одним із ключових аспектів є залишкові кількості пестицидів у зібраному врожаї. Більшість сучасних препаратів, таких як епоксиконазол чи піраклостробін, характеризуються відносно короткими періодами напіврозпаду, що дозволяє зменшити ризик перевищення допустимих норм залишків у зерні (Zhao et al., 2020). Однак навіть за дотримання регламентів обробки можливе накопичення залишків пестицидів, особливо у разі несприятливих погодних умов або використання високих доз препаратів (Liang et al., 2021).

Фунгіциди, крім основної ролі захисту від фузаріозу, можуть впливати на вміст мікотоксинів у зерні. Так, застосування хімічного захисту сприяє зниженню рівня деоксиніваленолу (DON) — одного з основних токсичних метаболітів фузаріозної інфекції. Водночас окремі фунгіцидні схеми здатні провокувати накопичення інших токсинів, наприклад AFB₂, що свідчить про складні взаємозв'язки між пестицидами та фітопатогенами (Kleber et al., 2023).

Важливо зазначити, що сучасні стратегії мінімізації ризиків включають не тільки регулювання застосування хімічних препаратів, але й впровадження альтернативних підходів, таких як ультразвукове промивання зерна, що дозволяє ефективно знижувати залишки пестицидів (Hrynko et al., 2023). Додатково перспективними вважаються біологічні методи, зокрема використання мікроорганізмів роду *Sphingomonas* spp., здатних розкладати як пестициди, так і мікотоксини, зменшуючи тим самим загрозу для споживачів (Wachowska et al., 2020).

Таким чином, хімічний захист пшениці має як позитивні, так і негативні наслідки для якості й безпечності зерна. Раціональне застосування агрохімікатів у поєднанні з біологічними та фізичними методами очищення

дозволяє мінімізувати ризики для здоров'я людини та довкілля, забезпечуючи стабільно високу якість урожаю.

1.4.3. Біологічні засоби захисту пшениці озимої

У сучасних умовах інтенсивного землеробства особливої уваги набувають питання розробки й упровадження екологічно безпечних, економічно доцільних та ефективних методів захисту сільськогосподарських культур, зокрема пшениці озимої. Високий рівень ураження посівів збудниками грибних, бактеріальних і вірусних захворювань, а також шкідниками, значно знижує врожайність і якість зерна, водночас збільшуючи залежність аграрного виробництва від хімічних засобів захисту. Тривале і надмірне застосування синтетичних пестицидів призводить до забруднення довкілля, деградації ґрунтової мікробіоти та зниження стійкості агроecosистем.

В умовах глобальних викликів, зокрема зміни клімату та виснаження ґрунтів, все більшої актуальності набуває інтеграція альтернативних підходів до захисту рослин. Одним із найбільш перспективних напрямів є використання біологічних засобів захисту, які спрямовані на гармонізацію взаємодії рослин із середовищем та забезпечення стабільності агроecosистем. Ці засоби ґрунтуються на застосуванні живих організмів (бактерій, грибів, вірусів, ентомофагів) або їхніх метаболітів для контролю шкідливих організмів і мають мінімальний негативний вплив на навколишнє середовище (Scortichini, 2022; Shang et al., 2024).

Застосування біологічних препаратів у вирощуванні пшениці озимої демонструє високий потенціал для підвищення врожайності та покращення якісних показників зерна. Біопрепарати, до яких належать біостимулятори, біофунгіциди, гумати та органічні добрива, забезпечують приріст урожайності в межах 11–43%, залежно від типу препарату, способу та часу його застосування.

Передпосівна обробка насіння біологічними препаратами сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур на 10–15% завдяки стимуляції проростання та захисту від патогенів. Обприскування посівів у фазі кущення біопрепаратами на основі мікроорганізмів-антагоністів, таких як *Trichoderma* spp. або *Bacillus* spp., забезпечує приріст урожаю на 20–30%. (Santos et al., 2019; Woo et al., 2023).

Біофунгіциди, такі як Mikosan V, Trychodermin та Fitotsyd-r, за умов триразового застосування підвищують врожайність на 0,21–0,45 т/га (до 5,51 т/га). Окрім збільшення врожайності, відзначається покращення якісних показників зерна — зокрема, вмісту сирого глютену та хлібопекарських властивостей (Zaima & Derhachov, 2023).

Внесення біостимуляторів та гуматів, зокрема дворазова обробка посівів гуматом калію (восени та навесні), сприяє підвищенню врожаю на 1,1 т/га. Це відповідає приросту врожайності на 11,6–42,6% залежно від типу препарату та термінів внесення. Також відзначалося зростання кількості продуктивних стебел, що позитивно впливає на структуру врожаю (Kargin et al., 2021).

Органічне удобрення, зокрема систематичне внесення гною у нормі 30 т/га, забезпечує приріст урожайності на рівні 24,3–38,9%. Крім того, спостерігалось покращення біологічної активності ґрунту, що майже зрівнювало ефективність такого удобрення з мінеральним живленням (Chandra et al., 2022).

Серед ключових підходів до сталого захисту рослин важливе місце займає інтегрована система захисту (Integrated Pest Management, IPM), що передбачає поєднання біологічних, агротехнічних, генетичних і хімічних методів з акцентом на мінімізацію використання пестицидів. Проте, як зазначають Deguine et al. (2021), повноцінна реалізація IPM стикається з низкою труднощів, зокрема недостатнім залученням аграріїв та відсутністю уніфікованих практичних рішень.

Іншим важливим елементом сучасного біозахисту є індукована резистентність (Induced Resistance, IR) — здатність рослин активізувати власні

захисні механізми у відповідь на дію патогенів чи інших стресових факторів. Ця стратегія забезпечує широкий спектр захисту, однак її потенціал залишається недооціненим порівняно з традиційними пестицидами (Flors et al., 2024).

Комплексний підхід до захисту рослин також включає інтегроване управління живленням (Integrated Nutrient Management, INM), що сприяє підвищенню продуктивності посівів та поліпшенню стану ґрунтів, знижуючи водночас антропогенне навантаження на агроєкосистеми (Wu & Baoluo, 2015).

Особливо перспективними для пшениці озимої є генетичні підходи, зокрема створення сортів, стійких до патогенів, завдяки класичній селекції та методам генної інженерії, які дозволяють значно зменшити потребу в хімічному захисті (Pathania et al., 2021). Також важливо відзначити роль ресурсоефективних агротехнологій, які зменшують екологічний слід вирощування культур, зокрема завдяки оптимізації водокористування та зниженню викидів парникових газів (Walia et al., 2022).

Таким чином, біологічні засоби захисту пшениці озимої є невід'ємною частиною сучасних систем сталого землеробства. Їх застосування у поєднанні з індукованою резистентністю, інтегрованим захистом, селекцією стійких сортів і раціональними агротехнічними заходами створює надійну основу для забезпечення стабільної врожайності, збереження родючості ґрунтів і захисту довкілля.

1.4.4 Вплив біологічного захисту на якість та екологічну безпеку зерна

Біологічний захист є важливою частиною сучасних агротехнологій, яка спрямована на зменшення застосування хімічних пестицидів та добрив завдяки використанню живих організмів або їхніх метаболітів для підвищення стійкості рослин до хвороб і шкідників. Цей підхід не лише сприяє покращенню якості зерна, а й значно підвищує екологічну безпеку сільськогосподарського виробництва.

Застосування біологічних препаратів позитивно впливає на показники якості зерна, зокрема підвищує вміст білка та клейковини, що є важливими критеріями для харчової та переробної промисловості. Так, використання рослинних біопрепаратів, наприклад біомаси полину (*Artemisia dubia* Wall.) у поєднанні з органічними добривами, сприяло значному підвищенню врожайності та якості зерна озимої пшениці, включно зі збільшенням вмісту білка та клейковини (Bakšinskaitė et al., 2024).

Біологічний захист також забезпечує ефективну профілактику та зниження шкодочинності хвороб, які можуть суттєво погіршувати якість врожаю. Наприклад, дослідження показали, що біопрепарати здатні значно знижувати розвиток збудників борошнистої роси, септоріозу та іржі у посівах пшениці, що забезпечує кращий стан зерна й підвищує його харчову цінність (Zaima & Derhachov, 2023).

Окрім цього, біологічна активація зерна може підвищувати концентрацію антиоксидантів і фенольних сполук, що позитивно впливає на його поживну цінність і функціональні властивості (Singh & Sharma, 2017).

Біологічні засоби захисту також мають здатність обмежувати поширення фітопатогенних грибів, які є джерелом мікотоксинів — небезпечних для здоров'я людини та тварин сполук. Екологічні методи зменшують ризики накопичення токсинів у зерні завдяки конкурентній взаємодії біоконтролерів із патогенами (Havryliuk et al., 2022; Nopsa et al., 2015).

Зокрема, для контролю грибів роду *Alternaria* перспективними є біопрепарати на основі бактерій *Bacillus* spp., *Trichoderma* spp., флуоресцентних псевдомонад та екстремофільних консорціумів. Такі препарати не лише стримують розвиток патогенів, а й знижують рівень мікотоксинів у зерні, що підвищує його безпечність для використання в харчових цілях (Müller et al., 2018; Asyakina et al., 2023; Şcerbacova et al., 2022; Da Cruz Cabral et al., 2019).

Біологічні засоби захисту сприяють значному зниженню хімічного навантаження на ґрунт, воду та повітря. Вони не мають кумулятивного ефекту та не спричиняють появи стійких до дії препаратів форм шкідників чи патогенів, що знижує ризики для біорізноманіття та здоров'я людини (Bakšinskaitė et al., 2024; Grishina, 2024). Крім того, біологічні препарати покращують структуру ґрунту і стимулюють розвиток корисної мікробіоти, що зміцнює загальну стійкість агроценозів до стресів, таких як посухи чи ґрунтове виснаження (Skok et al., 2023).

Застосування біологічних засобів захисту часто супроводжується зростанням урожайності зернових культур. Такі продукти, як Mikosan V і Trichodermin, показали високу ефективність у підвищенні врожайності озимої пшениці завдяки захисту від хвороб та стимуляції росту (Zaima & Derhachov, 2023; Sorokina & Petrov, 2024). Важливо також відзначити економічну ефективність біозасобів завдяки зменшенню витрат на дорогі хімічні препарати та зниженню витрат на рекультивацію ґрунтів і очищення вод (Doronin et al., 2023; Ivanchenko et al., 2023).

1.4.5. Порівняльна оцінка хімічних та біологічних систем захисту

Хімічні системи захисту широко використовуються в аграрному секторі для боротьби зі шкідниками та хворобами рослин, а також для підвищення врожайності. Ці системи включають використання хімічних пестицидів та інших хімічних засобів, які забезпечують швидке і високоефективне знищення шкідливих організмів. Хімічні препарати, такі як Het-Trick SC, значно знижують присутність фітопатогенів та покращують показники схожості насіння в сільському господарстві (Surin et al., 2024).

Однією з основних переваг хімічних систем є їх здатність надавати негайний захист та високий рівень ефективності в умовах високих ризиків, таких як важкі інфекційні захворювання або швидке поширення шкідників. Однак тривале використання хімічних засобів може призвести до розвитку

резистентності у шкідників та патогенів, що знижує ефективність цих методів у довгостроковій перспективі (Bardin et al., 2015).

Біологічні системи захисту є більш стійким та екологічно чистим підходом у порівнянні з хімічними. Вони ґрунтуються на використанні природних організмів або їхніх метаболітів для контролю за шкідниками та хворобами. В агрономії ці методи включають застосування корисних мікроорганізмів, таких як *Trichoderma* spp. та *Bacillus* spp., для інтегрованого захисту рослин (Książek-Trela & Szpyrka, 2022; Amons, 2022).

Основною перевагою біологічних систем є їхня стійкість до розвитку резистентності та низький екологічний вплив. Вони також покращують якість ґрунту, знижують негативний вплив хімічних залишків на екосистеми та сприяють збереженню біорізноманіття (Książek-Trela & Szpyrka, 2022; Borzykh et al., 2023). Наприклад, біопрепарати на основі *Trichoderma* spp. та *Bacillus* spp. здатні знижувати розвиток патогенів та покращувати здоров'я рослин, що призводить до збільшення врожайності та зниження використання хімічних засобів захисту (Amons, 2022).

Ефективність хімічних і біологічних систем захисту залежить від конкретних умов та типу загрози. Хімічні системи забезпечують швидкий і високий рівень захисту, що робить їх необхідними в умовах, де ризик високий і потребує оперативного втручання, наприклад, у військових або промислових умовах (Truong & Wilusz, 2005). Вони ефективно справляються з великими популяціями шкідників або при швидкому розвитку захворювань.

Натомість біологічні системи забезпечують стійкий і довготривалий захист, що робить їх більш оптимальними для сільського господарства, де важливо зберегти екологічний баланс і знизити негативний вплив на навколишнє середовище. Біологічні методи контролю за шкідниками не лише знижують ризик розвитку резистентності, але й покращують стан ґрунту та зменшують хімічне навантаження (Amons, 2022; Nekoval et al., 2021). Наприклад, застосування біопрепаратів на основі *Bacillus* spp. значно знижує

популяцію шкідників і патогенів, одночасно покращуючи структуру ґрунту та здоров'я рослин (Bardin et al., 2015).

Обидва підходи — хімічні та біологічні системи захисту — мають свої переваги та недоліки. Хімічні системи забезпечують швидке та ефективне усунення загрози, але можуть призводити до розвитку резистентності та мати негативний вплив на навколишнє середовище. Біологічні системи є більш стійкими, екологічно чистими і зменшують ризик розвитку резистентності у шкідників та патогенів, але можуть потребувати більше часу для досягнення ефекту. Вибір між хімічними та біологічними системами залежить від специфіки загрози та вимог до довготривалого збереження екологічного балансу.

Висновки до розділу 1:

1. Мікобіота насіння озимої пшениці відзначається значним видовим різноманіттям, переважно представлена грибами родів *Alternaria* spp., *Fusarium* spp., *Penicillium* spp. і *Aureobasidium* spp. Її склад формується під впливом сорту, агротехнічних заходів, кліматичних умов і регіональних особливостей, проте основні роди залишаються стабільними. Гриби можуть виконувати як патогенні, так і корисні функції — від ураження рослин до підвищення їхньої стійкості.

2. Джерела заселення насіння грибами є різноманітними й взаємопов'язаними: ґрунт, насіннєвий матеріал, рослинні рештки, повітряно-крапельний механізм і вертикальна передача. Розуміння цих механізмів є основою для створення ефективних заходів контролю мікобіоти, спрямованих на зменшення шкодочинності патогенних видів.

3. Формування мікобіоти насіння озимої пшениці тісно пов'язане з погодними умовами, агротехнікою та застосованими системами захисту. Сукупна дія цих чинників впливає на видовий склад, функціональну активність мікроорганізмів і якість посівного матеріалу, що зумовлює необхідність комплексного підходу до їх вивчення.

4. Хімічні та біологічні системи захисту рослин мають свої переваги та обмеження у контролі мікобіоти. Хімічні засоби забезпечують швидкий результат, однак можуть спричиняти екологічні ризики. Біологічні методи безпечніші для довкілля, сприяють сталому землеробству, проте потребують подальших досліджень щодо підвищення їхньої ефективності й адаптації до конкретних умов.

5. Порівняння ефективності систем захисту показує, що хімічні засоби дають змогу підвищити урожайність на 5–19%, проте супроводжуються ризиками забруднення довкілля та зменшення біорізноманіття. Біологічні системи, завдяки біоагентам, біостимуляторам і органічним добривам, сприяють зростанню урожайності на 10–43%, покращенню якості зерна та збереженню корисної мікобіоти ґрунту.

6. Перспективи подальших досліджень полягають у поглибленому вивченні взаємодії між грибами мікобіоти та рослиною-господарем, впливу кліматичних і антропогенних факторів на формування мікобіоти, удосконаленні методів біоконтролю, а також у селекції сортів пшениці, стійких до патогенів. Важливим є також вивчення довготривалого ефекту різних систем захисту в умовах змінного клімату з метою оптимізації вирощування й підвищення якості зерна.

РОЗДІЛ 2

МІСЦЕ, УМОВИ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Місце та умови проведення досліджень

Полевий дослід проводився на дослідному полі науково-навчального виробничого комплексу Сумського національного аграрного університету, у місті Суми, Сумського району, Сумської області яке розташоване в північно-східній частині Лісостепу України (координати: 50.883568228107556, 34.76696358630536). Поле, на якому розташована дослідна ділянка, розмежовується полезахисними смугами, що забезпечує захист від ерозії вітром. Поле має рівний рельєф, з незначним, ледь помітним нахилом. Клімат можна схарактеризувати як помірний континентальний, із визначеними сезонами та помітними коливаннями температури й опадів протягом року.

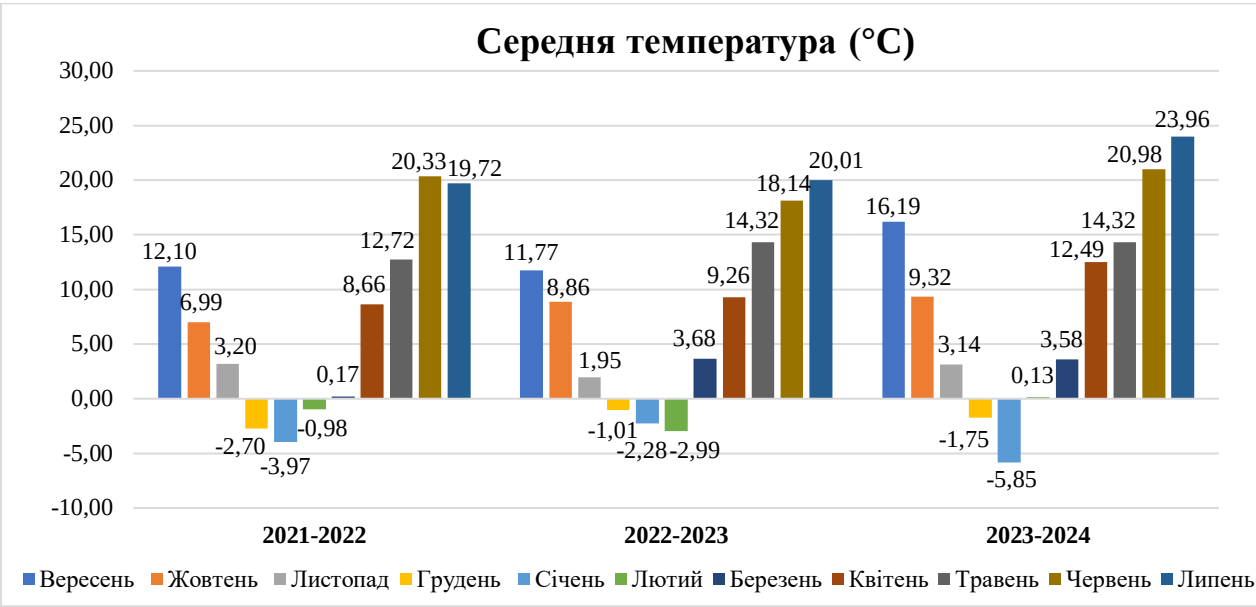


Рисунок 2.1 Середньомісячна температура протягом трьох вегетаційних періодів (2021-2024)

Аналіз погодних умов 2021-2024 років (рис. 2.1 – середньомісячна температура; рис. 2.2 – кількість опадів (мм)) проводився за даними Сумського обласного центру з гідрометеорології. Вегетаційний період охоплював час від посіву культури (вересень) до збирання врожаю (липень включно). Усі роки досліджень відзначалися варіативністю погодних умов, що дозволяє оцінити ефективність застосованих систем захисту за різного типу кліматичних сценаріїв.

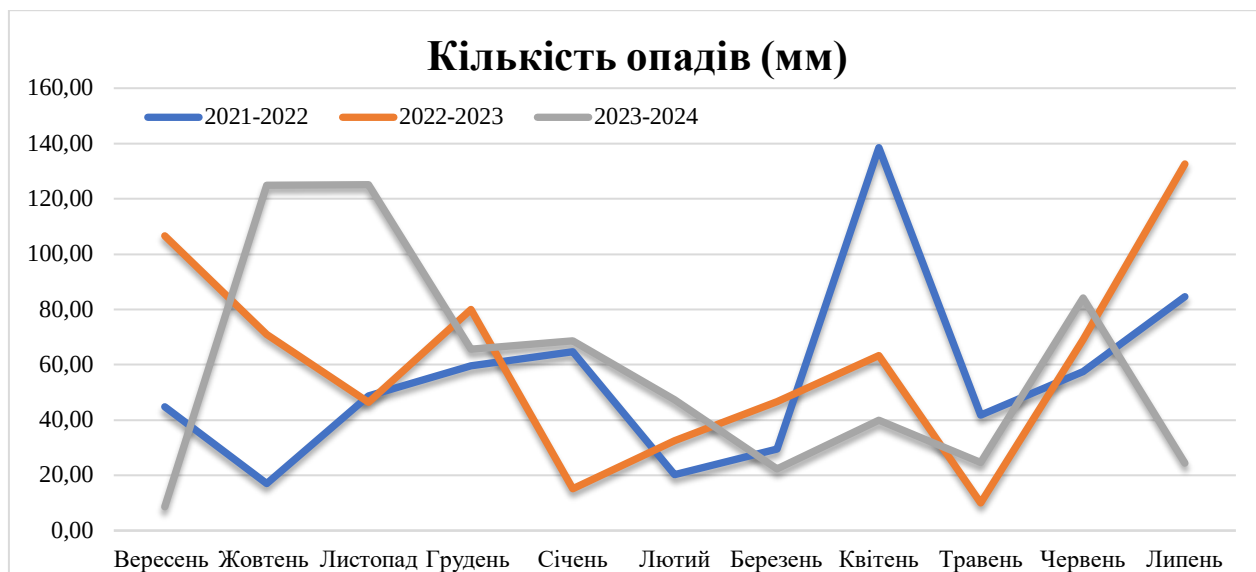


Рисунок 5.2 Кількість опадів протягом трьох вегетаційних періодів (2021-2024)

Вегетаційний період 2021–2022 рр. характеризувався помірно теплими та вологими умовами. У вересні 2021 року середня температура становила 12,1 °С, а кількість опадів — 44,8 мм, що створювало сприятливі умови для проростання, вкорінення та початкового росту рослин. Осінні місяці (жовтень і листопад) супроводжувались поступовим зниженням температури до 6,99 і 3,2 °С відповідно, при цьому вологозабезпечення залишалося на задовільному рівні (опадів до 48,7 мм), що сприяло закладанню високого потенціалу врожайності.

Зимовий період не приніс екстремальних морозів. Середні температури в грудні, січні та лютому становили – 2,70; – 3,97 і – 0,98 °С відповідно. Товщина снігового покриву сягала 1476 мм, що забезпечувало належну

термоізоляцію та запобігало вимерзанню рослин. Наявність снігу сприяла накопиченню вологи в ґрунті до весняного періоду.

Весна 2022 року розпочалася з поступового підвищення температур: у березні — 0,17 °С, у квітні — 8,66 °С. Квітень також вирізнявся великою кількістю опадів — 138,5 мм, що сприяло активному відновленню вегетації. Травень (12,72 °С, 41,7 мм опадів) та червень (20,33 °С) забезпечили інтенсивне формування генеративних органів. Липень із середньою температурою 19,72 °С підтримував процес дозрівання зерна. Загальна сума опадів за період склала близько 606 мм.

Вегетаційний період 2022–2023 рр. відзначався сприятливими умовами для росту культури, порпри деяке похолодання в зимовий період. Вересень 2022 року був достатньо вологим (106,6 мм опадів) і теплим (11,77 °С), що створило ідеальні умови для проростання та вкорінення пшениці. У жовтні та листопаді температура поступово знижувалася (до 9,07 °С і 4,3 °С відповідно), при цьому рівень опадів (71 і 46,5 мм) забезпечував зволоження ґрунту.

Зима була помірно холодною: – 1,0 °С у грудні, – 2,28 °С у січні та – 2,99 °С у лютому. Сніговий покрив у січні та лютому (20–285 мм) був нижчим порівняно з попереднім роком, однак достатнім для захисту посівів.

Березень (3,68 °С, 46,7 мм) ознаменував початок весняної вегетації. Квітень і травень характеризувалися температурним зростанням (9,26 °С і 14,32 °С) та зниженням кількості опадів, що компенсувалося попередніми запасами вологи. Червень (18,14 °С) та липень (20,01 °С) сприяли наливу зерна. Високі опади в липні (132,6 мм) створили оптимальні умови для завершення формування врожаю. Загальна кількість опадів — близько 673 мм.

Вегетаційний період 2023–2024 рр., був найконтрастніший із трьох періодів. Вересень був аномально теплим (16,19 °С), але з дефіцитом вологи (8,6 мм), що ускладнило процес проростання та формування кореневої системи. У жовтні й листопаді ситуація значно покращилася завдяки помірним температурам (9,32 °С і 3,14 °С) та високому рівню опадів (124,9 та 125,1 мм відповідно), що сприяло накопиченню продуктивної вологи.

Зимовий період був холодним, але захищеним: у грудні середня температура становила $-1,75^{\circ}\text{C}$, у січні $-5,85^{\circ}\text{C}$. Водночас сніговий покрив був рекордним — до 1639 мм у січні, що повністю компенсувало негативний температурний режим. У лютому температура зросла до $0,13^{\circ}\text{C}$, а танення снігу забезпечило поступове насичення ґрунту вологою.

Березень ($3,58^{\circ}\text{C}$, 22,2 мм) та квітень ($12,49^{\circ}\text{C}$, 39,8 мм) сприяли активному розвитку рослин. У травні, за температури $14,32^{\circ}\text{C}$ і 45,2 мм опадів, формувалися генеративні органи. Літні місяці були помірно спекотними ($20,98^{\circ}\text{C}$ у червні, $21,33^{\circ}\text{C}$ у липні) із дещо зниженим рівнем опадів (25,98 та 8,65 мм відповідно), однак накопичена волога забезпечила налив зерна. Загальна сума опадів становила 635 мм.

Усі три вегетаційні періоди можна схарактеризувати як сприятливі для вирощування озимої пшениці, хоча умови мали специфічні особливості: 2021–2022 — рівномірний розподіл опадів і помірна зима; 2022–2023 — волога осінь і дощове літо; 2023–2024 — суха осінь, сильний сніговий покрив і маловологе літо. Попри на відмінності в погодних умовах, усі періоди дозволили оцінити ефективність різних систем захисту озимої пшениці за контрастного водного режиму, температурних аномалій та агрокліматичних змін.

Агрохімічну характеристику ґрунту на дослідній ділянці було встановлено шляхом проведення лабораторного аналізу зразків ґрунту, який здійснювався в лабораторії компанії АгроХімАналіз. Визначення основних показників родючості виконувалося відповідно до чинних стандартів, що гарантує достовірність та об'єктивність отриманих даних.

Вміст органічної речовини (гумусу) визначали згідно з вимогами ДСТУ 4289:2004 «Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини»,. Аналіз на вміст мінеральних форм азоту, зокрема амонійного та нітратного, проводився методом екстракції 1% розчином сульфату калію (K_2SO_4) відповідно до ДСТУ 4729:2007 «Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини».

Оцінка забезпеченості ґрунту рухомими сполуками фосфору і калію виконувалася за модифікованою методикою Чирикова згідно з ДСТУ 4115:2002 «Ґрунти. Визначання рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова». Реакцію ґрунтового розчину (рН) як у водній, так і в сольовій витяжках визначали відповідно до вимог ДСТУ ISO 10390:2007 «Якість ґрунту. Визначення рН» (ISO 10390:2005, IDT).

Гранулометричний склад ґрунту, зокрема вміст фізичної глини, визначали відповідно до ДСТУ 4730:2007 «Якість ґрунту. Визначання гранулометричного складу методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського». Вміст обмінних форм кальцію та магнію визначали методом Шолленбергера відповідно до ДСТУ 7861:2015 «Якість ґрунту. Визначення обмінних кальцію, магнію, натрію і калію в ґрунті за Шолленбергером у модифікації ННЦ ІГА імені О. Н. Соколовського». Також визначався вміст рухомої сірки за ДСТУ 8347:2015.

Аналіз на вміст мікроелементів — цинку, марганцю, міді — проводився відповідно до серії стандартів ДСТУ 4770 «Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії». Вміст рухомого бору оцінювали за методом екстракції "гарячою водою".

У результаті досліджень встановлено, що ґрунт дослідної ділянки характеризується такими показниками: вміст органічного вуглецю становить 1,62%, вміст фізичної глини — 28%, рН у водному розчині — 6,06, а в сольовому (KCl) — 5,5. Вміст легкогідролізованого азоту становить 2,05 мг/кг, рухомого фосфору — 123,01 мг/кг, обмінного калію — 132 мг/кг. Також виявлено такі рівні мікроелементів: цинку — 9,88 мг/кг, міді — 0,12 мг/кг, бору — 0,09 мг/кг, марганцю — 7,5 мг/кг. Вміст рухомої сірки становив 4,5 мг/кг, обмінного кальцію — 5,55 мг-екв/100 г, магнію — 1,02 мг-екв/100 г.

Отримані дані свідчать про достатню забезпеченість ґрунту основними макро- та мікроелементами, що створює сприятливі умови для вирощування пшениці озимої. Оптимальний вміст органічної речовини та глинистих

частинок забезпечує хорошу водоутримуючу здатність та буферну ємність ґрунту. Нормальні значення рН створюють комфортні умови для поглинання елементів живлення кореневою системою. Наявність основних поживних елементів (N, P, K, S, Ca, Mg) та мікроелементів (Zn, Mn, Cu, B) є достатньою для забезпечення фізіологічних потреб озимої пшениці упродовж вегетації.

2.2. Матеріали дослідження

У дослідженні використовували два сорти озимої пшениці (*Triticum aestivum*), що характеризуються високою продуктивністю та здатністю адаптуватися до різноманітних умов вирощування. Сорти занесені до Державного реєстру сортів та рослин приданих для поширення в Україні 2025.

Сорт озимої пшениці **Аліот**, зареєстрований ТОВ «ГЕНЕКС УКРАЇНА», є високопродуктивним середньопізнім сортом з вегетаційним періодом 280–285 днів. Рослина досягає висоти 93 см, має масу 1000 зерен 51,5–55 г та потенційну врожайність до 125 ц/га. Оптимальна норма висіву залежить від зволоження ґрунту: 4,5 млн схожих насінин/га при достатній кількості вологи та 4 млн/га при її нестачі. Сорт характеризується доброю адаптивністю до різних кліматичних умов та високою озерненістю колоса (55–60 зерен).

Аліот вирізняється рядом агрономічних переваг: високою здатністю до весняного кущення, стійкістю до вилягання навіть без застосування регуляторів росту, високою посухо- та зимостійкістю. Завдяки цим властивостям сорт є універсальним для вирощування в різних агрокліматичних зонах і підходить для інтенсивної технології обробітку. Висока якість зерна, з вмістом білка 13,5–14,5% та клейковини 28,7–29,6%, робить його придатним для потреб борошномельної та хлібопекарської промисловості.

Попри численні переваги, сорт Аліот має середній рівень толерантності до хвороб, тому для збереження врожайності необхідне застосування засобів

захисту рослин. Проте за умов належної агротехніки та дотримання рекомендацій виробника він здатен формувати стабільно високі врожаї навіть за складних кліматичних умов.

Сорт озимої пшениці **Еміль**, розроблений компанією KWS, є високопродуктивним середньостиглим сортом, що поєднує стабільну врожайність, добру адаптацію до кліматичних умов України та високі якісні показники зерна. Вегетаційний період сорту становить 278–282 дні, висота рослини – 70,5–81 см, а маса 1000 зерен – близько 50 г. Потенційна врожайність досягає 90–100 ц/га і може перевищувати цей показник за сприятливих умов. Оптимальна норма висіву залежить від вологозабезпечення: 4,2–4,5 млн схожих насінин/га при достатній волозії, та 3,8–4,0 млн/га за посухи.

Сорт Еміль вирізняється високою стійкістю до вилягання (8,9–9,0 балів) і осипання зерна (8,7–9,0 балів), що мінімізує втрати врожаю. Він також характеризується доброю озерненістю (500–650 колосків на м²) та високою посухостійкістю (8,4–8,9 балів), що робить його придатним для регіонів із ризикованим землеробством. Якість зерна також на високому рівні: вміст білка – 13,7–13,9%, клейковини – 27,8–28,6%, що дозволяє використовувати сорт у хлібопекарській промисловості.

КВС Еміль має високу зимостійкість та добру стійкість до основних хвороб: борошниста роса (8,5–8,8), бура іржа (8,6–8,9), фузаріоз (8,9–9,0), септоріоз листя (8,0 балів). Для досягнення максимальної продуктивності рекомендується застосування інтегрованої системи захисту рослин. Сорт орієнтований на інтенсивну технологію вирощування, добре реагує на внесення мінеральних добрив та здатен забезпечити високі врожаї за умов оптимального догляду.

Описані сорти озимої пшениці — Аліот та Еміль — є сучасними високопродуктивними сортами, адаптованими до агрокліматичних умов України та придатними для вирощування. Обидва сорти характеризуються високою врожайністю, доброю озерненістю колоса, стійкістю до вилягання й

осипання, а також значною зимостійкістю та посухостійкістю, що забезпечує стабільне зернове виробництво навіть за умов абіотичного стресу.

Зерно обох сортів має високі хлібопекарські якості завдяки вмісту білка понад 13% та клейковини близько 28–30%, що робить їх перспективними для продовольчого використання. Середній та високий рівень стійкості до основних хвороб дозволяє ефективно поєднувати їх з інтегрованими системами захисту рослин.

Ураховуючи агрономічні, фізіолого-біохімічні та якісні характеристики, сорти Аліот і Еміль були обрані для використання у дослідженні, щодо впливу систем захисту на мікобіоту та якість зерна озимої пшениці в умовах Північно-Східного Лісостепу України.

У дослідженні використовували препарати як біологічного, так і хімічного походження. Хімічні засоби захисту та агрохімікати були обрані з переліку препаратів, занесених до “Державного реєстру пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні 2025”.

Протруйники:

- **Тебузан Ультра, F.C.S.** — системний фунгіцидний протруйник на основі тебуконазолу (120 г/л), призначений для захисту насіння озимої пшениці та ярого ячменю від широкого спектра грибних хвороб, таких як сажкові хвороби, кореневі гнилі та плямистості. Препарат забезпечує тривалий захист до 50 днів, проникає в зародок і поширюється по проростку, діючи системно. Крім фунгіцидного ефекту, стимулює розвиток кореневої системи, підвищує схожість, кущистість, озерненість колосу, зимостійкість і посухостійкість. Застосовується у нормі 0,2 л/т насіння з додаванням 10 л води. Випускається у формі концентрату суспензії, має III клас токсичності.

- **Рекорд, F.C.S.** — універсальний контактно-системний фунгіцидний протруйник насіння зернових культур і кукурудзи, розроблений компанією «Укравіт». Містить карбоксин (170 г/л) і тирам (170 г/л), що забезпечують захист як від внутрішніх, так і від зовнішніх грибних інфекцій. Ефективний проти сажкових хвороб, борошнистої роси, гнилей і пліснявіння

насіння. Підвищує схожість і енергію проростання. Норма витрати — 2,5–3,0 л/т з 7–7,5 л води, обробку проводять перед сівбою. Препарат сумісний із більшістю пестицидів, окрім лужних.

- **Селест Топ 312,5, FS, TH** — трикомпонентний інсекто-фунгіцидний протруйник насіння, створений компанією Syngenta для комплексного захисту озимої пшениці, ячменю та інших культур. Містить тіаметоксам (262,5 г/л), дифеноконазол (25 г/л) і флудіоксоніл (25 г/л), які забезпечують захист від широкого спектра хвороб (сажкові, фузаріоз, кореневі гнилі, септоріоз) і шкідників (дротяники, попелиці, злакові мухи тощо). Має стимулювальний «вігор»-ефект, покращує проростання, розвиток кореневої системи та стійкість до стресів. Норма витрати — 1,0 л/т для зернових культур.

- **Максим 025, FS, TH** — контактний фунгіцидний протруйник насіння компанії Syngenta з діючою речовиною флудіоксоніл (25 г/л), що пригнічує проростання спор грибів і створює захисний бар'єр навколо насіння. Ефективний проти широкого спектра патогенів, зокрема фузаріозів, сажкових хвороб, корневих гнилей і пліснявіння, для зернових, бобових, технічних культур і картоплі. Норми витрати для озимої пшениці — 1,5–2,0 л/т. Препарат сумісний з більшістю пестицидів, належить до III класу токсичності.

Гербіциди:

- **Гранстар Голд 75, WG** — післясходовий системний гербіцид компанії FMC для контролю широкого спектра однорічних і багаторічних дводольних бур'янів у посівах зернових культур. Містить активні речовини трибенурон-метил (562,5 г/кг) і тифенсульфурон-метил (187,5 г/кг) із класу сульфонілсечовин. Діє шляхом пригнічення поділу клітин бур'янів, викликаючи їх загибель протягом 10–25 днів після внесення. Ефективний проти таких бур'янів, як підмаренник чіпкий, лобода, мак дикий, ромашка, осоти, кульбаба, щавель, а також падалиця соняшнику і ріпаку, у тому числі стійких до імідазолінонів. Рекомендована норма витрати — 20–35 г/га залежно від типу бур'янів, обробку проводять у фазі 2–3 листків до прапорцевого

листка культури. Препарат сумісний з більшістю пестицидів і рідких добрив, не має обмежень у сівозміні, термін реєстрації в Україні – до кінця 2029 року.

Фунгіциди:

- **Авіатор® Xpro 225, ЕС** — системний фунгіцид компанії Bayer для захисту зернових культур від широкого спектра грибних хвороб. Містить біксафен (75 г/л) і протіоконазол (150 г/л), які забезпечують потужну профілактичну та лікувальну дію. Контролює борошнисту росу, іржу, септоріоз, фузаріоз, альтернаріоз, піренофороз та інші захворювання. Норми витрати: 0,6–0,8 л/га для ячменю, 0,8–1,5 л/га для пшениці, обробку проводять від кушення до прапорцевого листка, при необхідності — дворазово. Препарат сумісний з більшістю засобів захисту рослин, безпечний для бджіл за умови дотримання норм застосування, сприяє підвищенню фотосинтетичної активності та врожайності.

Інсектициди:

- **Фас, CS** — контактно-кишковий інсектицид на основі альфа-циперметрину (100 г/л) з класу синтетичних піретроїдів, що блокує натрієві канали в нервовій системі шкідників, викликаючи їх параліч і загибель. Препарат у формі концентрату емульсії застосовується для обприскування сільськогосподарських культур у період вегетації при появі шкідників. Норма витрати — 0,15 л/га, робочий розчин — 150–250 л/га для польових культур і 500–1000 л/га для плодових, максимальна кратність — 2 обробки за сезон. Сумісний з більшістю пестицидів, крім лужних.

Рослинні екстракти:

- **20% водний екстракт часнику (*Allium sativum*)**. Для його приготування використовували свіжі цибулини часнику, які попередньо очищували від лусок та зовнішніх покривів. Рослинний матеріал подрібнювали у блендері до стану однорідної кашоподібної маси. Відповідно до експериментальних умов, до подрібненої маси додавали стерильну воду у кількості, необхідній для отримання 20%-го водного розчину (тобто 20 г подрібненого часнику на 100 мл загального об'єму розчину). Отриману

суспензію ретельно перемішували та залишали настоюватися за кімнатної температури протягом ± 1 години, після чого фільтрували через стерильну марлю у декілька шарів для видалення грубих часток. Приготовані екстракти використовували для подальшої обробки насіннєвого матеріалу та колосу.

Цей спосіб обробки насіннєвого матеріалу та колосу пшениці водним екстрактом часнику використовували відповідно до патенту України «Спосіб регулювання мікофлори насіння та стимулювання росту проростків пшениці» (Рожкова(UA150216U), 2022).

Біологічні препарати:

- **Азотобактерин-К, ВІ** (штами *Azotobacter chroococcum* і *Azotobacter vinelandii*, біоактивні метаболіти, мікроелементи та поживні компоненти, титр живих клітин $5-7 \times 10^8$ клітин/мл, підходить для обробки насіння, розсади та обприскування рослин).
- **Фітовіт, ВЕ** – включає супернатант культуральної рідини та етанольний екстракт біомаси у співвідношенні 4:1, виділений з мікроорганізму *Streptomyces netropsis* IMB Ас-5025. Препарат спрямований на стимулювання біологічних процесів в організмі, підвищення імунітету та опору до стресових факторів. Завдяки своєму складу, може мати антимікробні та імуномодулюючі властивості.
- **Віолар, ВЕ** – містить супернатант культуральної рідини та етанольний екстракт біомаси у співвідношенні 4:1, отриманий з мікроорганізму *Streptomyces violaceus* IMB Ас-5027. Препарат спрямований на використання біологічно активних речовин для впливу на різні організми. Такий склад забезпечує препарату значний спектр біологічної активності.
- ***Bacillus megaterium* de Bary** – використання живої культури, наданої IMB ім. Д.К. Заболотного НАН України. Київ.
- **ЕКОСТЕРН Триходерма, СS** – спори та міцелій грибів-антагоністів роду *Trichoderma* з концентрацією життєздатних ефективних мікроорганізмів не менше 1×10^7 КУО/см³. Продукти метаболізму цих

мікроорганізмів включають антибіотичні речовини, що ефективно пригнічують ріст багатьох патогенних збудників хвороб.

- **АВЕРКОМ^Н, СВ** – включає супернатант культуральної рідини та Аверком – (екстрактом біомаси мікроорганізму *Streptomyces avermitilis* IMB Ас-5015 і містить 100 мг/л авермектину.), у співвідношенні 1:1, а також додавання Хітозану в концентрації 0,01 мМ як елісатору.
- **Спорозин, S** – *Pseudomonas aureofaciens* Mb-24 (IMB В-7559), *Pseudomonas aureofaciens* Mb-17 (IMB В-7558), *Bacillus subtilis* ВТ-7 (IMB В-7349) загальний титр не менше 3×10^8 КУО/мл.
- **Комплекс** – поєднання чотирьох препаратів: Фітовіт, БЕ + Віолар, БЕ + АВЕРКОМ^Н + Спорозин, С.

2.3. Методики проведення досліджень

Дослідження проводилось протягом 2022–2024 років із використанням двох сортів озимої пшениці: Аліот і Еміль. Експеримент здійснювався на науково-навчальному виробничому комплексі Сумського національного аграрного університету (СНАУ), розташованому в Північно-Східному Лісостепу України. В досліді визначались такі елементи структури врожайності: довжина колосу, маса колосу, кількість насіння в колосі, маса тисячі насінин (М1000), кількість вегетативних стебел, енергія проростання.

Дослід закладено за шестиваріантною схемою з чотирикратним повторенням кожного варіанта, що забезпечує надійність статистичної обробки результатів. Розміщення облікових ділянок здійснювалося послідовно, згідно з вимогами до польових дослідів. Схема розміщення варіантів наведена на рис. 2.3.

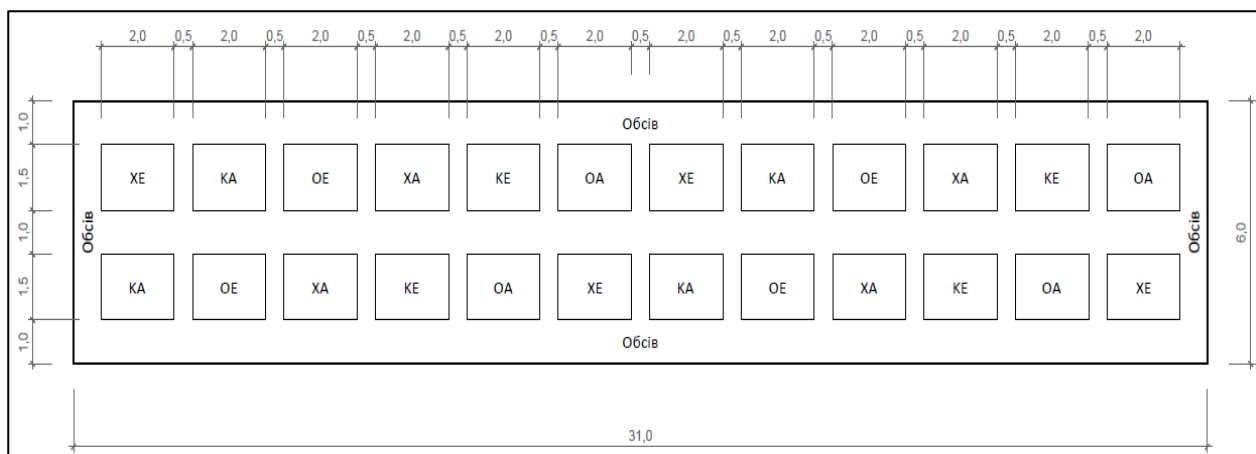


Рис 2.3. Схема польового дослідження

Для дотримання принципів сівозміни була також передбачена відповідна пропорційна ділянка поза межами основного експериментального блоку. Польову частину експерименту проводили за методикою В. Єщенка (Єщенко та ін., 2005). Строки сіви: кінець вересня – середина жовтня (залежно від погодних умов);

У дослідженні було застосовано два основні типи обробітку ґрунту — оборотний та необоротний. Оборотний обробіток здійснювався з використанням плуга ПЛН-3-35 на глибину 25–30 см, що забезпечувало повне перевертання орного шару та заробку рослинних решток. Необоротні обробітки проводились агрегатами, що відрізнялись за конструкцією і глибиною обробітку. Зокрема, глибокий плоскорізний обробіток на аналогічну глибину (25–30 см) виконували агрегатом КЛД-3,0. Для менш глибокого обробітку застосовували дискову борону АГ-2,4: розпушування на глибину 15–18 см забезпечувало основну підготовку ґрунту до сіви, тоді як дрібний обробіток на 5–8 см слугував для передпосівного вирівнювання та закриття вологи.

Культивація проводилась у день боронування або на наступний день, залежно від погодних умов та фізичного стану ґрунту. Сівбу здійснювали протягом тижня після культивування із застосуванням сівалки Клен-1.5С, яка забезпечувала рівномірне загортання насіння на задану глибину.

У межах польового дослідження було розроблено три варіанти систем захисту рослин (табл. 2.2): контрольний (без застосування засобів захисту), хімічний та органічний (біологічний), які відрізнялися за типом препаратів та методами обробки. Це дозволило здійснити порівняння ефективності традиційного (хімічного) і альтернативного (біологічного) підходів до захисту культур. Обприскування проводилося за Трибель та ін.. (2001). Хімічні обробки посівів проводили з використанням обприскувача ОП-2.0 LUX відповідно до схеми захисту, передбаченої для кожного варіанту дослідження.

Таблиця 2.1

Використовувані препарати в різних системах захисту

Варіант	Використовувані препарати та їх норми використання	Період внесення	Агротехнічні роботи
Контроль	Обприскування чистою водою	Разом з іншими препаратами	Замочування насіння у воді та обприскування
Хімічна система	1. Протруювання: Максим 025 FS, ТН (флудіоксоніл 25 г/л) – 1,5–2 л/т	За день до посіву	Обробка насіння
	2. Фунгіциди: Авіатор Хпро 225 ЕС, КЕ (протіоконазол 150 г/л, біксафен 75 г/л) – 0,8–1,5 л/га	У фазі кущення — 0,4 л/га, а наступне — у фазі колосіння — 0,4 л/га	Обприскування
	3. Гербіциди: Гранстар Голд 75, WG (трибенурон-метил 750 г/кг, тифенсульфурон-метил 187,5 г/кг) – 30–33 г/га	Кущення	
	4. Інсектициди: Фас, КС (альфа-циперметрин 100 г/л) – 0,15 л/га	Кущення	
	5. Добриво: Аміачна селітра – 150–300 кг/га	Кущення	Підживлення
Органічна система	20% розчин часнику	Передпосівна обробка та у фазу – початок цвітіння	Протруювання насіння, обприскування
	мульчування	При сівбі	Покриття ґрунту

Передпосівну обробку насіння проводили за день до сівби. Застосовані засоби захисту рослин, їх дози та строки внесення наведено в табл. 2.1. Контрольний варіант використовувався для оцінювання ефективності інших систем. У цьому варіанті насіння попередньо замочували у воді, а вегетуючі рослини обприскували звичайною водою без додавання будь-яких активних

речовин. Такий підхід дозволив простежити природний розвиток рослин без втручання зовнішніх факторів, що моделюють захист.

Хімічна система захисту включала повний комплекс засобів традиційного агрохімічного догляду за рослинами. Вона передбачала використання фунгіцидів для захисту від грибних захворювань, гербіцидів для знищення бур'янів, інсектицидів проти шкідників, а також мінеральних добрив для забезпечення рослин необхідними елементами живлення. Обробки проводилися комплексно: передпосівна обробка насіння (протруювання), підживлення в період вегетації, а також регулярне обприскування посівів згідно з регламентом застосування кожного препарату. Такий підхід дозволяв максимально знизити вплив патогенів і шкідників, забезпечуючи високий рівень захисту посівів.

Органічна система базувалась на використанні природних засобів, які не мають токсичної дії на довкілля і не накопичуються в ґрунті чи рослинній продукції. Зокрема, як біологічний препарат було використано натуральний рослинний екстракт, відомий своїми антимікробними властивостями, а саме – 20% часниковий розчин. Крім того, передбачалося мульчування різнотрав'ям не злакових рослин, що сприяє збереженню вологи в ґрунті, пригніченню росту бур'янів і формуванню сприятливого мікроклімату в зоні кореневої системи. Насіння перед висівом піддавали біологічному протруюванню, а вегетуючі рослини обробляли шляхом обприскування розчином на основі природних компонентів.

Мінеральне удобрення посівів пшениці озимої проводили навесні, після настання фізичної стиглості ґрунту, що забезпечувало оптимальні умови для засвоєння елементів живлення. Внесення добрив здійснювали локально — в рядки. Такий спосіб внесення дозволяв підвищити ефективність засвоєння поживних речовин, зменшити втрати азоту та покращити стартовий розвиток рослин.

Якість зерна пшениці озимої оцінювали відповідно до вимог державного стандарту ДСТУ 3768:2019 «Пшениця. Технічні умови» та ДСТУ 4138-2002

«Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості», які регламентують основні показники, що визначають продовольчу цінність зерна. Для оцінювання показників використовували метод інфрачервоної спектроскопії прямого вимірювання, що дозволяє швидко визначати якісні характеристики зерна.

Вимірювання проводили на сучасному аналізаторі SupNIR-2750, який забезпечує високу точність та повторюваність результатів. Методика досліджень відповідала вимогам ДСТУ 4117:2007 «Зерно та продукти його переробки. Визначення показників якості методом інфрачервоної спектроскопії». Зразки зерна відбирали згідно з нормативними документами, з подальшим дослідженням у лабораторних умовах. Перед аналізом зерно очищували від домішок і висушували до стандартного рівня вологості, якщо це було необхідно. Застосування інфрачервоної спектроскопії дало змогу значно пришвидшити процес аналізу та знизити трудомісткість досліджень, що є особливо важливим при обробці великої кількості зразків у польових дослідках.

Статистичну обробку даних про врожайність проводили за допомогою програми Microsoft Excel, методом дисперсійного аналізу ANOVA. (Tsarenko, et al., 2000). Біологічну врожайність визначали за формулою:

$$\frac{\text{кільк. колосків на м в рядку} \times (100 \div \text{ширину міжрядь}) \times \text{кільк. зерен в колосі} \times M1000}{10000}$$

Формула 1. Визначення біологічної урожайності

Упродовж виконання досліджень було проведено лабораторні досліді, які мали на меті оцінити особливості формування мікобіоти насіння озимої пшениці за різних систем захисту, а також вплив хімічних і біологічних протруйників на грибний комплекс насіння та ґрунтового середовища.

Аналіз мікобіоти насіння пшениці озимої. Основною метою дослідження було з'ясувати, яким чином застосування захисних заходів у

польових умовах впливає на видовий склад грибної мікобіоти, що утворюється усередині насіннєвого матеріалу.

Дослідження проводили відповідно до вимог ДСТУ 4138:2002 «Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості», який регламентує порядок підготовки насіння до аналізу, методику стерилізації, висіву, інкубації та визначення фітопатогенної мікрофлори. Застосування цього стандарту забезпечило достовірність і відтворюваність результатів дослідження. Усі етапи — від передпосівної стерилізації поверхні насіння до мікологічного аналізу — виконувалися згідно з процедурними положеннями нормативного документа.

Для лабораторного аналізу використовували насіння, зібране з дослідних ділянок за варіантами польового досліду. Відібране насіння попередньо сортували та формували середню пробу. Від кожного повторення відбирали по 100 насінин.

Перед закладанням досліду проводили ретельну дезінфекцію лабораторного обладнання та приміщення. Робочі поверхні та інструменти обробляли 96% етиловим спиртом, а лабораторне приміщення попередньо опромінювали бактерицидною лампою не менше ніж протягом 60 хвилин. Чашки Петрі та металеві інструменти стерилізували у сухожаровому стерилізаторі при температурі 130 ± 2 °C протягом 60 хвилин.

Для виявлення та ідентифікації внутрішньої мікрофлори насіння використовували біологічний метод згідно з підходами, описаними у посібнику «Патологія насіння сільськогосподарських культур» (Піковський та ін., 2007). Висів насіння здійснювали на поживне середовище — картопляно-глюкозний агар (КГА), яке сприяє росту широкого спектра грибів. Чашки Петрі інкубували у стандартних лабораторних умовах при температурі $+25 \pm 2$ °C протягом 7 діб.

Після інкубації проводили підрахунок кількості колоній, візуальну ідентифікацію морфологічних типів колоній та визначення домінуючих родів і видів мікроскопічних грибів. Для детальнішої діагностики застосовували

метод мікроскопування — виготовляли мікропрепарати з колоній та аналізували морфологічні особливості міцелію та спороношення. Визначення представників мікобіоти проводили з урахуванням макро- та мікроморфологічних характеристик.

Таблиця 2.2

Перелік хімічних препаратів, використаних у досліді

Назва препарату	Склад / діюча речовина	Норма внесення
Тебузан Ультра, F.C.S.	Тебуконазол, 120 г/л	0,2–0,25 л/т
Рекорд, F.C.S.	Карбоксин, 170 г/л + тирам, 170 г/л	2,5–3,0 л/т
Селест Топ 312,5 FS, ТН	Флудіоксоніл, 25 г/л + дифеноконазол, 25 г/л + тіаметоксам, 262,5 г/л	1,0 л/т
Максим 025 FS, ТН	Флудіоксиніл, 25 г/л	1,5–2,0 л/т

Проведення вивчення мікобіоти. Метою досліду було оцінити зміни мікобіоти насіння та ґрунтового середовища під впливом хімічних (табл. 2.2) і біологічних протруйників, а також дослідити особливості формування грибного комплексу в умовах лабораторного моделювання.

Біологічні препарати: Азотобактерин-К, ВІ, Фітовіт, ВЕ, Віолар, ВЕ, *Bacillus megaterium* de Bary, ЕКОСТЕРН Триходерма, СS, АВЕРКОМ^Н, СВ, Спорозин, S, Комплекс.

Аналіз ґрунтового середовища проводили шляхом висівання зразків на поживні середовища: для бактерій використовували м'ясо-пептонний агар (МПА), для грибів – середовище Чапека-Докса з глюкозою. З кожного зразка стерильним шпателем відбирали по 10 г ґрунту. Кількість мікроорганізмів визначали методом серійних розведень (Biliavska et al., 2023). Надалі вивчали видові структури грибів (Woudenberg et al., 2013; Leslie & Summerell 2008; Walsh et al., 2018).

Зерновий матеріал вирощувався в умовах *in vitro* на торф'яному субстраті марки ECO PLUS “Універсальний”. Субстрат рівномірно розподілявся в пластикових контейнерах об'ємом 500 мл. Для кожного

експериментального зразка висівалось по 50 насінин. Процес вирощування здійснювався в умовах повного світлового дня при температурі 18-20°C, аналіз проростків здійснювали на 7 та 14 день.

Статистичну обробку даних про врожайність проводили за допомогою програми Microsoft Excel, методом дисперсійного аналізу ANOVA. (Tsarenko, et al., 2000).

Висновки до розділу 2:

1. Польові та лабораторні дослідження проводилися в умовах Північно-Східного Лісостепу України на базі Сумського національного аграрного університету, що дозволило оцінити ефективність систем захисту озимої пшениці у типових для зони вирощування агроекологічних умовах.

2. Польовий дослід закладено за методикою повторного, факторного досліді з застосуванням трьох варіантів систем захисту (хімічної, біологічної та органічної), що забезпечило об'єктивне порівняння їх ефективності за рівнем ураженості рослин патогенами, структурою врожаю та фітосанітарним станом.

3. Мікобіоту насіння пшениці визначили біологічним методом за використання поживного середовища (картопляно- декстрозне середовище).

4. Ефективність протруєння насіння хімічними та біологічними препаратами визначили на поживному середовищі. Для дослідження розвитку проростків пшениці протруєне насіння висіли у ґрунтову суміш. Методом розведень дослідили склад ґрунтової мікробіоти.

5. Методика досліджень включала морфометричні, мікробіологічні та статистичні методи оцінювання результатів, що забезпечило обґрунтованість висновків щодо впливу засобів захисту на видовий склад мікобіоти насіння та ґрунту, проростання насіння та показники продуктивності рослин.

РОЗДІЛ 3

СКЛАД МІКОБІОТИ НАСІННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ В УМОВАХ ПІВНІЧНО-СХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

У процесі вирощування пшениці озимої важливим чинником, що впливає на її продуктивність та якість, є склад мікобіоти насіння. Мікроорганізми, які заселяють насіння, можуть значно впливати на процеси проростання, ріст та розвиток рослин, а також на їх стійкість до хвороб (Погоріла та ін., 2019; Beznosko et al., 2021). В умовах Північно-Східного Лісостепу України, з характерними для цього регіону кліматичними та метеорологічними особливостями, склад мікобіоти може змінюватися, що потребує детального вивчення для визначення основних факторів, які на це впливають.

Метеорологічні умови, зокрема температура, вологість, та інші атмосферні фактори, можуть змінювати видове різноманіття мікроорганізмів на та у насінні та їх активність, що в свою чергу впливає на адаптивні властивості та здоров'я рослин (Klupczyńska & Pawłowski, 2021; Chen et al., 2021). Дослідження складу мікобіоти насіння залежно від цих умов дає змогу більш точно оцінити ризики захворювань, оптимізувати методи обробки насіння та визначити найбільш ефективні стратегії для підвищення врожайності та якості пшениці в регіоні (Becker et al., 2024).

3.1. Ідентифікація представників грибного комплексу насіння

Аналіз мікобіоти зерна пшениці озимої, проведений впродовж 2022–2024 років, виявив різноманітний склад грибних мікроорганізмів, які мають суттєвий вплив на зерно. У результаті дослідження було ідентифіковано такі роди та види грибів: *A. tenuissima*, *Penicillium* spp., *F. oxysporum*, *M. sitophila*, *Mucor* spp., *A. oryzae*, *A. pullulans*, *A. infectoria*, *A. arundinis*, *Trichodérma* spp. (табл. 3.1)

Склад мікобіоти насіння пшениці озимої в умовах Північно-Східного Лісостепу України 2022-2024 рр.

Рід/вид	Рік		
	2022	2023	2024
<i>A. tenuissima</i>	+	+	+
<i>Penicillium spp.</i>	+	+	+
<i>F. oxysporum</i>	+	+	+
<i>M. sitophila</i>	+	-	+
<i>Mucor spp.</i>	+	+	+
<i>A. oryzae</i>	+	-	+
<i>A. pullulans</i>	-	+	-
<i>A. infectoria</i>	-	+	-
<i>A. arundinis</i>	-	+	+
<i>Trichoderma spp.</i>	-	+	+

Кожен із зазначених видів або родів має свої особливості біології, екології та впливу на зерно. Вони можуть сприяти псуванню продукту, знижувати його харчову цінність, утворювати мікотоксини або, навпаки, брати участь у корисних процесах, таких, як біологічний контроль чи ферментація (Tralamazza et al., 2018; Magan et al., 2003).

Для культивування грибних колоній використовували картопляно-глюкозний агар, що забезпечував швидкий та ефективний розвиток грибів. Ідентифікацію родів і видів здійснювали методом мікроскопічного аналізу, використовуючи характерні морфологічні ознаки для визначення таксономічної належності.

Першими колоніями, які ідентифікували були гриби виду *Alternaria tenuissima* (Kunze ex Pers.) Wiltshire, 1933 (рис. 3.1). Даний вид належить до роду *Alternaria*, родини *Pleosporaceae*, класу *Dothideomycetes*, відділу *Ascomycota* (Index Fungorum 2025). У багатьох аскоміцетів є два життєві цикли: анаморфна (безстатева) та телеоморфна (статева) стадія. Для *A. tenuissima*, як і для більшості представників роду *Alternaria*, статева стадія (телеоморфа) або не виявлена, або належить до роду *Lewia*.



**Рис. 3.1. Габітус споруляції та конідії
A. tenuissima (збільшення $\times 200$ та $\times 400$ відповідно)**

Колонії утворювали міцелій сіро-чорного забарвлення, який в деяких випадках мав зелений відтінок. Міцелій мав характерний для даного виду, добре розвинений повітряний, рясний міцелій. Спороношення *A. tenuissima* утворювало ланцюжки конідій, з рідким розгалуженням. Конідії були овальної форми, зі звуженням до низу, що надає грушоподібної форми. Будова конідій багатоклітинна, розділена поперечними та повздовжніми перегородками, які утворюють сегментовану структуру. Зовнішня поверхня конідій була шорсткою, нерівною, із характерними борозенками та зморшками, коричнево-оливкового забарвлення. Визначення виду проводили згідно з морфологічними характеристиками, описаними в спеціалізованій літературі (Woudenberg et al., 2013; Chen et al., 2021; Khan et al., 2020; Li et al., 2024).

Другий вид, який ідентифікували був *Fusarium oxysporum* Schlechtend.: Fr., 1824 (рис. 3.2). Він належить до роду *Fusarium*, родини *Nectriaceae*, класу *Sordariomycetes*, відділу *Ascomycota* (Index Fungorum 2025).

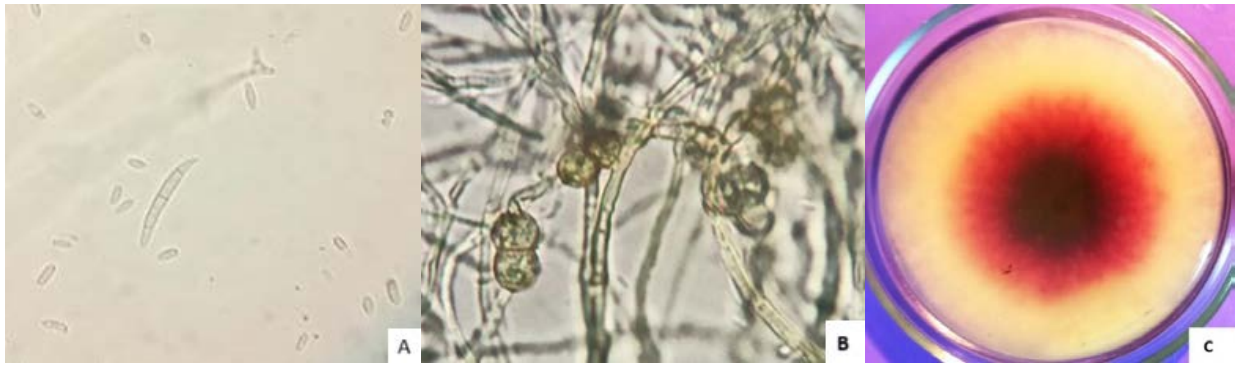


Рис. 3.2. А – макро- та мікроконідії; В – хламідоспори *F. oxysporum* (збільшення $\times 400$); С – *F. oxysporum* (ізолят з рожевим міцелієм)

F. oxysporum мав два типи ізолятів, які відрізнялися забарвленням колоній. Напочатку формувався волокнистий рясний міцелій білого кольору, який потім змінював колір на блідо-бежевий або рожевий (рис. 3.2, С), залежно від ізоляту. Макроконідії були рідкі, бліді, прямі або трішки вигнуті, ніжка загострена з одної сторони, мали три перетинки (Рисунок 3.2, А). Мікроконідії утворювались у великій кількості, овальні, в більшості випадків без перетинок (рис. 3.2, А). Хламідоспори утворювались у більшості випадків попарно або поодинокі (рис. 3.2, В). Ідентифікацію виду проводили відповідно до морфологічних ознак, описаних у наукових публікаціях (Leslie et al., 2006; Nelson 1994; Khan et al., 2021).

Надалі були ідентифіковані гриби з роду *Penicillium* spp. Link, 1809 (рис. 3.3), які належать до родини *Aspergillaceae*, класу *Eurotiomycetes*, відділу *Ascomycota* (*Aspergillus* & *Penicillium* Taxonomy 2025).

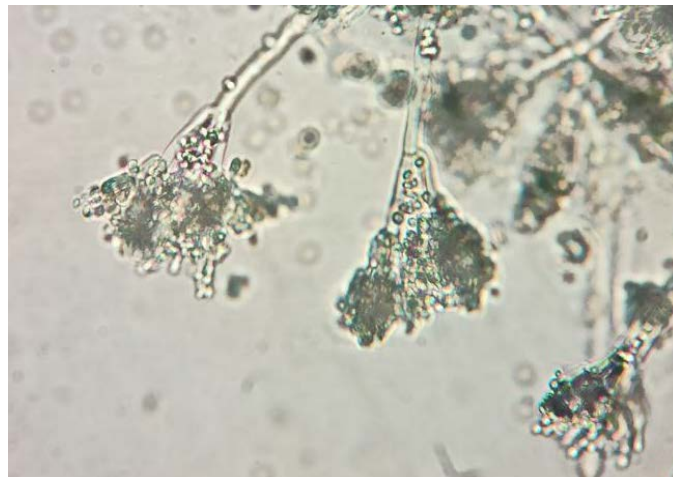


Рис. 3.3. Конідієносці *Penicillium* spp. (збільшення $\times 400$)

Головною морфологічною ознакою, за якою було ідентифіковано *Penicillium* spp., було “пензликоподібне” спороношення, що складалось з ланцюжків конідій, розташованих на фіалідах. Конідії одноклітинні, зеленого або жовтуватого кольору, з гладкою поверхнею. Міцелій на початку розвитку був білий пухкий, але в подальшому набував зеленого, сіро-зеленого або зеленого з оливковим відтінком кольору. Визначення проводили згідно з сучасними методиками мікроскопічної діагностики та класифікації мікроміцетів, описаними у відповідних джерелах літератури (Visagie 2014; Srinivasan 2020; Perrone & Susca 2017).

Далі ідентифікували гриби роду *Mucor* spp. Fresen., 1850 (рис. 3.4), які належать до родини *Mucoraceae*, класу *Mucormycotina*, відділу *Zygomycota* (Index Fungorum 2025).



Рис. 3.4. Спорангії *Mucor* spp. (збільшення $\times 400$)

Міцелій грибів роду *Mucor* spp. білий, який швидко поширювався по живильному середовищу. На початкових етапах розвитку він мав розріджену павутиноподібну структуру, яка з часом ущільнювалась.

Утворювались вертикальні, прямостоячі спорангієносці, що є характерною особливістю виду. На верхівках спороносців розташовувались великі круглі спорангії, які мали велику кількість спорангіоспор. Після дозрівання спорангії розкривались, вивільняючи спори, а на спороносці залишалась залишкова структура — колумела. Спори (спорангіоспори) були

круглі або еліптичні, гладенькі, іноді злегка шорсткі, безбарвні або світло-коричневі. Ідентифікацію проводили відповідно до сучасних методик морфологічного аналізу мікроскопічних грибів, описаних у фаховій літературі (Orlowski 1992; Hurdeal 2021; McIntyre 2002).

Надалі, ідентифікували анаморфу - *Monilia sitophila* Saccardo., 1886 належать до роду *Monilia* (рис. 3.5), родини *Sclerotiniaceae*, класу *Leotiomycetes*, відділу *Ascomycota*. Телеоморфа - *Neurospora sitophila* Shear & B.O.Dodge., 1927 відноситься до роду *Neurospora*, родини *Sordariaceae*, класу *Sordariomycetes*, відділу *Ascomycota* (Index Fungorum 2025).



Рис. 3.5. Розвиток конідіального спороношення та міцелію

M. sitophila

Міцелій *M. sitophila* був представлений тонкими, безбарвними нитками, що інтенсивно розгалужувались та швидко поширювались по субстрату. Спори мали округлу або овальну форму. Конідії на початкових етапах розвитку безбарвні або білі, проте з часом набували рожевого відтінку, що обумовлювало рожеве забарвлення колоній. Конідії формувалися на спеціалізованих конідіофорах, які являли собою довгі тонкі ниткоподібні структури, що ростуть вертикально від міцелію. Не спостерігали утворення перетеціїв. Визначення виду виконували згідно з рекомендованими методиками ідентифікації мікроміцетів, наведеними у спеціалізованих джерелах (Wu 2008; Xiao-ping et al., 2008).

Вид *Aspergillus oryzae* Tamigai, 1895 (рис. 3.6) належить до роду *Aspergillus*, родини *Aspergillaceae*, класу *Eurotiomycetes*, відділу *Ascomycota* (*Aspergillus & Penicillium Taxonomy* 2025).

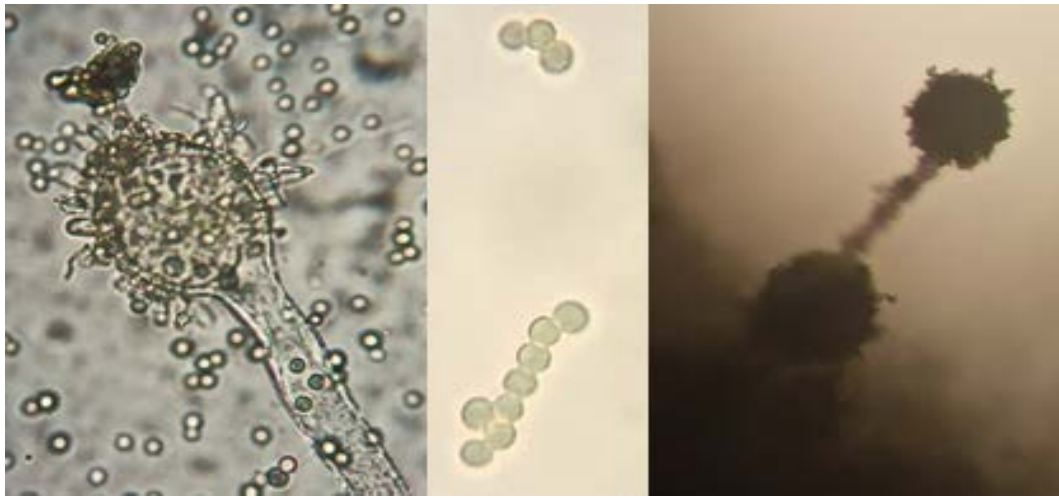


Рис. 3.6. Конідієносець та конідії *A. oryzae* (збільшення $\times 400$)

Колонії *A. oryzae* мали щільну, пухнасту текстуру, з ущільненням в центральній частині. На ранніх стадіях розвитку колонії були білого кольору, які згодом набували зеленувато-жовтого забарвлення. Міцелій був гіаліновим (безбарвним), розгалуженим та септованим. Конідії формувались на прямих конідієносцях, які мали прозору структуру і розташовувались вертикально відносно міцелію. На верхівках конідієносців утворювались везикули, які є основою для розвитку стеригм. Стеригми, у свою чергу, формували фіаліди, з яких утворювались конідії. Конідії мали сферичну форму, їх поверхня була гладкою або злегка шорсткою. Вони характеризуються світло-зеленим або оливковим забарвленням. Конідії розташовувались в ланцюжках, прикріплених до фіалід та утворювали сонцеподібну структуру. Ідентифікацію виду здійснювали відповідно до стандартних методик морфологічного аналізу, описаних у літературі (Baker 2007; Kobayashi 2007; Z J. Li 2000; Carlsen 1996).

Вид *Aureobasidium pullulans* (de Bary & Löwenthal) G.Arnaud, 1918 (рис. 3.7) відноситься до роду *Aureobasidium*, родини *Dothideaceae*, класу *Dothideomycetes*, відділу *Ascomycota* (*Index Fungorum* 2025).

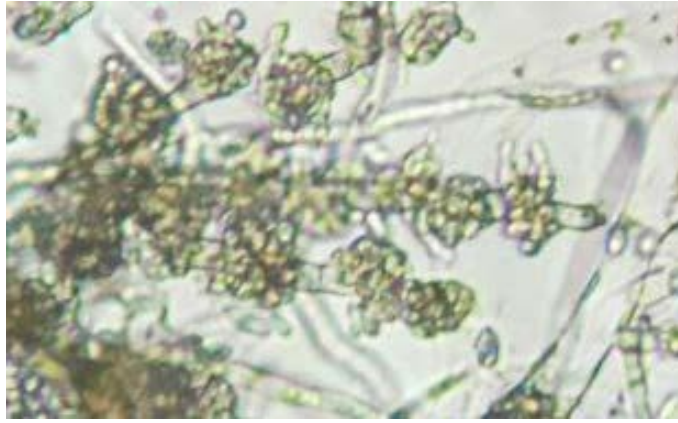
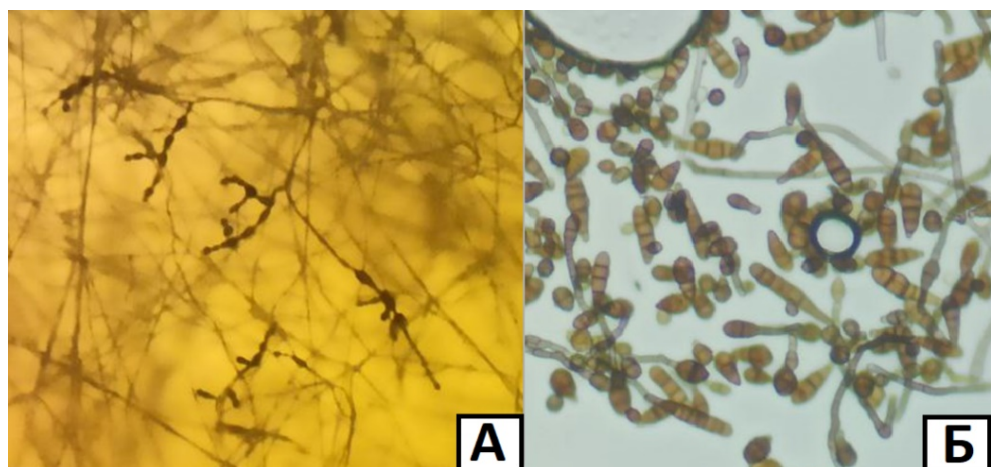


Рис. 3.7. Спороношення *A. pullulans* (збільшення $\times 400$)

Колонії на початкових етапах розвитку мали бежевий колір, який значно темнів у старших культурах. Міцелій був добре виражений та розгалужений. Утворювалося два види спороношення: бластоспори, які мали круглу або овальну форму, утворювалися на кінцях гіф через процес брунькування та прикріплювалися до міцелію, мали темний колір; та конідії, які були еліпсоїдні, утворювалися також на кінцях розгалужених гіф і мали коричневий колір. Гриб утворював анаморфну стадію. Ідентифікація виду проводилась згідно з морфологічними ознаками, описаними в наукових джерелах (Wang 2022; Slepecky 2009; Zhang 2023).

Alternaria infectoria E.G.Simmons, 1986 (рис 3.8) належить до роду *Alternaria*, родини *Pleosporaceae*, класу *Dothideomycetes*, відділу *Ascomycota* (Index Fungorum 2025).



**Рис. 3.8. А-Ланцюжки конідій *A. infectoria* (збільшення $\times 400$);
Б-конідії (збільшення $\times 600$)**

A. infectoria характеризувалася вираженими морфологічними ознаками, які дозволяли відрізнити її від інших дрібноспорових видів роду *Alternaria*. Конідії мали дрібні розміри та варіювали за формою, зазвичай були еліпсоїдними або циліндричними, утворювались у розгалужених ланцюжках з первинними, вторинними та третинними відгалуженнями, мали вторинні колінчасті конідіофори. Конідієносці виходили з павутинного вегетативного міцелію й були численними. Колонії мали біле або сірувато-біле забарвлення, ватоподібну текстуру і формували локальні щільні скупчення спор. Сукупність цих ознак свідчила про морфологічну й таксономічну відокремленість *A. infectoria*. (Perelló 2008; Poursafar 2018; Masiello 2022).

Arthrinium arundinis G.W. Hunter, 1911 (рис. 3.9) належить до роду *Arthrinium*, родини *Amphisphaeriaceae*, класу *Dothideomycetes*, відділу *Ascomycota* (Index Fungorum 2025).

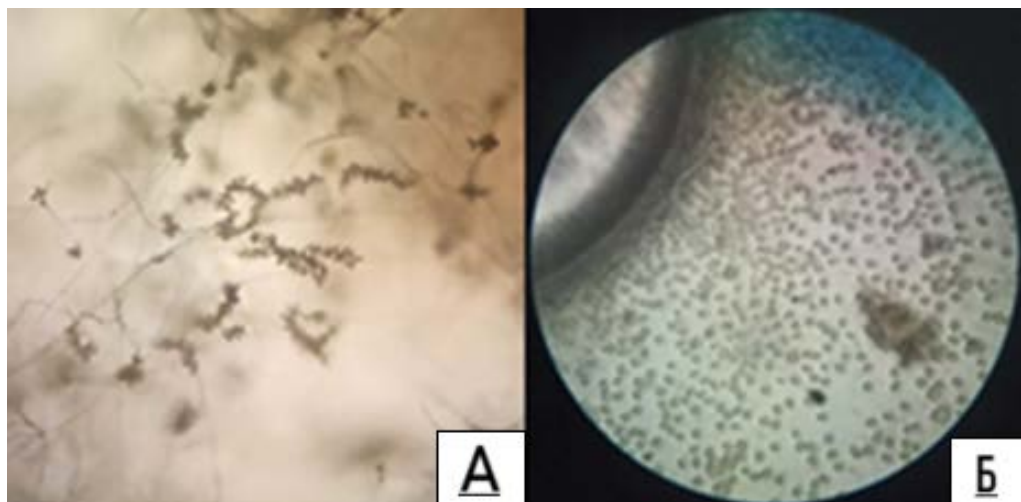


Рис. 3.9. *A. arundinis*
А – конідієносці (збільшення $\times 400$); Б – конідії
 (збільшення $\times 600$)

Міцелій *A. arundinis* був гладким, гіаліновим, розгалуженим і септованим. Колонії спочатку мали білий колір, а з часом ставали сірувато-білими, з помірною кількістю повітряного міцелію. Конідієносці були блідо-коричневими, гладкими та прямостоячими або скороченими до конідіогенних клітин. Ці клітини мали ампулоподібну форму, блідо-коричневі. Конідії *A. arundinis* були одноклітинними, темно-коричневими, гладкими, з різною

формою — менше від еліпсоїдної до сферичної або лимоноподібної. Їхній діаметр становив ± 4.6 мкм. Визначення морфологічних характеристик проводили згідно з описами в наукових роботах, де вказується детальний опис цього гриба (Liao 2021; Bagherabadi 2014; Zheng 2022).

Рід *Trichoderma* spp. Pers., 1794 (рис. 3.10) належить до родини *Hypocreaceae*, класу *Sordariomycetes*, відділу *Ascomycota* (Index Fungorum 2025).



Рис. 3.10. Конідієносці *Trichoderma* spp. (збільшення $\times 400$)

Колонії *Trichoderma* spp. характеризувалися швидким ростом і утворенням густого, пухнастого міцелію з ватною структурою. На початкових стадіях розвитку міцелій був білим, але з дозріванням змінював колір до зеленуватого відтінку. Структура гіф була септованою, прозорою, з чітко розвиненою організацією, що свідчило про високу активність росту. Гіфи добре розгалужувалися, утворюючи щільну структуру. Конідієносці мали складну розгалужену будову, яка була безбарвною, прозорою та досить міцною. На кінчиках цих конідієносців активно формувалися численні конідії. Конідії являли собою одноклітинні округлі структури, прозорі, з гладкою поверхнею.

Конідіоносці мали складну, гіллясту будову. Вони були прозорі, міцні, з пляшкоподібними фіалідами, розташованими в пучках або поодинокі. На кінчиках фіалід формувалися численні конідії — одноклітинні, округлі або еліпсоїдні структури з гладкою поверхнею, зеленого або синьо-зеленого кольору, зібрані в компактні головки. На пізніх стадіях розвитку міцелію формувалася щільна зелена маса спор, яка надавала колоніям характерний вигляд. Вони утворювалися у великій кількості, рівномірно покриваючи кінцеві ділянки конідіоносців, що забезпечувало високу репродуктивну здатність гриба. Також спостерігалось, що на пізніх стадіях розвитку міцелію формувалася щільна зелена маса спор, яка надавала колоніям характерний вигляд. Ці характеристики використовувалися для ідентифікації *Trichoderma* spp. згідно з даними спеціалізованої літератури (Tariku 2023; Bissett 1984; Madbouly 2021; Samuels 1996).

3.2. Мікобіота насіння пшениці залежно від метеорологічних умов вегетації

У ході проведених досліджень кількість виявлених колоній є важливим показником, який відображає динаміку та специфіку розвитку мікроорганізмів чи інших біологічних об'єктів у визначені періоди. Аналіз цього параметра дозволяє виявити можливі закономірності, оцінити вплив зовнішніх факторів, а також спрогнозувати подальший розвиток досліджуваних популяцій (Větrovský 2019; Murante 2024; Sun 2020).

У 2022 році в дослідженні було виявлено такі види: *A. tenuissima*, *Penicillium* spp., *F. oxysporum*, *M. sitophila*, *Mucor* spp. та *A. oryzae* (рис. 3.11). Домінуючим видом став *A. tenuissima*, що налічував $398 \pm 13,06$ колоній. Значну частку займали *F. oxysporum* – $92 \pm 3,13$ колонії та *Penicillium* spp. – $30 \pm 6,25$ колоній. Меншу кількість колоній виявили *A. oryzae* – $6 \pm 0,07$, *M. sitophila* – $2 \pm 0,04$ та *Mucor* spp. – 1.

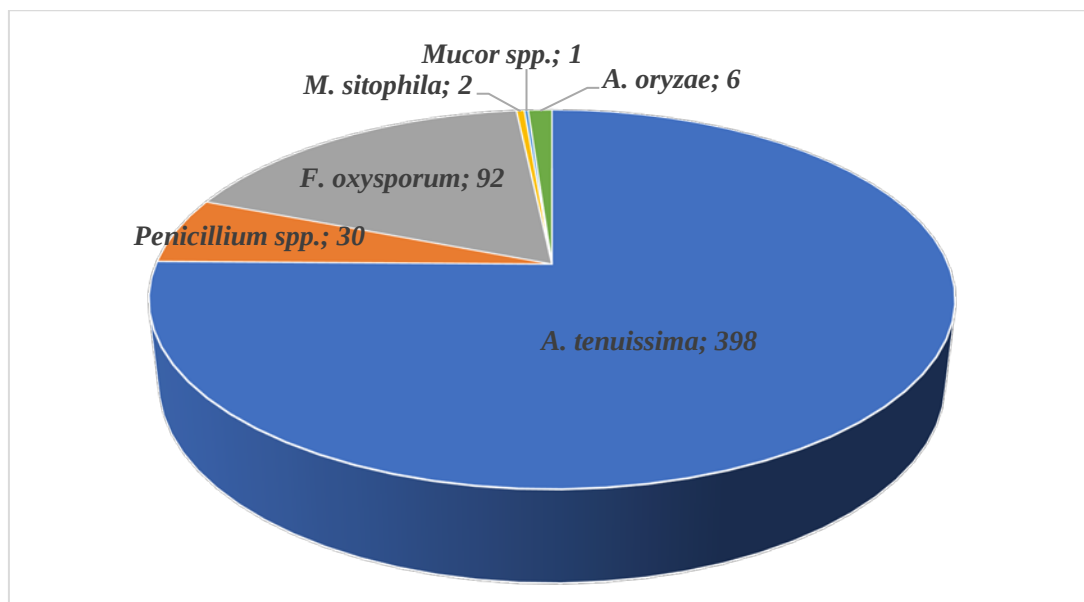


Рис. 3.11. Кількість виділених колоній (шт) грибів у мікобіоті насіння пшениці озимої (2022 рік)

Осінній період 2021 року забезпечив сприятливі умови для початку вегетації рослин завдяки помірній температурі (12,1°C у вересні) та оптимальній кількості опадів (44,8 мм). Узимку сніговий покрив і значні опади (147,6 мм у січні 2022 року) підтримували вологість ґрунту. Навесні, із потеплінням (8,6 °C у квітні) та рясними опадами (138,5 мм), відзначалося активне відновлення вегетації пшениці.

Погодні умови червня та липня 2022 року створили різний вплив на видовий склад мікобіоти насіння пшениці озимої. У червні, коли середня температура становила 20,3 °C, а кількість опадів досягла 57,6 мм, були оптимальні умови для розвитку грибних організмів. Помірна температура та достатня вологість ґрунту сприяли інтенсивному розвитку домінуючого виду *A. tenuissimus*, який склав 75,2% від загальної кількості колоній. Крім того, така вологість була сприятливою для розвитку вологолюбних грибів, таких як *F. oxysporum* який активно розмножувався в цей період.

Липень, із середньою температурою 19,7 °C та достатньою кількістю опадів (80,4 мм), став періодом завершення вегетації та дозрівання зерна. Підвищена вологість підтримувала розвиток видів з родів *Penicillium spp.* та *Fusarium spp.*, які потребують більшої кількості вологи для свого росту. Однак

такі умови виявилися менш сприятливими для *A. oryzae* та *M. sitophila* які залишилися малочисельними через специфічне поєднання температурного режиму й високої вологості.

Загалом погодні умови червня та липня забезпечили баланс між температурою та вологістю, який сприяв домінуванню адаптивних видів, таких як *A. tenuissima*, та підтримці життєздатності менш чисельних видів.

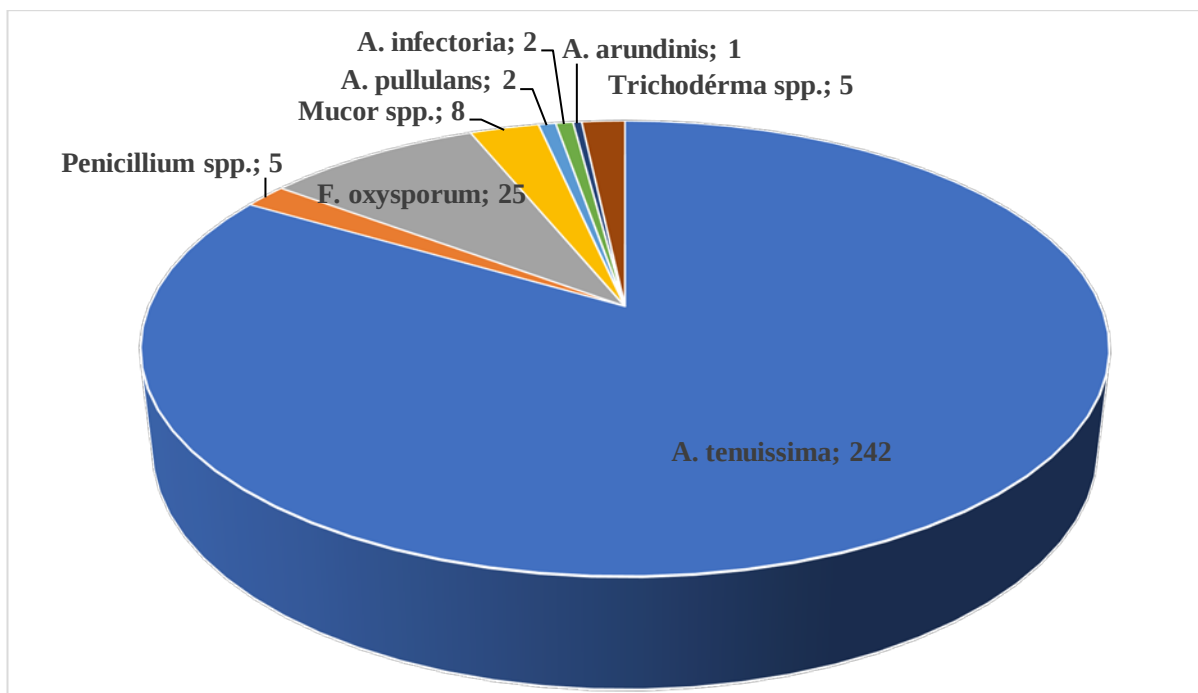


Рис. 3.12. Кількість виділених колоній (шт) грибів у мікобіоті насіння пшениці озимої (2023 рік)

У 2023 році у грибному комплексі насіння пшениці озимої ідентифікували такі види/роди (рис. 3.12): *A. tenuissima*, *Penicillium spp.*, *F. oxysporum*, *Mucor spp.*, *A. pullulans*, *A. infectoria*, *A. arundinis* та *Trichoderma spp.* Переважаючим видом залишався *A. tenuissima*, кількість колоній якого становила $242 \pm 5,1$. Значно, поступався йому *F. oxysporum*, для якого зафіксовано $25 \pm 1,29$ колоній. Менше було представників роду *Mucor spp.* – $8 \pm 0,91$ колоній, а також *Trichoderma spp.* – $5 \pm 0,6$, *Penicillium spp.* – $5 \pm 0,52$. Крім того, виявлено *A. pullulans* і *A. infectoria* (по $2 \pm 0,04$ колонії кожен) та *A. arundinis*, що утворив лише одну колонію.

Різноманітність видового складу грибів у 2023 році, із домінуванням *A. tenuissima* та помітною присутністю *F. oxysporum*, свідчить про специфічну адаптацію мікобіоти до умов середовища. Така структура колоній формувалась під впливом змін у температурному режимі, рівні вологості та інших факторів, які варіювалися протягом усього вегетаційного періоду. Аналіз погодних умов дозволяє зрозуміти, як ці чинники вплинули на активність різних видів грибів.

У період із вересня 2022 по травень 2023 року погодні умови загалом були сприятливими для росту та розвитку озимої пшениці. Помірні температури й достатня кількість опадів на початку вегетації забезпечили гарне укорінення й сходи. Зимові місяці, хоча й були холодними (до $-2,9^{\circ}\text{C}$ у січні-лютому), характеризувалися значним сніговим покривом (до 285 мм), що захищав рослини від морозів. Весна принесла поступове потепління та достатню кількість опадів, які підтримували активне відновлення й ріст культури.

У червні, із середньою температурою $18,1^{\circ}\text{C}$ та 69,2 мм опадів, були створені оптимальні умови для наливу зерна завдяки помірній температурі й стабільній вологості ґрунту. Липень, із середньою температурою $20,0^{\circ}\text{C}$ і 132,6 мм опадів, сприяв завершенню вегетації та якісному дозріванню зерна, забезпечуючи ідеальний баланс тепла й вологи. Такі погодні умови, створили оптимальне середовище для розвитку *A. tenuissima*, сприяючи швидкому проростанню спор і росту міцелію цього виду завдяки помірній температурі та стабільній вологості, що дозволило йому зайняти домінуючі екологічні ніші на зернових культурах. Натомість *F. oxysporum* демонстрував помірний розвиток через конкуренцію з *A. tenuissima* та менш сприятливі умови, зокрема надмірну вологість у липні (Shlevin et al., 2003).

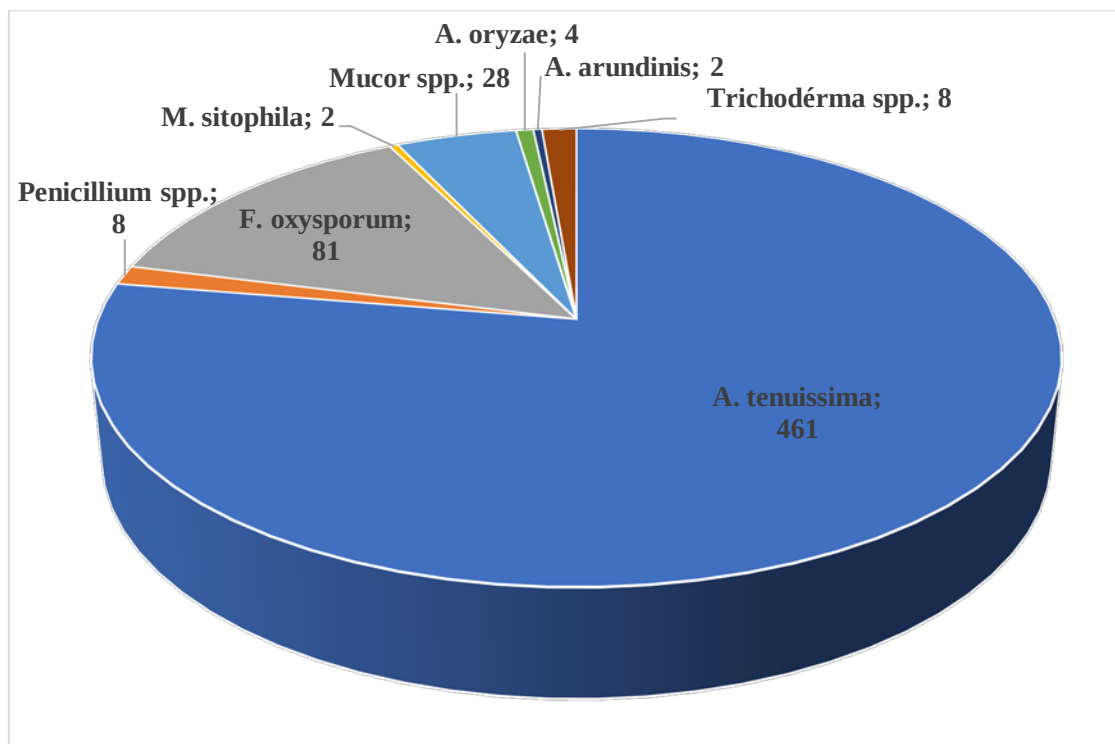


Рис. 3.13. Кількість виділених колоній грибів у мікобіоті насіння пшениці озимої (2024 рік)

У 2024 році в дослідженні виділили такі види/роди (рис. 3.13): *A. tenuissima*, *Penicillium spp.*, *F. oxysporum*, *M. sitophila*, *Mucor spp.*, *A. oryzae*, *A. arundinis* та *Trichoderma spp.*

Домінуючим видом став *A. tenuissima*, що налічував $461 \pm 13,05$ колонію. Значну частку займали *F. oxysporum* – $81 \pm 3,37$ колонія та *Mucor spp.* – $28 \pm 5,97$ колоній. Меншу кількість колоній мали *Penicillium spp.* – $8 \pm 1,3$, *Trichoderma spp.* – $8 \pm 0,92$, *A. oryzae* – $4 \pm 0,87$, *M. sitophila* – $2 \pm 0,21$ та *A. arundinis* – $2 \pm 0,21$.

Розподіл колоній грибів у 2024 році, з переважанням *A. tenuissima* та помітною часткою *F. oxysporum*, демонструє залежність видового складу від зовнішніх умов. Висока домінантність окремих видів і незначна присутність інших, таких як *M. sitophila* та *A. arundinis*, свідчать про специфічну реакцію мікобіоти на змінні чинники середовища. Аналіз погодних умов дозволяє простежити, як температура, вологість і рівень опадів впливали на активність та розвиток грибних колоній упродовж вегетаційного періоду.

У період із вересня 2023 року по травень 2024 року погодні умови забезпечили сприятливий розвиток озимої пшениці. Вересень був теплим ($16,2^{\circ}\text{C}$), але із недостатньою кількістю опадів (8,6 мм). У жовтні та листопаді спостерігалось зростання кількості опадів (124,9 мм та 125,1 мм відповідно) на тлі зниження температури до $3,1^{\circ}\text{C}$ у листопаді. Зимові місяці були холодними, але значний сніговий покрив (1639 мм) захищав рослини. Навесні поступове потепління (до $12,5^{\circ}\text{C}$ у квітні) й достатня кількість опадів (39,8 мм) сприяли активному росту пшениці.

У червні, із середньою температурою $21,3^{\circ}\text{C}$, були створені оптимальні умови для наливу зерна. Помірна кількість опадів (19,6 мм) у поєднанні з накопиченою вологою з попередніх місяців підтримувала стабільну вологість ґрунту. Такий погодні умови сприяли домінуванню *A. tenuissima*, а також помірному розвитку *F. oxysporum*. У липні середня температура залишалася високою ($21,4^{\circ}\text{C}$), а кількість опадів зросла до 46,7 мм, що забезпечило достатню кількість вологи для завершення дозрівання зерна. Ці умови сприяли формуванню колоса, хоча частка менш адаптованих видів, таких як *M. sitophila* та *A. arundinis*, залишалася мінімальною через нестачу високих температур ($25\text{--}30^{\circ}\text{C}$) та значно вища вологість ($>95\%$) (Răpuncean et al., 2018; Lee et al., 2024).

Таблиця 3.2

**Статистичне підтвердження впливу метеорологічних умов на
кількість найбільш поширених видів**

Вид	рік			НІР _{0,05}	F-статистичне	F-критичне
	2022	2023	2024			
<i>A. tenuissima</i>	398	242	461	19,7	4,4	3,5
<i>F. oxysporum</i>	92	25	81	5,07	6,8	3,5

Вплив погодних умов на динаміку кількості колоній грибів було підтверджено статистичним аналізом (табл. 3.2). Проведений однофакторний дисперсійний аналіз для видів *A. tenuissima* та *F. oxysporum* продемонстрував, що між досліджуваними групами існують статистично значущі відмінності,

що свідчить про сильний зв'язок між зовнішніми умовами та розвитком колоній.

Для виду *A. tenuissima* $HP_{0,05}$ склала 19,7, а спостережуване значення F-статистичне дорівнює 4,4, перевищуючи F-критичне значення 3,5. Це свідчить про достовірність виявлених відмінностей у кількості колоній під впливом метеорологічних умов факторів, які склалися у три роки досліджень.

Для *F. oxysporum* спостерігали аналогічну закономірність, проте $HP_{0,05}$ дорівнював 5,07, а F-статистичне – 6,8 (F-критичне 3,5). Ці результати також демонструють значущість впливу умов середовища, оскільки спостережуване значення перевищує критичний рівень.

Аналізуючи ці дані, можна зробити висновок, що погодні умови, суттєво впливають на розвиток видів. Більш чіткі розбіжності, зафіксовані для *F. oxysporum*, можуть свідчити про більшу чутливість цього виду до змін середовища, тоді як *A. tenuissima* проявляє вищу стабільність, що підкреслює його адаптивні властивості.

Таким чином, статистичний аналіз підтверджує висновки, зроблені на основі погодних даних, і демонструє, що кількість колоній досліджуваних видів *A. tenuissima* та *F. oxysporum* залежить від ключових кліматичних факторів (температури та вологості).

Аналіз погодних умов у період цвітіння озимої пшениці (перша декада червня) дав змогу встановити залежність кількості колоній грибів *A. tenuissima* та *F. oxysporum* від погодних факторів у різні роки дослідження. У вегетації 2021-2022 рр. відзначалася низька вологість (4,6 мм) та середньодобова температура 19,1°C, середня мінімальна температура становила 13,4°C. Такі умови були помірно сприятливими для зараження колосу грибами, оскільки температура відповідала оптимальним значенням для розвитку патогенів, проте нестача вологи дещо обмежувала їх поширення.

У 2022-2023 роках вологість була дещо вищою, однак середньодобова температура знизилася до 17,4°C, а середня мінімальна – до 10,9°C. Це створило менш сприятливі умови для розвитку грибів, оскільки знижені

температури та недостатня кількість вологи обмежували їхній ріст. Відповідно, цей рік характеризувався найменшою кількістю колоній грибів.

Найбільш сприятливими для розвитку грибів виявилися погодні умови вегетації озимої пшениці 2023-2024 років. Вологість досягла 14,3 мм, а середньодобова температура була найвищою за весь період досліджень – 21,7°C, середня мінімальна температура становила 16,3°C. Поєднання високих температур і достатньої кількості вологи створило оптимальні умови для поширення патогенів, що призвело до максимального рівня колонізації колосу.

Отримані дані підтверджують, що ключовими факторами для активного розвитку грибів *A. tenuissima* та *F. oxysporum* є достатня вологість і оптимальна температура. Найменший рівень колонізації спостерігався у 2023 році через знижені температури та нестачу вологи, тоді як у 2024 році найкращі умови сприяли максимальному поширенню патогенів.

Попри сприятливіші умови у 2024 році, кількість колоній *F. oxysporum* у 2022 році ($92 \pm 3,13$) кількість колоній була більшою, ніж у 2024 році ($81 \pm 3,37$). Це можна пояснити сукупністю факторів. У 2024 році загальна кількість колоній грибів була найбільшою (594), що вказує на активний розвиток різних видів. *A. tenuissima* мав найвищу колонізацію (461 колонія), що могло створювати конкурентний тиск на *F. oxysporum*, обмежуючи його поширення. У 2022 році конкуренція між грибами була менш вираженою, що сприяло активнішому росту *F. oxysporum*.

Ще одним важливим фактором є вологість. Для *F. oxysporum* не лише температура, а й доступність вологи відіграє ключову роль. У 2024 році вологість була значно вищою (14,3 мм проти 4,6 мм у 2022 році), що могло стимулювати активний розвиток інших грибів, тоді як *F. oxysporum* показав лише помірне збільшення. Також значну роль відіграли фенологічні особливості та ґрунтові умови. Як ґрунтовий патоген, *F. oxysporum* може краще розвиватися за певних фаз росту пшениці та специфічних умов ґрунту. У 2022 році можлива комбінація вологості ґрунту, температури та

інфікованого рослинного матеріалу сприяла його більшому поширенню. Крім того, волога, накопичена в ґрунті за попередні місяці весняного періоду (209,5 мм), також могла посприяти збільшенню кількості *F. oxysporum* у 2022 році порівняно з 2024 роком. У 2024 році збільшена вологість могла стимулювати розвиток інших видів грибів, які ефективніше колонізували рослинні тканини, знижуючи конкурентоздатність *F. oxysporum*.

Кількість видів та родів грибів змінювалася протягом років досліджень. У 2022 році було виявлено такі види: *A. tenuissima* ($398 \pm 13,06$ колоній), *F. oxysporum* ($92 \pm 3,13$ колонії), *Penicillium* spp. ($30 \pm 6,25$ колоній), *A. oryzae* ($6 \pm 0,07$ колоній), *M. sitophila* ($2 \pm 0,04$ колонії) та *Mucor* spp. (1 колонія). У 2023 році, незважаючи на менш сприятливі погодні умови, кількість видів також збільшилася. Це може бути пов'язано з адаптаційними механізмами грибів або накопиченням інокулюму в ґрунті. У 2024 році кількість видів значно зросла, і до раніше виявлених додалися *A. arundinis* та *Trichoderma* spp.

Збільшення кількості видів у 2023 та 2024 роках можна пояснити кількома факторами. По-перше, оптимальні умови для розвитку грибів у 2024 році сприяли активному росту нових видів, які раніше не фіксувалися. По-друге, можливі зміни у складі мікробного угруповання дозволили певним видам адаптуватися та виживати навіть у менш сприятливих умовах 2023 року. По-третє, природні умови могли сприяти накопиченню інокулюму в ґрунті та рослинних рештках, що дало змогу новим видам активно розвиватися у наступні роки.

Таким чином, представленість насінневих грибів озимої пшениці свідчить про значний вплив погодних умов на їх поширення. Найбільш сприятливим для розвитку грибів виявився 2024 рік, у той час, як 2023 рік мав найменшу кількість колоній через несприятливі умови. Проте саме у 2023 та 2024 роках спостерігалось збільшення кількості видів, що може бути наслідком природних адаптаційних процесів та змін у мікоспільнотах. Ці результати підтверджують необхідність моніторингу погодних умов для прогнозування рівня зараження пшениці грибними патогенами.

Дослідження мікобіоти насіння пшениці озимої, проведене в умовах Північно-Східного Лісостепу України, дозволило виявити широкий спектр грибних видів, серед яких основними були *A. tenuissima* та *F. oxysporum*. Менш чисельними, але теж значущими виявилися представники родів *Mucor spp.*, *Penicillium spp.*, *Aureobasidium pullulans*, *Trichoderma spp.*, *Monilia sitophila* та *Arthrrium arundinis*. Кожен з цих видів має власні екологічні особливості, які впливають на їхню здатність розвиватися в умовах різної вологості та температури.

У багатьох джерелах літератури зазначено, що в зразках пшениці найчастіше ідентифікуються гриби родів *Alternaria*, *Fusarium* та *Aspergillus*. При цьому *Alternaria spp.* зазвичай домінують серед представників насінневого комплексу, тоді як фузаріоз (*Fusarium spp.*) займає друге місце за поширеністю. Особливу увагу слід приділити грибам роду *Fusarium*, які здатні виробляти мікотоксини, зокрема дезоксиніваленол (DON), що є одним із найпоширеніших. Наявність цих токсинів негативно впливає не лише на якість продукції, але й на безпеку її споживання, створюючи ризики для здоров'я людей і тварин (Krulj 2016; Bankina 2017; Sarrocco 2012).

Найбільш домінантною частиною мікобіоти у цьому дослідженні став *A. tenuissima*, який вирізнявся високою адаптивністю до умов середовища. Стійкість цього виду до коливань температури й здатність до швидкого росту в умовах помірної вологості підтверджують його важливу роль у формуванні складу мікобіоти насіння.

Домінування виду *A. tenuissima*, відзначається не тільки у нашому досліді на пшениці озимій. У своїй статті Dongmei Jiang та ін. (2020) зазначають, що *A. tenuissima* переважає в північних і східних регіонах Азії, особливо в посушливі роки, несприятливі для інших видів грибів (Jiang 2020). Цей вид є найбільш часто ізольованим видом у зерні ячменю в Аргентині, з домінуванням 72,9% порівняно з іншими видами *Alternaria* (E. Castañares 2021). Це також домінуючий вид на картопляних полях в країнах Азії, що спричиняє значні втрати врожаю (Taheri & Kakooee 2017).

Домінування видів *Alternaria*, зокрема *A. tenuissima*, у мікобіоті насіння озимої пшениці також відзначається в дослідженні Т. Rozhkova та ін. (2022), хоча цей вид демонстрував нижчу швидкість радіального росту порівняно з іншими грибами (Rozhkova et al., 2022). Додатковим підтвердженням його домінування є дослідження Т. Sieber та ін. (1988), у якому зазначено, що *A. tenuissima* є одним із найпоширеніших ендofітних грибів у сортах озимої пшениці, що ще раз підтверджує його значну присутність у мікобіоті культури (Sieber et al., 1988).

Домінування *A. tenuissima* часто пов'язане зі специфічними кліматичними умовами. Він добре адаптується у посушливі сезони та у регіонах з високими температурами (Castañares et al., 2021).

F. oxysporum проявив більшу чутливість до рівня вологості, активізуючи свій розвиток у роки з високими опадами. Це підтверджується дослідженнями, що вивчають вплив факторів навколишнього середовища на ріст і патогенність різних штамів *F. oxysporum*. У дослідженні М. Kumarі та ін. (2021) було виявлено, що *F. oxysporum* досягав максимального розвитку міцелію та споруляції при підвищених рівнях вологості. Зокрема, оптимальний ріст цього гриба спостерігався при відносній вологості 60%.

Представники родів *Mucor* spp. і *Penicillium* spp. також демонстрували посилену активність за умов високої вологості, що свідчить про їхню залежність від таких погодних умов. Ця тенденція знаходить підтвердження в численних статтях спеціалізованої літератури (SNOW 1949; Andersen 2011).

Натомість *A. pullulans* характеризувався здатністю розвиватися за умов помірної вологості, тоді як *Trichoderma* spp. зустрічався переважно в роки з оптимальним поєднанням вологості та помірної температури. Спорадична присутність *M. sitophila* та *A. arundinis* свідчить про їхню нижчу пристосованість до погодних коливань в регіоні.

Період формування колосу озимої пшениці створив сприятливі умови для розвитку мікобіоти. У червні, коли середні температури становили 18,1 – 21,3°C, а кількість опадів варіювалася в межах 19,6–69,2 мм, домінували види,

добре адаптовані до підвищеної вологості. До них належали *A. tenuissima*, *F. oxysporum* і *Mucor spp.*, які активно розмножувалися на фоні стабільного рівня вологи. У липні, із температурними показниками 19,7 – 21,4°C та збільшеною кількістю опадів (46,7–132,6 мм), більшого розвитку досягли види, здатні адаптуватися до вищих температур і підвищеної вологості, такі як *Penicillium spp.*, *Trichoderma spp.* та *A. arundinis*.

Загалом отримані дані свідчать, що постійна присутність *A. tenuissima* та стабільна активність *F. oxysporum* незалежно від року досліджень демонструють їхню високу екологічну пластичність. Ці види здатні адаптуватися до змін кліматичних умов і формувати основу мікобіоти насіння (Xiao, та ін. 2020; Segorbe 2017). Мікобіота є важливим показником стану агроєкосистеми та вагомим фактором, що визначає якість врожаю. Її формування тісно пов'язане з погодними умовами, особливо з температурним режимом та вологою, в критичні періоди розвитку рослин. Такі дані підкреслюють значення інтеграції мікробіологічних досліджень у стратегії покращення посівного матеріалу й ефективного управління якістю зернової продукції.

У процесі аналізу мікобіоти насіння пшениці озимої було встановлено, що в структурі грибного комплексу переважають види, які можуть мати різний екологічний статус — сапрофіти, ендоефіти або патогени. Їх присутність у зерні безпосередньо впливає на фізіологічні процеси в насінні, а також на якість, збереженість і безпечність зернової продукції. Найбільш значущими у цьому контексті виявилися *A. tenuissima*, *F. oxysporum* і *Penicillium spp.*, що підтверджується як морфологічною ідентифікацією, так і кількісними показниками їх колонізації впродовж 2022–2024 років.

A. tenuissima була постійно присутня в усі роки дослідження, демонструючи найвищі показники — 398 колоній у 2022 році, 242 колонії у 2023 році та 461 колонію у 2024 році. Така стабільність свідчить про високу адаптивність цього виду до кліматичних умов регіону. *A. tenuissima* є збудником альтернативного колосу та зерна, проникає в оболонку насіння,

знижуючи його схожість і енергію проростання, а також продукує токсини, зокрема альтернаріол, що негативно впливають на якість зерна і можуть становити загрозу для здоров'я (Andersen et al., 2002).

F. oxysporum, хоч і поступається *A. tenuissima* за рівнем колонізації, демонструє високу активність: 92 колонії у 2022 році, 25 у 2023-му та 81 колонія у 2024 році. У зерні він здебільшого виступає, як ендофіт або сапрофіт, однак за сприятливих умов здатний проявляти патогенні властивості. Його токсикогенний потенціал пов'язаний із синтезом дезоксиніваленолу та зеараленону, що створює ризики для безпечного використання зерна у харчовій і кормовій галузях (Gagkaeva et al., 2011).

Penicillium spp. також були стабільно присутні у всіх зразках: у 2022 році виявлено 30 колоній, у 2023 — 5, у 2024 — 8 колоній. Ці гриби здебільшого розвивалися в умовах підвищеної вологості під час зберігання, будучи типовими сапрофітами, що формують внутрішню мікрофлору зерна. Їх небезпека полягає у продукуванні охратоксину А — токсичної сполуки, що суттєво знижує якість зерна (Gagkaeva et al., 2011).

Інші виявлені види грибів мали обмежене поширення. *Mucor* spp. відзначалися у всіх роках дослідження, демонструючи ріст переважно за умов підвищеної вологості. Їх кількість варіювала від 1 колонії у 2022 році до 28 у 2024 році. Вид *M. sitophila* фіксувався лише у 2022 і 2024 роках, у кількості 2 колоній, що вказує на його вторинний характер контамінації, пов'язаний переважно зі зберіганням зерна (Sutton et al., 2001).

A. oryzae ідентифікували у 2022 та 2024 роках у невеликій кількості (6 та 4 колонії відповідно). Цей гриб асоціюється з ферментаційними процесами та зазвичай не продукує токсичних метаболітів, однак його присутність у зерні може негативно позначитися на зберіганні (Sutton et al., 2001). *A. pullulans* і *A. infectoria* були виявлені лише у 2023 році по 2 колонії кожен. Попри низьку частоту, *A. infectoria* має потенціал до продукування токсинів, подібно до *A. tenuissima* (Andersen et al., 2002).

Серед менш поширених видів, *A. arundinis* фіксували у 2023 і 2024 роках (по 1–2 колонії), що свідчить про його здатність розвиватися переважно в умовах високої вологості (Gagkaeva et al., 2011). Гриби роду *Trichoderma* spp., хоч і не мали суттєвого представлення в мікобіоті (5 колоній у 2023 р., 8 у 2024 р.), все ж заслуговують на увагу через здатність до антагонізму проти фітопатогенів (Berestetskiy, 2008).

Таким чином, результати свідчать про те, що основу мікобіоти зерна пшениці озимої складають *A. tenuissima*, *F. oxysporum* і *Penicillium* spp., які демонструють стабільну присутність упродовж трьох років дослідження. Їхня роль у формуванні фітосанітарного статусу насіння є ключовою, з огляду на токсикогенність і здатність адаптуватися до змінних умов середовища. Інші гриби, такі як *Mucor* spp., *A. oryzae*, *M. sitophila* або *Trichoderma* spp., мали епізодичну присутність, але також можуть впливати на якість і схожість зерна в разі зростання чисельності. Така картина підтверджує необхідність регулярного фітопатологічного моніторингу для зниження мікотоксикологічних ризиків і забезпечення стабільної якості посівного матеріалу.

Висновки до розділу 3:

1. Дослідження складу мікобіоти насіння озимої пшениці в умовах Північно-Східного Лісостепу України виявило присутність різних родів і видів грибів. Постійно в усі роки досліджень спостерігалися *A. tenuissima*, *Penicillium* spp., *F. oxysporum*, *Mucor* spp. У 2022 та 2024 роках було виявлено *M. sitophila* та *A. oryzae*. У 2023 та 2024 роках – *A. arundinis* і *Trichoderma* spp. Лише у 2023 році спостерігалися *A. pullulans* та *A. infectoria*.

2. Найбільш стабільним і домінантним видом у всі роки дослідження виявився *A. tenuissima* (2022 рік – 398 колоній, 2023 рік – 242 колнії, 2024 рік – 461 колонія). Його висока адаптивність до кліматичних умов регіону підтверджується стабільно високою кількістю колоній незалежно від погодних умов. Другим за чисельністю видом був *F. oxysporum* (2022 рік – 92

колоній, 2023 рік – 25 колонії, 2024 рік – 81 колонія), кількість колоній якого суттєво варіювала залежно від року.

3. Встановлено істотний вплив метеорологічних умов року на присутність у мікобіоті найчисленніших представників, що було підтверджено статистичним аналізом. Більш виражені розбіжності, зафіксовані для *F. oxysporum*, можуть свідчити про його підвищену чутливість до змін середовища. Водночас *A. tenuissima* демонструє вищу стабільність, що підкреслює його адаптивні властивості.

4. Установлено, що різні представники мікобіоти насіння озимої пшениці виконують різні функції в агроєкосистемі. Домінантні види, зокрема *A. tenuissima* та *F. oxysporum*, негативно впливають на якість насіння через патогенну дію та здатність до синтезу мікотоксинів, створюючи загрози для схожості, зберігання та безпеки продукції.

5. Мікобіота насіння озимої пшениці в умовах Північно-Східного Лісостепу України характеризується видовим різноманіттям і функціональною неоднорідністю. Домінуючі види, зокрема *A. tenuissima* та *F. oxysporum*, можуть проявляти як патогенні властивості, негативно впливаючи на якість насіннєвого матеріалу, так і виконувати сапрофітні функції. Крім того, *F. oxysporum* здатний продукувати мікотоксини, що становить додаткову загрозу. Водночас виявлення сапрофітних і антагоністичних грибів, таких як *Mucor* spp. та *Trichoderma* spp., свідчить про потенціал мікобіоти до стримування розвитку фітопатогенів і підтримання мікробіологічної рівноваги в екосистемі.

РОЗДІЛ 4

ВПЛИВ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ НА МІКОБІОТУ НАСІННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

Сучасні агротехнології передбачають використання різних систем захисту рослин, спрямованих на забезпечення високої врожайності та якості сільськогосподарської продукції (Kalogiannidis et al., 2022; Maienfisch and Koerber 2024). Однак застосування цих заходів може значно впливати на мікробіоту, зокрема, на мікробіоту насіння (Gupta et al., 2022; Babin et al., 2019).

4.1. Формування мікробіоти насіння в умовах хімічного та органічного захисту пшениці

Комплекс грибів насіння є ключовим елементом агроценозу, що виконує важливу роль у підтримці здоров'я рослин та регуляції взаємодії між культурними рослинами та середовищем (Johnston-Monje et al., 2021) (Laurent-Webb et al., 2023). Отримані результати дозволяють оцінити ефективність та безпечність застосовуваних систем захисту, а також їхній потенційний вплив на агро екосистему в цілому.

У 2022 році аналіз мікробіоти пшениці озимої сорту Аліот (табл. 4.1) виявив домінування виду *A. tenuissima* незалежно від використаної системи захисту. На контрольному варіанті частка колоній цього виду становила 69,6%. Застосування органічної системи захисту зменшило цей показник до 64%, а використання хімічної системи забезпечило ще більший ефект, знизивши частку колоній до 57,6%.

F. oxysporum, другий за частотою вид, у контрольному варіанті складав 16% колоній. При застосуванні органічного захисту цей показник знизився до 13%, тоді як хімічний захист незначно підвищив рівень до 14,8%, в порівнянні з контролем. Водночас гриби роду *Penicillium spp.* демонстрували зростання кількості колоній за умов органічного захисту — з 8,4% до 20,5%. Деякі види

Penicillium spp. діють як агенти біоконтролю, індукуючи місцеву резистентність у пшениці, що може зменшити фузаріоз і потенційно зменшити наявність *F. oxysporum* (Rojas et al., 2022). Це свідчить про те, що деякі види *Penicillium* можуть посилювати захисні механізми рослин, опосередковано зменшуючи чисельність популяції *Fusarium*.

Таблиця 4.1

**Мікобіота насіння пшениці озимої залежна від сорту
та системи захисту у 2022 році**

Сорт	Рід/вид	Система захисту (відсоток від загальної кількості колоній, %)				
		Контроль	Органічна	НІР 0,05*	Хімічна	НІР 0,05**
Аліот	<i>F. oxysporum</i>	16,0	13	3,6	14,8	2,9
	<i>A. tenuissima</i>	69,6	64	3,5	57,6	7,2
	<i>Penicillium</i> spp.	8,4	20,5	9,9	10,6	1,0
	<i>M. sitophila</i>	5,9	-	-	-	-
	<i>F. sporotrichoides</i>	-	-	-	9,2	-
	<i>Mucor</i> spp.	-	-	-	-	-
	<i>A. oryzae</i>	-	-	-	0,9	-
	<i>Trichoderma</i> spp.	-	-	-	-	-
	<i>Curvularia</i> spp.	-	0,5	-	-	-
	<i>F. poae</i>	-	1,2	-	2,5	-
	<i>A. arborescens</i>	-	-	-	1,6	-
	невідомі	-	0,9	-	1,9	-
Еміл	<i>F. oxysporum</i>	18,0	18,5	-	14,6	2,0
	<i>A. tenuissima</i>	73,9	72,5	0,5	32,7	19,7
	<i>Penicillium</i> spp.	1,6	3,5	0,85	39,6	19,9
	<i>F. sporotrichoides</i>	-	-	-	3,1	-
	<i>M. sitophila</i>	-	-	-	-	-
	<i>Mucor</i> spp.	0,4	0,5	-	0,8	-
	<i>A. oryzae</i>	1,2	2,0	-	-	-
	<i>F. poae</i>	2,3	-	-	-	-
	<i>A. arborescens</i>	0,8	0,3	-	-	-
	невідомі	1,0	0,3	-	-	-

Примітка : * – НІР 0,05 між контролем та органічною системою

** – НІР 0,05 між контролем та хімічною системою

Вид *F. sporotrichoides* (9,2%) був зафіксований виключно у варіанті з хімічною системою захисту. Також у невеликій кількості були виявлено: *Curvularia* spp. (0,5%) – лише на органічній системі захисту; *F. poae* – на органічній (1,2%) і хімічній (2,5%); *A. arborescens* (1,6%) та *A. oryzae* (0,9%) – лише на хімічній системі.

Загалом порівнюючи системи захисту на сорті Аліот, можна відмітити те, що органічна система виявилась менш ефективною у порівнянні з хімічною. Особливо, це демонструється у меншому відсотку зниження *A. tenuissima* та значному збільшенні *Penicillium* spp.

Для сорту Еміл домінантним видом у контрольному варіанті також був *A. tenuissima* (73,9%). Органічна система захисту зменшила його частку до 72,5%, а хімічна – до 32,7%. Водночас спостерігалось значне збільшення колоній *Penicillium* spp. у хімічному варіанті, де їх кількість зросла з 1,6% у контролі до 39,6%.

У варіанті з використанням пестицидів, де спостерігалось значне збільшення кількості *Penicillium* spp. (рис. 4.1), відмічалось пригнічення росту пагонів. Середня довжина пагонів сильно уражених *Penicillium* spp. становила $0,9 \pm 0,06$ см, тоді як у контрольних зразках – $2,7 \pm 0,42$ см. Це свідчить про те, що присутність *Penicillium* spp. негативно впливала на проростання насіння та розвиток проростків.

У дослідженні вчених з Хенанського технологічного університету та школи ресурсів, екологічної та хімічної інженерії, вказується на те, що при збільшенні чисельності цвільових грибів, у тому числі *Penicillium* spp. та вологи, порушується мікроструктура ендосперму та зародку насіння пшениці, що в свою чергу веде до погіршення росту та розвитку. Такий висновок підтверджує отримані нами дані, оскільки *Penicillium* spp., сильно затримав ріст пагонів пшениці (Ruolan et al., 2020).

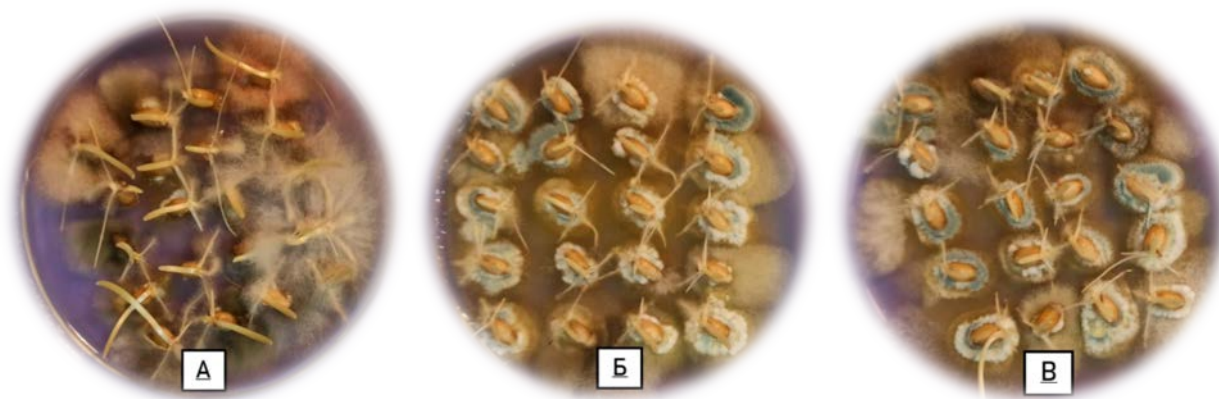


Рис. 4.1. Порівняння кількості колоній *Penicillium* spp.:

а – повторення з контролем; б,в – повторення з застосуванням хімічної системи захисту, де було сильне поширення *Penicillium* spp.; середня довжина проростків на контролі $2,7 \pm 0,42$ см та, у варіанті з хімічною системою $0,9 \pm 0,06$ см (НІР 0,05 – 0,17)

Інші види були практично відсутні або росли дуже повільно через велику кількість *Penicillium* spp. Такий прояв може вказувати на те, що між видами існує конкуренція за поживні речовини, і там, де є дуже сильне домінування, інші види не можуть розвиватися, як при нормальних умовах. Пригнічення інших видів також відмічали у праці А. Prange, Н. Modrow, J. Normes та ін. В їхньому дослідженні акцентується увага на тому, що на 12 тижень зберігання зерна пшениці на 72% збільшується кількість колоній *Penicillium* spp., тоді як інші колонії майже не розвиваються (Prange et al., 2005).

Для *F. oxysporum* зміни були менш вираженими: у контрольному варіанті відсоток колоній становив 18%, при органічному захисті – 18,5%, а при хімічному – 14,6%. Натомість невідомі види грибів, які зустрічалися у контрольному варіанті, повністю зникли при застосуванні хімічного захисту.

Інші колонії, що спостерігалися на Емілі, виділялися в незначних кількостях: *Mucor* spp. – на контролі (0,4%), органічній (0,5%) і хімічній (0,8%) системах; *A. oryzae* – на контролі (1,2%) та органічній системі (2%); *Alternaria arborescens* – на контролі (0,8%) та органічній системі (0,3%); *F. rosea* – лише

на контролі (2,3%); *F. sporotrichoides* – виключно на хімічній системі захисту (3,1%).

Результати дослідження врожаю 2022 року показали, що хімічна система захисту є більш ефективною у зменшенні чисельності домінуючих видів грибів, зокрема *A. tenuissima*, у насінні озимої пшениці сортів Аліот і Еміл. Водночас органічна система захисту виявилася менш ефективною у контролі кількості цього гриба, що підтверджується незначним зниженням його колоній (лише на 5,6% у сорті Аліот і 1,4% у сорті Еміл).

Однак застосування хімічних препаратів спричинило значне збільшення колоній *Penicillium* spp., особливо у сорту Еміл (до 39,6%). Це може свідчити про його резистентність до обробки або конкурентну перевагу після пригнічення інших патогенів. Гриби роду *Penicillium* spp. мають здатність до біоремедіації, що дозволяє їм виживати в умовах, де інші мікроорганізми можуть бути пригнічені. Це включає здатність до детоксикації важких металів та інших забруднювачів, що може надавати їм переваги в забруднених середовищах (Chang et al., 2020; Leitão 2009). Виявлено також негативний вплив *Penicillium* spp. на початкові фази розвитку озимої пшениці: у варіанті з високою його чисельністю середня довжина пагонів була значно меншою, що підтверджує його негативний вплив на проростання та розвиток рослин.

Інші види грибів, зокрема *F. oxysporum*, продемонстрували різні зміни залежно від сорту. Так, в Аліот застосування органічної системи сприяло зменшенню чисельності цього патогену на 3%, тоді як на Еміл спостерігалось незначне зростання на 0,5%. Хімічна система захисту в обох випадках призвела до зниження кількості колоній *F. oxysporum*.

Таким чином, хімічна система захисту є ефективнішою у контролі домінуючих грибів, проте її використання може спричинити вторинні негативні ефекти, зокрема підвищення чисельності *Penicillium* spp. Органічна система захисту продемонструвала певний позитивний вплив, але її ефективність була недостатньою для значного обмеження розвитку основних фітопатогенів.

Аналіз мікобіоти пшениці озимої сорту Аліот у 2023 році (табл. 4.2) продовжив тенденцію домінування *A. tenuissima* незалежно від системи захисту. Для Аліоту частка колоній цього виду у контрольному варіанті становила 78,8%. Органічна система захисту знизилася цей показник до 70,4%, тоді як хімічний захист підвищив частку до 83,1%.

Вид *F. oxysporum*, другий за частотою, у контрольному варіанті складав 7,9%. Застосування органічної системи захисту зменшило цей показник до 4,6%, тоді як хімічний захист сприяв зниженню до 5,6%. Інші види грибів, зокрема *Penicillium spp.*, показували збільшення колоній при застосуванні органічної системи захисту (з 1,2% до 12,5%). Це може свідчити про те, що зменшення кількості одного виду сприяє зростанню інших (Stricker et al., 2016; Penton et al., 2014). Хімічна система мала незначний вплив на цей вид (1,7%).

У дослідженні були виявлені такі види грибів у незначних кількостях: *A. arundinis* та *Trichoderma spp.* по 0,7% для кожного виду у хімічній системі; *A. pullulans* – 0,6% у контрольному варіанті та 1,3% в органічній системі; *A. arborescens* – 1,7% у контрольному варіанті, 1% в органічній системі та 0,8% у хімічній; *A. infectoria* – 1,3% в органічній системі та 0,3% у хімічній; *F. roae* – 0,8% у контролі, 1,3% в органічній системі та 0,3% у хімічній; *F. sporotrichoides* – 2,6% у контролі, 2,6% в органічній системі та 0,8% у хімічній. Крім того, невизначені колонії становили 5,8% у контрольному варіанті, 4,2% в органічній системі та 6% у хімічній.

Мікобіота насіння пшениці озимої залежна від сорту та системи захисту у 2023 році

Сорт	Рід/вид	Система захисту (відсоток від загальної кількості колоній, %)				
		Контроль	Органічна	НІР 0,05*	Хімічна	НІР 0,05**
Аліот	<i>F. oxysporum</i>	7,9	16,1	3,2	5,6	2,4
	<i>A. tenuissima</i>	78,8	77,5	1,8	83,1	4,5
	<i>Penicillium spp.</i>	1,2	0,9	-	1,7	-
	<i>Mucor spp.</i>	0,6	-	-	0,6	-
	<i>A. infectoria</i>	-	0,4	-	0,3	-
	<i>Trichodérma spp.</i>	-	-	-	0,6	-
	<i>A. arundinis</i>	-	-	-	0,6	-
	<i>A. pullulans</i>	0,6	1,7	-	-	-
	<i>A. arborescens</i>	1,7	0,5	-	0,8	-
	<i>F. poae</i>	0,8	0,3	-	0,3	-
	<i>F. sporotrichoides</i>	2,6	2,6	-	0,8	-
	невідомі	5,8	4,2	-	6	-
Еміл	<i>F. oxysporum</i>	7,7	17,1	4,6	6,9	1,3
	<i>A. tenuissima</i>	71,8	63,3	7	79,3	5
	<i>Penicillium spp.</i>	1,9	5,7	1,3	0,7	-
	<i>Mucor spp.</i>	4,5	1,9	0,8	2,1	1,6
	<i>A. infectoria</i>	1,3	3,2	-	-	-
	<i>A. arundinis</i>	0,6	-	-	-	-
	<i>Trichodérma spp.</i>	3,2	2,5	-	0,7	-
	<i>A. pullulans</i>	0,6	-	-	-	-
	<i>Humicola spp.</i>	-	-	-	0,7	-
	<i>A. arborescens</i>	2	2,7	-	0,5	-
	<i>F. poae</i>	2,7	1,6	-	1	-
	<i>F. sporotrichoides</i>	0,8	0,7	-	3,7	-
	невідомі	2,9	1,4	-	4,5	-

Примітка : * – НІР 0,05 між контролем та органічною системою

** – НІР 0,05 між контролем та хімічною системою

Для сорту Еміл домінантним видом у контрольному варіанті також був *A. tenuissima* (71,8%). Органічна система захисту зменшила його частку до 63,3%, а хімічна збільшила до 79,3%. Водночас спостерігалось зростання колоній *F. oxysporum* у контрольному варіанті (7,7%) при переході до

органічного захисту (17,1%), тоді як хімічний захист дещо знижував цей показник до 6,9%.

Інші види грибів, показали інші коливання кількості. Частка *Penicillium* spp в органічному варіанті зростає з 1,9% до 5,7%, тоді як у хімічному захисті знизилася до 0,7%. Значну роль відігравали також *Trichoderma* spp., частка яких у контрольному варіанті становила 3,2%, а за хімічного захисту зменшилася до 0,7%.

У дослідженні було виявлено невелику кількість таких видів грибів: *Humicola* spp. (0,7%) лише у варіанті з хімічною системою; *A. arundinis* та *A. pullulans*, які проявилися лише на контрольному варіанті у кількості 0,6% та 0,64% відповідно; *A. infectoria* – 1,3% у контрольному варіанті та 3,2% для органічної системи; *Mucor* spp. – 4,5% у контрольному варіанті, 1,9% за органічної системи та 2,1% за хімічної; *A. arborescens* – 2% у контрольному варіанті, 2,69% за органічної системи та 0,45% за хімічної; *F. rosea* – 2,7% у контрольному варіанті, 1,6% за органічної системи та 1% за хімічної; *F. sporotrichoides* – 0,8% у контрольному варіанті, 0,7% за органічної системи та 3,7% за хімічної. Крім того, невизначені колонії становили 2,9% у контрольному варіанті, 1,4% за органічної системи та 4,5% за хімічної.

Аналіз мікобіоти зерна пшениці озимої сортів Аліот та Еміл у 2023 році показав, що незалежно від застосованої системи захисту домінуючим видом залишався *A. tenuissima*. Застосування хімічного захисту сприяло підвищенню його кількості, тоді як органічна система захисту знижувала її. Така динаміка, ймовірно, зумовлена звільненням екологічних ніш унаслідок зменшення частини мікобіоти під дією хімічних засобів захисту рослин, що створює сприятливі умови для розвитку *A. tenuissima* (Knowles et al., 2022; Beijen et al., 2024; Tong et al., 2020).

Вид *F. oxysporum* демонстрував різну поведінку: на сорті Аліот спостерігалася зниження частки при застосуванні як органічного, так і хімічного захисту, тоді як на сорті Еміл, органічний захист значно підвищував його присутність. *Penicillium* spp. більш активно розвивався за органічної

системи захисту, що може свідчити про те, що зменшення кількості одного виду сприяє зростанню інших. Водночас *F. sporotrichoides* мав тенденцію до збільшення колоній у варіантах із хімічним захистом.

Таким чином, вплив систем захисту на мікобіоту пшениці у 2023 році, є видоспецифічним: органічний захист сприяє розвитку таких грибів, як *Penicillium* spp., тоді як хімічний – зменшенню кількості невизначених колоній та зміні частки патогенних грибів, таких як *F. oxysporum*.

Аналіз мікобіоти пшениці озимої у 2024 році (табл. 4.3) показав значну різноманітність складу грибів за умов різних систем захисту. Домінування *A. tenuissima* зберігало тенденцію минулих років. У сорту Аліот найбільший вміст *A. tenuissima* був зафіксований у контрольному варіанті — 80,3%. Органічна система захисту сприяла зниженню частки до 77,5%, тоді як хімічна захисна система зменшила її ще більше, до 76,9%.

F. oxysporum, другий за частотою вид, складав 13,2% у контрольному варіанті, зріс до 16,1% за органічного захисту, але знизився до 10,8% у хімічному варіанті. Значні відмінності також спостерігалися для грибів *Penicillium* spp.: частка збільшувалася з 0,3% у контрольному до 0,9% за органічного захисту і, до 0,7% за хімічного захисту.

Інші види грибів проявилися у невеликій кількості: *M. sitophila* – 0,3% лише у варіанті з хімічною системою; *A. oryzae* – 0,6% у контрольному варіанті та 1,2% за хімічного захисту; *Mucor* spp. – 0,6% у контрольному варіанті, 0,4% за органічної системи та 0,6% за хімічної; *A. arborescens* – 1,4% у контрольному варіанті, 1,7% за органічної системи та 0,1% за хімічної; *F. roae* – 0,5% у контрольному варіанті, 0,5% за органічного захисту та 1,1% за хімічного; *F. sporotrichoides* – 0,8% у контрольному варіанті, 0,3% за органічного захисту та 4,4% за хімічного. Крім того, невизначені колонії становили 1,2% у контрольному варіанті, 2,6% за органічної системи та 4,1% за хімічної.

Мікобіота насіння пшениці озимої залежна від сорту та системи захисту у 2024

Сорт	Рід/вид	Система захисту (відсоток від загальної кількості колоній, %)				
		Контроль	Органічна	НІР 0,05*	Хімічна	НІР 0,05**
Аліот	<i>F. oxysporum</i>	13,2	16,1	2,5	10,8	1,7
	<i>A. tenuissima</i>	80,3	77,5	4,9	76,9	7,1
	<i>Penicillium spp.</i>	0,3	0,9	-	0,7	-
	<i>M. sitophila</i>	-	-	-	0,3	-
	<i>Mucor spp.</i>	0,6	0,4	-	0,6	-
	<i>A. oryzae</i>	0,6	-	-	1,2	-
	<i>Trichodérma spp.</i>	1,2	-	-	-	-
	<i>A. arborescens</i>	1,4	1,7	-	0,1	-
	<i>F. poae</i>	0,5	0,5	-	1,1	-
	<i>F. sporotrichoides</i>	0,8	0,3	-	4,4	-
	невідомі	1,2	2,6	-	4,1	-
Еміл	<i>F. oxysporum</i>	13,8	15,9	2,2	11,7	1,5
	<i>A. tenuissima</i>	76,9	70,8	4,5	68,6	7,9
	<i>Penicillium spp.</i>	0,4	6,2	4,7	4,3	2,2
	<i>M. sitophila</i>	0,3	-	-	-	-
	<i>Mucor spp.</i>	0,3	0,7	-	1,25	-
	<i>A. oryzae</i>	0,4	-	-	0,4	-
	<i>A. arundinis</i>	0,4	-	-	-	-
	<i>Trichodérma spp.</i>	0,3	-	-	-	-
	<i>A. arborescens</i>	2,5	2	-	1,5	-
	<i>F. poae</i>	1,2	2,2	-	1,8	-
	<i>F. sporotrichoides</i>	-	0,4	-	2,3	-
	невідомі	2,4	1,9	-	8,2	-

Примітка: * – НІР 0,05 між контролем та органічною системою

** – НІР 0,05 між контролем та хімічною системою

Аналіз мікобіоти сорту Еміл також демонстрував домінування *A. tenuissima*, частка якого у контрольному варіанті становила 76,9%. Органічний захист сприяв більш значному зниженню цього показника до 70,8%, тоді як за хімічного захисту частка зменшилася до 68,6%. Вид *F. oxysporum* у контрольному варіанті досяг 13,8%, зростав до 15,9% за органічного захисту і знижувався до 11,7% за хімічного. Присутність

Penicillium spp. різко збільшилася в органічному варіанті (6,2%) порівняно з контрольним (0,4%) і трохи зменшилася за хімічного захисту (4,3%).

У невеликій кількості були присутні такі види грибів: *M. sitophila* (0,3%), *A. arundinis* (0,4%) і *Trichoderma* spp. (0,3%) були виявлені лише у контрольному варіанті; *Mucor* spp. – 0,3% у контрольному варіанті, 0,7% за органічної системи та 1,3% за хімічної; *A. oryzae* – 0,4% у контрольному варіанті та 0,4% за хімічного захисту; *A. arborescens* – 2,5% у контрольному варіанті, 2% за органічної системи та 1,5% за хімічної; *F. roseae* – 1,2% у контрольному варіанті, 2,2% за органічного захисту та 1,8% за хімічного; *F. sporotrichoides* – 0,4% за органічного захисту та 2,3% за хімічного. Крім того, невизначені колонії становили 2,4% у контрольному варіанті, 1,9% за органічної системи та 8,2% за хімічної.

Деякі види грибів проявляли видові особливості. Наприклад, *F. sporotrichoides* на сорті Аліот різко зростав у хімічному варіанті до 4,4%, хоча був менш численними за органічного захисту (0,3%) і контрольного варіанту (0,8%). На сорті Еміл цей вид з'явився тільки за хімічного захисту (2,3%). *F. roseae* на сорті Еміл демонстрував стабільну частку у всіх варіантах: 1,2% у контролі, 2,2% за органічного захисту, 1,8% за хімічного.

Результати досліджень підтверджують, що склад мікобіоти насіння пшениці озимої достовірно змінюється залежно від використаної системи захисту. Хімічний захист ефективніше знижував чисельність патогенних грибів, зокрема *F. oxysporum*, але водночас сприяв збільшенню колоній *Penicillium* spp., що негативно впливало на проростання насіння. Органічна система захисту меншою мірою обмежувала розвиток основних грибів, проте сприяла підвищенню чисельності окремих видів. При цьому вплив систем захисту був видоспецифічним і відрізнявся між сортами.

4.2. Поширення основних представників мікобіоти насіння залежно від системи захисту та сорту

Аналіз даних за три роки охоплює порівняння основних груп мікроорганізмів, їх частоти та інтенсивності прояву на насінні різних сортів пшениці, вирощених за умов застосування хімічної та органічної систем захисту. Такий підхід дозволяє отримати узагальнену картину впливу агротехнічних та екологічних факторів на мікобіоту насіння.

Для оцінки достовірності отриманих результатів застосовували двофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA), який дозволив виявити суттєві відмінності у складі мікобіоти між системами захисту та сортом. Розраховані мінімальні значущі різниці ($HP_{0,05}$) дозволили оцінити вплив кожного варіанта обробки та року на чисельність основних видів грибів із точністю до 95% (Larson 2008).

Аналіз мікобіоти насіння пшениці озимої за три роки досліджень (табл. 4.4) виявив закономірності складу грибів, які змінювалися залежно від сорту культури та використаної системи захисту. Основними домінуючими видами грибів були *A. tenuissima*, *F. oxysporum*, а також представники роду *Penicillium* spp. Сапротрофи, зокрема *Mucor* spp., були присутні у кожному варіанті та році дослідження, лише на сорті Еміл, однак їхній розподіл змінювався залежно від умов захисту.

Гриби роду *Alternaria* часто є домінуючими видами при аналізі насіння пшениці, що свідчить про їх високу поширеність, яку регулярно фіксують у різних джерелах. Таку тенденцію відзначають у своїх дослідженнях вчені з Іраку, провінції Барса. Після аналізу зразків з 17 полів вони дійшли висновку, що домінуючою групою були анаморфні гриби *Ascomycota*, що становили 85,34% від загальної кількості груп. Водночас відзначається, що роди *Alternaria* та *Fusarium* зустрічалися найчастіше як у ґрунті, так і на насінні (Minati & Mohammed-Ameen 2020).

**Вплив системи захисту та сорту на чисельність основних видів мікобіоти
насіння пшениці (СНАУ, середні за 2022-2024 рр.)**

Сорт	Рід/вид	Система захисту			НІР 0,05	Р-значення (обробки)	Р-значення (взаємодії)
		Контроль	Органічна	Хімічна			
Аліот	<i>F. oxysporum</i>	12,37	11,25	10,42	0,93	$1,27 \times 10^{-10}$	$4,48 \times 10^{-5}$
	<i>A. tenuissima</i>	76,24	70,63	72,51	2,57	$1,95 \times 10^{-8}$	0,09
	<i>Penicillium spp.</i>	3,3	7,4	4,32	4,05	4.44×10^{-6}	0,03
Еміл	<i>F. oxysporum</i>	13,17	17,17	11,08	1,63	0,38	0,001
	<i>A. tenuissima</i>	74,2	68,85	60,19	5,07	0,086	0,0001
	<i>Penicillium spp.</i>	1,29	5,14	14,85	4,7	0,028	0,004
НІР 0,05 (Між сортами)	<i>F. oxysporum</i>	0,34	3,17	1,62			
	<i>A. tenuissima</i>	1,37	0,99	5,89			
	<i>Penicillium spp.</i>	0,52	1,83	1,11			

Ця тенденція також, підтверджується дослідженнями вчених з Інституту польових і овочевих культур (Institute of Field and Vegetable Crops) з Сербії. Їхні дослідження показують, що найбільш поширеними родами грибів були *Alternaria spp.* та *Fusarium spp.* Зокрема, у 2012 році *Alternaria spp.* становили 80% від усіх виявлених збудників, а *Fusarium spp.* – 9%. У 2013 році спостерігалася зміна у співвідношенні: частка *Alternaria spp.* зменшилася до 55%, тоді як частка *Fusarium spp.* значно зросла – до 38% (Jevtić et al., 2019).

На сорті Аліот *A. tenuissima* залишався переважаючим видом, спостерігався високий рівень зараження незалежно від системи захисту, але

все ж відзначалося його зменшення у варіантах із використанням засобів захисту. Найвищий рівень колонізації був у контрольному варіанті (76,24%), а в органічній та хімічній системах показники складали 70,63% і 72,51% відповідно. Вплив системи захисту ($P = 1,27 \times 10^{-10}$) був статистично значущим. Водночас взаємодія між цими факторами була слабка ($P = 0,09$). Аналогічні результати були отримані в дослідженні Mansour та ін. (2015). У своїй роботі автори також підкреслюють ефективність використання натуральних екстрактів. Зокрема, було встановлено, що застосування натуральних екстрактів продемонструвало кращі результати порівняно з хімічним захистом. Хоча хімічна обробка спочатку призводила до зниження рівня зараження, з часом спостерігалось відновлення популяції пліснявих грибів (Mansour et al., 2015).

Вид *A. tenuissima* на сорті Еміл мав високий рівень ураженості, однак серед усіх варіантів найнижчий відсоток колонізації відзначався в хімічному захисті (60,19%). Статистичний аналіз показав, що вплив систем захисту ($P = 0,086$) не був значущим. Водночас взаємодія факторів впливу ($P = 0,0001$) мала статистично значущий ефект на відсоток *A. tenuissima* на сорті Еміл, що вказує на їхній спільний вплив.

Різниця в ефективності системи захисту проти грибів роду *Alternaria* між різними сортами пояснюється відмінностями в реакції кожного конкретного сорту на застосовані захисні заходи. Важливість врахування сортових особливостей при розробці системи захисту рослин підкреслюється в роботі E. V. Bueren та ін. (2011). У своїй роботі вчені дійшли висновку, що селекція та виведення сортів сільськогосподарських культур, які оптимально підходять для умов органічного землеробства, є надзвичайно важливим завданням. Це пов'язано з тим, що сорти, створені для інтенсивного землеробства, можуть демонструвати негативні побічні ефекти або недостатню продуктивність в умовах органічного виробництва (Bueren et al., 2011).

F. oxysporum, продемонстрував різне поширення у мікобіоті. У сорту Аліот його частка знижувалася при переході від контрольного варіанта

(12,37%) до органічного (11,25%) і хімічного (10,42%). Дисперсійний аналіз підтвердив високий рівень значущості впливу системи захисту. Дисперсійний аналіз підтвердив статистично значущий вплив системи захисту ($P = 1,27 \times 10^{-10}$), а також взаємодію факторів ($P = 4,48 \times 10^{-5}$). На сорті Еміл у контрольному варіанті *F. oxysporum* займав 13,17%, зростав до 17,17% за органічного захисту, але зменшувався до 11,08% при хімічному захисті. Дисперсійний аналіз виявив статистично значущу взаємодію факторів впливу ($P = 0,001$), тоді як вплив системи захисту самотійно не був статистично значущим ($P = 0,38$).

Реакція *F. oxysporum* на різні стратегії захисту може відрізнятися залежно від сорту рослини. Хоча як органічні, так і хімічні методи можуть зменшити його частку, як у сорті Аліоті, ефективність органічного захисту може залежати від конкретного сорту. Хімічний захист виявляється більш стабільно ефективним для різних сортів (Saleh et al., 2023).

Рід *Penicillium* spp. показав найбільш виражене збільшення кількості колоній за органічної системи захисту. На сорті Аліот в контрольному варіанті цей показник становив 3,30%, тоді як за органічної системи — 11,30%, що майже у 3,5 рази перевищує контроль. У хімічному варіанті спостерігалось помірне збільшення до 4,32%.

Інша тенденція спостерігалася для сорту Еміл, де кількість *Penicillium* spp. значно зросла при хімічному захисті (14,85%) порівняно з контрольним варіантом (1,29%) та органічною системою захисту (5,14%). Подібна ситуація за хімічного захисту пояснюється збільшенням кількості колоній у 2022 році, коли було відзначено різке зростання популяції *Penicillium* spp. У середньому за 2023 та 2024 роки тенденція до збільшення кількості цього роду грибів зберігалася за умов застосування органічної системи захисту.

У нашому дослідженні збільшення чисельності *Penicillium* spp. може бути пов'язане із декількома взаємопов'язаними факторами. Використання хімічної системи захисту вибірково вплинуло на мікрофлору, значно

знижуючи чисельність домінуючого гриба *A. tenuissima*, який раніше займав більшість екологічної ніші. Це створило «вакуум» у мікробіоті, який швидко був заповнений *Penicillium* spp., оскільки цей гриб має здатність до швидкого розмноження, активного спороутворення та пристосування до змінених умов середовища.

Також можливо, що цей вид проявив конкурентну перевагу завдяки синтезу вторинних метаболітів або толерантності до умов, створених пестицидами, що забезпечило йому зростання навіть за пригнічення інших видів грибів. Дослідження ізолятів *Penicillium digitatum* (Pers.) Sacc., 1881, які спричиняють зелену цвіль цитрусових, проведене міжнародною групою вчених із Туреччини, Хорватії та США, продемонструвало, що більшість цих ізолятів мають стійкість до широко застосовуваних фунгіцидів, таких як імазаліл, тіабендазол та орто-фенілфенол. Значна частина ізолятів була зібрана в умовах пакувальних підприємств у Каліфорнії, де регулярно використання фунгіцидів сприяє розвитку резистентних штамів. Цікаво, що такі стійкі ізоляти практично не зустрічаються у садах, де фунгіциди не застосовуються, підтверджуючи, що резистентність розвивається переважно через надмірне використання хімічних засобів. Важливою знахідкою стало те, що деякі ізоляти демонструють перехресну стійкість до кількох фунгіцидів одночасно, що ускладнює їх контроль (Kinay et al., 2007).

Окрім основних родів та видів, у невеликих кількостях були представлені сапротрофи. *Mucor* spp. формував частку в межах 1,73% - 1,44% у мікробіоті насіння сорту Аліот та 1,73% - 1,02% у грибному комплексі сорту Еміл, залежно від системи захисту. Ця стабільність у популяції сапротрофів вказує на їх низьку конкурентоспроможність порівняно з іншими видами.

A. arborescens та *Trichoderma* spp. з'являлися лише в окремих варіантах. Наприклад, *A. arborescens* за хімічного захисту на Аліоті становив 1,36%, а на Еміл 2,54% – 1,5%, залежно від типу захисту. *Trichoderma* spp., добре відомий своїми антагоністичними властивостями, зустрічався лише при контрольному

виросуванні в мікобіоті насіння на обох сортах, що свідчить про його сприйнятливості до агротехнічних змін.

Mucor spp., *A. arborescens* і *Trichoderma* spp. хоч, і присутні в невеликих кількостях, вони відіграють значну роль у мікофлорі озимої пшениці. *Mucor* spp. впливає на якість насіння, *A. arborescens* конкурує з іншими грибами, а *Trichoderma* spp. корисна для росту рослин і стійкості до хвороб. На їх присутність і дію впливають умови навколишнього середовища (Pospelov et al., 2020; Rozhkova et al., 2023; Colla et al., 2015).

Щодо *F. oxysporum*, спостерігається різноспрямований ефект систем захисту. У контрольному варіанті рівень зараження залишається вищим у мікобіоті сорту Еміл, тоді як застосування органічного захисту призводить до зростання чисельності колоній цього виду. Водночас хімічний захист демонструє стабільне зниження рівня колонізації *F. oxysporum*, що є підтвердженням його ефективності. Ця особливість може бути обумовлена характеристиками сорту, які створюють більш сприятливі умови для розвитку фузаріозу, оскільки, як показує дослідження Muluken Getahun та ін. (2024), різні сорти пшениці демонструють різний рівень сприйнятливості до *Fusarium* spp.: деякі, такі як Kingbird і Wane, мають помірну стійкість, в той час, як інші, наприклад Ogolcho, є дуже сприйнятливими (Getahun et al., 2024).

У випадку *Penicillium* spp. спостерігається інша динаміка: його колонізація значно зростає в органічних та хімічних варіантах, особливо у мікобіоті сорту Еміл. Це може бути наслідком конкурентного витіснення з екологічної ніші інших грибів або високої стійкості *Penicillium* spp. до фунгіцидних препаратів (Dela Cruz et al., 2022) (Baudy et al., 2021). Аналіз змін у рівнях зараженості протягом трьох років вказує на значну варіабельність результатів, що зумовлено коливаннями погодних умов. Наприклад, у роки з підвищеною вологістю рівень зараження *A. tenuissima* та *F. oxysporum* суттєво зростав у контрольних варіантах. Однак, у хімічному захисті така залежність менш виражена, що підтверджує його стабільність незалежно від кліматичних коливань.

Цікавим є ефект органічного захисту: у деякі роки він виявляється ефективнішим за хімічний, проте в інші періоди може сприяти зростанню окремих груп мікроорганізмів, таких як *Penicillium spp.*. Це підтверджує необхідність детального аналізу умов вирощування та можливих адаптацій методів контролю залежно від кліматичних умов конкретного року.

Для оцінки різниці між сортами було проведено однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA). Встановлено, що для основних видів/родів патогенних грибів існує статистично значуща різниця між сортами. Зокрема, для *F. oxysporum* показники НІР 0,05 склали: у контрольному варіанті – 0,34, за органічної системи захисту – 3,17, за хімічної – 1,62. Для *A. tenuissima* рівень ураження між сортами також відрізнявся: у контрольному варіанті – 1,37, за органічної системи – 0,99, за хімічної – 5,89. Для *Penicillium spp.* значення НІР 0,05 становили: контроль – 0,52, органічна система – 1,83, хімічна система – 1,11.

Дослідження впливу систем захисту та погодних умов на мікобіоту насіння озимої пшениці дозволило виявити суттєві відмінності у складі грибного комплексу залежно від сорту, року дослідження та системи захисту. Основними домінуючими видами залишалися *A. tenuissima*, *F. oxysporum* та *Penicillium spp.*, частка яких змінювалася залежно від досліджуваних факторів.

Встановлено, що хімічна система захисту забезпечує стабільне зниження зараження насіння *F. oxysporum* і *A. tenuissima*, демонструючи найвищу ефективність у стримуванні фітопатогенів незалежно від погодних умов. Органічна система захисту виявилася більш варіабельною за ефективністю: в окремі роки вона була схожою або навіть ефективнішою за хімічну, проте в інші сприяла зростанню чисельності *Penicillium spp.*, що свідчить про необхідність її адаптації до конкретних кліматичних умов.

Різна реакція сортів на системи захисту підтверджує важливість врахування генетичних особливостей пшениці. Так, сорт Аліот демонстрував вищу стабільність до впливу патогенів, тоді як сорт Еміл був більш чутливим

до змін середовища та типу захисту, що особливо проявлялося у випадку з *F. oxysporum*.

Поява та зростання чисельності *Penicillium* spp. за умов пригнічення домінуючих видів свідчить про можливість заміщення екологічних ніш у грибному комплексі. Це підкреслює важливість моніторингу не лише основних фітопатогенів, а й умовно нешкідливих сапротрофів, здатних активізуватися за зміни екологічної рівноваги.

Таким чином, ефективна стратегія контролю мікобіоти насіння повинна враховувати тип системи захисту, сортові особливості пшениці та мінливість погодних умов.

4.3. Вплив біологічних та хімічних протруйників на мікобіоту насіння та ґрунту

Ефективність обробки насіння залежить від кількох факторів, таких як склад патогенів, присутніх у ґрунті, погодні умови та обраний метод обробки (Klipakova & Vilousova, 2018). В умовах зростання попиту на стійкі методи ведення сільського господарства особливого значення набуває порівняльний аналіз ефективності хімічних і біологічних препаратів для обробки насіння.

Хімічні та біологічні обробки насіння широко застосовуються в агрономії для захисту насіння. Хімічна обробка насіння ефективно знищує широкий спектр мікроорганізмів, забезпечуючи швидкий і надійний захист (Markovska et al., 2020). Однак їх використання може мати негативні наслідки для навколишнього середовища, включаючи забруднення ґрунту та води, а також розвиток стійкості шкідників до діючих речовин (Lykogianni et al., 2021).

Застосування пестицидів може призвести до накопичення токсичних речовин у ґрунті та воді, що становить загрозу здоров'ю людей і тварин. Залишки пестицидів, які містяться в продуктах, особливо шкідливі та можуть негативно впливати на дихальну, нервову та ендокринну системи.

(Trokhymenko et al., 2022). З іншого боку, біологічна обробка насіння більш безпечна для навколишнього середовища, оскільки базується на природних мікроорганізмах або їх метаболітах, що знижує ризик негативного впливу на екосистеми (Nega 2014). Вони також сприяють збільшенню біорізноманіття та покращенню стану ґрунту (Lemanceau et al., 2014). Водночас їх ефективність може бути менш стабільною і залежати від умов навколишнього середовища, що вимагає ретельного моніторингу та потенційного обмеження їх використання в певних випадках. Таким чином, вибір між хімічною та біологічною обробкою насіння залежить від конкретних агротехнічних завдань та екологічних вимог (Sharma et al. 2015).

Таблиця 4.5

**Вплив обробки насіння на його мікобіоту
(сорт Аліот, урожай 2023 р., % виділення)**

Вид препарату	Назва препарату	<i>Mucor spp.</i>	Бактерії	<i>A. oryzae</i>	<i>Cladosporium sp.</i>	<i>A. tenuissima</i>	<i>A. infectoria</i>	<i>Penicillium sp.</i>	<i>F. oxysporum</i>	<i>F. Oxysporum</i> (рожеві колонії)	<i>A. arundinis</i>	<i>A. pullulan</i>	Невідомі види
Хімічні	Тебузан Ультра, F.C.S.	12*	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1*
	Рекорд, F.C.S.	5*	3	18*	—	—	—	1*	—	—	—	—	—
	Селест Топ 312.5, FS, TH	4*	59	4	14	—	—	—	—	—	—	—	—
	Максим 025, FS, TH	1*	31	3	—	—	—	—	—	2	—	—	2*
Біологічні	Азотобактерин-К, ВІ	8*	—	37*	—	2*	—	—	—	—	—	—	—
	Фітовіт, ВЕ	15*	—	24*	—	17*	—	—	—	—	—	—	—
	Віолар, ВЕ	—	—	17*	1	21*	2	—	—	—	3	—	—
	<i>B. megaterium</i>	1*	—	74*	—	6*	—	—	—	—	—	—	—
	Комплекс	10	—	30*	—	18*	—	—	—	1	—	—	—
	ЕКОСТЕРН триходерма, СS	3*	—	12*	—	12*	—	—	—	—	—	—	—
	Аверком ^Н , СВ	9	—	17*	—	24*	—	—	—	—	—	—	—
Контроль		11	—	4	—	53	—	4	5	—	—	2	8

Примітка: *- є істотна різниця між контролем та варіантом за критерієм Фішера (F_{05})

Вивчення впливу обробок на мікобіоту насіння показало, що в контрольній групі, де спостерігався найширший спектр грибів, домінував *A. tenuissima*. Хімічна обробка виявилася ефективною проти найпоширенішого гриба *Alternaria* та спровокувала появу бактерій у насінні (табл. 4.5). Хімічні обробки Селест Топ 312.5, FS, ТН і Максим 025, FS, ТН показали зменшення кількості *Mucor* spp. і *A. oryzae* колонії. Проте у варіанті з Максим 025, FS, ТН з'явилися *F. oxysporum*, хоча й у значно менших кількостях порівняно з контролем, а з Селест Топ 312.5, FS, ТН – *Cladosporium* spp., яких у контролі не спостерігалось. . Слід також зазначити, що кількість бактеріальних колоній значно зросла як з Селест Топ 312.5, FS, ТН, так і з Максим 025, FS, ТН. Хімічна обробка Тебузан Ультра, FCS показала збільшення кількості *Mucor* spp., хоча пригнічувала розвиток усіх інших грибів. Використання Рекорд, FCS зменшило розвиток *Mucor* spp., але збільшило кількість *A. oryzae*. Найефективнішими препаратами для зменшення чисельності мікобіоти були Тебузан Ультра, FCS та Рекорд, FCS.



Рисунок 4.2. Насіння оброблене *B. megaterium*, з колоніями *A. oryzae*, на 7 добу

Біологічні обробки також значно зменшили популяцію домінантних видів, зокрема Азотобактерин-К, ВІ але збільшили ізоляцію *A. oryzae*. ЕКОСТЕРН Триходерма, CS і *B. megaterium* помітно зменшили кількість *Mucor* spp. і *A. tenuissima*. Проте у варіанті з *B. megaterium* кількість колоній *A. oryzae* була найбільшою зафіксованою, хоча розвиток грибів не впливав на проростання насіння (рис. 4.2). Обробка Віолар, ВЕ, пригнічувала розвиток

Mucor sp., зменшуючи кількість колоній до нуля і зменшувала ріст усіх інших видів порівняно з контролем. Однак, у невеликих кількостях з'явилися колонії *Cladosporium* spp., *A. infectoria* та *A. arundinis*, яких у контролі не спостерігалось. У варіантах з Азотобактерин-К, ВІ, Комплекс та Аверком^Н, СЕ відзначено достовірне зниження *A. tenuissima*. У зразку Комплекс також виявлено *F. oxysporum*. У варіанті Фітовіт, ВЕ, спостерігалось збільшення *Mucor* spp. і значне зменшення *A. tenuissima*. Найефективнішими обробками щодо зменшення чисельності грибів у насінні були ЕКОСТЕРН Триходерма, СС, та Азотобактерин-К, ВІ.

Порівнюючи хімічну та біологічну обробки, можна виділити кілька ключових відмінностей: хімічна обробка повністю пригнічувала *A. tenuissima*, тоді як використання біологічної обробки лише зменшило її кількість. Хімічна обробка зменшила кількість колоній *A. oryzae* (крім зразка Рекорд, FCS), тоді як біологічна обробка значно збільшила кількість колоній *A. oryzae*. У більшості випадків як хімічні, так і біологічні обробки пригнічували ріст *Mucor* spp., за винятком зразків Тебузан Ультра, FCS (хімічний) та Фітовіт, ВЕ (біологічний), які показали збільшення кількості колоній цього виду. Важливо відзначити, що застосування хімічних обробок призводило до появи бактеріальних колоній, яких не спостерігалось ні в зразках, оброблених біологічними обробками, ні в контрольній групі.

При вивченні мікобіоти ґрунтової суміші виявлено два види грибів: *P. cheresanum*. Biourge, 1923 і *Trichoderma* spp. Досліджено вплив обробки насіння на зміни популяцій грибів і бактерій (табл. 4.6).

Застосування хімічних обробок насіння призвело до зменшення загальної кількості грибів порівняно з контролем. Найменшу кількість грибів зафіксовано після внесення препарату Селест Топ 312,5, FS, ТН – $6,2 \times 10^5$ КУО/г. Зменшення кількості грибів змінювалося залежно від хімічних обробок: Селест Топ 312,5, FS, ТН і Тебузан Ультра, FCS значно зменшили *P. Cheresanum* і *Trichoderma* sp., тоді як Максим 025, FS, ТН збільшили кількість попередніх видів і зменшили останній. Рекорд, FCS значно зменшив

лише *Trichoderma* sp. Що стосується бактерій, більшість хімічних обробок також зменшили їхню кількість, за винятком Рекорд, FCS, яка збільшила їхню кількість.

Таблиця 4.6

Вплив обробки насіння на довжину проростків пшениці та мікробіоту ґрунтосуміші

№	Варіант	Довжина проростків, см	Кількість мікроорганізмів (КУО/г сухого ґрунту)		
			Гриби на Чапека-Докса		Бактерії на МПА (x10 ⁸)
			Кількість по видам, (x10 ⁵)	Разом	
1	Контроль	10,72	<i>P. cheresanum</i> – 7,2	10,6	1,6
			<i>Trichoderma</i> sp. – 3,4		
2	Тебузан Ультра, F.C.S.	8,72*	<i>P. cheresanum</i> – 5,9	6,2	0,6
			<i>Trichoderma</i> sp. – 0,3		
3	Рекорд, F.C.S.	11,92*	<i>P. cheresanum</i> – 7,1	7,4	1,9
			<i>Trichoderma</i> sp. – 0,3		
4	Селест Топ 312.5, FS, TH	10,56	<i>P. cheresanum</i> – 3,3	3,8	0,9
			<i>Trichoderma</i> sp. – 0,5		
5	Максим 025, FS, TH	10,88	<i>P. cheresanum</i> – 9,7	10,2	1,3
			<i>Trichoderma</i> sp. – 0,5		
6	Азотобактерин -К, ВІ	13,59	<i>P. cheresanum</i> – 10,4	10,7	0,9
			<i>Trichoderma</i> sp. – 0,3		
7	Фітовіт, ВЕ	11,47	<i>P. cheresanum</i> – 5,8	7,3	2,6
			<i>Trichoderma</i> sp. – 1,5		
8	Віолар, ВЕ	12,73*	<i>P. cheresanum</i> – 8,6	9,2	2,1
			<i>Trichoderma</i> sp. – 0,6		
9	<i>B. megaterium</i>	12,93*	<i>P. cheresanum</i> – 12,5	13,5	5,9
			<i>Trichoderma</i> sp. – 1		
10	Комплекс	11,16	<i>P. cheresanum</i> – 9,5	9,9	2,3
			<i>Trichoderma</i> sp. – 0,4		
11	ЕКОСТЕРН триходерма, CS	12,52*	<i>P. cheresanum</i> – 7,4	8,0	3
			<i>Trichoderma</i> sp. – 0,6		
12	Аверком-Н, СВ	11,85*	<i>P. cheresanum</i> – 7,8	9,0	1,1
			<i>Trichoderma</i> sp. – 1,2		

Примітка: *- є істотна різниця між контролем та варіантом за критерієм Фішера (F_{05})

Біологічні обробки як зменшували, так і збільшували кількість грибів у ґрунтовій суміші. Застосування суміші біопрепаратів зменшило кількість грибів, але збільшило кількість бактерій. Лише Фітовіт, ВЕ зменшував чисельність *P. cheresanum*, тоді як усі інші біопрепарати ефективно знижували *Trichoderma* spp., особливо Азотобактерин-К, ВІ. Найбільшу кількість мікроорганізмів спостерігали при застосуванні *B. megaterium*.

Аналіз довжини проростків показав, що біологічні обробки збільшують довжину проростків порівняно з контролем, причому *B. megaterium* та Азотобактерин-К, ВІ мали найбільший позитивний вплив, збільшивши довжину до 12,93 см та 13,59 см, відповідно. Хімічний препарат Рекорд, FCS, також сприяв значному збільшенню довжини проростків, яка досягла 11,92 см. Тим часом деякі хімічні обробки, такі як Селест Топ 312.5, FS, ТН і Тебузан Ультра, FCS, зменшили довжину рослин до 10,53 мм і 8,67 мм відповідно.

Загалом результати показують, що різні способи обробки насіння пшениці суттєво впливають на склад та кількість мікроорганізмів у ґрунті. Вплив хімічних обробок, як правило, призводить до зменшення кількості мікроорганізмів, тоді як біологічні – сприяють їх збільшенню. Аналіз розвитку проростків пшениці показує, що найбільш виражену позитивну дію мають біопрепарати, тоді як вплив хімічних обробок може бути від позитивного до негативного.

Результати цього дослідження підтверджують значний вплив як хімічних, так і біологічних обробок на мікобіоту насіння пшениці, ґрунт і ріст проростків пшениці. Використання хімічних обробок, таких як Селест Топ 312.5, FS, ТН і Максим 025, FS, ТН, зменшило кількість грибів, таких як *Mucor* spp. і *A. oryzae*, але водночас сприяв появі нових видів, таких як *Cladosporium* spp. Це свідчить про вибіркову дію хімічних агентів на різні види мікроорганізмів, що підтверджується іншими дослідженнями (Abdel-Kader et al., 1978). Наприклад, дифеноконазол і флудіоксоніл можуть ефективно пригнічувати розвиток певних видів грибів, водночас створюючи умови, сприятливі для росту інших (Sayoko et al., 2022; Franz et al., 2020).

Біологічна обробка, зокрема *B. megaterium* і ЕКОСТЕРН триходерма, CS, продемонструвала значний ефект у зменшенні чисельності *Mucor* spp. та інших патогенних грибів. Це узгоджується з літературними даними, які підкреслюють високу ефективність мікроорганізмів у біологічному захисті рослин (Ferreira & Musumeci 2021; Hernández-Castillo et al., 2020).

Аналіз даних показав, що в деяких випадках біологічні обробки, такі як *B. megaterium*, сприяють збільшенню кількості бактерій і грибів (*A. oryzae*). Це може бути результатом активної конкуренції між мікроорганізмами за ресурси або зміни фізико-хімічних властивостей ґрунту під впливом біопрепаратів, що підтверджено результатами досліджень (Yuexia et al., 2016; Koshila Ravi et al., 2019).

Порівняння ефективності хімічних і біологічних обробок також показало, що хімічні обробки на основі тебуконазолу можуть пригнічувати розвиток більшості грибів, але в деяких випадках вони сприяють збільшенню чисельності інших видів, наприклад *Mucor* spp (Garcia et al., 2023).

Біологічні обробки, такі як *B. megaterium* та Азотобактерин -К, ВІ, показують кращі результати, не тільки зменшуючи кількість патогенних грибів, але й стимулюючи ріст сходів пшениці, що також підтверджено дослідженнями. У своїх дослідженнях Shokry Mohamed El- Grem та ін. (2017) продемонстрували, що штам *B. megaterium* ефективно пригнічує розвиток грибних патогенів, таких як *Cochliobolus sativus* S. Ito & Kurib., *A. alternata* (Fr.) Keissl і *F. graminearum*. Крім того, цей штам, призводив до збільшення довжини пагонів рослини: у контрольній групі цей показник становив 13,96 см, а у варіанті зі штамом – 19,81 см (*in vitro*) (El-Gremi et al., 2017).

У цілому результати цього дослідження узгоджуються з сучасними науковими даними, які підкреслюють важливість біопрепаратів для захисту рослин та підвищення продуктивності агроєкосистем. Використання таких обробок у сільському господарстві стає дедалі актуальнішим через їх здатність

забезпечувати стійкість до хвороб і сприяти росту рослин без негативного впливу на екосистему (Dayan et al., 2009).

Мікобіота насіння пшениці зазнала суттєвих змін під впливом різних методів обробки, зокрема хімічних і біологічних препаратів. Хімічні препарати ефективно пригнічували розвиток деяких видів грибів, таких як *A. tenuissima*, але призводили до появи бактеріальних колоній, що не спостерігалось в контрольних та біологічних зразках. Біопрепарати, навпаки, сприяють збагаченню мікобіоти, зокрема збільшували кількість колоній *A. oryzae* і стимулювали розвиток корисної мікрофлори ґрунту. Хімічні обробки зменшували кількість мікроорганізмів у ґрунті, що в окремих випадках може негативно впливати на проростки, тоді як біопрепарати забезпечували найбільш виражений позитивний ефект на розвиток рослин і їх мікробіологічний стан.

Найкращим хімічним препаратом для обробки насіння пшениці є Селест Топ 312,5 FS, ТН, який містить флудиоксонил, дифеноконазол та тіаметоксам. Він ефективно знижує чисельність *Mucor spp.* та *A. oryzae*, а також добре контролює *A. tenuissima*, що є основним видом у досліджуваних умовах. Хоча застосування цього препарату може викликати появу *Cladosporium spp.*, загальний негативний вплив на мікробіоту мінімальний. Завдяки системній дії препарат забезпечує надійний контроль патогенів на початкових етапах росту, що робить його оптимальним вибором для хімічної системи захисту.

Серед біологічних препаратів найкращі результати показав ЕКОСТЕРН триходерма, CS. Він сприяє збільшенню довжини проростків (до 12,52 см), активно пригнічує розвиток патогенних грибів, зокрема *A. tenuissima* та *Mucor spp.*, а також покращує біорізноманіття мікобіоти ґрунту завдяки наявності *Trichoderma sp.* Завдяки цим властивостям препарат не лише підвищує стійкість рослин до хвороб, але й сприяє покращенню загального стану ґрунту. Біологічний підхід із використанням ЕКОСТЕРН триходерма, CS є екологічно безпечним і забезпечує довготривалий ефект без негативного впливу на довкілля.

Висновки до розділу 4:

1. За результатами трирічних досліджень встановлено, що склад та структура мікобіоти насіння озимої пшениці суттєво варіюють залежно від сорту, року, погодних умов та застосованої системи захисту. Проте в умовах ННБК СНАУ домінуючим видом є *A. tenuissima*, що свідчить про його високу екологічну пластичність і адаптивність.

2. Встановлено, що склад мікобіоти насіння озимої пшениці змінюється залежно від застосованої системи захисту. Загалом ефективнішою виявилася хімічна система, яка забезпечувала суттєве зниження загальної кількості колоній грибів. Зокрема, зниження спостерігалось на *A. tenuissima*: на 8,87% при хімічному захисті та на 5,48% — при органічному. Для *F. oxysporum* зменшення кількості відмічено лише у хімічному варіанті (на 15,8%), тоді як при органічному спостерігалось зростання чисельності цього виду (на 10%). Водночас застосування обох систем сприяло зростанню чисельності *Penicillium* spp.

3. Мікобіота насіння пшениці озимої сортів Аліот та Еміл у 2022 році характеризувалася зростанням *Penicillium* spp., де при контролі частка складала 8,4% для Аліот і 1,6% для Еміл, тоді як у хімічному варіанті для Еміл вона зросла до 39,6%, що спричинило пригнічення росту пагонів ($0,9 \pm 0,06$ см проти $2,7 \pm 0,42$ см у контролі), а для Аліот — до 10,6%. Найбільше накопичення *F. sporotrichioides* (9,2%) було зафіксовано у 2022 році лише у варіанті з хімічною системою захисту для сорту Аліот; в інших варіантах цей вид не виявлявся. Окрім того, лише у цьому році спостерігалася поява невеликої кількості *Curvularia* spp.

4. У 2023 році мікобіота насіння озимої пшениці сортів Аліот та Еміл характеризувалася зростанням частки *A. tenuissima* за умови застосування хімічної системи захисту: у контрольному варіанті її виявлено на 78,8% насіння сорту Аліот та 71,8% сорту Еміл, тоді як за хімічної обробки ці показники зросли відповідно до 83,1% та 79,3%. Також, у незначних

кількостях проявлялися *A. infectoria* та *Humicola* spp., які проявилися тільки в цьому році.

5. Мікобіота насіння пшениці озимої сортів Аліот та Еміл у 2024 році характеризувалася, найбільшою кількістю колоній *A. tenuissima* (Аліот: 80,3%, Еміл: 76,9%) на контролі у порівнянні до всіх років. помірне зростання *Penicillium* spp. при органічному захисті, особливо для Еміл (з 0,4% до 6,2%), тоді, як у хімічному варіанті зростання було менш вираженим (Аліот: до 0,7%, Еміл: до 4,3%). Також, відмічалась поява *F. sporotrichoides* у хімічному варіанті для Аліот (з 0,8% до 4,4%).

6. За результатами трирічного дослідження (2022–2024 рр.) впливу органічної та хімічної систем захисту на мікобіоту насіння пшениці сортів Аліот і Еміл встановлено, що обидві системи знижують ураження насіння *A. tenuissima*. Хімічна система також зменшувала чисельність *F. oxysporum* в обох сортах (з 12,37% до 10,42% в Аліота та з 13,17% до 11,08% в Еміла), тоді як органічна система спричинила зростання цього гриба в Еміла до 17,17%. Водночас обидві системи захисту підвищували чисельність *Penicillium* spp., особливо різко у сорту Еміл при хімічній обробці (з 1,29% до 14,85%) та в Аліота при органічній (з 3,3% до 7,4%). Мікобіота насіння пшениці озимої сорту Аліот була більш стабільною та змінилася менше за застосування захисних заходів, порівняно з сором Еміл, в умовах Північно-Східного Лісостепу України.

7. Дослідження впливу біологічних і хімічних протруйників показали, що хімічні препарати ефективно пригнічують більшість представників мікобіоти насіння озимої пшениці, а домінуючий вид *A. tenuissima* повністю елімінують. Водночас хімічні засоби сприяли появі бактеріальних колоній, відсутніх у контрольному варіанті. Біологічні засоби захисту також знижували чисельність основних видів фітопатогенів, але підвищили кількість *Mucor* spp. та *A. oryzae*. Найбільші зміни у мікобіоті насіння відмічалися при застосуванні Тебузан Ультра, F.C.S.

8. Оцінка впливу препаратів на розвиток проростків озимої пшениці показала, що більшість хімічних препаратів гальмують ріст проростків, за винятком препарату Рекорд, F.C.S., який стимулював їх зростання до 11,92 см порівняно з 10,72 см у контролі. Натомість біологічні препарати без винятків сприяли збільшенню довжини проростків, яка коливалася від 11,16 см до 13,59 см.

9. Встановлено, що хімічні протруйники знижують чисельність грибів і бактерій у ґрунті. Найбільше зниження продемонстрував Селест Топ 312.5, FS, ТН, зменшивши кількість грибів до $3,8 \times 10^5$ колоній та бактерій до $0,9 \times 10^8$ порівняно з контролем ($10,6 \times 10^5$ грибів і $1,6 \times 10^8$ бактерій). Біологічні препарати, навпаки, сприяють підтриманню балансу мікроорганізмів, збільшуючи чисельність бактерій. Найбільше зростання зафіксовано при застосуванні *B. megaterium* – до $13,5 \times 10^5$ колоній грибів і $5,9 \times 10^8$ бактерій.

10. За результатами аналізу впливу біологічних та хімічних протруйників на мікобіоту насіння та ґрунту рекомендуємо препарат Віолар, ВЕ та штам *B. megaterium* як перспективні для застосування на пшениці озимій завдяки їхній здатності підтримувати баланс мікроорганізмів і сприяти розвитку рослин.

РОЗДІЛ 5

ФОРМУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СТРУКТУРИ ВРОЖАЙНОСТІ ТА ЯКОСТІ ЗЕРНА, У ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

Формування елементів структури врожайності та якості зерна пшениці озимої є складним багатofакторним процесом, що залежить від генетичного потенціалу сорту, агрокліматичних умов регіону вирощування та застосованих технологій захисту рослин (Намаіунова et al., 2023; Demydov et al., 2022; Holman et al., 2023). Важливу роль у цьому відіграє система захисту культури, яка забезпечує контроль рівня ураження посівів фітопатогенами, шкідниками та бур'янами, що сприяє оптимізації продукційних процесів, підвищенню врожайності та покращенню якісних характеристик зерна (Dahiya et al., 2020).

Комплекс заходів із захисту рослин включає фунгіцидний, інсектицидний та регуляторний впливи, які в поєднанні з агротехнічними прийомами та сортовими особливостями дозволяють реалізувати потенціал продуктивності культури (Jothika & Rajasekaran, 2020; Grabovskyi et al., 2018). Оцінка ефективності різних підходів до захисту пшениці озимої, є важливим напрямом досліджень. Аналіз їхнього впливу на формування продуктивних стебел, кількість і масу зерна з колоса, вміст білка, клейковини та інших параметрів якості зерна дає змогу обґрунтувати оптимальні технології вирощування культури.

5.1 Вплив системи захисту на формування елементів структури врожайності пшениці озимої

Формування структурних елементів урожайності озимої пшениці є результатом складної взаємодії низки чинників, серед яких важливу роль відіграють агротехнічні заходи, метеорологічні умови та фітосанітарний стан

посівів (Polishchuk & Konovalov, 2024; Polishchuk & Konovalov, 2022; Hasanova et al., 2022). Одним із визначальних факторів у цьому процесі є системи захисту рослин, які створюють сприятливе середовище для росту культури та впливають на формування основних компонентів врожайності, зокрема кількості продуктивних стебел, кількості зерен у колосі та маси 1000 зерен (Koshariya et al., 2023; Pavlyushin, 2020).

Застосування різних підходів до захисту озимої пшениці – хімічного та біологічного – може по-різному впливати на динаміку формування цих показників, зумовлюючи відмінності в кінцевих показниках продуктивності культури (Reboui et al., 2022; Iljkić et al., 2024). Аналізуючи ефективність різних систем захисту, можна оцінити їхній вплив на кількісні характеристики врожаю, а також визначити найбільш раціональні стратегії управління фітосанітарним станом посівів.

Аналіз показників структури врожайності озимої пшениці сорту Аліот (табл. 5.1) у **2022 році** засвідчив чіткий вплив застосованих систем захисту на формування генеративних органів рослин. У контрольному варіанті, де захисні заходи не застосовувалися, спостерігалось оптимальне співвідношення між кількісними та якісними елементами структури врожайності. Зокрема, довжина колосу досягала 9,76 см, маса одного колосу становила 3,33 г, а кількість насінин у колосі — 58 шт., що забезпечило найвищу масу зерна з одного колоса — 2,74 г. Маса 1000 насінин (M1000) у цьому варіанті становила 49,72 г.

На органічній системі захисту спостерігалось помірне зниження продуктивних ознак. Довжина колосу скоротилася до 9,57 см (на 1,9% менше порівняно з контролем), маса колосу — до 3,08 г (-7,51%), а кількість насінин у колосі — до 55 шт. (-5,17%). Маса зерна з одного колоса знизилася до 2,51 г (-8,39%), а M1000 – до 45,48 г, що становить зменшення на 8,53% у порівнянні з контрольним варіантом. Це свідчить про обмежене стимулювання репродуктивних процесів у рослин за органічної системи захисту.

Таблиця 5.1

Врожайність озимої пшениці сорту Аліот та елементи її структури (СНАУ, 2022 – 2024 рр.)

Елементи структури врожайності	2022 рік					2023 рік					2024 рік				
	Контроль	Органічна система захисту	НІР _{0,05} *	Хімічна система захисту	НІР _{0,05} **	Контроль	Органічна система захисту	НІР _{0,05} *	Хімічна система захисту	НІР _{0,05} **	Контроль	Органічна система захисту	НІР _{0,05} *	Хімічна система захисту	НІР _{0,05} **
Довжина колосу, см	9,76	9,57	–	9,11	–	8,83	7,95	–	8,61	–	9,31	7,97	0,64	8,76	–
Маса колосу, г	3,33	3,08	0,17	2,92	0,34	3,19	2,86	–	3,32	–	2,75	2,4	–	2,9	–
Кількість насіння в колосі, шт	58	55	3,16	54	2,6	53	42	11,11	49	4	51	47	3,84	54	1,23
Маса насінин у колосі, г	2,74	2,51	–	2,67	–	2,34	2,06	–	2,54	–	2,07	1,86	–	2,26	–
М1000, г	49,72	45,48	3,98	39,45	1,66	50,77	55,63	3,56	58,5	7,01	40,62	39,1	–	40,6	–
Кількість продуктивних стебел на метр погонний, шт	95	104	4,1	143	31,66	74	77	2,89	84	7,96	75	77	–	81	–
Біологічна урожайність, т/га	9,1	8,7	–	10,1	–	6,7	6	–	8	–	5,2	4,7	–	5,9	–

Примітка: * – НІР 0,05 між контролем та органічною системою ** – НІР 0,05 між контролем та хімічною системою

Найбільші зміни були виявлені у варіанті з хімічною системою захисту. Попри зменшення довжини колосу до 9,11 см та суттєве зниження маси колосу (до 2,92 г, що на 12,31% менше за контроль), кількість стебел на погонний метр зросла до 143 шт., що на 33,57% перевищує контрольний варіант (95 шт.). Це дозволило компенсувати часткову втрату генеративних характеристик шляхом збільшення щільності рослин. Маса 1000 насінин у цьому варіанті зменшилася найсуттєвіше — до 39,45 г, що на 20,66% нижче порівняно з контролем. Попри це, саме цей варіант забезпечив найвищу біологічну урожайність — 10,1 т/га проти 9,1 т/га у контролі та 8,7 т/га при органічному захисті.

Таким чином, застосування органічної та хімічної систем захисту по-різному вплинуло на реалізацію продуктивного потенціалу сорту Аліот у 2022 році. Якщо органічна система мала помірний вплив, зберігаючи відносний баланс між елементами структури врожайності, то хімічна — сприяла активному вегетативному росту, що, попри зниження якісних показників зерна, дало змогу досягти найвищої врожайності шляхом кількісних параметрів.

Аналіз структури врожайності озимої пшениці сорту Аліот у **2023 році** засвідчив наявність суттєвих змін у морфо-продуктивних характеристиках під впливом різних систем захисту. Отримані дані, подані у таблиці 5.1, демонструють характерні тенденції залежно від застосованої технології.

У контрольному варіанті, де захисні засоби не застосовувалися, сформувався відносно збалансований комплекс ознак. Середня довжина колосу становила 8,83 см, кількість насінин – 53 шт., маса одного колосу – 3,19 г, а маса зерна з одного колоса – 2,34 г. Маса 1000 насінин (M1000) була на рівні 50,77 г, що свідчить про стабільний розвиток генеративних органів без стимулюючого впливу препаратів.

Органічна система захисту виявила тенденцію до зменшення основних елементів продуктивності. Довжина колосу зменшилася на 9,97% порівняно з контролем (до 7,95 см), маса колосу — на 10,34% (2,86 г), маса зерна — на

11,97% (2,06 г), а кількість насінин у колосі — на 21,32% (42,07 шт.). Водночас спостерігалось зростання маси 1000 насінин на 9,57% (до 55,63 г), що свідчить про формування більших за розміром зернин шляхом зменшення їх загальної кількості. Такий розподіл асимілятів може вказувати на переорієнтацію фізіологічних процесів у бік накопичення маси в окремих насінинах, а не на кількісне зростання продуктивних органів. Біологічна урожайність за органічного захисту знизилася до 6,0 т/га, що на 10,45% менше, ніж у контролі (6,7 т/га).

Варіант з хімічною системою захисту виявився найефективнішим за більшістю ключових показників. Попри певне зниження кількості насінин у колосі до 48,80 шт. (на 8,74% менше, ніж у контролі), спостерігалось збільшення маси колосу до 3,32 г (+4,08%) і маси зерна до 2,54 г (+8,55%). Особливо показовим стало зростання М1000 — до 58,50 г, що на 15,25% більше за контрольний варіант. Така зміна свідчить про ефективне формування насінин, навіть за зменшеної їх кількості. Додатково зафіксовано зростання кількості продуктивних стебел до 84 шт./м, що на 13,51% більше, ніж у контролі, ймовірно, шляхом стимуляції кущення внаслідок дії агрохімікатів. У результаті цього біологічна урожайність досягла найвищого рівня серед досліджених варіантів — 8,0 т/га, що на 19,4% більше порівняно з контролем.

Загалом отримані результати підтверджують, що застосування систем захисту значно впливає на морфо-продуктивні параметри озимої пшениці. Органічна система на сорті Аліот у 2023 році виявилася менш ефективною для забезпечення високої врожайності через зменшення кількісних показників, попри зростання маси окремого зерна. Натомість хімічна система дозволила досягти найбільшої врожайності шляхом зростання як маси 1000 насінин, так і кількості продуктивних стебел.

Дослідження впливу органічної та хімічної систем захисту на елементи структури врожайності пшениці озимої сорту Аліот у **2024 році** засвідчило

наявність виразних відмінностей між варіантами досліду, що відображено у таблиці 5.1.

У контрольному варіанті середня довжина колосу становила 8,61 см, маса колосу — 2,93 г, кількість насінин у колосі — 52,60 шт., а маса насіння з одного колоса — 2,12 г. Маса 1000 насінин (M1000) досягала 49,04 г, що є базовим показником для порівняння. Кількість продуктивних стебел на погонний метр — 76 шт., а біологічна урожайність — 6,4 т/га.

Варіант з органічною системою захисту виявив зниження більшості показників: довжина колосу зменшилася до 8,11 см (–5,81%), маса колосу — до 2,68 г (–8,53%), кількість насінин — до 43,13 шт. (–18,00%), а маса зерна — до 1,95 г (–8,02%). Проте, як і в попередньому році, маса 1000 насінин зросла — до 54,65 г (+11,46%), що може свідчити про концентрацію пластичних речовин у меншій кількості, але більших за масою насінинах. Кількість стебел незначно зросла — до 78 шт./м (+2,63%), а біологічна урожайність склала 5,7 т/га, що на 10,94% менше, ніж у контролі.

Застосування хімічної системи захисту забезпечило найкращі результати. Довжина колосу знизилася лише незначно — до 8,37 см (–2,79%), але маса колосу зросла до 3,25 г (+10,92%), а маса зерна — до 2,46 г (+16,04%). Кількість насінин також була більшою порівняно з органічною системою — 49,20 шт. (–6,46% відносно контролю), а маса 1000 насінин досягла 60,00 г (+22,33%), що є найвищим показником серед усіх варіантів. Кількість стебел також була максимальною — 87 шт./м (+14,47%), а біологічна урожайність сягнула 8,2 т/га, що на 28,13% більше за контроль.

Отримані у 2024 році дані свідчать про суттєвий вплив типу системи захисту на продуктивність озимої пшениці сорту Аліот. Застосування хімічного захисту сприяло кращому формуванню елементів структури врожайності, що забезпечило значне підвищення біологічної урожайності. Органічний варіант, навпаки, характеризувався зменшенням кількісних показників, хоча й відзначався збільшенням маси 1000 насінин, що може свідчити про перерозподіл ресурсів на користь якості окремого зерна. Таким

чином, ефективність систем захисту виявилася диференційованою, із перевагою хімічного підходу за умов 2024 року.

Аналіз показників структури врожайності озимої пшениці сорту Еміл (табл. 5.2) *у 2022 році* виявив чітку диференціацію впливу органічної та хімічної систем захисту на формування основних господарсько-цінних ознак. У контрольному варіанті, де захисні заходи не застосовувалися, було зафіксовано базові параметри продуктивності: довжина колосу — 9,78 см, маса одного колосу — 2,82 г, кількість насінин у колосі — 54 шт., маса зерна з одного колоса — 2,32 г, маса 1000 насінин — 41,34 г, а кількість стебел на 1 м — 72 шт. Біологічна урожайність у цьому варіанті становила 5,3 т/га.

При застосуванні органічної системи захисту відзначалося покращення ряду репродуктивних характеристик. Зокрема, кількість насінин у колосі зросла до 57 шт. (+5,6%), маса насіння з одного колоса — до 2,51 г (+8,2%), а маса 1000 насінин — до 44,24 г (+7,0%), що свідчить про покращення наливу зерна. Незначне збільшення довжини колосу (до 10,02 см) та маси колосу (до 3,06 г) підтверджує загальну позитивну дію органічного підходу на формування генеративної частини врожаю. Біологічна урожайність за цього варіанту досягала 6,5 т/га, що на 22,6% вище порівняно з контролем.

У варіанті з хімічною системою захисту спостерігалися найбільші зрушення у вегетативному розвитку рослин: кількість стебел зросла до 111 шт./м, що на 54,2% перевищує контрольний показник. Це дозволило компенсувати незмінну кількість насінин у колосі (54 шт.) та середній рівень маси 1000 насінин (41,58 г). Довжина колосу сягала 10,23 см, маса колосу — 3,01 г, маса зерна з колоса — 2,51 г. Найвищий рівень біологічної урожайності було зафіксовано саме у цьому варіанті — 8,3 т/га, що на 56,6% вище за контроль.

Таблиця 5.2

Врожайність озимої пшениці сорту Еміл та елементи її структури (СНАУ, 2022 – 2024 рр.)

Елементи структури врожайності	2022 рік					2023 рік					2024 рік				
	Контроль	Органічна система захисту	НІР _{0,05} *	Хімічна система захисту	НІР _{0,05} **	Контроль	Органічна система захисту	НІР _{0,05} *	Хімічна система захисту	НІР _{0,05} **	Контроль	Органічна система захисту	НІР _{0,05} *	Хімічна система захисту	НІР _{0,05} **
Довжина колосу, см	9,78	10,02	-	10,23	-	7,73	8,27	-	8,69	-	6,67	6,38	-	6,86	-
Маса колосу, г	2,82	3,06	-	3,01	-	2,48	3,07	-	2,75	-	2,04	1,84	-	2,15	-
Кількість насіння в колосі, шт	54	57	0,57	54	-	39,47	47,73	7,23	48,03	7,87	36,85	32,7	3,71	38,45	0,71
Маса насінин у колосі, г	2,32	2,51	-	2,51	-	1,87	2,37	0,37	2,14	0,22	1,6	1,43	-	1,69	-
М1000, г	41,34	44,24	0,85	41,58	-	49,49	49,42	-	45,81	3,41	39,12	40,26	-	42,82	2,93
Кількість продуктивних стебел на метр погонний, шт	72	72	-	111	38,7	72	77	1,25	88	8,4	75,5	78		84	
Біологічна урожайність, т/га	5,3	6,5	-	8,3	-	4,7	6,1	-	6,5	-	3,6	3,4		4,6	

Примітка: * – НІР 0,05 між контролем та органічною системою

** – НІР 0,05 між контролем та хімічною системою

Отже, сорт Еміл по-різному реагував на системи захисту. Органічна система забезпечила покращення якісних показників структури врожаю — кількості та маси насіння, а також маси 1000 зерен, що вказує на ефективність репродуктивного розвитку в умовах помірного впливу. Натомість хімічна система сприяла максимальному нарощуванню вегетативної маси та густоти посівів, що дозволило суттєво підвищити загальну врожайність, попри стабільні або менш виражені зміни в якісних параметрах зерна.

Аналіз структури врожайності озимої пшениці сорту Еміл у 2023 році (табл. 5.2) підтвердив суттєвий вплив застосованих систем захисту на формування, як вегетативних, так, і генеративних органів рослин. У контрольному варіанті, де обробки не проводились, отримано базові показники структури врожаю: довжина колосу становила 7,73 см, маса колосу — 2,48 г, кількість насінин у колосі — 39,47 шт., маса насіння з одного колоса — 1,87 г, маса 1000 насінин — 49,49 г. Кількість стебел на 1 м досягала 72 шт., а біологічна урожайність склала 4,7 т/га.

Органічна система захисту сприяла підвищенню більшості показників. Довжина колосу зросла на 7,0% — до 8,27 см, маса колосу — на 23,79% (3,07 г), кількість насінин — на 23,36% (47,73 шт.), а маса зерна з одного колоса — на 26,74% (2,31 г). Маса 1000 насінин залишилася практично без змін (49,42 г), що свідчить про стабільність цього параметра навіть за підвищення кількості насіння. Кількість стебел зросла до 77 шт./м (+6,94%), а біологічна урожайність сягнула 6,1 т/га, що на 29,79% перевищує контроль.

Найвищі показники урожайності були отримані при застосуванні хімічної системи захисту — 6,5 т/га, що на 38,3% більше за контроль. Довжина колосу у цьому варіанті становила 8,69 см (+12,42%), кількість насінин — 48,03 шт. (+21,69%), маса зерна з колоса — 2,09 г (+14,44%). Хоча маса колосу (2,75 г) була нижчою, ніж в органічному варіанті, вона все ж на 10,89% перевищувала контрольний рівень. Водночас маса 1000 насінин знизилась до 45,81 г (–7,44%), що вказує на тенденцію до формування більшої кількості

зерен шляхом їх зменшеної маси. Продуктивна густота досягла найвищого рівня — 88 шт./м, що на 22,2% перевищує контроль.

Таким чином, у 2023 році сорт Еміл знову продемонстрував високу чутливість до умов захисту. Органічна система стимулювала покращення структури колосу й забезпечила зростання маси та кількості зерна, що говорить про потенціал сорту до органічного вирощування. Хімічна система захисту, попри зниження маси 1000 насінин, дозволила досягти найвищої урожайності завдяки підвищенню щільності посіву й кількості продуктивних колосків.

Оцінка структурних елементів урожайності сорту Еміл у 2024 році свідчить про те, що система захисту рослин суттєво впливає на формування продуктивності озимої пшениці. У контрольному варіанті (без обробки) спостерігалися базові показники: довжина колосу становила 6,67 см, маса колосу — 2,04 г, середня кількість насінин — 36,85 шт., маса насіння з колоса — 1,6 г, маса 1000 насінин — 39,12 г. Продуктивна густота складала 75 стебел на метр, а врожайність — 3,6 т/га.

Застосування органічного захисту зумовило незначне зниження основних біометричних характеристик колосу. Довжина скоротилася на 4,30%, маса — на 9,80%, а кількість насінин у колосі залишилася практично стабільною (зменшення лише на 1,76%). Попри загальне зниження вагових показників, спостерігалось зростання маси 1000 насінин до 40,26 г (+2,91%) і невелике збільшення кількості продуктивних стебел (+4%), що є ознакою кращої стійкості рослин у цих умовах. Урожайність у цьому варіанті склала 3,4 т/га — лише на 0,2 т/га менше, ніж у контролі.

Хімічна система захисту забезпечила найвищу ефективність серед досліджуваних варіантів. Показники довжини колосу (6,86 см), маси колосу (2,15 г), маси насіння з колоса (1,69 г), а також кількості насінин (38,45 шт.) свідчать про підвищену генеративну продуктивність. Особливо варто відзначити збільшення маси 1000 насінин до 42,82 г (+9,46%), що відіграло ключову роль у забезпеченні найвищої врожайності — 4,6 т/га (+27,78%).

Також цей варіант відзначався найбільшою щільністю продуктивних стебел — 84 шт./м (+12%).

Загалом, результати 2024 року демонструють, що хімічна система захисту залишається найефективнішою у підвищенні врожайності сорту Еміл, однак органічна система показала добру адаптивність сорту до біологічного вирощування з помірними втратами врожайності та позитивною динамікою за окремими ознаками. Це свідчить про перспективність органічного напрямку за умови подальшого вдосконалення методів захисту.

Вплив погодних факторів на формування елементів структури врожайності озимої пшениці сортів Аліот та Еміл. Аналіз погодних умов у період вегетації 2021–2022 років дозволяє встановити низку чинників, що суттєво вплинули на результати дослідів. Для комплексної оцінки впливу погодних умов на продуктивність озимої пшениці сортів Аліот та Еміл у 2022–2024 роках проаналізовано метеорологічні дані (середня температура, кількість опадів, сніговий покрив, швидкість вітру, атмосферний тиск) за осінній, зимовий, весняний та літній періоди. Аналіз охоплює ключові елементи структури врожайності: довжину колосу, масу колосу, кількість насінин у колосі, масу зерна з одного колоса, масу 1000 насінин (M1000), кількість продуктивних стебел на погонний метр та біологічну врожайність. Результати розкривають взаємодію погодних факторів із системами захисту (контроль, органічна, хімічна) та їхній вплив на продуктивність рослин у період сівби (осінній період), зимівлі, вегетації та дозрівання (весняний та літній період).

Погодні умови 2021–2022 років суттєво вплинули на формування врожайності. Осінній період (вересень–листопад 2021 р.) характеризувався сприятливими умовами для проростання і початкового розвитку рослин: середньомісячні температури у вересні та жовтні становили +12,1 °C і +7,0 °C відповідно, що сприяло активному проростанню та кущенню. Низька кількість опадів у жовтні (17,0 мм) створювала дещо стресові умови. В органічному варіанті це могло обмежити розвиток, адже обробка стимуляторами була

відсутня. Сприятливі умови зимівлі (високий рівень снігового покриву при помірно-низьких температурах) забезпечили надійний захист рослин від вимерзання.

Весняне відновлення вегетації було запізнілим через низькі температури в березні ($+0,2^{\circ}\text{C}$), однак, у квітні ($+8,7^{\circ}\text{C}$, 138,5 мм опадів) почалося активне відновлення росту. Надмірне зволоження могло створити ризики для розвитку хвороб, зокрема в контролі та органічному варіантах, де не застосовувалися фунгіциди. У таких умовах сорт Аліот при хімічному захисті досягнув максимального розвитку кількості стебел (143 стебла/м). У сорті Еміл — також найвищий показник урожайності (8,3 т/га) спостерігався у хімічному варіанті. Літній період (червень—липень) був оптимальним щодо температури та зволоження, що сприяло наливу зерна й зумовило високу масу 1000 насінин у контрольному варіанті сорту Аліот (49,72 г) та покращення якісних показників у Еміла (зростання М1000 до 44,24 г при органічному захисті). Загалом умови року були сприятливими для обох сортів, особливо за умов застосування хімічної системи захисту.

У 2022–2023 роках погодні умови були менш стабільними, що створило складні умови для формування врожаю. Осінь 2022 року була прохолодною та вологою, що сприяло формуванню густоти посіву, однак періодичні коливання температур (від $+13^{\circ}\text{C}$ у вересні до $+2^{\circ}\text{C}$ у листопаді), могли сприяти нерівномірності кушення. Аліот у таких умовах формував відносно збалансовану структуру врожайності, тоді як Еміл дещо відставав за масою 1000 зерен у контролі, що свідчить про вплив осіннього стресу.

Зима 2022–2023 пройшла без критичних морозів, але відновлення вегетації навесні було повільним. Березень був холодним ($+0,6^{\circ}\text{C}$), і лише у квітні ($+9,0^{\circ}\text{C}$) почалась активна вегетація. У травні спостерігався дефіцит вологи (всього 24,6 мм опадів), що, обмежило налив зерна. Це зумовило зниження маси колоса та зерна в контрольних варіантах обох сортів. Аліот продемонстрував чітку реакцію на хімічний захист — підвищення М1000 (до 58,50 г), а в Еміла — зменшення цього показника (до 45,81 г), що свідчить про

відмінності у реалізації вегетативного потенціалу. При цьому хімічна система захисту забезпечила зростання продуктивних стебел (до 88 шт./м в Еміла та 84 шт./м в Аліота), що частково компенсувало втрати через зменшення кількості зерен у колосі. Отже, 2023 рік був помірно стресовим для обох сортів.

У 2023–2024 роках погодні умови були ще більш контрастними. Осінь 2023 року вирізнялася затяжним теплом (вересень +15,4 °С, жовтень +10,7 °С) і достатньою кількістю опадів у вересні (92,9 мм), що призвело до надмірного зволоження і можливого загущення сходів. У таких умовах сорт Еміл виявив більшу чутливість — зафіксовано нижчі значення довжини колосу та кількості насінин у контрольному варіанті. Сорт Аліот адаптувався краще: у хімічному варіанті було досягнуто високої маси 1000 зерен (60,0 г) і урожайності (8,2 т/га).

Зима була помірною, однак весна 2024 року почалася зі зниженої кількості опадів і помірних температур, що призвело до обмеження ростових процесів у фазу виходу в трубку. У травні температура перевищила +17 °С, але при дефіциті вологи (32,6 мм) це створювало умови для стресу в рослин. У липні спостерігалися високі температури (середньомісячна — +21,6 °С), що скоротило фазу наливу зерна, особливо в контрольних і органічних варіантах. У сорту Еміл це проявилось в найнижчих показниках маси 1000 зерен (39,12 г у контролі), тоді як хімічний захист дозволив компенсувати стрес, підвищивши цей показник до 42,82 г. Сорт Аліот також зберіг високі показники продуктивності в хімічному варіанті. Загалом 2024 рік виявився найскладнішим щодо погодних умов, і лише за умов застосування засобів хімічного захисту вдалося зберегти високий рівень структурних елементів врожаю.

Результати аналізу впливу погодних умов у 2021–2024 роках засвідчили істотний вплив на формування структурних елементів урожайності озимої пшениці, що проявлявся по-різному залежно від сорту. Сорт Аліот продемонстрував високу стабільність продуктивності в умовах змінного гідротермічного режиму. У сприятливих за вологозабезпеченням 2021–2022

роках цей сорт формував потужний вегетативний апарат, що забезпечувало найвищу біологічну урожайність (10,1 т/га у варіанті з хімічною системою захисту). У наступні роки, попри знижену кількість опадів і високі температури в критичні фази розвитку, Аліот зберігав відносно високі показники маси 1000 насінин та кількості стебел на метр погонний, особливо за умов застосування засобів захисту. Це свідчить про його високу екологічну пластичність та здатність адаптуватися до стресових факторів середовища.

Сорт Еміл виявив вищу чутливість до погодних умов, особливо до вологозабезпечення на початкових етапах вегетації та під час наливу зерна. У 2022 році, за умов рівномірного розподілу опадів, він продемонстрував покращення генеративних ознак навіть у варіанті з органічним захистом. Проте у посушливі роки (2023–2024 рр.) спостерігалось зниження довжини колосу, кількості зерен у колосі та маси 1000 насінин у контрольних варіантах, що вказує на зменшення здатності до компенсації погодного стресу. Лише хімічна система захисту дозволяла частково нівелювати негативний вплив кліматичних чинників та забезпечити відносно високий рівень урожайності.

Таким чином, встановлено, що реакція озимої пшениці на погодні умови тісно пов'язана з сортовими особливостями. Сорт Аліот виявився більш толерантним до дії абіотичних стресів і зберігав продуктивність навіть за несприятливих гідротермічних умов, що свідчить про доцільність його вирощування в умовах нестійкого клімату. Сорт Еміл є перспективним за умов рівномірного зволоження та помірних температур, однак потребує більш стабільного агрофону або посилених заходів захисту для реалізації свого потенціалу.

Урожайність та якість зерна пшениці озимої значною мірою залежать від генетичних особливостей сорту та ефективності застосованих систем захисту (Laidig et al., 2016; Yao et al., 2019; Kubar et al., 2025). Дослідження елементів структури врожайності озимої пшениці свідчать про істотний вплив систем захисту на формування продуктивності у різних сортів культури. В таблиці 5.3 наведено результати порівняння середніх показників за три роки досліджень

структури врожайності для сортів Аліот та Еміл за різних варіантів захисних заходів — контрольного (без застосування захисту), органічної та хімічної систем.

Таблиця 5.3

**Врожайність озимої пшениці та елементи її структури
(СНАУ, 2022 – 2024 рр.)**

Елементи структури врожайності	Сорти								НІР _{0,05} (між сортом та системою захисту)
	Аліот				Еміл				
	Варіанти								
	Контроль	Органічна система	Хімічна система	НІР _{0,05} [*]	Контроль	Органічна система	Хімічна система	НІР _{0,05} [*]	
Довжина колосу, см	9,3	8,5	8,82	0,6	8,06	8,22	8,59	-	-
Маса колосу, г	3,09	2,78	3,05	0,3	2,45	2,66	2,64	-	-
Кількість насіння в колосі, шт	54,2	48,04	52,1	5,8	43,4	45,81	46,83	1,96	0,22
Маса насіння в колосі, г	2,38	2,14	2,49	0,3	1,93	2,1	2,12	-	4,95
М1000, г	47	46,74	46,18	3,9	43,3	44,64	43,4	0,9	-
Кількість продуктивних стебел на метр погонний, шт	81,3	86	102,7	11,5	73	75,67	94,33	17,25	2,06
Біологічна урожайність, т/га	7	6,5	8	4,89	4,6	5,2	6,5	5,64	7,46

Примітка: * – НІР 0,05 між системами захисту

У сорту Аліот найкращі показники генеративних органів були зафіксовані у контрольному варіанті: довжина колосу становила 9,3 см, маса колосу — 3,09 г, кількість насінин у колосі — 54,2 шт., маса насіння — 2,38 г, маса 1000 насінин — 47 г. Біологічна урожайність у цьому варіанті досягла 7 т/га, при кількості продуктивних стебел 81,3 шт. Застосування органічної системи призвело до помірного зниження цих показників: довжина колосу

зменшилася до 8,5 см, маса — до 2,78 г, кількість насінин — до 48,04 шт., а біологічна урожайність — до 6,5 т/га. Водночас кількість продуктивних стебел зросла до 86 шт, що свідчить про активізацію вегетативного росту за органічної системи.

Хімічна система захисту забезпечила найвищу біологічну урожайність сорту Аліот — 8 т/га. Це було досягнуто шляхом значного підвищення кількості продуктивних стебел (102,7 шт) при збереженні високих генеративних характеристик (маса колосу — 3,05 г, кількість насінин — 52,1 шт.). Попри незначне зменшення маси 1000 насінин (до 46,18 г), сумарна маса зерна з колоса залишалася на високому рівні (2,49 г). Такий результат свідчить про ефективність хімічного захисту у стимулюванні продуктивності рослин сорту Аліот.

У сорту Еміл спостерігалась дещо інша картина. У контрольному варіанті рослини характеризувалися найнижчими показниками: довжина колосу — 8,06 см, маса — 2,45 г, кількість насінин — 43,4 шт., маса зерна з колоса — 1,93 г, М1000 — 43,3 г. Біологічна урожайність у цьому варіанті склала 4,6 т/га. Використання органічної системи захисту призвело до підвищення зазначених показників: довжина колосу збільшилася до 8,22 см, маса — до 2,66 г, кількість насінин — до 45,81 шт., а біологічна урожайність — до 52 т/га. Збільшення кількості стебел до 75,67 шт також підтверджує позитивний вплив органічної системи на вегетативний розвиток.

Найвищу продуктивність сорту Еміл забезпечила хімічна система захисту: біологічна урожайність досягла 6,5 т/га, що на 1,9 т/га більше порівняно з контролем. Це супроводжувалося зростанням кількості стебел до 94,33 шт, збільшенням маси колосу до 2,64 г, кількості насінин — до 46,83 шт., та маси насіння з колоса — до 2,12 г. Навіть за відносно стабільною масою 1000 насінин (43,4 г), кількісне зростання інших показників забезпечило істотне підвищення врожайності.

Отже, результати досліджень свідчать про диференційований вплив систем захисту на структуру врожайності залежно від сорту. Якщо у сорту

Аліот хімічна система більшою мірою активізувала вегетативний розвиток і формування врожаю, то у сорту Еміл вона забезпечила збалансоване покращення як вегетативних, так і генеративних показників. Органічна система захисту продемонструвала стабільну, хоча й помірну ефективність у порівнянні з контролем та хімічною обробкою, зберігаючи прийнятний рівень продуктивності без застосування хімічних засобів.

Одним із факторів, що могли вплинути на зниження M1000 у сорті Аліот, є застосування препаратів із групи тріазолів, зокрема протіконазолу. Deng et al. (2021) зазначають, що використання цис-1R,5S-стереоізомеру метконазолу зменшує масу зерна та врожайність пшениці, що пов'язано із деградацією хлорофілу та підвищенням рівня етилену. Враховуючи подібний механізм дії, можна припустити, що тріазоли, використані у нашому дослідженні, могли вплинути на фізіологічні процеси сорту Аліот, спричинивши зменшення M1000 (Deng et al., 2021).

Водночас дослідження Хуе (2009) показали, що застосування певних пестицидів, таких як ометоат і бета-циперметрин, може сприяти підвищенню M1000 та врожайності високоякісної пшениці. У нашому досліді також застосовували препарати з групи піретроїдів, зокрема альфа-циперметрин. Це може пояснювати позитивний вплив хімічної системи на продуктивність сорту Еміл, який, на відміну від Аліота, не продемонстрував зниження маси 1000 насінин (Хуе, 2009).

Окрім традиційних хімічних засобів, у багатьох дослідженнях розглядається можливість використання природних біостимуляторів. Oğuz et al. (2023) зазначають, що обробка насіння ефірними оліями шавлії, розмарину та лаванди може підвищувати стійкість пшениці до стресових факторів, зокрема посухи. У нашому експерименті використовувався 20% розчин часникового соку, що також міг відігравати роль у підвищенні стійкості рослин та покращенні параметрів врожайності (Oğuz, Oğuz, & Güler, 2023).

Кількість продуктивних стебел на метр погонний у сорту Аліот зростала при застосуванні обох систем захисту: органічна система підвищила показник

до 86 шт., а хімічна – до 102,7 шт. (контроль – 81,3 шт.). У сорту Еміл органічна система підвищила цей показник до 75,67 шт., а хімічна система – до 94,33 шт. (контроль – 73 шт.).

У нашому дослідженні спостерігалось збільшення кількості продуктивних стебел при застосуванні як органічної, так і хімічної систем захисту, причому хімічний варіант демонстрував більш виражений ефект. Подібні результати були отримані Аль-Латіфом (2022), який зазначає, що гербіциди на основі сульфонілсечовин можуть стимулювати утворення пагонів у озимій пшениці. Зокрема, препарати, що містять мезосульфурон-метил та лодосульфурон-метил-натрій, сприяли збільшенню кількості пагонів на квадратний метр, що, в свою чергу, позитивно впливало на загальну врожайність. Враховуючи, що у нашому дослідженні також застосовувалися діючі речовини цієї групи, отримані результати узгоджуються з висновками Al-Latif (2022) (Al-Latif, 2022).

Ще одним з факторів, що міг впливати на кількість продуктивних пагонів, було застосування азотних добрив у хімічній системі. Це, у свою чергу, веде до збільшення кількості пагонів і загальної врожайності пшениці. Достатнє забезпечення азотом сприяє формуванню кількості колосків і зерен у колосі (Gaspareto et al., 2023; Zhang et al., 2021).

Біологічна урожайність зерна значно варіювала залежно від сорту та системи захисту. У сорту Аліот найвищий показник отримано при застосуванні хімічної системи (8 т/га), що перевищувало контрольний варіант (7 т/га) на 14,2%. Органічна система, навпаки, спричинила зниження врожайності до 6,5 т/га. У сорту Еміл хімічна система також забезпечила приріст урожайності – 6,5 т/га проти 4,6 т/га в контролі, тоді як органічна система сприяла меншому підвищенню (5,2 т/га).

Багатофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA) дозволив оцінити вплив сортових особливостей та систем захисту на елементи структури врожайності. Отримані результати свідчать, що взаємодія цих факторів має статистично значущий вплив на кількість насіння в колосі ($p < 0,05$) та

кількість продуктивних стебел на метр погонний. Вплив сорту є найбільш вираженим щодо довжини колосу та маси 1000 насінин, тоді як застосовані системи захисту мають суттєвий вплив на масу насіння в колосі та кількість продуктивних стебел. Найбільш варіабельними характеристиками виявилися кількість насіння та маса насіння в колосі, що підтверджується високими значеннями НІР 0,05 між сортами та системами захисту.

Аналіз впливу органічної та хімічної систем захисту на елементи структури врожайності сортів пшениці озимої Аліот та Еміл показав суттєві відмінності у їхній реакції. Сорт Аліот виявився більш чутливим до обох систем захисту, що призвело до зниження довжини колосу, маси колосу, кількості та маси насіння. Найбільш негативний вплив спостерігався при застосуванні органічної системи. Водночас сорт Еміл продемонстрував протилежну реакцію – обидві системи захисту сприяли покращенню показників врожайності.

Одним із можливих факторів, що вплинули на незначне зниження показників кількості насінин (на 3,87%) та М1000 (на 1,74%) при застосуванні хімічної системи на сорті Аліот, є використання гербіциду Гранстар Голд 75, в.г. (трибенурон-метил 750 г/кг, тифенсульфурон-метил 187,5 г/кг). Дослідження Abdel-Wahab et al. (2021) показали, що застосування трибенурон-метилу може змінювати біохімічний склад зерна пшениці, зокрема зменшувати вміст загального білка та ліпідів, що потенційно може позначатися на її продуктивності (Abdel-Wahab et al., 2021). Крім того, трибенурон-метил впливає на метаболізм глутатіону, що є критичним для процесів детоксикації в рослинах. Це може призводити до стресових реакцій, які у більш чутливих сортів, спричиняють зниження продуктивності. Також, трибенурон-метил впливає на метаболізм глутатіону, що є критичним для процесів детоксикації в рослинах. Це може спричинити стрес і зниження врожайності, хоча деякі сорти пшениці демонструють вищу стійкість до цього впливу (Kokojka et al., 2021).

При застосуванні органічної системи було зафіксовано значне поширення грибів роду *Penicillium* spp., особливо на сорті Еміл (39,6% уражених рослин проти 1,6% у контролі) та меншою мірою на сорті Аліот (20,5% проти 8,4%). Крім того, у значному відсотку зразків виявлено *F. oxysporum* (Аліот – 13%, Еміл – 18,5%), що могло негативно вплинути на врожайність. Дослідження Zargaryan et al. (2022) підтверджують, що *Penicillium* spp. можуть діяти як фітопатогени, особливо у поєднанні з *Fusarium* spp., створюючи додатковий стрес для рослин. Це може пояснювати більш виражений негативний ефект органічної системи на сорт Аліот. (Zargaryan et al., 2022). Отримані результати свідчать про диференційовану реакцію сортів озимої пшениці на застосовані системи захисту. Сорт Аліот виявився чутливішим як до хімічної, так і органічної систем захисту, що може бути пов'язано з гербіцидним стресом та підвищеною ураженістю фітопатогенами. Натомість сорт Еміл продемонстрував більшу стійкість до обох систем, що підкреслює важливість врахування сортових особливостей при виборі технологій вирощування.

Дослідження підтверджують, що впровадження інтегрованих систем захисту сприяє підвищенню врожайності. Наприклад, сорти Овідій та Зіра продемонстрували приріст урожайності на 4,0–18,7% залежно від застосованої схеми захисту (Hadzalo et al., 2024). Це свідчить про значний вплив сорту на ефективність захисних заходів.

У органічному землеробстві важливо обирати сорти, що мають високу конкурентоспроможність щодо бур'янів і підвищену стійкість до хвороб. Наприклад, сорти KWS Torridon і Kandela продемонстрували високу резистентність до грибних патогенів, що робить їх перспективними для органічних технологій вирощування (Feledyn-Szewczyk et al., 2020).

У результаті дослідження встановлено, що ефективність систем захисту значною мірою залежить від сортових особливостей озимої пшениці. Сорт Аліот виявився більш чутливим до дії як хімічних, так і органічних препаратів, що зумовило коливання врожайності та елементів структури колоса, зокрема

зниження маси 1000 насінин при хімічному захисті та поширення фітопатогенів за органічної системи. Натомість сорт Еміл продемонстрував стабільне покращення показників продуктивності під впливом обох систем, особливо хімічної. Найвищі показники біологічної урожайності для обох сортів були зафіксовані саме при хімічному захисті, що зумовлено підвищенням кількості продуктивних пагонів і збереженням високих генеративних характеристик. Водночас органічна система забезпечила помірне підвищення або збереження врожайності на прийнятному рівні, проте потребує ретельного підбору сортів і оптимізації агротехнічних заходів з огляду на можливе підвищення фітопатогенного навантаження.

5.2 Вплив системи захисту на якісні показники пшениці озимої.

Формування показників якості пшениці озимої є одним з ключових аспектів, що визначає її конкурентоспроможність на ринку. Одним із важливих факторів, що впливає на ці показники, є вибір системи захисту рослин, адже ефективність боротьби з хворобами, шкідниками та бур'янами безпосередньо пов'язана з рівнем розвитку зерна, його фізико-хімічними властивостями та здатністю до зберігання. Оскільки пшениця є основною культурою для виробництва борошна і кормів, контроль за її якістю має велике значення для сільського господарства, а також для безпеки продовольчого ланцюга.

Вивчення впливу різних систем захисту на показники якості пшениці дозволяє зрозуміти, як різноманітні методи обробки впливають на фізико-хімічні властивості зерна, його борошномельні характеристики та зберігання (Zaima & Derhachov, 2023; Zevakin et al., 2020). Це дає змогу сформулювати оптимальні підходи для покращення якості врожаю, збереження високих показників продуктивності.

Аналіз якісних показників зерна озимої пшениці сорту Аліот у *2022 році* свідчить про помітний вплив різних систем захисту на формування вмісту

сирої клейковини, сухого білка та вологості зерна. У контрольному варіанті, де захисні заходи не застосовувалися, було зафіксовано найвищий вміст сирої клейковини — 21,9%, а також сухого білка — 12,3%, що вказує на збереження високих якісних характеристик зерна. Вологість зерна становила 13,7%.

За органічної системи захисту спостерігалось незначне зниження вмісту сирої клейковини до 21,7% (на 0,2% менше), а також сухого білка — до 12,2% (на 0,1% менше порівняно з контролем). Вологість зерна в цьому варіанті була — 13,9%. Такі незначні зміни свідчать про збереження високої якості зерна за органічного підходу, хоча й із мінімальними втратами у показниках.

Таблиця 5.4

**Показники якості пшениці озимої, сорту Аліот
(СНАУ, 2022 – 2024 роки)**

Показники якості		Клейковина сира, у %	Білок сухий, у %	Волога, у %
2022 рік	Контроль	21,9	12,3	13,7
	Органічна система захисту	21,7	12,2	13,9
	НІР _{0,05} *	-	-	-
	Хімічна система захисту	19,9	11,5	13,9
	НІР _{0,05} **	1,05	0,58	-
2023 рік	Контроль	20,41	11,51	11,99
	Органічна система захисту	22,65	12,34	12,11
	НІР _{0,05} *	0,55	0,82	-
	Хімічна система захисту	20,8	11,58	12,12
	НІР _{0,05} **	-	-	-
2024 рік	Контроль	22,42	12,26	10,48
	Органічна система захисту	24,55	13,17	10,48
	НІР _{0,05} *	0,62	0,82	-
	Хімічна система захисту	21,64	11,94	10,53
	НІР _{0,05} **	0,67	-	-

Примітка: * – НІР 0,05 між контролем та органічною системою

** – НІР 0,05 між контролем та хімічною системою

Найбільш суттєве зниження якісних характеристик зерна було зафіксоване у варіанті з хімічною системою захисту. Вміст сирої клейковини знизився до 19,9% (на 2,0% менше порівняно з контролем), а вміст сухого

білка — до 11,5% (на 0,8% менше). Вологість залишилася на рівні 13,9%. Попри ефективність хімічного захисту у підвищенні врожайності (як показано в попередньому прикладі), якісні характеристики зерна погіршилися, що може бути пов'язано з активацією вегетативного росту на шкоду накопиченню білкових компонентів у зерні.

Таким чином, у 2022 році найкращі якісні показники спостерігалися в контрольному варіанті, тоді як органічна система зберегла їх на прийнятному рівні з мінімальними втратами. Хімічна система захисту забезпечила вищу врожайність, однак шляхом зниження білково-клейковинного комплексу, що може обмежувати якість зерна для продовольчих потреб.

У 2023 році аналіз якісних показників зерна озимої пшениці сорту Аліот також демонструє відчутний вплив застосованих систем захисту на вміст сирої клейковини, сухого білка та вологи. У контрольному варіанті, де захист не застосовувався, вміст сирої клейковини становив 20,41%, а сухого білка — 11,51%. Вологість зерна була на рівні 11,99%. Ці показники свідчать про помірну якість зерна, що зберігається без зовнішнього впливу засобів захисту.

Варіант з органічною системою захисту виявився найефективнішим за якісними характеристиками серед усіх варіантів. Вміст сирої клейковини підвищився до 22,65% (+2,24% до контролю), а сухого білка — до 12,34% (+0,83% до контролю). Вологість зерна – 12,11%. Це свідчить про позитивний вплив органічної системи на покращення білково-клейковинного комплексу, що є важливою перевагою з точки зору хлібопекарських якостей.

Натомість у варіанті з хімічною системою захисту спостерігалось зниження вмісту сирої клейковини до 20,8% (менше на 1,85% порівняно з органічним варіантом, але дещо більше за контроль), а вміст сухого білка становив 11,58%, що також не перевищувало органічний варіант, але трохи випереджувало контрольний. Вологість зерна становила 12,12%. Таким чином, хімічний захист дещо покращив показники порівняно з контролем, але не забезпечив таких якісних параметрів, як органічна система.

Отже, у 2023 році органічна система захисту виявилася найефективнішою у збереженні та покращенні якісних характеристик зерна пшениці сорту Аліот. Хімічна система сприяла підтриманню середнього рівня якості, а контрольний варіант забезпечив базовий рівень без додаткового впливу, з дещо нижчими показниками.

У 2024 році вплив різних систем захисту на якісні показники зерна озимої пшениці сорту Аліот залишався помітним, продовжуючи тенденції попередніх років. У контрольному варіанті спостерігалось збереження високих якісних характеристик зерна. Вміст сирої клейковини становив 22,42%, а сухого білка — 12,26%. Вологість зерна — 10,48%. Це свідчить про добру збалансованість природного формування зерна без впливу захисних засобів, з акцентом на якість.

Органічна система захисту знову продемонструвала найвищі показники вмісту сирої клейковини — 24,55% (на 2,13% більше за контроль), а також сухого білка — 13,17% (+0,91%). Вологість зерна при цьому залишалася на рівні 10,48%, як і в контролі. Така картина свідчить про ефективний вплив органічного підходу на покращення якісних властивостей зерна без надмірного зволоження, що є перевагою для зберігання і переробки.

У варіанті з хімічною системою захисту якісні показники були найнижчими серед усіх варіантів: вміст сирої клейковини знизився до 21,64%, а сухого білка — до 11,94%. Вологість зерна становила 10,53%, що практично дорівнює іншим варіантам. Хоча зниження було не критичним, воно підтверджує, що хімічна система, на відміну від органічної, менш ефективна у формуванні високоякісного зерна, зокрема за білково-клейковинними параметрами.

У 2024 році органічна система захисту вчергове виявилася найефективнішою для покращення якісних показників зерна сорту Аліот, забезпечивши найвищий вміст сирої клейковини та білка. Контрольний варіант забезпечив стабільно високі результати, хоча й дещо нижчі за

органічний варіант. Хімічна система захисту, попри можливу врожайність, продовжила демонструвати найнижчі якісні характеристики зерна.

Таблиця 5.5

**Показники якості пшениці озимої, сорту Еміл
(СНАУ, 2022 – 2024 роки)**

Показники якості		Клейковина сира, у %	Білок сухий, у %	Волога, у %
2022 рік	Контроль	19,8	11,3	13,3
	Органічна система захисту	20,3	11,6	13,5
	НІР _{0,05} *	0,43	-	-
	Хімічна система захисту	19,8	11,5	13,9
	НІР _{0,05} **	-	-	-
2023 рік	Контроль	21,44	11,87	11,76
	Органічна система захисту	23,4	12,74	11,92
	НІР _{0,05} *	1,69	0,7	-
	Хімічна система захисту	20,94	11,71	12,1
	НІР _{0,05} **	-	-	-
2024 рік	Контроль	21,07	11,85	10,73
	Органічна система захисту	22,47	12,49	10,6
	НІР _{0,05} *	1,37	-	-
	Хімічна система захисту	21,98	12,16	10,6
	НІР _{0,05} **	-	-	-

Примітка: * – НІР 0,05 між контролем та органічною системою

** – НІР 0,05 між контролем та хімічною системою

У 2022 році вплив систем захисту на якісні показники зерна озимої пшениці сорту Еміл був помітним, але менш контрастним, ніж у пізніші роки. У контрольному варіанті, де захист рослин не застосовувався, вміст сирої клейковини становив 19,8%, що свідчить про достатній рівень якості зерна. Вміст сухого білка досягав 11,3%, а вологість зерна — 13,3%.

Органічна система захисту забезпечила незначне, але все ж зростання показників клейковини — до 20,3% (+0,5% порівняно з контролем). Також спостерігалось підвищення вмісту сухого білка до 11,6% (+0,3%), а вологість зерна дещо зросла — до 13,5%. Ці зміни вказують на певне покращення якості зерна шляхом органічного підходу до захисту.

У варіанті з хімічною системою захисту вміст сирої клейковини залишився на рівні контрольного варіанта — 19,8%, а білка навіть трохи збільшився до 11,5%. Однак вологість зерна також зросла — до 13,9%, що повністю **відповідає нормам для якісного зберігання**.

У 2022 році сорт Еміл виявив помірну реакцію на застосування систем захисту. Органічна система забезпечила покращення якісних показників зерна — зокрема клейковини та білка — у межах статистично достовірної різниці, водночас з незначним підвищенням вологості. Хімічна система захисту не мала позитивного впливу на клейковину, хоч і сприяла незначному підвищенню білкових показників, але супроводжувалась підвищенням вологості, що знижує якість зберігання.

Аналіз показників якості зерна озимої пшениці сорту Еміль *у 2023 році* засвідчив суттєвий вплив застосованих систем захисту на формування його якісних характеристик, зокрема вмісту сирої клейковини, білка та вологості. У контрольному варіанті, де захисні заходи не застосовувалися, було отримано досить високі базові значення: вміст клейковини становив 21,44%, сухого білка — 11,87%, а вологість зерна — 11,76%. Ці показники свідчать про добрі початкові властивості сорту навіть без додаткового втручання, проте вони були перевищені за використання систем захисту.

Застосування органічної системи захисту сприяло найбільшому покращенню якісних параметрів зерна. Вміст сирої клейковини підвищився до 23,40%, що на 9,14% більше, ніж у контролі, а вміст білка сягнув 12,74% (+0,87%). Вологість зерна була дещо вищою — 11,92%, однак залишалася в межах допустимих норм. Отримані показники підтверджуються статистичною достовірністю за критерієм $HP_{0,05}$, що свідчить про позитивний вплив органічних препаратів на фізіолого-біохімічні процеси в рослинах і накопичення білково-клейковинного комплексу.

У варіанті з хімічною системою захисту рівень сирої клейковини становив 20,94%, що на 0,5% менше, ніж у контролі. Вміст білка був 11,71% (мінімальне зниження на 0,16%), а вологість зерна — 12,1%. Це вказує на

недостатній вплив хімічного захисту на покращення якісних властивостей зерна сорту Еміль у 2023 році, ймовірно, через фокус на вегетативний ріст або інші аспекти продуктивності, а не на якість зерна.

Таким чином, застосування органічної системи захисту забезпечило найвищі якісні показники зерна сорту Еміль у 2023 році, тоді як хімічна система не мала позитивного впливу на формування білково-клейковинного комплексу.

Аналіз показників якості зерна озимої пшениці сорту Еміль *у 2024 році* засвідчив різну ефективність застосованих систем захисту на формування білково-клейковинного комплексу та вологості зерна. У контрольному варіанті, де система захисту не застосовувалася, вміст сирої клейковини становив 21,07%, сухого білка — 11,85%, а вологість зерна — 10,73%. Ці показники свідчать про стабільно високий якісний потенціал сорту за умов відсутності захисних заходів.

При застосуванні органічної системи захисту спостерігалось істотне покращення якісних характеристик. Зокрема, вміст сирої клейковини підвищився до 22,47%, що на 6,64% більше порівняно з контролем. Вміст сухого білка збільшився до 12,49% (+0,64%), що свідчить про позитивний вплив органічних препаратів на білково-азотний обмін у рослинах. Вологість зерна в цьому варіанті була дещо нижчою — 10,6%, що є додатковою перевагою з точки зору тривалого зберігання зерна.

У варіанті з хімічною системою захисту також відзначено підвищення якісних показників. Вміст сирої клейковини склав 21,98%, що на 4,32% більше від контролю, але на 0,49% менше, ніж при органічній системі. Вміст сухого білка становив 12,16%, що перевищує контрольний варіант на 0,31%, але поступається органічному варіанту. Рівень вологості залишався стабільним — 10,6%, як і при органічному захисті.

Таким чином, обидві системи захисту — органічна й хімічна — позитивно вплинули на формування якісних характеристик зерна сорту Еміль у 2024 році, однак найвищі показники сирої клейковини та білка були

досягнуті саме при застосуванні органічної системи захисту, що свідчить про її ефективність для покращення технологічних якостей зерна.

Вплив погодних умов на якісні показники зерна озимої пшениці.

Упродовж 2022–2024 років погодні умови істотно впливали на формування якісних показників зерна озимої пшениці, зокрема вмісту сирової клейковини, сухого білка та вологості. Ключовими метеорологічними чинниками були температурний режим, кількість опадів та вологозабезпечення у фазах кущення, виходу в трубку й наливу зерна, а також характерні гідротермічні умови літнього періоду. У поєднанні з різними системами захисту рослин ці чинники зумовлювали характер змін у білково-клейковинному комплексі зерна сортів Аліот та Еміл.

У 2022 році, за умов помірно сприятливого осіннього періоду (середньодобова температура у вересні-жовтні перевищувала $+7^{\circ}\text{C}$) та м'якої зими з високим сніговим покривом (1476 мм у січні), спостерігалася активна вегетація навесні, хоча березень був відносно прохолодним ($+0,17^{\circ}\text{C}$). Надмірне зволоження у квітні (138,5 мм) могло пригнічувати азотний обмін, особливо в умовах активного вегетативного росту під дією хімічного захисту. Це підтверджується результатами: у сорту Аліот найвищі показники вмісту сирової клейковини (21,9%) та сухого білка (12,3%) спостерігалися у контрольному варіанті, тоді як у варіанті з хімічною системою захисту ці показники знижувалися до 19,9% і 11,5% відповідно. Схожі тенденції відзначено і в сорту Еміл: органічна система захисту сприяла дещо вищому накопиченню білкових речовин порівняно з контролем, тоді як хімічний варіант не забезпечив покращення якості.

У 2023 році погодні умови були менш стабільними. Весна розпочалася пізно, березень характеризувався низькими температурами ($+0,64^{\circ}\text{C}$), а травень – значним дефіцитом опадів (24,6 мм), що створило передумови для водного стресу під час наливу зерна. У цих умовах обидва сорти реагували позитивно на органічну систему захисту: у сорту Аліот зафіксовано зростання вмісту клейковини до 22,65%, а білка – до 12,34%. У сорту Еміл аналогічно

найвищі показники спостерігалися у варіанті з органічним захистом (23,40% клейковини, 12,74% білка). Водночас хімічний захист сприяв лише незначному підвищенню цих параметрів у сорту Аліот і взагалі не покращив якісних показників у сорту Еміл, що свідчить про його обмежену ефективність у стресових умовах 2023 року.

У 2024 році агрометеорологічні умови були найскладнішими за весь період спостережень. Весна характеризувалася низькою кількістю опадів у квітні-травні (32,6 мм у травні), що призвело до обмеження ростових процесів у фазі виходу в трубку. Літній період супроводжувався високими температурами, особливо в липні (середньомісячна температура +21,6 °C), що спричинило скорочення тривалості наливу зерна. У таких умовах сорт Аліот зберіг високу якість зерна лише за умови застосування органічної системи захисту, яка забезпечила найвищий вміст сирогої клейковини (24,55%) і білка (13,17%). Контрольний варіант також забезпечив добрі показники якості (22,42% клейковини, 12,26% білка), тоді як хімічна система захисту зумовила певне зниження білково-клейковинного комплексу (21,64% і 11,94% відповідно). У сорту Еміл органічна система також сприяла підвищенню якісних показників (22,47% клейковини, 12,49% білка), а хімічна – забезпечила помірне зростання цих параметрів порівняно з контролем, хоча й поступалася органічному варіанту.

Рівень вологості ґрунту є одним із ключових факторів, що визначає ефективність азотного обміну в рослинах пшениці, особливо в критичні фази органогенезу та формування якості зерна. Як дефіцит, так і надлишок вологи негативно впливають на активність ферментів, залучених до засвоєння та трансформації азоту, зокрема нітратредуктази та глутамінсинтетази.

У дослідженнях Z. Plaut та інші (1973) встановлено, що за умов підвищеної напруги вологості ґрунту (тобто дефіциту вологи) спостерігається значне пригнічення активності нітратредуктази, що призводить до обмеження редукції нітратів у проростках пшениці, навіть за наявності достатньої кількості доступного нітратного азоту. Це вказує на прямий інгібуючий вплив

вологостресу на ферментативну активність у процесі первинного азотного обміну (Plaut et al., 1973).

У свою чергу, надмірне зволоження в період наливу зерна також пригнічує ключові ферменти азотного метаболізму. Зокрема, результати Z. Xu та Z. Yu (2006) свідчать, що при надмірному поливі в пшениці істотно знижувалася активність як нітратредуктази, так і глутамінсинтетази в листках прапорцевого ярусу та зерні. Це порушувало процеси асиміляції азоту, що, у підсумку, призводило до зниження накопичення білкових сполук у зерні та погіршення його хлібопекарських якостей (Xu and Yu, 2006).

Крім того, Ali та інші (2022) вказують на те, що надлишкова вологість ґрунту сприяє втратам азоту внаслідок вимивання та денітрифікації. Це зменшує кількість доступного мінерального азоту для рослинного метаболізму, що є додатковим чинником зниження ефективності азотного живлення та якості зерна (Ali et al., 2022).

Таким чином, оптимальний рівень вологості ґрунту впродовж вегетаційного періоду, особливо у фазі наливу зерна, є критично важливим для забезпечення ефективного азотного обміну в пшениці. Порушення гідротермічного балансу, як у бік дефіциту, так і в бік надлишку вологи, обумовлює зниження активності ключових ферментів азотного метаболізму, що безпосередньо впливає на якісні показники зерна.

Таким чином, за результатами досліджень встановлено, що якісні показники зерна озимої пшениці формуються в тісному взаємозв'язку з погодними умовами та типом захисту рослин. У роки з надмірним зволоженням (2022) або дефіцитом вологи (2023–2024) сорт Аліот виявив вищу стабільність показників, особливо у контрольному варіанті або при органічному захисті. Сорт Еміл виявив більшу чутливість до гідротермічних умов, зокрема до нестачі вологи в критичні фази розвитку, але реагував позитивно на застосування органічної системи захисту, яка забезпечувала підвищення білково-клейковинного комплексу. Хімічна система захисту, хоча

й ефективна в підвищенні врожайності, виявила обмежену ефективність щодо покращення якісних параметрів зерна в умовах погодного стресу.

Якість зерна озимої пшениці є ключовим показником її господарської цінності та визначається генетичними особливостями сорту, а також впливом агротехнічних заходів, зокрема систем захисту (Hospodarenko et al., 2021). Різні сорти мають специфічні параметри вмісту білка, клейковини, зольності та інших показників, які формують її технологічні властивості (Golea et al., 2023; Golea et al., 2022; Zhygunov et al., 2022). Система захисту, включаючи застосування фунгіцидів, гербіцидів та добрив, сприяє збереженню асиміляційного апарату рослин, що по-різному впливає на процеси накопичення поживних речовин у зерні (Ju et al., 2020; Liu et al., 2021). Вивчення цих аспектів дозволяє визначити оптимальні комбінації сортів і методів захисту для підвищення якісних характеристик врожаю. Дослідження проводилися на сортах Аліот та Еміл (табл. 5.14), що дало змогу оцінити їхню реакцію на органічну та хімічну системи захисту.

Таблиця 5.6

**Якісні показники пшениці озимої
(СНАУ, середні показники за 2022-2024 рр.)**

Елементи структури врожайності	Сорти								НІР _{0,05} (між сортом та системою захисту)
	Аліот				Еміл				
	Варіанти								
	Контроль	Органічна система	Хімічна система	НІР _{0,05} *	Контроль	Органічна система	Хімічна система	НІР _{0,05} *	
Клейковина сира, у %	21,6	22,97	20,78	1,26	20,8	22,05	20,9	1,11	0,65
Білок сухий, у %	12	12,57	11,67	0,26	11,7	12,28	11,79	0,41	0,82
Волога, у %	12,1	12,16	12,18	-	11,9	12,01	12,2	-	-

Примітка: * – НІР 0,05 між системами захисту

Вміст сирової клейковини у зерні сорту Аліот зростав при застосуванні органічної системи (22,97%) порівняно з контролем (21,6%), проте при хімічній системі цей показник зменшувався до 20,78%. У сорту Еміл спостерігалась подібна тенденція: найбільший вміст клейковини зафіксовано при органічній системі (22,05%), у той час, як хімічна система незначно знижувала показник (20,9%) відносно контролю (20,8%).

Вміст сухого білка у зерні змінювався меншою мірою. У сорту Аліот органічна система підвищила цей показник до 12,57% (контроль – 12%), тоді як хімічна система спричинила зменшення до 11,67%. У сорту Еміл аналогічна тенденція: максимальний вміст білка за органічної системи (12,28%), у контрольному варіанті – 11,7%, а при хімічній системі – 11,79%.

Вологість зерна залишалася стабільною незалежно від застосованої системи захисту, варіюючи у межах 12,1–12,18% для сорту Аліот та 11,9–12,2% для сорту Еміл.

Статистична обробка даних підтвердила значний вплив сортових особливостей і систем захисту на урожайність та якість зерна. Найбільш виражені варіації спостерігалися щодо біологічної урожайності та вмісту клейковини, що підтверджено значенням НІР 0,05 між сортами та системами захисту.

Зростання вмісту сирової клейковини та сухого білка в зерні сортів Аліот та Еміл за умов органічної системи захисту зумовлене позитивною дією водного екстракту *Allium sativum* (часнику) на мікробіоту насіння, проростки та фізіологічні процеси рослин. Відомо, що екстракти часнику зменшують розвиток фітопатогенних грибів, покращують схожість насіння та стимулюють ріст рослин (Khamas, 2023; Rozhkova, 2020).

У нашому дослідженні, подібно до результатів Khamas (2023), спостерігалось покращення якості зерна, зокрема підвищення вмісту білка до 12,57% у сорті Аліот і 12,28% у сорті Еміл. Це свідчить про покращення фізіологічного стану рослин і посилення азотного обміну. Подібні висновки були зроблені також Mahmoud et al. (2017), які встановили, що обробка насіння

рослинними біостимуляторами, зокрема екстрактами часнику, сприяє посиленню білкового синтезу в зерні (Khamas, 2023; Mahmoud et al., 2017).

На відміну від цього, застосування хімічної системи захисту (особливо гербіцидів на основі сульфонілсечовин, таких як трибенурон-метил та тифенсульфурон-метил) спричинило зниження вмісту клейковини та білка. Подібний вплив виявлено Zhou et al. (2024), які зазначають, що ці сполуки порушують амінокислотний обмін, інгібують ферменти та знижують синтез білків, а також негативно впливають на ґрунтову мікробіоту. Koscelny et al. (1996) та Ferreira et al. (1990) додатково вказують на зниження маси зерна і продуктивності пшениці після внесення гербіцидів з групи сульфонілсечовин (Zhou et al., 2024; Koscelny et al., 1996; Ferreira et al., 1990).

Використання інсектициду на основі альфа-циперметрину також могло спричинити погіршення фізіологічного стану рослин. У дослідженні Borowik et al. (2023) встановлено, що піретроїди, зокрема циперметрин, викликають окислювальний стрес і порушення росту в кукурудзи, що може бути подібним до впливу на пшеницю (Borowik et al., 2023).

Таким чином, результати підтверджують доцільність застосування органічної системи захисту, яка не тільки зменшує ураження хворобами, а й покращує якісні показники зерна, на відміну від хімічних препаратів, які можуть порушувати метаболізм та мікробіоту ризосфери.

Загалом, органічна система захисту позитивно впливала на якість зерна озимої пшениці, зокрема сприяла підвищенню вмісту сирої клейковини та сухого білка. Хімічна система, навпаки, знижувала ці показники. Вологість зерна не зазнала істотних змін. Сорт Аліот виявився продуктивнішим за показниками якості у порівнянні з сортом Еміл.

Висновки до розділу 5:

1. У 2022 році сорт Аліот на контрольному варіанті сформував кращі генеративні органи, проте найвища біологічна врожайність (10,1 т/га) була досягнута за хімічної системи шляхом збільшення кількості стебел. У 2023 році хімічна система забезпечила вищу М1000 (58,50 г) та врожайність (8,0 т/га), а у 2024 році — М1000 (40,6 г), що була на рівні з контролем та врожайність (5,9 т/га). Органічна система у всі роки знижувала кількісні показники структури врожайності.

2. У 2022 році хімічна система для сорту Еміл забезпечила найвищу врожайність (8,3 т/га) шляхом збільшення кількості стебел. У 2023 році хімічна та органічна системи покращили кількість насінин і врожайність порівняно з контролем. У 2024 році хімічна система залишалась ефективною (4,6 т/га), тоді як контрольний варіант показав мінімальні значення (3,6 т/га). Сорт Еміл виявився більш вразливим до погодних умов, але реагував позитивно на технології захисту.

3. У 2022–2024 роках застосування систем захисту на сорті Аліот загалом знижувало показники структури врожайності — довжину й масу колосу, кількість насінин. Водночас кількість продуктивних стебел зростала: з 81,3 шт (контроль) до 86 шт (органічна) і 102,7 шт (хімічна система), що сприяло збільшенню врожайності до 8,0 т/га в хімічному варіанті. Таким чином, попри зниження структурних показників, приріст продуктивних стебел у хімічному варіанті компенсував ці втрати, забезпечивши вищу врожайність.

4. У 2022–2024 роках системи захисту озимої пшениці сорту Еміл по-різному впливали на структуру врожаю. Хімічна система забезпечила найвищі показники за довжиною колосу, кількістю і масою насіння, кількістю продуктивних стебел та врожайністю (6,5 т/га). Органічна система відзначалася кращими результатами за масою колосу і, особливо, масою 1000 насінин (44,64 г). Отже, хімічна система ефективно підвищує врожайність, тоді як органічна — покращує якість насіння.

5. У 2022 році сорт Аліот демонстрував найвищі показники клейковини (21,9%) та білка (12,3%) у контролі, тоді як у 2023–2024 роках найкращу якість зерна забезпечувала органічна система вирощування — до 24,55% та клейковини та 13,17% білка; хімічна система впродовж усіх років знижувала рівень білково-клейковинного комплексу порівняно з контролем і органікою.

6. У 2022 році сорт Еміл характеризувався покращенням якості зерна в органічній системі порівняно з контролем і хімічною системою, а у 2023–2024 роках органіка стабільно забезпечувала найвищі показники клейковини (до 23,4%) та білка (до 12,74%); хімічна система мала менш виражений вплив на якість зерна, подекуди навіть спричиняючи її зниження.

7. У середньому за три роки найкращі показники вмісту білка (до 12,57% у сорту Аліот і 12,28% у сорту Еміл) та клейковини (до 22,97% і 22,05% відповідно) спостерігались за органічної системи вирощування. Застосування хімічної системи негативно впливало на якість зерна Аліоту, знижуючи її порівняно з іншими варіантами. Натомість у сорту Еміл за хімічної системи якісні показники залишалися на рівні контрольного варіанту. Вологість зерна в усіх випадках залишалася стабільною — у межах 11,9–12,2%.

8. Хоча сорт Еміл краще реагує на застосування різних систем захисту, сорт Аліот відзначається вищою стабільністю та продуктивністю (до 10,1 т/га) за різних умов року та систем захисту, а також кращими показниками якості зерна. Це свідчить про його кращу адаптованість до умов Північно-Східного Лісостепу України.

ВИСНОВКИ

В умовах північно-східного Лісостепу України впродовж 2022-2024 рр. вивчено особливості утворення мікобіоти насіння пшениці озимої залежно від хімічної та органічної системи захисту, показано їх вплив на якість та кількість врожаю, досліджено та порівняно ефективність хімічних та біологічних протруйників щодо грибного комплексу насіння пшениці та мікобіоти ґрунту.

1. Визначено склад мікобіоти насіння пшениці озимої у північно-східному Лісостепу України впродовж 2022-2024 рр., який включає різні роди та види грибів: *A. tenuissima*, *Penicillium* spp., *F. oxysporum*, *Mucor* spp., *M. sitophila*, *A. oryzae*, *A. arundinis*, *Trichoderma* spp., *A. pullulans*, *A. infectoria*, *Curvularia* spp. та *Humicola* spp.

2. Встановлено, що в усі роки досліджень домінуючим видом був *A. tenuissima*, частка якого складала 71,8% - 83,1%. Другим за чисельністю є *F. oxysporum*, частка якого 10,42% - 17,17%.

3. Статистично доведено, що *A. tenuissima* демонструє високу адаптивність і стабільність кількості (від 242 до 461) колоній незалежно від погодних умов, в свою чергу *F. oxysporum* є більш чутливим до змін середовища, це відображається у значних коливаннях його чисельності (від 25 до 92).

4. З'ясовано, що хімічна система захисту ефективно контролює *A. tenuissima* (зменшення на 8,87%) та *F. oxysporum* (на 15,8%), але може призводити до збільшення чисельності *Penicillium* spp. (до 39,6%) та появи *F. sporotrichioides* (9,2%), що вказує на необхідність ретельного моніторингу побічних ефектів хімічних препаратів на мікобіоту насіння.

5. Встановлено, що органічна система захисту ефективно, хоч і меншою мірою, контролює *A. tenuissima* (зменшення на 5,48%), але сприяє зростанню чисельності *Penicillium* spp. (7,4%) та *F. oxysporum* (до 17,17%).

6. Хімічна система захисту сприяла збільшенню кількості продуктивних стебел у сортів Аліот (до 102,7 шт.) та Еміл (до 111 шт.), що

забезпечувало вищу біологічну врожайність (до 10,1 т/га для Аліот у 2022 році та 8,3 т/га для Еміл у 2022 році). Водночас вона знижувала інші елементи структури врожайності, зокрема довжину й масу колосу та кількість насінин на сорті Аліот, тоді як у сорту Еміл хімічна система покращувала довжину колосу, кількість і масу насіння.

7. Доведено, що застосування біологічних протруйників знижує чисельність грибів у насінні озимої пшениці, зокрема *A. tenuissima* та *F. oxysporum*, але в свою чергу, сприяє підвищенню таких родів та видів, як *Mucor* spp. та *A. oryzae*. У ґрунті біологічні протруйники, зокрема штам *B. megaterium*, збільшують чисельність грибів (до $13,5 \times 10^5$ колоній) і бактерій (до $5,9 \times 10^8$), підтримуючи мікробіологічну рівновагу. Біологічні протруйники сприяли розвитку проростків, збільшуючи їх довжину від 0,9 до 2,87 см.

8. Встановлено, що хімічні протруйники ефективно пригнічують більшість представників мікобіоти насіння, повністю елімінуючи *A. tenuissima*, але спричиняють появу бактеріальних колоній, які були відсутні в інших варіантах. Хімічні протруйники у ґрунті, значно знижували чисельність грибів (до $3,8 \times 10^5$ колоній) і бактерій (до $0,9 \times 10^8$) у ґрунті порівняно з контролем ($10,6 \times 10^5$ грибів і $1,6 \times 10^8$ бактерій). Більшість хімічних протруйників, гальмували ріст (від 2,15 до 0,31 см) проростків, за винятком препарату Рекорд, F.C.S., який стимулював ріст.

9. Установлено, що органічна система захисту покращувала масу 1000 насінин у сорту Еміл (до 44,64 г), але загалом знижувала кількісні показники структури врожайності, такі як довжина колосу, маса колосу та кількість насінин, у порівнянні з хімічною системою. У сорту Аліот органічна система збільшувала кількість продуктивних стебел (до 86 шт.), але не компенсувала зниження інших показників, що призводило до нижчої врожайності порівняно з хімічною системою.

10. Доведено, що хімічна система захисту має негативний вплив на якісні показники зерна, знижуючи вміст білка та клейковини у порівнянні з контролем і органічною системою. Для сорту Аліот вміст білка знижувався до

12,3% і клейковини до 21,9% у 2022 році, тоді як у сорту Еміл якісні показники залишалися на рівні контрольного варіанту, але були нижчими за органічну систему.

11. Установлено, що органічна система захисту забезпечує найвищі показники якості зерна, зокрема вміст білка (до 12,57% у сорту Аліот і 12,28% у сорту Еміл) та клейковини (до 22,97% (Аліот) і 22,05% (Еміл)) у 2023–2024 роках, що свідчить про її перевагу в покращенні білково- клейковинного комплексу порівняно з хімічною системою та контролем.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ:

1. Для вирощування пшениці озимої в умовах Північно-Східного Лісостепу України рекомендується використовувати сорт Аліот завдяки стабільності його мікобіоти, високій врожайності (до 10,1 т/га) та кращій адаптованості до місцевих агроекологічних умов.
2. Для зниження чисельності патогенних грибів, зокрема *A. tenuissima* та *F. oxysporum*, рекомендується застосовувати хімічні протруйники, такі як Тебузан Ультра, F.C.S., які ефективно пригнічують фітопатогени та підвищують ріст проростків, але слід враховувати їхній вплив на мікробіологічний баланс ґрунту.
3. Для підтримання мікробіологічної рівноваги в ґрунті та насінні, а також стимулювання росту проростків доцільно застосовувати біологічні препарати, зокрема Віолар, ВЕ та штам *Bacillus megaterium*, які ефективно контролюють патогенні види грибів.
4. Для забезпечення високої якості зерна (вміст білка та клейковини) рекомендується застосовувати органічну систему захисту, особливо для сорту Аліот, яка забезпечує стабільно високі показники (клейковина до 24,55%, білок до 13,17%).
5. Рекомендується проводити регулярний моніторинг мікобіоти насіння та ґрунту для своєчасного виявлення змін у видовому складі та чисельності грибів, що дозволить адаптувати системи захисту до конкретних умов року та сорту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Abdel-Kader, M., Moubasher, A., & Abdel-Hafez, S. (1978). Selective effects of five pesticides on soil and cotton-rhizosphere and -rhizoplane fungus flora. *Mycopathologia*, 66, 117–123. <https://doi.org/10.1007/BF00429603>
2. Abdelsalam, S., Mugwanya, M., Gad, A., & Basyony, A. (2024). Deciphering the wheat seed core mycobiome of two Egyptian cultivars (Giza 171 and Sids 14) by using high throughput amplicon sequencing of the ITS2 region. *Journal of Plant Pathology*. <https://doi.org/10.1007/s42161-024-01689-x>
3. Abdel-Wahab, S., Aioub, A., Salem, R., & El-Sobki, A. (2021). Do the herbicides pinoxaden, tribenuron-methyl, and pyroxsulam influence wheat (*Triticum aestivum* L.) physiological parameters? *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 51961–51970. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14390-8>
4. Afkhami, M. E., & Rudgers, J. A. (2008). Symbiosis lost: Imperfect vertical transmission of fungal endophytes in grasses. *The American Naturalist*, 172(3), 405–416. <https://doi.org/10.1086/589893>
5. Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology* (5th ed.). Elsevier.
6. Aguilera, P., Cornejo, P., Borie, F., Barea, J., Baer, E., & Oehl, F. (2014). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Triticum aestivum* L. plants growing in an Andosol with high aluminum level. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 186, 178–184. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.01.029>
7. Ali, N., & Akmal, M. (2022). Wheat growth, yield, and quality under water deficit and reduced nitrogen supply: A review. *Gesunde Pflanzen*, 74, 371–383. <https://doi.org/10.1007/s10343-021-00615-w>
8. Alisaac, E., & Mahlein, A. (2023). Fusarium Head Blight on wheat: Biology, modern detection and diagnosis and integrated disease management. *Toxins*, 15(3), Article 192. <https://doi.org/10.3390/toxins15030192>
9. Al-Latif, M. (2022). Impact of chemical herbicides to bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.). *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*. <https://doi.org/10.36103/ijas.v53i1.1512>

10. Al-Sadi, A. (2021). *Bipolaris sorokiniana*-induced black point, common root rot, and spot blotch diseases of wheat: A review. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 11, 584899. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.584899>
11. Amadou, A., Song, A., Tang, Z., Li, Y., Wang, E., Lu, Y., Liu, X., Yi, K., Zhang, B., & Fan, F. (2020). The effects of organic and mineral fertilization on soil enzyme activities and bacterial community in the below- and above-ground parts of wheat. *Agronomy*, 10(10), 1452. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101452>
12. Amons, S. (2022). Biological protection of plants in the system of organic farming. *Agriculture and Forestry*, 2, Article 13. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2022-2-13>
13. Andersen, B. F. (2011). Associations between fungal species and water-damaged building materials. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(12), 4180–4188. <https://doi.org/10.1128/AEM.02513-10>
14. Andersen, B., Krøger, E., & Roberts, R. G. (2002). Chemical and morphological segregation of *Alternaria arborescens*, *A. infectoria*, and *A. tenuissima* species-groups. *Mycological Research*, 106(2), 170–182. <https://doi.org/10.1017/S0953756201005263>
15. Araujo, R., Dunlap, C., Barnett, S., & Franco, C. (2019). Decoding wheat endosphere–rhizosphere microbiomes in *Rhizoctonia solani*–infested soils challenged by *Streptomyces* biocontrol agents. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1038. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01038>
16. Asaturova, A., Zhevnova, N., Tomashevich, N., Sidorova, T., Homyak, A., Dubyaga, V., Nadykta, V., Zharikov, A., Kostyukevich, Y., & Tupertsev, B. (2022). Evaluation of *Bacillus velezensis* biocontrol potential against *Fusarium* fungi on winter wheat. *Agronomy*, 12(8), 1956. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081956>
17. Aspergillus & Penicillium Taxonomy. (2025, February 12). *Generic descriptions*. <https://www.aspergilluspenicillium.org>

18. Asyakina, L., Serazetdinova, Y., Frolova, A., Fotina, N., Neverova, O., & Petrov, A. (2023). Antagonistic activity of extremophilic bacteria against phytopathogens in agricultural crops. *Food Processing: Techniques and Technology*. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2457>
19. Attiq-Ur-Rahman, A., Riffat, T., Aqleem, A., Shahid, I., Israr, A., & Waseem, A. (2018). Screening of wheat germplasm for seed associated fungi in geographical areas of Pakistan. *African Journal of Agricultural Research*, 13(5), 258–271. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9825>
20. Aydoğdu, H. (2016). Edirne İlinde hasat sonrası depolanmış buğdaylar üzerinde taşınan mikrofungusların izolasyon ve identifikasyonu. *Akademik Gıda*, 14(4), 362–367.
21. Ayesha, M., Suryanarayanan, T., Nataraja, K., Prasad, S., & Shaanker, R. (2021). Seed treatment with systemic fungicides: Time for review. *Frontiers in Plant Science*, 12, 654512. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.654512>
22. Aylor, D. (1986). A framework for examining inter-regional aerial transport of fungal spores. *Agricultural and Forest Meteorology*, 38, 263–288. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(86\)90017-1](https://doi.org/10.1016/0168-1923(86)90017-1)
23. Azarbad, H., Tremblay, J., Giard-Laliberté, C., Bainard, L., & Yergeau, É. (2020). Four decades of soil water stress history together with host genotype constrain the response of the wheat microbiome to soil moisture. *FEMS Microbiology Ecology*. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiaa098>
24. Babin, D., Deubel, A., Jacquiod, S., Sørensen, S., Geistlinger, J., Grosch, R., & Smalla, K. (2019). Impact of long-term agricultural management practices on soil prokaryotic communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 129, 17–18. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.11.002>
25. Bacon, C. W., Hinton, D. M., & Hinton, A. (2001). Biological control of *Fusarium moniliforme* in maize. *Environmental Health Perspectives*, 109(Suppl 2), 325–332. <https://doi.org/10.1289/EHP.01109S2325>

26. Bagherabadi, S. D. (2014). First report of leaf spot caused by *Arthrimum arundinis* on rosemary in Iran. *Journal of Plant Pathology*, 96, 4–126. <https://doi.org/10.4454/JPP.V96I4.017>
27. Bai, H., Liu, M., Jing, Y., Li, Y., Chen, S., Xue, G., Wang, J., Suo, Q., & Jiang, W. (2024). Effects of organic fertilizer with different degrees of maturity on bacteria in saline–alkali soil. *Agronomy*, 14(6), 1148. <https://doi.org/10.3390/agronomy14061148>
28. Baker, S. A. (2007). Overview of the genus *Aspergillus*. In M. M. Gomi (Ed.), *Aspergillus: Molecular biology and genomics* (pp. [relevant pages]). Boca Raton, FL: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420008517-6>
(Примітка: якщо відомі сторінки глави — вкажіть їх)
29. Bakšinskaitė, A., Doyeni, M., & Tilvikienė, V. (2024). Influence of *Artemisia dubia* Wall and pig manual digestate on winter wheat productivity and grain quality. *Agriculture*, 14(10), 1819. <https://doi.org/10.3390/agriculture14101819>
30. Bankina, B., Bimšteine, G., Neusa-Luca, I., Roga, A., & Fridmanis, D. (2017). What influences the composition of fungi in wheat grains. *Acta Agrobotanica*, 70. <https://doi.org/10.5586/AA.1726>
31. Bardin, M., Ajouz, S., Comby, M., López-Ferber, M., Graillot, B., Siegwart, M., & Nicot, P. (2015). Is the efficacy of biological control against plant diseases likely to be more durable than that of chemical pesticides? *Frontiers in Plant Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00566>
32. Baudy, P. Z., Schäfer, D., & Wagg, C. (2021). Environmentally relevant fungicide levels modify fungal community composition and interactions but not functioning. *Environmental Pollution*, 285, 117234. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117234>
33. Becker, L., & Cubeta, M. (2024). The contribution of beneficial wheat seed fungal communities beyond disease-causing fungi: Advancing heritable mycobiome-based plant breeding. *Environmental Microbiology Reports*, 16. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.70004>

34. Becker, L., Hawkes, C., Heiniger, R., & Cubeta, M. (2024). Stability of the wheat seed mycobiome across North Carolina's longitudinal gradient. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2024.02.22.581680>
35. Becker, L., Marshall, D., & Cubeta, M. (2024). A synergistic culture dependent and independent approach reveals a conserved wheat seed mycobiome. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2024.02.22.581674>
36. Behie, S. W., Zelisko, P. M., & Bidochka, M. J. (2012). Endophytic insect-parasitic fungi translocate nitrogen directly from insects to plants. *Science*, 336(6088), 1576–1577. <https://doi.org/10.1126/science.1222289>
37. Behr, J., Kuhl-Nagel, T., Sommermann, L., Moradtalab, N., Chowdhury, S., Schlöter, M., Windisch, S., Schellenberg, I., Maccario, L., Sörensen, S., Rothballer, M., Geistlinger, J., Smalla, K., Ludewig, U., Neumann, G., Grosch, R., & Babin, D. (2024). Long-term conservation tillage with reduced nitrogen fertilization intensity can improve winter wheat health via positive plant–microorganism feedback in the rhizosphere. *FEMS Microbiology Ecology*, 100. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiae003>
38. Beijen, E., Van Maanen, M., Marian, I., Klusener, J., Van Roosmalen, E., Herman, K., Koster, M., & Ohm, R. A. (2024). Transcriptomics reveals the regulation of the immune system of the mushroom-forming fungus *Schizophyllum commune* during interaction with four competitors. *Microbiological Research*, 289, 127929. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2024.127929>
39. Berestetskiy, A. O. (2008). Modern approaches in studying mechanisms of antagonistic action in *Trichoderma* species. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 44(5), 453–465. <https://doi.org/10.1134/S0003683808050013>
40. Beznosko, I., Parfenyuk, A., Gorgan, T., Gavrilyuk, L., & Turovnik, Y. (2021). Ecological significance of winter wheat varieties in phytosanitary optimization of agroecosystems. *Agrobiologîâ*, 163(1), 180–187. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2021-163-1-180-187>
41. Bezpal'ko, V. V., Ovcharenko, M. M., Panas, I. M., & Shkvirko, O. M. (2021). Pre-sowing treatment of winter wheat and spring barley seeds with the

extremely high frequencies electromagnetic field. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11(1), 62–71. https://doi.org/10.15421/2021_9

42. Biliavska, L. O., Bilousova, Z., Stankevych, S. V., Zhukova, L. V., & Turenko, V. P. (2023). *Determination of biological activity of soils affected by military actions*. D.K. Zabolotny Institute of Microbiology and Virology, National Academy of Sciences of Ukraine.

43. Bissett, J. (1984). A revision of the genus *Trichoderma*. I. Section *Longibrachiatum* sect. nov. *Canadian Journal of Botany*, 62(5), 924–931. <https://doi.org/10.1139/b84-131>

44. Bogach, M., Paliy, A., Bohach, D., Kovalenko, L., Selishcheva, N., Ganova, L., Stegnyy, B., Pavlichenko, O., & Vovk, D. (2024a). Influence of weather conditions on contamination of grain fodder by micromycetes in the northwestern Black Sea region of Ukraine. *Mikrobiolohichni Zhurnal*, 86(5), 75–85. <https://doi.org/10.15407/microbiolj86.05.075>

45. Bogach, M., Selishcheva, N., Bogach, D., Yaroshenko, M., Paliy, A., Keleberda, M., Stegnyy, A., Mogilyovskyy, V., & Doletskyi, S. (2024b). The impact of military actions on the contamination of grain fodder with micromycetes in the south of Ukraine. *Veterinary Medicine: Inter-departmental Subject Scientific Collection*, 110, 30–36. <https://doi.org/10.36016/vm-2024-110-30>

46. Booth, R., & Taylor, G. (1976). Fusarium diseases of cereals: X. Straw debris as a source of inoculum for infection of wheat by *Fusarium nivale* in the field. *Transactions of the British Mycological Society*, 66(1), 71–75. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(76\)80094-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(76)80094-0)

47. Borowik, A., Wyszowska, J., Zaborowska, M., & Kucharski, J. (2023). The impact of permethrin and cypermethrin on plants, soil enzyme activity, and microbial communities. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(3), 2892. <https://doi.org/10.3390/ijms24032892>

48. Borrell, A., Borrell, A., Shi, Y., Gan, Y., Bainard, L., Germida, J., Hamel, C., & Hamel, C. (2017). Fungal diversity associated with pulses and its

influence on the subsequent wheat crop in the Canadian prairies. *Plant and Soil*, 414(1), 13–31. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-3075-y>

49. Borysenko, V., Antonenko, S., Shpak, B., Omelchuk, S., & Bardov, V. (2021). Hygienic evaluation of the most common methods of agricultural crops treatment with chemical protection products (literature review). *Medicni perspektivi (Medical perspectives)*, 3, 241913. <https://doi.org/10.26641/2307-0404.2021.3.241913>

50. Borzykh, O., Bublyk, L., Hunchak, M., Gavrylyuk, L., Shevchuk, O., & Vlasova, O. (2023). Ecotoxicological parameters of the application of biopesticides, development and adaptation of biological systems of apple protection against pests and diseases to the soil-climatic and phytosanitary conditions of the agroecose. *Interdepartmental Thematic Scientific Collection of Plant Protection and Quarantine*. <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2022.68.3-26>

51. Brokenshire, T. (1975). Wheat debris as an inoculum source for seedling infection by *Septoria tritici*. *Plant Pathology*, 24(4), 202–207. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1975.tb01895.x>

52. Bueren, E. T. L. van, Jones, S. S., Tamm, L., Murphy, K. M., Myers, J. R., Leifert, C., & Messmer, M. M. (2011). The need to breed crop varieties suitable for organic farming, using wheat, tomato and broccoli as examples: A review. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 58, 193–205. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2010.04.001>

53. Buttner, M. P., Cruz-Perez, P., Garrett, P. J., & Stetzenbach, L. D. (1999). Dispersal of fungal spores from three types of air handling system duct material. *Aerobiologia*, 15, 1–8. <https://doi.org/10.1023/A:1007513303358>

54. Cabañas, R., Bragulat, M., Abarca, M., Castellá, G., & Cabañas, F. (2008). Occurrence of *Penicillium verrucosum* in retail wheat flours from the Spanish market. *Food Microbiology*, 25(5), 642–647. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2008.04.003>

55. Carlsen, M. A. (1996). Morphology and physiology of an α -amylase producing strain of *Aspergillus oryzae* during batch cultivations. *Biotechnology and*

Bioengineering, 49(3), 266–276. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0290\(19960205\)49:3<266::AID-BIT4>3.0.CO;2-I](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0290(19960205)49:3<266::AID-BIT4>3.0.CO;2-I)

(Уточнено сторінки: стаття починається з 266, не з 76)

56. Castañares, E., Cabral, L., Dinolfo, M., Andersen, B., Stenglein, S., & Patriarca, A. (2021). *Alternaria* in malting barley: Characterization and distribution in relation with climatic conditions and barley cultivars. *International Journal of Food Microbiology*, 357, 109367. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109367>

57. Chandra, P., Kumari, P., Kaur, J., & Sharma, S. (2022). Response of wheat cultivars to organic and inorganic nutrition: Effect on the yield and soil biological properties. *Sustainability*, 14(15), 9578. <https://doi.org/10.3390/su14159578>

58. Chang, J., Shi, Y., Si, G., Yang, Q., Dong, J., & Chen, J. (2020). The bioremediation potentials and mercury(II)-resistant mechanisms of a novel fungus *Penicillium* spp. DC-F11 isolated from contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials*, 396, 122638. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122638>

59. Chen, D., Chen, X., Jia, C., Wang, Y., Yang, L., & Hu, X. (2021). Effects of precipitation and microorganisms on persistence of buried seeds: A case study of 11 species from the Loess Plateau of China. *Plant and Soil*, 467, 181–195. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-04990-1>

60. Chen, X., He, Y., He, A., He, J., Li, Q., Zhang, J., & Du, L. (2021). *Alternaria tenuissima* causing leaf spot disease on *Amygdalus triloba* in Xinjiang of China. *Plant Disease*, 105(3), 705. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-20-1244-PDN>

61. Cheng, H., Zhang, D., Huang, B., Song, Z., Ren, L., Hao, B., Liu, J., Zhu, J., Fang, W., Yan, D., Li, Y., Wang, Q., & Cao, A. (2020). Organic fertilizer improves soil fertility and restores the bacterial community after 1,3-dichloropropene fumigation. *Science of the Total Environment*, 738, 140345. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140345>

62. Cilia, N., & Kandris, I. (2023). Training in the evaluation of pesticides (plant protection products and active substances) according to Regulation (EC) No

1107/2009. *EFSA Journal*, 21, Article e211007.
<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.e211007>

63. Clay, K., & Schardl, C. (2002). Evolutionary origins and ecological consequences of endophyte symbiosis with grasses. *The American Naturalist*, 160(S4), S99–S127. <https://doi.org/10.1086/342161>

64. Cobo-Díaz, J., Legrand, F., Floch, L., & Picot, A. (2021). Influence of maize residues in shaping soil microbiota and *Fusarium* spp. communities. *Microbial Ecology*, 83, 702–713. <https://doi.org/10.1007/s00248-021-01797-6>

65. Colla, G., Roupael, Y., Bonini, P., & Cardarelli, M. (2015). Coating seeds with endophytic fungi enhances growth, nutrient uptake, yield and grain quality of winter wheat. *International Journal of Plant Production*, 9(2), 171–189. <https://doi.org/10.22069/IJPP.2015.2042>

66. Cook, R. J., Weller, D. M., El-Banna, A. Y., Vakoch, D. L., & Zhang, H. (2002). Yield responses of direct-seeded wheat to rhizobacteria and fungicide seed treatments. *Plant Disease*, 86(7), 780–784. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2002.86.7.780>

67. Ćosić, J., Vrandečić, K., Šimić, B., Poštić, J., & Baličević, R. (2008). *Fusarium* species isolated from plant debris in eastern Croatia. *Cereal Research Communications*, 36(Suppl. 1), 55–58. <https://doi.org/10.1556/CRC.36.2008.SUPPL.1>

68. Cruz-Paredes, C., Tájmél, D., & Rousk, J. (2023). Variation in temperature dependences across Europe reveals the climate sensitivity of soil microbial decomposers. *Applied and Environmental Microbiology*, 89. <https://doi.org/10.1128/aem.02090-22>

69. Curk, M., & Trdan, S. (2024). Benefiting from complexity: Exploring enhanced biological control effectiveness via the simultaneous use of various methods for combating pest pressure in agriculture. *Agronomy*, 14(1), 199. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010199>

70. Da Cruz Cabral, L., Delgado, J., Patriarca, A., & Rodríguez, A. (2019). Differential response to synthetic and natural antifungals by *Alternaria tenuissima*

in wheat simulating media. *International Journal of Food Microbiology*, 292, 48–

55. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.12.005>

71. Da Cruz Cabral, L., Fernández Pinto, V., & Patriarca, A. (2019). *Alternaria* species and their associated mycotoxins in food products. *Current Opinion in Food Science*, 29, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.05.003>

72. Dahiya, A., Chahar, K., & Sindhu, S. (2020). The rhizosphere microbiome and biological control of weeds: A review. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 17(4), 17. <https://doi.org/10.5424/sjar/2019174-15073>

73. Dayan, F. E. (2009). Natural products in crop protection. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 17(12), 4022–4034. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2009.01.046>

74. Deguine, J., Aubertot, J., Flor, R., Lescourret, F., Wyckhuys, K., & Ratnadass, A. (2021). Integrated pest management: Good intentions, hard realities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00689-w>

75. Deihimfard, R., Zand, E., Damghani, A., & Soufizadeh, S. (2007). Herbicide risk assessment during the wheat self-sufficiency project in Iran. *Pest Management Science*, 63(10), 1036–1045. <https://doi.org/10.1002/ps.1432>

76. Dela Cruz, J. C., & Friese, C. (2022). Sub-lethal fungicide concentrations both reduce and stimulate the growth rate of non-target soil fungi from a natural grassland. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1020465. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1020465>

77. Demydov, O., Hudzenko, V., Pravdziva, I., Siroshtan, A., Volohdina, H., Zaima, O., & Suddenko, Y. (2022). Manifestation and variability level of yield and grain quality indicators in winter bread wheat depending on natural and anthropogenic factors. *Romanian Agricultural Research*, (39). <https://doi.org/10.59665/rar3917>

78. Deng, Y., Liu, R., Wang, Z., Zhang, L., Yu, S., Zhou, Z., & Diao, J. (2021). The stereoselectivity of metconazole on wheat grain filling and harvested seeds germination: Implication for the application of triazole chiral pesticides.

Journal of Hazardous Materials, 416, 125911.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125911>

79. Di Francesco, A., Zajc, J., & Stenberg, J. (2023). *Aureobasidium* spp.: Diversity, versatility, and agricultural utility. *Horticulturae*, 9(1), 59. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010059>

80. Dolhalova, Y., Burdeynyuk-Tarasevych, L., Zozulya, O., Lozinskyi, M., Hrytsev, O., & Buzynnyi, M. (2022). Investigation of species composition of the fungi of the *Fusarium* genus and the resistance of the Chornobyl radio-mutants to fusarium head blight for the purposes of winter wheat. *Agricultural Science and Practice*, 9(2), 51–61. <https://doi.org/10.15407/agrisp9.02.051>

81. Dong, F., Chen, X., Lei, X., Wu, D., Zhang, Y., Lee, Y., Mokoena, M., Li, Y., Shen, G., Liu, X., Xu, J., & Shi, J. (2022). Effect of crop rotation on *Fusarium* mycotoxins and *Fusarium* species in cereals in Sichuan Province (China). *Plant Disease*. <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-22-0024-RE>

82. Dong, F., Qiu, J., Xu, J., Yu, M., Wang, S., Sun, Y., Zhang, G., & Shi, J. (2016). Effect of environmental factors on *Fusarium* population and associated trichothecenes in wheat grain grown in Jiangsu Province, China. *International Journal of Food Microbiology*, 230, 58–63. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.04.020>

83. Dong, W., Liu, E., Yan, C., Tian, J., Zhang, H., & Zhang, Y. (2017). Impact of no tillage vs. conventional tillage on the soil bacterial community structure in a winter wheat cropping succession in northern China. *European Journal of Soil Biology*, 80, 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2017.03.001>

84. Dorrian, K., Mkhabela, M., Sapirstein, H., & Bullock, P. (2024). Effects of genotype, weather, FHB fungicide and pre-harvest glyphosate on grain quality of hard red spring wheat in Western Canada. *Canadian Journal of Plant Science*. <https://doi.org/10.1139/cjps-2023-0151>

85. Driesche, R., Carruthers, R., Hoddle, M., Hough-Goldstein, J., Morin, L., Smith, L., Wagner, D., Blossey, B., Brancatini, V., Casagrande, R., ... & Klinken, R. (2010). Classical biological control for the protection of natural ecosystems.

- Biological Control*, 54, 1–33.
<https://doi.org/10.1016/J.BIOCONTROL.2010.03.003>
86. Duan, C., Wang, X., Zhu, Z., & Wu, X. (2007). Testing of seedborne fungi in wheat germplasm conserved in the National Crop Genebank of China. *Agricultural Sciences in China*, 6(6), 682–687. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(07\)60100-X](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(07)60100-X)
87. Dzham, M., & Mykhailenko, S. (2021). Species composition of *Fusarium* spp. on winter wheat in the Right Bank Polissya of Ukraine. *Interdepartmental Thematic Scientific Collection of Plant Protection and Quarantine*, (67), 131–139. <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2021.67.131-139>
88. El-Gremi, S. M.-E., El-Hassan, M. M., & El-Shahawy, T. A. (2017). Biological control of pathogens associated with kernel black point disease of wheat. *Crop Protection*, 91, 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.08.034>
89. Eser, Ü., Kansu, B., & Tunali, B. (2024). Mycoflora of stored wheat in Bafra District of Samsun Province. *Journal of Agricultural Production*. <https://doi.org/10.56430/japro.1484041>
90. Fang, K., Zhang, Y., Feng, J., Wu, X., & He, X. (2021). Virulence and community dynamics of fungal species with vertical and horizontal transmission on a plant with multiple infections. *PLoS Pathogens*, 17(4), e1009769. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1009769>
91. Feledyn-Szewczyk, B., Cacak-Pietrzak, G., Lenc, L., & Stalenga, J. (2020). Rating of spring wheat varieties (*Triticum aestivum* L.) according to their suitability for organic agriculture. *Agronomy*, 10(12), 1900. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121900>
92. Feng, C., Xu, F., Li, L., Zhang, J., Wang, J., Li, Y., Liu, L., Han, Z., Shi, R., Wan, X., & Song, Y. (2023). Biological control of *Fusarium* crown rot of wheat with *Chaetomium globosum* 12XP1-2-3 and its effects on rhizosphere microorganisms. *Frontiers in Microbiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1133025>

93. Fernandes, L., Paiva, D. S., Roxo, I., Fernandes, A. R., Ribeiro, D., Ribeiro, H., & Portugal, A. (2023). Development of new preventive strategies for pine pitch canker caused by *Fusarium circinatum* in irrigation water and evaluation in a real nursery context. *Forests*, 14(3), 443. <https://doi.org/10.3390/f14030443>
94. Fernandez, M., & Chen, Y. (2005). Pathogenicity of *Fusarium* species on different plant parts of spring wheat under controlled conditions. *Plant Disease*, 89(2), 164–169. <https://doi.org/10.1094/PD-89-0164>
95. Ferreira, K., Baker, T., & Peeper, T. (1990). Factors influencing winter wheat (*Triticum aestivum*) injury from sulfonylurea herbicides. *Weed Technology*, 4(3), 724–730. <https://doi.org/10.1017/S0890037X00026294>
96. Fitt, B. D. L., McCartney, H. A., & Walklate, P. J. (1989). The role of rain in dispersal of pathogen inoculum. *Annual Review of Phytopathology*, 27, 241–270. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.27.1.241>
97. Flors, V., Kyndt, T., Mauch-Mani, B., Pozo, M., Ryu, C., & Ton, J. (2024). Enabling sustainable crop protection with induced resistance in plants. *Frontiers in Science*. <https://doi.org/10.3389/fsci.2024.1407410>
98. Francioli, D., Cid, G., Hajirezaei, M., & Kolb, S. (2022). Response of the wheat mycobiota to flooding revealed substantial shifts towards plant pathogens. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1028153>
99. Francioli, D., Schulz, E., Lentendu, G., Wubet, T., Buscot, F., & Reitz, T. (2016). Mineral vs. organic amendments: Microbial community structure, activity and abundance of agriculturally relevant microbes are driven by long-term fertilization strategies. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1446. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01446>
100. Gagkaeva, T. Y., Gavrilova, O. P., & Yli-Mattila, T. (2011). Mycobiota of wheat grain and its role in quality and safety. *Prilozheniya k zhurnalu «Zaschita i karantin rasteniy»*, (5), 120. (Без DOI — друковане джерело)
101. Gao, R., Duan, Y., Zhang, J., Ren, Y., Li, H., Liu, X., Zhao, P., & Jing, Y. (2022). Effects of long-term application of organic manure and chemical fertilizer on soil properties and microbial communities in the agro-pastoral ecotone of North

China. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 993973.
<https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.993973>

102. Garcia, A., Lee, S., & Courtney, P. (2023). Dimorphism and pathogenesis in *Mucor* species. *Evolution of Fungi and Fungal-Like Organisms*, 14, 99–101.

103. Gaspareto, R., Jalal, A., Ito, W., Oliveira, C., De Paula Garcia, C., Boleta, E., Rosa, P., Galindo, F., Buzetti, S., Ghaley, B., & Filho, M. (2023). Inoculation with plant growth-promoting bacteria and nitrogen doses improves wheat productivity and nitrogen use efficiency. *Microorganisms*, 11(4).
<https://doi.org/10.3390/microorganisms11041046>

104. Getahun, M. F. (2024). Resistance of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties to fusarium head blight (*Fusarium graminearum*) in Ethiopia. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 7, e20531.
<https://doi.org/10.1002/agg2.20531>

105. Golea, C., Codină, G., & Oroian, M. (2022). Prediction of wheat flours composition using Fourier transform infrared spectrometry (FT-IR). *Food Control*, 135, 109318. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109318>

106. Golea, C., Stroe, S., Gâtlan, A., & Codină, G. (2023). Physicochemical characteristics and microstructure of ancient and common wheat grains cultivated in Romania. *Plants*, 12, 1138. <https://doi.org/10.3390/plants12112138>

107. Gqozo, M., Bill, M., Siyoum, N., Labuschagne, N., & Korsten, L. (2020). Fungal diversity and community composition of wheat rhizosphere and non-rhizosphere soils from three different agricultural production regions of South Africa. *Applied Soil Ecology*, 151, 103543.
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103543>

108. Grabka, R., et al. (2022). Fungal endophytes and their role in agricultural plant protection against pests and pathogens. *Plants*, 11(3), 384.
<https://doi.org/10.3390/plants11030384>

109. Grabovskiy, M., Fedoruk, Y., Pravdyva, L., Grabovska, T., Kurylo, V., & Fedoruk, N. (2018). Influence of agrotechnical and chemical measures on

weediness in sweet sorghum crops (*Sorghum bicolor*) and the output of biogas. *Eurasian Journal of Biosciences*, 12, 347–353.

110. Grishina, D. (2024). The use of biological products to increase the yield and quality of grain. In *International Forum "Youth in Agricultural Sector"* (pp. 64–68). <https://doi.org/10.23947/young.2024.64-68>

111. Gruet, C., Muller, D., & Moënne-Loccoz, Y. (2022). Significance of the diversification of wheat species for the assembly and functioning of the root-associated microbiome. *Frontiers in Microbiology*, 12, 782135. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.782135>

112. Gu, L., Bai, Z., Jin, B., Hu, Q., Wang, H., Zhuang, G., & Zhang, H. (2010). Assessing the impact of fungicide enostroburin application on bacterial community in wheat phyllosphere. *Journal of Environmental Sciences*, 22(1), 134–141. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60084-X](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60084-X)

113. Gupta, A., Singh, U., Sahu, P., Paul, S., Kumar, A., Malviya, D., ... Saxena, A. (2022). Linking soil microbial diversity to modern agriculture practices: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5), 3141. <https://doi.org/10.3390/ijerph19053141>

114. Hadzalo, Y., Vozhegova, R., & Likar, Y. (2024). Productivity of winter wheat varieties depending on various plant protection schemes in the Southern Steppe. *Agriculture and Forestry*, 4, 9. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2024-4-9>

115. Hamaiunova, V., Smirnova, I., Yevtushenko, O., & Baklanova, T. (2023). Varieties and resource-saving elements of winter wheat growing technology as a west of grain production. *The Scientific Journal Grain Crops*. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0243>

116. Hansen, V., Bonnicksen, L., Nunes, I., Sexlinger, K., Lopez, S., Van Der Bom, F., Nybroe, O., Nicolaisen, M., & Jensen, L. (2019). Seed inoculation with *Penicillium bilaiae* and *Bacillus simplex* affects the nutrient status of winter wheat. *Biology and Fertility of Soils*, 56, 97–109. <https://doi.org/10.1007/s00374-019-01401-7>

117. Haq, I., Sarwar, M., Faraz, A., & Latif, M. (2020). Synthetic chemicals: Major component of plant disease management. In *Sustainability in Plant and Crop Protection* (pp. 41–56). https://doi.org/10.1007/978-3-030-35955-3_4
118. Hasanova, I., Nozdrina, N., Yerashova, M., & Pedash, O. (2022). Influence of weather conditions and varietal characteristics on the formation of structural elements of soft winter wheat yield in the Northern Steppe. *The Scientific Journal Grain Crops*. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0210>
119. Hilton, S., Bennett, A., Chandler, D., Mills, P., & Bending, G. (2018). Preceding crop and seasonal effects influence fungal, bacterial and nematode diversity in wheat and oilseed rape rhizosphere and soil. *Applied Soil Ecology*, 126, 34–46. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.02.007>
120. Hodgson, S., de Cates, C., Hodgson, J., Morley, N. J., & Gange, A. C. (2014). Vertical transmission of fungal endophytes is widespread in forbs. *Ecology and Evolution*, 4(7), 1199–1208. <https://doi.org/10.1002/ece3.953>
121. Holman, J., Obour, A., O'Brien, D., & Assefa, Y. (2023). Historic winter wheat yield, production, and economic value trends in Kansas, the “Wheat State”. *Crop Science*. <https://doi.org/10.1002/csc2.21171>
122. Holosna, L. (2021). Black point of winter wheat seeds. *Karantin i zahist roslin*. <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2021.3.13-17>
123. Holzapfel, W., Geisen, R., & Schillinger, U. (1995). Biological preservation of foods with reference to protective cultures, bacteriocins and food-grade enzymes. *International Journal of Food Microbiology*, 24(3), 343–362. [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(94\)00036-6](https://doi.org/10.1016/0168-1605(94)00036-6)
124. Hospodarenko, H., Liubych, V., Riabovol, Y., & Kochovska, I. (2021). Yield and grain quality of baking winter wheat of different varieties. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*. <https://doi.org/10.47414/np.29.2021.244457>
125. Hrynko, I., Kaczyński, P., Łuniewski, S., & Łozowicka, B. (2023). Removal of triazole and pyrethroid pesticides from wheat grain by water treatment

- and ultrasound-supported processes. *Chemosphere*, 338, 138890.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138890>
126. Hrytsev, O., Zozulia, O., Vorobiova, N., & Skivka, L. (2018). Monitoring of species composition of fungi of the genus *Fusarium* in seed materials of winter wheat on Ukrainian territory. *Microbiology & Biotechnology*, 2(42).
[https://doi.org/10.18524/2307-4663.2018.2\(42\).134443](https://doi.org/10.18524/2307-4663.2018.2(42).134443)
127. Hrytsiuk, N., Bakalova, A., Ivaschenko, I., & Kotkova, T. (2023). Technology of protection of winter wheat from harmful biota in the Northern Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Horizons*, 48.
<https://doi.org/10.48077/scihor3.2023.48>
128. Huded, S., Savadatti, E. H., Deb, L., Borah, A., Singh, V., & Panigrahi, C. (2023). Examining modern strategies for effective and sustainable agricultural plant protection techniques: A review. *International Journal of Environment and Climate Change*. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i113285>
129. Hurdeal, V. G. (2021). Novel *Mucor* species (Mucoromycetes, Mucoraceae) from Northern Thailand. *MycoKeys*, 84, 57–78.
<https://doi.org/10.3897/mycokeys.84.71530>
130. Ikram, M., Ali, N., Jan, G., Jan, F., Rahman, I., Iqbal, A., & Hamayun, M. (2018). IAA producing fungal endophyte *Penicillium roqueforti* Thom. enhances stress tolerance and nutrient uptake in wheat plants grown on heavy metal contaminated soils. *PLoS ONE*, 13(12), e0208150.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208150>
131. Iljkić, D., Vuković, M., Dvojković, K., Horvat, D., Szpunar-Krok, E., Jańczak-Pieniążek, M., & Rastija, M. (2024). Variety, chemical protection and biostimulator effect on winter wheat status. *Poljoprivreda*.
<https://doi.org/10.18047/poljo.30.1.4>
132. Index Fungorum. (2025, February 12). *Alternaria infectoria*.
<https://www.indexfungorum.org/names/namesrecord.asp?RecordID=103987>

133. Index Fungorum. (2025, February 12). *Arthrimum arundinis*. Index Fungorum.
<https://www.indexfungorum.org/Names/NamesRecord.asp?RecordID=308985>
134. Index Fungorum. (2025, February 12). *Aureobasidium pullulans*.
<https://www.indexfungorum.org/names/NamesRecord.asp?RecordID=429267>
135. Index Fungorum. (2025, February 12). *Fusarium oxysporum*.
<https://www.indexfungorum.org/Names/NamesRecord.asp?RecordID=218372>
136. Index Fungorum. (2025, February 12). *Mucor*. Index Fungorum.
<https://www.indexfungorum.org/Names/NamesRecord.asp?RecordID=92406>
137. Index Fungorum. (2025, February 12). *Neurospora sitophila racemosus*.
<https://www.indexfungorum.org/names/NamesRecord.asp?RecordID=278268>
138. Index Fungorum. (2025, February 12). *Trichoderma*. Index Fungorum.
<https://www.indexfungorum.org/Names/NamesRecord.asp?RecordID=22475>
139. Ivanchenko, T., Igolnikova, I., & Shevyakhova, E. (2023). Comparative effect of biological and chemical methods of plant protection of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) on diseases and yield in the arid zone of Volgograd region. *Research on Crops*, 24(2), 265–271. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2023.roc-886>
140. Iwaniuk, P., Konecki, R., Kaczyński, P., Rysbekova, A., & Łozowicka, B. (2022). Influence of seven levels of chemical/biostimulator protection on amino acid profile and yield traits in wheat. *The Crop Journal*.
<https://doi.org/10.1016/j.cj.2021.12.007>
141. Iwaniuk, P., Łuniewski, S., Kaczyński, P., & Łozowicka, B. (2023). The influence of humic acids and nitrophenols on metabolic compounds and pesticide behavior in wheat under biotic stress. *Agronomy*, 13(5), 1378.
<https://doi.org/10.3390/agronomy13051378>
142. Jacquioud, S., Raynaud, T., Pimet, E., Ducourtieux, C., Casieri, L., Wipf, D., & Blouin, M. (2022). Wheat rhizosphere microbiota respond to changes in plant

genotype, chemical inputs, and plant phenotypic plasticity. *Frontiers in Ecology and Evolution*. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.903008>

143. Jaenisch, B. R., & Lollato, R. P. (2018). Plant population and fungicide treatment reduce winter wheat yield gap in Kansas. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*, 4(5), 15. <https://doi.org/10.4148/2378-5977.7616>

144. Jaenisch, B. R., Roozeboom, K. L., Schlegel, A. J., Holman, J. D., & Lollato, R. P. (2022). Modulation of wheat yield components in response to management intensification to reduce yield gaps. *Frontiers in Plant Science*, 13, 772232. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.772232>

145. Jedidi, I., Soldevilla, C., Lahouar, A., Marín, P., González-Jaén, M., & Said, S. (2017). Mycoflora isolation and molecular characterization of *Aspergillus* and *Fusarium* species in Tunisian cereals. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(5), 868–874. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.11.050>

146. Jevtić, R., Župunski, V., Lalošević, M., & Živanov, S. (2019). Colonization of winter wheat grain with *Fusarium* and *Alternaria* species and influence on pest control management. *Journal of General Plant Pathology*, 85(4), 273–281. <https://doi.org/10.1007/s10327-019-00844-y>

147. Jiang, C., Shi, J., Mu, Y., Zhu, C., Zhang, C., & Li, X. (2020). Natural occurrence of *Alternaria* toxins in wheat-based products and their dietary exposure in China. *Food Control*, 108, 106819. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106819>

148. Jiang, D., Wei, D., Li, H., Wang, L., Jiang, N., Li, Y., & Wang, M. (2020). Natural occurrence of *Alternaria* mycotoxins in wheat and potential of reducing associated risks using magnolol. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(7), 3048–3055. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10901>

149. Jin, H., Yue, J., Yan, Y., Zhang, D., Yang, C., Zhang, S., Li, X., Shao, Y., Fang, B., Wang, H., & Qin, F. (2022). Response of soil fungal communities in diversified rotations of wheat and different crops. *Huanjing Kexue*, 43(6), 3338–3347. <https://doi.org/10.13227/j.hjkx.202109069>

150. Johnston-Monje, D., Gutiérrez, J., & Lopez-Lavalle, L. (2021). Seed-transmitted bacteria and fungi dominate juvenile plant microbiomes. *Frontiers in Microbiology*, 12, 737616. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.737616>
151. Jothika, V., & Rajasekaran, R. (2020). Adoption of plant protection strategies by farmers of Virudhunagar District of Tamil Nadu, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(5), 1907–1912. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.905.217>
152. Ju, C., Dong, S., Zhang, H., Yao, S., Wang, F., Cao, D., Xu, S., Fang, H., & Yu, Y. (2020). Subcellular distribution governing accumulation and translocation of pesticides in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Chemosphere*, 248, 126024. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126024>
153. Kalogiannidis, S., Kalfas, D., Chatzitheodoridis, F., & Papaevangelou, O. (2022). Role of crop-protection technologies in sustainable agricultural productivity and management. *Land*, 11(10), 1680. <https://doi.org/10.3390/land11101680>
154. Kargin, V., Anisimova, G., & Kargina, L. (2021). Productivity structure of Moscovskaya 39 winter wheat variety depending on treatment with bio- and humic products. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*, 1, 55–59. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-1-55-59>
155. Karlsson, I., Friberg, H., Kolseth, A., Steinberg, C., & Persson, P. (2017). Agricultural factors affecting *Fusarium* communities in wheat kernels. *International Journal of Food Microbiology*, 252, 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.04.011>
156. Karlsson, I., Friberg, H., Steinberg, C., & Persson, P. (2014). Fungicide effects on fungal community composition in the wheat phyllosphere. *PLoS ONE*, 9, e111786. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111786>
157. Keller, M. D., Waxman, K. D., Bergstrom, G. C., & Schmale, D. G. (2010). Local distance of wheat spike infection by released clones of *Gibberella zeae* disseminated from infested corn residue. *Plant Disease*, 94(9), 1151–1155. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-9-1151>

158. Kemp, N., Vaughan, M., McCormick, S., Brown, J., & Bakker, M. (2020). *Sarocladium zeae* is a systemic endophyte of wheat and an effective biocontrol agent against Fusarium head blight. *Biological Control*, 149, 104329. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104329>
159. Kerdraon, L., Balesdent, M. H., Barret, M., Laval, V., & Suffert, F. (2016). Microbiome diversity in crop debris and the search for micro-organisms acting on *Zymoseptoria tritici* and *Leptosphaeria maculans* primary inoculum. *Plant Pathology*, 83, 1–11.
160. Khamas, A. (2023). Biological control using plant extracts against the fungus *Rhizoctonia solani* that causes damping-off of wheat in vitro. *Arab Journal for Plant Protection*, 41(4), 421–426. <https://doi.org/10.22268/ajpp-41.4.421426>
161. Khan, A., Jabeen, A., Ahmad, T., Ghazali, H., Ali, R., Hussain, M., Yousaf, M., Hafeez, Z., Khawja, M., Alharbi, S., Alfarraj, S., Arif, M., & Nabeel, M. (2023). Detection of seed-borne fungal pathogens associated with wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds collected from farmer fields and grain market. *Journal of King Saud University - Science*, 35(1), 102590. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102590>
162. Khan, M., Haque, M., Bloomquist, M., Bhuiyan, M., Brueggeman, R., Zhong, S., ... Liu, Y. (2020). First report of *Alternaria* leaf spot caused by *Alternaria tenuissima* on sugar beet (*Beta vulgaris*) in Minnesota, U.S.A. *Plant Disease*, 104(2), 580. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-19-0603-PDN>
163. Khan, M., Khan, S., Waheed, U., Raheel, M., Khan, Z., Alrefaei, A., & Alkhamis, H. (2021). Morphological and genetic characterization of *Fusarium oxysporum* and its management using weed extracts in cotton. *Journal of King Saud University - Science*, 33(2), 101299. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.101299>
164. Kim, H., Lee, H. J., & Seo, M. (2022). Longitudinal transmission of bacterial and fungal communities from seed to seed in rice. *Communications Biology*, 5, 116. <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03726-w>
165. Kimotho, R., Zheng, X., Li, F., Chen, Y., & Li, X. (2024). A potent endophytic fungus *Purpureocillium lilacinum* YZ1 protects against *Fusarium*

- infection in field-grown wheat. *The New Phytologist*.
<https://doi.org/10.1111/nph.19935>
166. Kinay, P. M. (2007). Characterization of fungicide-resistant isolates of *Penicillium digitatum* collected in California. *Crop Protection*, 26(4), 647–656.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.06.002>
167. Kirilenko, V., Humenyuk, O., Suddenko, Y., Murashko, L., & Los, R. (2023). The influence of the predecessor and sowing dates on the development of seed infection of winter wheat varieties in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine. *Naukovì Dopovidì NUBiP*, (105)(5), Article 010.
[https://doi.org/10.31548/dopovidi5\(105\).2023.010](https://doi.org/10.31548/dopovidi5(105).2023.010)
168. Kleber, A., Gruber-Dorninger, C., Platzer, A., Payet, C., & Novak, B. (2023). Effect of fungicide treatment on multi-mycotoxin occurrence in French wheat during a 4-year period. *Toxins*, 15(7), 443.
<https://doi.org/10.3390/toxins15070443>
169. Klipakova, Y., & Bilousova, Z. (2018). Impact of pre-sowing seed treatment and weather conditions on the yield and quality of winter wheat grain. *Irrigated Agriculture*, 69, 41–45.
170. Klupczyńska, E., & Pawłowski, T. (2021). Regulation of seed dormancy and germination mechanisms in a changing environment. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(3), 1357. <https://doi.org/10.3390/ijms22031357>
171. Knorr, K., Jørgensen, L., & Nicolaisen, M. (2019). Fungicides have complex effects on the wheat phyllosphere mycobiome. *PLoS ONE*, 14(3), e0213176. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213176>
172. Knowles, S. L., Raja, H. A., Roberts, C. D., & Oberlies, N. H. (2022). Fungal–fungal co-culture: A primer for generating chemical diversity. *Natural Product Reports*, 39, 1557–1573. <https://doi.org/10.1039/d1np00070e>
173. Kobayashi, T., Koyama, Y., & Kitamoto, K. (2007). Genomics of *Aspergillus oryzae*. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 71(3), 646–670.
<https://doi.org/10.1271/bbb.60550>

174. Koc, I., Urgan, E., Güven, A., & Ilikhan, B. (2020). Effects of commonly used pesticides (Demond, Granland, and Safacol) on non-targeted organisms (wheat plant, soil nematodes, microfungi, and aerobic mesophilic bacteria) in Muş Province, Turkey. *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology*. <https://doi.org/10.17678/beuscitech.727148>
175. Kokojka, F., Bacu, A., Shahini, S., & Medha, G. (2021). Tribenuron-methyl treatment affects glutathione metabolism and other physiological processes in bread wheat. *International Journal of Pest Management*, 69, 248–254. <https://doi.org/10.1080/09670874.2021.1916123>
176. Koscelny, J. A., Peeper, T. F., & Krenzer, E. G. (1996). Sulfonylurea herbicides affect hard red winter wheat (*Triticum aestivum*) forage and grain yield. *Weed Technology*, 10(3), 531–534. <https://doi.org/10.1017/S0890037X00040392>
177. Koshariya, A., Sharma, N., Satapathy, S., Thilagam, P., Laxman, T., Rai, S., & Singh, B. (2023). Safeguarding agriculture: A comprehensive review of plant protection strategies. *International Journal of Environment and Climate Change*. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i113168>
178. Kover, P. X., & Clay, K. (1998). Trade-off between virulence and vertical transmission and the maintenance of a virulent plant pathogen. *The American Naturalist*, 152(2), 165–175. <https://doi.org/10.1086/286159>
179. Krulj, A., Bocarov-Stancic, S., Krstovic, Z., Jajic, M., Kojic, S., Vidaković, M., & Bodroža-Solarov, I. (2016). Mycobiota on common wheat (*Triticum aestivum*) and spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) grains from the region of Vojvodina in 2015. *Food and Feed Research*, 43(1), 1–8. <https://doi.org/10.5937/FFR1601001K>
180. Książek-Trela, P., & Szpyrka, E. (2022). The effect of natural and biological pesticides on the degradation of synthetic pesticides. *Plant Protection Science*. <https://doi.org/10.17221/152/2021-pps>
181. Kubar, M., Kaleri, A., Manzoor, D., Rehmani, U., Gull, A., Khan, A., Jiskani, W., Wahocho, M., Buriro, G., Mirbahar, S., Kaleri, A., & Wude, Y. (2025). Grain yield of winter wheat associated with agronomical and physiological

characteristics. *Journal of Asian Development Studies*.
<https://doi.org/10.62345/jads.2025.14.1.8>

182. Kucey, R. (1988). Effect of *Penicillium bilaiae* on the solubility and uptake of P and micronutrients from soil by wheat. *Canadian Journal of Soil Science*, 68, 261–270. <https://doi.org/10.4141/CJSS88-026>

183. Kumari, M., & Singh, O. (2021). Pathogenicity, host range and influence of temperature, humidity and pH levels on the growth of *Fusarium oxysporum* f.sp. *lentis*. *Legume Research - An International Journal*, 48(1). <https://doi.org/10.18805/LR-4509>

184. Kumari, R., Jayachandran, L., & Ghosh, A. (2019). Investigation of diversity and dominance of fungal biota in stored wheat grains from governmental warehouses in West Bengal, India. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(7), 3490–3500. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9568>

185. Laidig, F., Piepho, H., Rentel, D., Drobek, T., Meyer, U., & Huesken, A. (2016). Breeding progress, environmental variation and correlation of winter wheat yield and quality traits in German official variety trials and on-farm during 1983–2014. *TAG. Theoretical and Applied Genetics*, 130, 223–245. <https://doi.org/10.1007/s00122-016-2810-3>

186. Larson, M. G. (2008). Analysis of variance. *Circulation*, 117(1), 115–121. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.654335>

187. Latković, D., Maksimović, J., Dinić, Z., Pivić, R., Stanojković, A., & Stanojković-Sebić, A. (2020). Case study upon foliar application of biofertilizers affecting microbial biomass and enzyme activity in soil and yield-related properties of maize and wheat grains. *Biology*, 9(12), 452. <https://doi.org/10.3390/biology9120452>

188. Laurent-Webb, L., Maurice, K., Perez-Lamarque, B., Bourceret, A., Ducouso, M., & Selosse, M.-A. (2023). Seed or soil: Tracing back the plant mycobiota primary sources. *Environmental Microbiology Reports*, 16. <https://doi.org/10.1101/2023.08.04.551828>

189. Leach, M., & Cowen, L. (2013). Surviving the heat of the moment: A fungal pathogen's perspective. *PLoS Pathogens*, 9. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1003163>
190. Lee, J., Park, J., & Choi, Y. (2024). First report of leaf spot caused by *Arthrinium arundinis* on *Amaranthus hybridus* in Korea. *Plant Disease*. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-23-1381-PDN>
191. Leitão, A. L. (2009). Potential of *Penicillium* species in the bioremediation field. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 6(4), 1393–1417. <https://doi.org/10.3390/ijerph6041393>
192. Lemanceau, P., Maron, P.-A., Mazurier, S., Mougél, C., Pivato, B., Plassart, P., ... Wipf, D. (2014). Understanding and managing soil biodiversity: A major challenge in agroecology. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(1). <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0247-0>
193. Leslie, J. F., & Summerell, B. A. (2008). *The Fusarium laboratory manual*. John Wiley & Sons.
194. Leslie, J. F., Summerell, B. A., & Bullock, S. (2006). *The Fusarium laboratory manual*. Ames, IA: Blackwell Publishing.
195. Li, E., Liu, J., Zhang, S., & Xu, B. (2024). Identification of the pathogen causing a new apple leaf blight in China and determination of the controlling efficacy for five botanical fungicides. *Journal of Fungi*, 10(4), 255. <https://doi.org/10.3390/jof10040255>
196. Li, F., & Yoshizawa, T. (2000). Alternaria mycotoxins in weathered wheat from China. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(7), 2920–2924. <https://doi.org/10.1021/JF0000171>
197. Li, Q., Zhang, D., Cheng, H., Ren, L., Jin, X., Fang, W., Yan, D., Li, Y., Wang, Q., & Cao, A. (2022). Organic fertilizers activate soil enzyme activities and promote the recovery of soil beneficial microorganisms after dazomet fumigation. *Journal of Environmental Management*, 309, 114666. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114666>

198. Li, Q., Zhang, D., Song, Z., Ren, L., Jin, X., Fang, W., Yan, D., Li, Y., Wang, Q., & Cao, A. (2021). Organic fertilizer activates soil beneficial microorganisms to promote strawberry growth and soil health after fumigation. *Environmental Pollution*, 286, 118653. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118653>
199. Li, Y., Li, T., Zhao, D., Wang, Z., & Liao, Y. (2020). Different tillage practices change assembly, composition, and co-occurrence patterns of wheat rhizosphere diazotrophs. *Science of the Total Environment*, 767, 144252. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144252>
200. Li, Z. J., & others. (2000). Fungal morphology and fragmentation behavior in a fed-batch *Aspergillus oryzae* fermentation at the production scale. *Biotechnology and Bioengineering*, 70(3), 300–310. [https://doi.org/10.1002/1097-0290\(20001105\)70:3<300::AID-BIT7>3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/1097-0290(20001105)70:3<300::AID-BIT7>3.0.CO;2-3)
201. Liang, Y., Chen, X., & Hu, J. (2021). Terminal residue and dietary intake risk assessment of prothioconazole-desthio and fluoxastrobin in wheat field ecosystem. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11133>
202. Liao, J., & Wang, S. (2021). First report of *Apiospora* mold on sugarcane in China caused by *Apiospora arundinis* (*Arthrinium arundinis*). *Plant Disease*. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-21-0386-PDN>
203. Lin, W.-Y., Ho, Y.-H., Lee, W.-J., Cheng, H.-Y., & Wang, P.-Y. (2021). Spatiotemporal distribution and the passive dispersal of fungal spores through HVAC systems. *Aerobiologia*. <https://doi.org/10.1007/s10453-021-09730-7>
204. Lindblad, M., Gidlund, A., Sulyok, M., Börjesson, T., Krska, R., Olsen, M., & Fredlund, E. (2013). Deoxynivalenol and other selected Fusarium toxins in Swedish wheat—Occurrence and correlation to specific Fusarium species. *International Journal of Food Microbiology*, 167(2), 284–291. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.07.002>

205. Liu, H., Pan, F., Han, X., Song, F., Zhang, Z., Yan, J., & Xu, Y. (2020). A comprehensive analysis of the response of the fungal community structure to long-term continuous cropping in three typical upland crops. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(4), 866–880. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62630-4](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62630-4)
206. Liu, Q., Liu, Y., Dong, F., Sallach, J., Wu, X., Liu, X., Xu, J., Zheng, Y., & Li, Y. (2021). Uptake kinetics and accumulation of pesticides in wheat (*Triticum aestivum* L.): Impact of chemical and plant properties. *Environmental Pollution*, 275, Article 116637. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116637>
207. Liu, Q., Liu, Y., Dong, F., Sallach, J., Wu, X., Liu, X., Xu, J., Zheng, Y., & Li, Y. (2021). Uptake kinetics and accumulation of pesticides in wheat (*Triticum aestivum* L.): Impact of chemical and plant properties. *Environmental Pollution*, 275, 116637. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116637>
208. Lupwayi, N., Turkington, T., Tidemann, B., Kubota, H., Polo, R., De Marco, A., Bao, Q., & Napoletano, P. (2024). Crop rotation and fungicides impact microbial biomass, diversity and enzyme activities in the wheat rhizosphere. *Frontiers in Agronomy*. <https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1455448>
209. Lv, H., Lin, C., Yang, Y., Xu, X., Yang, J., & Yu, M. (2023). Genotype-controlled vertical transmission exerts selective pressure on community assembly of *Salvia miltiorrhiza*. *Microbial Ecology*, 86, 2934–2948. <https://doi.org/10.1007/s00248-023-02295-7>
210. Lykogianni, M., Bempelou, E., Karamaouna, F., & Aliferis, K. A. (2021). Do pesticides promote or hinder sustainability in agriculture? The challenge of sustainable use of pesticides in modern agriculture. *Science of The Total Environment*, 795, 148625. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148625>
211. Maciąg, T., Koziół, E., Rusin, P., Otulak-Koziół, K., Jafra, S., & Czajkowski, R. (2023). Microbial consortia for plant protection against diseases: More than the sum of its parts. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(15), 12227. <https://doi.org/10.3390/ijms241512227>
212. Madbouly, A. K. (2021). Biodiversity of genus *Trichoderma* and their potential applications. In M. G. El-Esawi (Ed.), *Industrially important fungi for*

sustainable development (Vol. 1, pp. 429–460). Springer.

https://doi.org/10.1007/978-3-030-67561-5_13

213. Madelin, T. M. (1994). Fungal aerosols: A review. *Journal of Aerosol Science*, 25(8), 1405–1412. [https://doi.org/10.1016/0021-8502\(94\)90216-X](https://doi.org/10.1016/0021-8502(94)90216-X)

214. Magan, N., Hope, R., Cairns, V., & Aldred, D. (2003). Post-harvest fungal ecology: Impact of fungal growth and mycotoxin accumulation in stored grain. *European Journal of Plant Pathology*, 109, 723–730. <https://doi.org/10.1023/A:1026082425177>

215. Mahmoud, A. M., Taha, L. S., & El-Mahrouk, M. E. (2017). Effect of natural plant extracts on growth and biochemical constituents of wheat. *Journal of Plant Production*, 8(7), 727–735.

216. Maienfisch, P., & Koerber, K. (2024). Recent innovations in crop protection research. *Pest Management Science*. <https://doi.org/10.1002/ps.8441>

217. Malacrinò, A., Abdelfattah, A., Belgacem, I., & Schena, L. (2022). Plant genotype influence the structure of cereal seed fungal microbiome. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1075399. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1075399>

218. Mansour, M. M.-M. (2015). Comparative evaluation of some woody tree methanolic extracts and paraloid B-72 against phytopathogenic mold fungi *Alternaria tenuissima* and *Fusarium culmorum*. *BioResources*, 10(2), 2570–2584. <https://doi.org/10.15376/biores.10.2.2570-2584>

219. Manstretta, V., Morcia, C., Terzi, V., & Rossi, V. (2016). Germination of *Fusarium graminearum* ascospores and wheat infection are affected by dry periods and by temperature and humidity during dry periods. *Phytopathology*, 106(3), 262–269. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-05-15-0118-R>

220. Markovska, O., Dudchenko, V., Hrechishkina, T., & Stetsenko, I. (2020). Productivity of winter wheat varieties under different nutrient backgrounds and methods of plant protection against root rot. *Tavriiskyi Scientific Bulletin*, 115, 109–117. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.115.15>

221. Martínez-Bracero, M., Markey, E., Clancy, J., McGillicuddy, E., Sewell, G., & O'Connor, D. J. (2022). Airborne fungal spore review, new advances

and automatisation. *Atmosphere*, 13(2), 308.

<https://doi.org/10.3390/atmos13020308>

222. Masaltsev, G., Veshchemova, T., Rakitskii, V., & Kuz'min, S. (2024). Role of chemical plant protection products in worldwide food security (literature review). *Hygiene and Sanitation*, 103(12), 1528–1531.

<https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-12-1528-1531>

223. Masiello, M. R., Somma, S., Ghizzoni, R., Ferrara, M., Logrieco, A. F., & Moretti, A. (2022). *Alternaria* species and related mycotoxin detection in Lebanese durum wheat grain. *Phytopathologia Mediterranea*, 61(2), 383–393.

224. Masiello, M., Ghorayeb, R., Somma, S., Saab, C., Meca, G., Logrieco, A., Habib, W., & Moretti, A. (2022). *Alternaria* species and related mycotoxin detection in Lebanese durum wheat grain. *Phytopathologia Mediterranea*, 61(1), 71–81. <https://doi.org/10.36253/phyto-13396>

225. Masiello, M., Somma, S., Susca, A., Ghionna, V., Logrieco, A., Franzoni, M., Ravaglia, S., Meca, G., & Moretti, A. (2020). Molecular identification and mycotoxin production by *Alternaria* species occurring on durum wheat, showing black point symptoms. *Toxins*, 12. <https://doi.org/10.3390/toxins12040275>

226. Matelionienė, N., Supronienė, S., Shamshitov, A., Zavtrikovienė, E., Janavičienė, S., & Kadžienė, G. (2022). Weeds in cereal crop rotations may host *Fusarium* species that cause Fusarium Head Blight and grain weight losses in wheat. *Agronomy*, 12(11), 2741. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112741>

227. Matyukha, V., Korostylova, Y., & Butenko, M. (2021). Technical efficiency of tank mixtures of herbicides in crops of winter wheat after non-steam predecessors in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine. *Scientific Horizons*, 1, 19–24. <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2021.1.19-24>

228. McIntyre, M. J. (2002). Growth physiology and dimorphism of *Mucor circinelloides* (syn. *racemosus*) during submerged batch cultivation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 58, 495–502. <https://doi.org/10.1007/s00253-001-0916-1>

229. Minati, M., & Mohammed-Ameen, M. (2020). Fungal diversity of winter wheat parts, seed and field soil in Iraq, Basra Province. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 928(6), 062004. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/928/6/062004>
230. Minati, M., & Mohammed-Ameen, M. (2020). Fungal diversity of winter wheat parts, seed and field soil in Iraq, Basra Province. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 928, 062004. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/928/6/062004>
231. Müller, M., & Korn, U. (2013). *Alternaria* mycotoxins in wheat – A 10 years survey in the Northeast of Germany. *Food Control*, 34, 191–197. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.04.018>
232. Müller, T., Ruppel, S., Behrendt, U., Lentzsch, P., & Müller, M. (2018). Antagonistic potential of fluorescent pseudomonads colonizing wheat heads against mycotoxin producing *Alternaria* and *Fusaria*. *Frontiers in Microbiology*, 9, 2124. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02124>
233. Murante, D., & Andjelkovic, I. (2024). Drivers of diversification in fungal pathogen populations. *PLOS Pathogens*, 20(9), e1012430. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1012430>
234. Mykhalska, L., Zozulia, O., Hrytsev, O., Sanin, O., & Schwartau, V. (2019). Distribution of species of *Fusarium* and *Alternaria* genera on cereals in Ukraine. *Biosystems Diversity*, 27(3), 230–235. <https://doi.org/10.15421/011925>
235. Nafikova, A., Alimgafarov, R., Kuznetsov, I., Safin, F., & Akhiyarov, B. (2020). Effect of different pesticides combined with Melafen on grain yield and quality of winter wheat. *Agronomy*. <https://doi.org/10.15159/AR.20.006>
236. Naumova, N., Barsukov, P., Baturina, O., Rusalimova, O., & Kabilov, M. (2022). Soil mycobiome diversity under different tillage practices in the South of West Siberia. *Life*, 12(8), 1169. <https://doi.org/10.3390/life12081169>
237. Nega, A. (2014). Review on concepts in biological control of plant pathogens. *Journal of Biology*, 4(27), 34–54.

238. Nekoval, S., Zakharchenko, A., Sadovaya, A., Churikova, A., & Fedoryanskaya, I. (2021). The effectiveness of biological and chemical systems for protecting potatoes from harmful organisms in the central zone of the Krasnodar region. *BIO Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213404017>
239. Nelson, P. E., Dignani, M. C., & Anaissie, E. J. (1994). Taxonomy, biology, and clinical aspects of *Fusarium* species. *Clinical Microbiology Reviews*, 7(4), 479–504. <https://doi.org/10.1128/cmr.7.4.479>
240. Nnadi, N., & Carter, D. (2021). Climate change and the emergence of fungal pathogens. *PLoS Pathogens*, 17. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1009503>
241. Norstadt, F., & McCalla, T. (1963). Phytotoxic substance from a species of *Penicillium*. *Science*, 140, 410–411. <https://doi.org/10.1126/science.140.3565.410>
242. Nugmanov, A., Beishova, I., Kokanov, S., Lozowicka, B., Kaczyński, P., Konecki, R., Snarska, K., Wołejko, E., Sarsembayeva, N., & Abdigaliyeva, T. (2018). Systems to reduce mycotoxin contamination of cereals in the agricultural region of Poland and Kazakhstan. *Crop Protection*, 106, 64–71. <https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2017.12.014>
243. Oğuz, M., Oğuz, E., & Güler, M. (2023). Seed priming with essential oils for sustainable wheat agriculture in semi-arid region. *PeerJ*, 11. <https://doi.org/10.7717/peerj.15126>
244. Oluwakayode, A., Sulyok, M., Krska, R., & Medina, A. (2024). The effect of the interactions of water activity and temperature on OTA, OTB, and OTα produced by *Penicillium verrucosum* in a mini silo of natural and inoculated wheat using CO₂ production as fungal activity sentinel. *Food Chemistry*, 460(Pt 2), 140590. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140590>
245. Orina, A., Gavrilova, O., Gogina, N., Gannibal, P., & Gagkaeva, T. (2021). Natural occurrence of *Alternaria* fungi and associated mycotoxins in small-grain cereals from the Urals and West Siberia regions of Russia. *Toxins*, 13. <https://doi.org/10.3390/toxins13100681>

246. Orlowski, M. (1992). *Mucor* dimorphism. *Microbiological Reviews*, 55(2), 234–258. <https://doi.org/10.1128/mr.55.2.234-258.1991>
247. Pačuta, V., Rašovský, M., Michalska-Klimczak, B., & Wyszyński, Z. (2021). Grain yield and quality traits of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) treated with seaweed- and humic acid-based biostimulants. *Agronomy*, 11(7), 1270. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071270>
248. Pang, K., Chiang, M., Guo, S., Shih, C., Dahms, H., Hwang, J., & Cha, H. (2020). Growth study under combined effects of temperature, pH and salinity and transcriptome analysis revealed adaptations of *Aspergillus terreus* NTOU4989 to the extreme conditions at Kueishan Island Hydrothermal Vent Field, Taiwan. *PLoS ONE*, 15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233621>
249. Pathania, A., Singh, L., & Sharma, P. (2021). Host plant resistance: An eco-friendly approach for crop disease management. In *Sustainable Agriculture Reviews* (pp. 395–449). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0049-4_16
250. Pavlyushin, V. (2020). Biological plant protection in greenhouse, intensive and organic farming. *BIO Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201800024>
251. Pekas, A., Mazzoni, V., Appel, H., Cocroft, R., & Dicke, M. (2023). Plant protection and biotremology: Fundamental and applied aspects. *Trends in Plant Science*. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2023.06.021>
252. Penton, C. R., Gupta, V. V. S. R., Tiedje, J. M., Neate, S. M., Ophel-Keller, K., Gillings, M., ... Roget, D. K. (2014). Fungal community structure in disease suppressive soils assessed by 28S LSU gene sequencing. *PLOS ONE*, 9(4), e93893. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093893>
253. Perelló, A., & Moreno, M. V. (2008). *Alternaria infectoria* species-group associated with black point of wheat in Argentina. *Plant Pathology*, 57(2), 379. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01713.x>
254. Perkins, C. M., Stewart, S. D., & Allen, F. L. (2018). Impact of insecticide seed treatments and foliar insecticides on aphid infestations in wheat,

incidence of barley yellow dwarf, and yield in West Tennessee. *Journal of Economic Entomology*, 111(6), 2734–2740. <https://doi.org/10.1093/jee/toy302>

255. Perrone, G., & Susca, A. (2017). *Penicillium* species and their associated mycotoxins. In M. A. Razzaghi-Abyaneh, M. R. Shams-Ghahfarokhi, & A. Rai (Eds.), *Mycotoxigenic fungi* (Vol. 1542, pp. 107–119). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6707-0_5

256. Pietikäinen, J., Pettersson, M., & Bååth, E. (2005). Comparison of temperature effects on soil respiration and bacterial and fungal growth rates. *FEMS Microbiology Ecology*, 52(1), 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.femsec.2004.10.002>

257. Pilarczyk, M., & Konodyba-Rorat, B. (2023). Management and monitoring of plant protection products in agriculture with regard to human and animal health. *Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis Agricultura, Alimentaria, Piscaria et Zootechnica*. <https://doi.org/10.21005/aapz2023.68.4.5>

258. Plaut, Z., et al. (1973). The effect of soil moisture tension and nitrogen supply on nitrate reduction and accumulation in wheat seedlings. *Plant and Soil*, 38, 81–94. <https://doi.org/10.1007/BF00011219>

259. Polishchuk, V., & Konovalov, D. (2022). Elements of crop structure and biological productivity depending on the technology of growing winter wheat seeds. *Agrobiologîâ*. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2022-174-2-193-199>

260. Polishchuk, V., & Konovalov, D. (2024). Elements of winter wheat yield structure depending on seeds growing technology. *Agrobiologîâ*. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2024-187-1-18-24>

261. Polunina, T., Lavrinova, V., & Leontyeva, M. (2020). Influence of dumping treatment and chemical means on soil mycobiota in crops of winter wheat of the north-east part of the CEC. *Agricultural Sciences*. <https://doi.org/10.23947/INTERAGRO.2020.2.86-89>

262. Pospelov, S., Pospelova, A., Kovalenko, N., Sherstiuk, E., & Zdor, V. (2020). Biocontrol of mycoflora of winter wheat seeds. *E3S Web of Conferences*, 176, 03001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017603001>

263. Poursafar, A., Yazdanpanah, A., & Nikkhah, M. (2018). Taxonomic study on *Alternaria* sections *Infectoriae* and *Pseudoalternaria* associated with black (sooty) head mold of wheat and barley in Iran. *Mycological Progress*, 17, 343–356. <https://doi.org/10.1007/s11557-017-1358-1>
264. Prange, A. M. (2005). Influence of mycotoxin-producing fungi (*Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*) on gluten proteins during suboptimal storage of wheat after harvest and competitive interactions between field and storage fungi. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(17), 6930–6938. <https://doi.org/10.1021/jf050821t>
265. Przemieniecki, S., Damszel, M., & Kosewska, O. (2025). The impact of nanoparticles and molecular forms of TiO₂ on the rhizosphere of plants in the example of common wheat (*Triticum aestivum* L.)—Shifts in microbiome structure and predicted microbial metabolic functions. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(2). <https://doi.org/10.3390/ijms26020685>
266. Qiu, J., Sun, J., Yu, M., Xu, J., & Shi, J. (2016). Temporal dynamics, population characterization and mycotoxins accumulation of *Fusarium graminearum* in Eastern China. *Scientific Reports*, 6, 36350. <https://doi.org/10.1038/srep36350>
267. Qiu, J., Xu, J., & Shi, J. (2019). *Fusarium* toxins in Chinese wheat since the 1980s. *Toxins*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/toxins11050248>
268. Qu, Q., Li, Y., Zhang, Z., Cui, H., Zhao, Q., Liu, W., Lu, T., & Qian, H. (2021). Effects of S-metolachlor on wheat (*Triticum aestivum* L.) seedling root exudates and the rhizosphere microbiome. *Journal of Hazardous Materials*, 411, 125137. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125137>
269. Rajak, P., Roy, S., Ganguly, A., Mandi, M., Dutta, A., Das, K., Nanda, S., Ghanty, S., & Biswas, G. (2023). Agricultural pesticides – friends or foes to biosphere? *Journal of Hazardous Materials Advances*, 9, Article 100264. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100264>
270. Răpunțean, S., Tălmăciu, E., Costea, M., Chirilă, F., Bacârcea, Z., & Răpunțean, G. (2018). *Chrysonilia sitophila*: Growth on different culture media and

sensitivity to antifungals. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca: Veterinary Medicine*, 75(2), 207–213.
<https://doi.org/10.15835/buasvmcn-vm:2018.0024>

271. Rebouh, N., Aliat, T., Polityko, P., Kherchouche, D., Boulelouah, N., Temirbekova, S., Afanasyeva, Y., Kucher, D., Plushikov, V., Parakhina, E., Latati, M., & Gadzhikurbanov, A. (2022). Environmentally friendly wheat farming: Biological and economic efficiency of three treatments to control fungal diseases in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under field conditions. *Plants*, 11.
<https://doi.org/10.3390/plants11121566>

272. Riedo, J., Wettstein, F., Rösch, A., Herzog, C., Banerjee, S., Büchi, L., Charles, R., Wächter, D., Martin-Laurent, F., Bucheli, T., Walder, F., & Van Der Heijden, M. (2021). Widespread occurrence of pesticides in organically managed agricultural soils—the ghost of a conventional agricultural past? *Environmental Science & Technology*, 55(4), 2514–2523. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c06405>

273. Rojas, E., Jensen, B., Jørgensen, H., Latz, M., Esteban, P., & Collinge, D. (2022). The fungal endophyte *Penicillium olsonii* ML37 reduces Fusarium head blight by local induced resistance in wheat spikes. *Journal of Fungi*, 8, 345.
<https://doi.org/10.3390/jof8040345>

274. Rozhkova, T. (2021). Influence of genotype on representativeness of *Alternaria* sp. inside the seeds of winter wheat. *Karantin i zahist roslin*, 3, 8–12.
<https://doi.org/10.36495/2312-0614.2021.3.8-12>

275. Rozhkova, T., Biliavska, L., & Spychak, Y. (2023). Interaction of endophytic fungi of winter wheat seeds. *Journal of Plant Protection Research*, 63(4), 399–404. <https://doi.org/10.24425/jppr.2023.147827>

276. Rozhkova, T., Burdulanyuk, A., Tatarynova, V., Yemets, O., & Demenko, V. (2022). Applying of plants to regulate mycobiota of winter wheat seeds. *Scientific Horizons*, 25(8), 28–36.
[https://doi.org/10.48077/scihor.25\(8\).2022.28-36](https://doi.org/10.48077/scihor.25(8).2022.28-36)

277. Rozhkova, T., Golosna, L., Afanasieva, O., Nemerytska, L., & Zhuravska, I. (2022). Linear growth of representatives of wheat seeds mycobiota. *Scientific Horizons*, 25(4), 45–52. [https://doi.org/10.48077/scihor.25\(4\).2022.45-52](https://doi.org/10.48077/scihor.25(4).2022.45-52)
278. Rozhkova, T., Stankevych, S., & Matsyura, A. (2021). Influence of seed treatment on microbiota and development of winter wheat seedlings. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11, 55–61. https://doi.org/10.15421/2021_8
279. Rozhkova, T. (2020). The influence of aqueous extracts of *Allium* genus plants on the mycoflora of seeds and the development of winter wheat seedlings. *Scientific Bulletin of NULES of Ukraine. Series: Agronomy*, 107, 53–61. [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-3\(107\)-7](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-3(107)-7)
280. Ruolan, W., Lulu, L., Yapeng, G., Xin, H., & Qian, L. (2020). Effects of deterioration and mildewing on the quality of wheat seeds with different moisture contents during storage. *RSC Advances*, 10, 14837–14845. <https://doi.org/10.1039/D0RA00542H>
281. Saikkonen, K., Young, C. A., Helander, M., & Schardl, C. L. (2010). Endophytic *Epichloë* species and their grass hosts: from evolution to applications. *Plant Physiology*, 154(2), 795–802. <https://doi.org/10.1104/pp.110.161430>
282. Salamon, S., Mikołajczak, K., Błaszczuk, L., Ratajczak, K., & Sulewska, H. (2020). Changes in root-associated fungal communities in *Triticum aestivum* ssp. *spelta* L. and *Triticum aestivum* ssp. *vulgare* L. under drought stress and in various soil processing. *PLoS ONE*, 15(10), e0240037. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240037>
283. Saleh, A. W. (2023). *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* biomass variations under disease control regimes using *Trichoderma* and compost. *Phytopathologia Mediterranea*, 62(2), 165–175. <https://doi.org/10.36253/phyto-14016>
284. Samuels, G. J. (1996). *Trichoderma*: A review of biology and systematics of the genus. *Mycological Research*, 100(8), 923–935. [https://doi.org/10.1016/S0953-7562\(96\)80043-8](https://doi.org/10.1016/S0953-7562(96)80043-8)

285. Santos, I., Valverde, A., & Velasco, A. (2019). Biocontrol of plant pathogens using *Bacillus*-based products: Mechanisms and applications. *Frontiers in Microbiology*, 10, 2367. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02367>
286. Sapkota, R., Knorr, K., Jørgensen, L., O'Hanlon, K., & Nicolaisen, M. (2015). Host genotype is an important determinant of the cereal phyllosphere mycobiome. *The New Phytologist*, 207(4), 1134–1144. <https://doi.org/10.1111/nph.13418>
287. Sarrocco, S., Ferrara, M., & Vannacci, G. (2012). DON on wheat crop residues: Effects on mycobiota as a source of potential antagonists of *Fusarium culmorum*. *Phytopathologia Mediterranea*, 51, 225–235. https://doi.org/10.14601/PHYTOPATHOL_MEDITERR-9083
288. Sarrocco, S., Matarese, F., Moretti, A., Haidukowski, M., & Vannacci, G. (2012). DON on wheat crop residues: Effects on mycobiota as a source of potential antagonists of *Fusarium culmorum*. *Phytopathologia Mediterranea*, 51, 225–235. https://doi.org/10.14601/PHYTOPATHOL_MEDITERR-9083
289. Șcerbacova, T., Crucean, S., & Lungu, A. (2022). Micromycetes *Trichoderma* for plants protection against alternariosis. *Bulletin of the Academy of Sciences of Moldova Life Sciences*. <https://doi.org/10.52388/1857-064x.2022.2.03>
290. Schmidt, M., Horstmann, S., Colli, L., Danaher, M., Speer, K., Zannini, E., & Arendt, E. (2016). Impact of fungal contamination of wheat on grain quality criteria. *Journal of Cereal Science*, 69, 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.02.010>
291. Schulz, B., & Boyle, C. (2005). The endophytic continuum. *Mycological Research*, 109(6), 661–686. <https://doi.org/10.1017/S095375620500273X>
292. Scortichini, M. (2022). Sustainable management of diseases in horticulture: Conventional and new options. *Horticulturae*, 8(6), 517. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8060517>

293. Segers, F. J. J., Dijksterhuis, J., Giesbers, M., & Debets, A. J. M. (2023). Natural folding of airborne fungal spores: A mechanism for dispersal and long-term survival? *Fungal Biology Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2022.10.005>
294. Segorbe, D., Di Pietro, A., Nicolás, C., & Turrà, D. (2017). Three *Fusarium oxysporum* mitogen-activated protein kinases (MAPKs) have distinct and complementary roles in stress adaptation and cross-kingdom pathogenicity. *Molecular Plant Pathology*, 18(7), 912–924.
295. Šeremešić, S., Živanov, S., Rajković, M., Aćin, V., Milić, S., Babec, B., & Jovanović, S. (2024). Exploring fungal biodiversity in crop rotation systems: Impact of soil fertility and winter wheat cropping. *Plants*, 14(1), Article 65. <https://doi.org/10.3390/plants14010065>
296. Shang, H., He, D., Li, B., Chen, X., Luo, K., & Li, G. (2024). Environmentally friendly and effective alternative approaches to pest management: Recent advances and challenges. *Agronomy*, 14(8), 1807. <https://doi.org/10.3390/agronomy14081807>
297. Sharon, O., Barak, R., Ezra, D., & Ofek-Lalzar, M. (2023). Transmission mode and assembly of seed fungal endophyte communities in wheat and wheat wild relatives. *Phytobiomes Journal*. <https://doi.org/10.1094/pbiomes-11-22-0084-r>
298. Sharon, O., Sun, X., Ezrati, S., Kagan-Trushina, N., & Sharon, A. (2023). Transmission mode and assembly of seed fungal endophyte communities in wheat and wheat wild relatives. *Phytobiomes Journal*. <https://doi.org/10.1094/pbiomes-11-22-0084-r>
299. Sheng, H., Klos, E., & Murray, T. (2022). Seed infection rate, but not pathogen titer, positively correlates with disease index of *Cephalosporium* stripe in winter wheat. *Phytopathology*. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-06-22-0211-R>
300. Shi, Y., Zhao, Q., Xin, Y., Yang, Q., Dhanasekaran, S., Zhang, X., & Zhang, H. (2023). *Aureobasidium pullulans* S2 controls tomato gray mold and produces volatile organic compounds and biofilms. *Postharvest Biology and Technology*, 198, 112450. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112450>

301. Shlevin, E., Saguy, I. S., Mahrer, Y., & Katan, J. (2003). Modeling the survival of two soilborne pathogens under dry structural solarization. *Phytopathology*, 93(10), 1247–1257. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2003.93.10.1247>
302. Shrestha, R., Ghazaryan, L., Poodiack, B., Zorin, B., Gross, A., Gillor, O., Khozin-Goldberg, I., & Gelfand, I. (2021). The effects of microalgae-based fertilization of wheat on yield, soil microbiome, and nitrogen oxides emissions. *The Science of the Total Environment*, Article 151320. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151320>
303. Singh, A., & Sharma, S. (2017). Bioactive components and functional properties of biologically activated cereal grains: A bibliographic review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(14), 3051–3071. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1085828>
304. Somma, S., Amatulli, M., Masiello, M., Moretti, A., & Logrieco, A. (2019). *Alternaria* species associated to wheat black point identified through a multilocus sequence approach. *International Journal of Food Microbiology*, 293, 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.01.001>
305. Sorokina, I., & Petrov, S. (2024). The effect of biological products on the yield of winter wheat. *АгроЭкоИнфо*, 2(46), Article 114. <https://doi.org/10.51419/202141114>
306. Španić, V., Maričević, M., Ikić, I., Sulyok, M., & Šarčević, H. (2023). Three-year survey of Fusarium multi-metabolites/mycotoxins contamination in wheat samples in potentially epidemic FHB conditions. *Agronomy*, 13(3), 805. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030805>
307. Storchous, I., Myroshnychenko, M., & Snihur, V. (2019). Comparative evaluation of autumn and spring application herbicides in winter wheat crops in the conditions of the forest-steppe zone of Ukraine. *Bulletin of the Uman National University of Horticulture*, 65, 175–190. <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2019.65.175-190>

308. Stricker, K. B., Harmon, P. F., Goss, E. M., Clay, K., & Flory, S. L. (2016). Emergence and accumulation of novel pathogens suppress an invasive species. *Ecology Letters*, 18(4), 469–477. <https://doi.org/10.1111/ele.12583>
309. Suffert, F., Sache, I., & Lannou, C. (2011). Early stages of septoria tritici blotch epidemics of winter wheat: Build-up, overseasoning, and release of primary inoculum. *Plant Pathology*, 60(1), 166–177. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02369.x>
310. Sui, J., Wang, C., Ren, C., Hou, F., Zhang, Y., Shang, X., Zhao, Q., Hua, X., Liu, X., & Zhang, H. (2024). Effects of deep tillage on wheat regarding soil fertility and rhizosphere microbial community. *Microorganisms*, 12(8), 1638. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12081638>
311. Sun, D., Mao, J., Wei, H., Zhang, Q., Cheng, L., Yang, X., & Li, P. (2022). Efficient prevention of *Aspergillus flavus* spores spread in air using plasmonic Ag-AgCl/ α -Fe₂O₃ under visible light irradiation. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 14(28), 31914–31924. <https://doi.org/10.1021/acsami.2c06963>
312. Surin, N., Kozulina, N., Lipshin, A., Bobrovsky, A., Vasilenko, A., & Kryuchkov, A. (2024). The effectiveness of the biological and chemical plant-protecting agents. *Problems of Soil Fertility in Modern Agriculture*. https://doi.org/10.52686/9785605087878_343
313. Symanczik, S., Krauss, M., Bodenhausen, N., Declerck, S., Doubell, M., Faist, H., Sessitsch, A., Trognitz, F., & Kundel, D. (2025). Performance of different wheat varieties and their associated microbiome under contrasting tillage and fertilization intensities: Insights from a Swiss long-term field experiment. *Soil and Tillage Research*. <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106328>
314. Tájmél, D., Paredes, C., & Rousk, J. (2020). Do microbial communities adapt to the temperature of their climate? *EGU General Assembly Abstracts*. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-776>
315. Thomma, B. P. H. J. (2003). *Alternaria* spp.: From general saprophyte to specific parasite. *Molecular Plant Pathology*, 4(4), 225–236. <https://doi.org/10.1046/j.1364-3703.2003.00173.x>

316. Tong, S., Li, M., Keyhani, N., Liu, Y., Yuan, M., Lin, D., Jin, D., Li, X., Pei, Y., & Fan, Y. (2020). Characterization of a fungal competition factor: Production of a conidial cell-wall associated antifungal peptide. *PLoS Pathogens*, 16(4), e1008518. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1008518>
317. Town, J., Gregorich, E., Drury, C., Lemke, R., Phillips, L., & Helgason, B. (2022). Diverse crop rotations influence the bacterial and fungal communities in root, rhizosphere and soil and impact soil microbial processes. *Applied Soil Ecology*. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104241>
318. Trokhymenko, G., Grushyna, O., Marynets, O., & Blahodatnyi, V. (2022). Study of harmful effects of pesticides, especially seed producers, on the components of agrocenosis. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23(1), 102–109. <https://doi.org/10.12912/27197050/142940>
319. Truong, Q., & Wilusz, E. (2005). Chemical and biological protection. In *Protective clothing: Types and materials* (pp. 557–594). <https://doi.org/10.1533/9781845690977.2.557>
320. Tsarenko, O. M., Zlobin, Yu. A., Skliar, V. H., Panchenko, S. M., Tsarenko, A. M., Zlobyn, Yu. A., Skliar, V. H., & Panchenko, S. N. (2000). *Kompiuterni metody v silskomu hospodarstvi ta biolohii* [Computer methods in agriculture and biology]. Vydavnytstvo "Universytetska knyha".
321. Větrovský, T., Kohout, P., Kopecký, M., Machac, A., Man, M., Bahnmann, B., ... Baldrian, P. (2019). A meta-analysis of global fungal distribution reveals climate-driven patterns. *Nature Communications*, 10. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13164-8>
322. Voloshchuk, A. P., Tesliuk, L. V., & Kalashnyk, I. O. (2020). Ефективність застосування регуляторів росту і мікроелементів у технології вирощування ріпаку озимого в Західному Лісостепу України. *Visnyk agrarnoi nauky Prychornomoria*, 54(1), 7–15. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-54-1-7-15>

323. Vrandečić, K., Jug, D., Ćosić, J., Stošić, M., & Ilic, J. (2019). The impact of tillage and fertilization on wheat grain infection. *Agricultural Sciences*, 296. [Уточніть повну назву журналу для точного оформлення.]
324. Vujanovic, V., Islam, M., & Daida, P. (2019). Transgenerational role of seed mycobiome – an endosymbiotic fungal composition as a prerequisite to stress resilience and adaptive phenotypes in *Triticum*. *Scientific Reports*, 9, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54328-2>
325. Wachowska, U., Głowacka, K., Mikołajczyk, W., & Kucharska, K. (2016). Biofilm of *Aureobasidium pullulans* var. *pullulans* on winter wheat kernels and its effect on other microorganisms. *Microbiology*, 85(5), 523–530. <https://doi.org/10.1134/S0026261716050192>
326. Wachowska, U., Kucharska, K., Pluskota, W., Czaplicki, S., & Stuper-Szablewska, K. (2020). Bacteria associated with winter wheat degrade Fusarium mycotoxins and triazole fungicide residues. *Agronomy*, 10(11), Article 1673. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111673>
327. Wachowska, U., Sulyok, M., Wiwart, M., Suchowilska, E., Kandler, W., & Krska, R. (2022). The application of antagonistic yeasts and bacteria: An assessment of in vivo and under field conditions pattern of Fusarium mycotoxins in winter wheat grain. *Food Control*, 139, 109039. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109039>
328. Wachowska, U., Tańska, M., & Konopka, I. (2016). Variations in grain lipophilic phytochemicals, proteins and resistance to *Fusarium* spp. growth during grain storage as affected by biological plant protection with *Aureobasidium pullulans* (de Bary). *International Journal of Food Microbiology*, 227, 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.03.021>
329. Wakelin, S., Warren, R., Harvey, P., & Ryder, M. (2004). Phosphate solubilization by *Penicillium* spp. closely associated with wheat roots. *Biology and Fertility of Soils*, 40(1), 36–43. <https://doi.org/10.1007/s00374-004-0750-6>
330. Walia, S., Babu, S., Gill, R., Kaur, T., Kohima, N., Panwar, A., Yadav, D., Ansari, M., Ravishankar, N., Kumar, S., Kaur, K., & Ansari, M. (2022).

Designing resource-efficient and environmentally safe cropping systems for sustainable energy use and economic returns in Indo-Gangetic Plains, India. *Sustainability*, 14(21), 14636. <https://doi.org/10.3390/su142114636>

331. Walsh, T. J., Hayden, R. T., & Larone, D. H. (2018). *Larone's medically important fungi: A guide to identification* (6th ed.). <https://doi.org/10.1128/9781555819880>

332. Wang, J., Liu, K., Zhao, X., Zhang, H., Li, D., Li, J., & Shen, R. (2021). Balanced fertilization over four decades has sustained soil microbial communities and improved soil fertility and rice productivity in red paddy soil. *Science of the Total Environment*, 793, 148664. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148664>

333. Wang, X., Azarbad, H., Leclerc, L., Dozois, J., Mukula, E., & Yergeau, É. (2022). A drying-rewetting cycle imposes more important shifts on soil microbial communities than does reduced precipitation. *mSystems*, 7(2), e00247-22. <https://doi.org/10.1128/msystems.00247-22>

334. Wenshan, G. (2008). Effect of the pesticides on edible safety and grain quality of weak-gluten wheat. *Journal of Triticeae Crops*. [Том, номер та сторінки відсутні, будь ласка, уточніть]

335. Whitelaw, M., Harden, T., & Bender, G. (1997). Plant growth promotion of wheat inoculated with *Penicillium radicum* sp. nov. *Soil Research*, 35(2), 291–300. <https://doi.org/10.1071/S96040>

336. Woo, S. L., Hermosa, R., Lorito, M., & Monte, E. (2023). Trichoderma-based biostimulants and biocontrol agents: Applications in sustainable agriculture. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 107(2), 531–546. <https://doi.org/10.1007/s00253-022-12324-4>

337. Woudenberg, J. H. C., Groenewald, J. Z., Binder, M., & Crous, P. W. (2013). *Alternaria* redefined. *Studies in Mycology*, 75(1), 171–212. <https://doi.org/10.3114/sim0015>

338. Wu, W., & Baoluo, S. (2015). Integrated nutrient management (INM) for sustaining crop productivity and reducing environmental impact: A review.

Science of the Total Environment, 512–513, 415–427.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.101>

339. Wulff, B. B. H., & Jones, J. D. G. (2020). Breeding a fungal gene into wheat. *Science*, 368(6493), 822–823. <https://doi.org/10.1126/science.abb9991>

340. Xu, F., Liu, W., Song, Y., Zhou, Y., Xu, X., Yang, G., Wang, J., Zhang, J., & Liu, L. (2021). The distribution of *Fusarium graminearum* and *F. asiaticum* causing Fusarium head blight of wheat in relation to climate and cropping system. *Plant Disease*. <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-21-0013-RE>

341. Xu, W., Han, X., Li, F., & Zhang, L. (2016). Natural occurrence of Alternaria toxins in the 2015 wheat from Anhui Province, China. *Toxins*, 8(11), 308. <https://doi.org/10.3390/toxins8110308>

342. Xu, Z.-Z., & Yu, Z.-W. (2006). Nitrogen metabolism in flag leaf and grain of wheat in response to irrigation regimes. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 169, 118–126. <https://doi.org/10.1002/jpln.200420418>

343. Xue, P. (2009). Effect of pesticides on yield and quality of high quality wheat. *Chinese Journal of Eco-agriculture*.

344. Yao, Y., Lv, L., Lihua, Z., Haipo, Y., Dong, Z., Zhang, J., Ji, J., Jia, X., & Wang, H. (2019). Genetic gains in grain yield and physiological traits of winter wheat in Hebei Province of China, from 1964 to 2007. *Field Crops Research*. <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2019.03.011>

345. Yi, Y., Luan, P., Fan, M., Wu, X., Sun, Z., Shang, Z., Yang, Y., & Li, C. (2024). Antifungal efficacy of *Bacillus amyloliquefaciens* ZK-9 against *Fusarium graminearum* and analysis of the potential mechanism of its lipopeptides. *International Journal of Food Microbiology*, 422, 110821. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2024.110821>

346. Yildirim, I. (2023). Plant protection practices and their impact on environment. *Journal of Central European Green Innovation*. <https://doi.org/10.33038/jcegi.3399>

347. Yuan, D., Hu, Y., Jia, S., Li, W., Zamanian, K., Han, J., Huang, F., & Zhao, X. (2023). Microbial properties depending on fertilization regime in

agricultural soils with different texture and climate conditions: A meta-analysis. *Agronomy*, 13(3), 764. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030764>

348. Zaima, O., & Derhachov, O. (2023). Biologicals for protection of soft winter wheat from diseases during growing. *The Scientific Journal Grain Crops*, 2(14), 108–113. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0298>

349. Zaima, O., & Derhachov, O. (2023). Biologicals for protection of soft winter wheat from diseases during growing. *The Scientific Journal Grain Crops*. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0298>

350. Zalila-Kolsi, I., Mahmoud, A., Ali, H., Sellami, S., Nasfi, Z., Tounsi, S., & Jamoussi, K. (2016). Antagonist effects of *Bacillus* spp. strains against *Fusarium graminearum* for protection of durum wheat. *Microbiological Research*, 192, 148–158. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2016.06.012>

351. Zargaryan, N., Kekalo, A., & Nemchenko, V. (2022). Contamination of seeds and plants of wheat with phytopathogens of *Fusarium* genus, methods of recovery. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*, 4, 96–101. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2022-4-96-101>

352. Zevakin, A., Rezvyakova, S., & Orel, R. (2020). Increasing of winter wheat productivity on a biological basis. 5, 26–32. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666x.2020.5.26>

353. Zhang, L., Zuo, Q., Cai, H., Li, S., Shen, Z., & Song, T. (2024). Fungicides reduce soil microbial diversity, network stability and complexity in wheat fields with different disease resistance. *Applied Soil Ecology*. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105513>

354. Zhang, X., Wang, H., Que, Y., Yu, D., & Wang, H. (2021). The influence of rhizosphere soil fungal diversity and complex community structure on wheat root rot disease. *PeerJ*, 9, e12601. <https://doi.org/10.7717/peerj.12601>

355. Zhang, Y., Pei, F., Fang, Y., Li, P., Xia, J., Sun, L., Zou, Y., Shen, F., & Hu, Q. (2019). Interaction between fungal community, *Fusarium* mycotoxins and components of harvested wheat under simulated storage conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b02021>

356. Zhang, Z., Yu, Z., Zhang, Y., & Shi, Y. (2021). Split nitrogen fertilizer application improved grain yield in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) via modulating antioxidant capacity and ^{13}C photosynthate mobilization under water-saving irrigation conditions. *Ecological Processes*, 10, 1–13. <https://doi.org/10.1186/s13717-021-00290-9>
357. Zhao, H., Zhang, T., Wang, H., Hu, C., Tang, Y., & Xu, B. (2022). Occurrence of fungal spores in drinking water: A review of pathogenicity, odor, chlorine resistance and control strategies. *Science of the Total Environment*, 858, 158626. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158626>
358. Zhao, Z., Sun, R., Su, Y., Hu, J., & Liu, X. (2020). Fate, residues and dietary risk assessment of the fungicides epoxiconazole and pyraclostrobin in wheat in twelve different regions, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 207, 111236. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111236>
359. Zhou, C., Cheng, H., Wu, Y., Zhang, J., Li, D., & Pan, C. (2022). Bensulfuron-methyl, terbutylazine, and 2,4-D butylate disturb plant growth and resistance by deteriorating rhizosphere environment and plant secondary metabolism in wheat seedlings. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c03126>
360. Zhou, C., Li, D., Miao, P., Cheng, H., Zhang, H., Wan, X., Yu, H., Jia, Y., Dong, Q., & Pan, C. (2024). Bensulfuron methyl induced multiple stress responses in field wheat plants: Microbial community and metabolic network disturbance. *Journal of Hazardous Materials*, 476, 134874. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134874>
361. Zhygunov, D., Sots, S., Barkovska, Y., Liu, J., Wang, F., Liu, X., Wang, Z., & Li, X. (2022). Comparison of technological properties of different wheat species. *Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.15673/fst.v16i1.2294>
362. Єщенко, В. О., Копитко, П. Г., Опришко, В. П., & Костогриз, П. В. (2005). *Основи наукових досліджень в агрономії* (Підручник; В. О. Єщенко, ред.). Дія.

363. Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського Української Академії аграрних наук. (2004). *Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини* (ДСТУ 4289:2004). Держспоживстандарт України.

364. Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського Української Академії аграрних наук. (2007). *Якість ґрунту. Визначання нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ ІГА ім. О.Н.Соколовського* (ДСТУ 4729:2007). Держспоживстандарт України.

365. Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського Української Академії аграрних наук. (2015). *Якість ґрунту. Визначення обмінних кальцію, магнію, натрію і калію в ґрунті за Шолленбергером у модифікації ННЦ ІГА імені О. Н. Соколовського* (ДСТУ 7861:2015). Держспоживстандарт України.

366. Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського Української Академії аграрних наук. (2007). *Якість ґрунту. Визначення рН* (ISO 10390:2005, IDT) (DSTU ISO 10390:2007). Держспоживстандарт України.

367. Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН. (2002). *Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості* (ДСТУ 4138-2002). Держспоживстандарт України.

368. Київський інститут хлібопродуктів. (2007). *Зерно та продукти його переробки. Визначення показників якості методом інфрачервоної спектроскопії* (ДСТУ 4117:2007). Держспоживстандарт України.

369. Міністерство аграрної політики та продовольства України. (2025, 13 травня). Реєстр сортів рослин. <https://minagro.gov.ua/file-storage/reyestr-sortiv-roslin>

370. Піковський, М. Й., Кирик, М. М., & Конуп, Л. О. (2007). *Патологія насіння сільськогосподарських культур*. Видавничий центр НАУ.

371. Рожкова, Т. О. (2022). *Спосіб регулювання мікофлори насіння та стимулювання росту проростків пшениці* (Патент UA150216U). Державне підприємство "Український інститут інтелектуальної власності".

372. Технічний комітет зі стандартизації «Зернові культури та продукти їх переробки». (2019). Пшениця. Технічні умови (ДСТУ 3768:2019). Держспоживстандарт України.

373. Технічний комітет стандартизації «Ґрунтознавство». (2002). Ґрунти. Визначання рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Чирикова. Держспоживстандарт України.

374. Технічний комітет стандартизації «Ґрунтознавство». (2007). Якість ґрунту. Визначання гранулометричного складу методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського (ДСТУ 4730:2007). Держспоживстандарт України.

375. Технічний комітет стандартизації «Ґрунтознавство». (2007). Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії (ДСТУ 4770.1:2007). Держспоживстандарт України.

376. Трибель, С. О., Сігарьова, Д. Д., Секун, М. П., & Іващенко, О. О. (2001). Методики випробування і застосування пестицидів (с. 174–175). К.: Світ.

ДОДАТКИ

Додаток А

Додаток А



ЗАТВЕРДЖУЮ

Професор з науково-педагогічної

та навчальної роботи

д.с.-г.н., професор

Маргарита ЛИШЕНКО

ДОВІДКА

про впровадження результатів наукових досліджень у навчальному процесі

Видана Спичаку Юрію Івановичу у тому, що матеріали дисертаційної роботи «Мікобіота та якість зерна пшениці озимої залежно від системи захисту в умовах північно-східного Лісостепу України (Mycobiota and grain quality of winter wheat depending on the protection system in the conditions of the northeastern Forest-Steppe of Ukraine), які опубліковані в статтях:

- Спичак, Ю. І., & Бутенко, С. О. (2023). ВПЛИВ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ НА СТРУКТУРУ ВРОЖАЙНОСТІ ТА ЯКІСТЬ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ НА ПІВНІЧНОМУ СХОДІ УКРАЇНИ. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія і біологія, 51(1), 111-119. <https://doi.org/10.32782/agrobio.2023.1.13>
- Спичак, Ю. І. (2024). МІКОБІОТА НАСІННЯ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ (TRITICUM L.) ЗАЛЕЖНО ВІД ЗАХОДІВ ЗАХИСТУ. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія і біологія, 57(3), 3-11. <https://doi.org/10.32782/agrobio.2024.3.1>
- Yrii Spychak, Tetiana Rozhkova, Liudmyla Tytova, Liudmyla Biliavska, Olha Bakumenko, Valentyna Tatorynova, Oleksandr Yemets, Viktor Demenko, Viktor Pivtoraiko, Alla Burdulaniuk (2025). Changes in the seed and soil micobiota caused by seed treatment with chemical and biological agents. Ecological Engineering & Environmental Technology (EEET), 26(1), 103-110. <https://doi.org/10.12912/27197050/195636>

Включені до навчальних програм (силабусів) дисциплін «Прогноз розвитку хвороб сільськогосподарських культур та організація заходів захисту рослин», «Основи біологічного захисту рослин від шкідливих організмів», «Сільськогосподарська фітопатологія», «Комплексні системи захисту сільськогосподарських культур від хвороб», «Патологія насіння сільськогосподарських культур та сучасні методи діагностики хвороб» та використовуються в навчальному процесі підготовки фахівців спеціальності «Захист карантин рослин» першого та другого рівнів вищої освіти. Також, практичні результати роботи, впроваджено у виробничу діяльність кафедри селекції і насінництва ім. професора М.Д. Гончарова.

Довідка видана для надання до спеціалізованої вченої ради.

Завідувач кафедри захисту рослин д.с.-г.н., доцент  Валентина ТАТАРИНОВА	Завідувач кафедри селекції та насінництва д.с.-г.н., доцент  Іван СОБРАН
--	---

Додаток Б



**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
ПІВНІЧНОГО СХОДУ**

42343, Сумська обл, Сумський р-н, с. Сад, вул. Зелена, 1
тел. (0542) 695-002, факс (0542) 65-24-05 E-mail : agronauka@gmail.com

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. директора

Інституту СГГПС НААН

Віталій КАБАНЕЦЬ

АКТ

про впровадження досягнень науки,
техніки і передового досвіду

1. Місце впровадження: Інститут сільського господарства Північного Сходу НААН, с. Сад, Сумської області.

2. Назва заходу, що впроваджується: «Удосконалення системи біологічного захисту пшениці озимої для зниження фітопатогенного навантаження та покращення показників якості зерна в умовах північно-східного Лісостепу України».

3. Обсяг впровадження: 5 га (експериментальні посіви пшениці озимої).

4. З яким контролем проводилася порівняльна оцінка розробки, що впроваджується: Із контрольними посівами пшениці озимої без використання систем захисту.

5. Оцінка результатів впровадження (приводиться порівняння з контролем по всім кількісним та якісним показникам, відмічаються недоліки):

Застосування 20% водного екстракту часнику для передпосівної обробки насіння пшениці озимої та обприскування у фазі колосіння дозволило істотно зменшити ураження зерна грибами. Зокрема, відмічено зниження рівня контамінації зерна врожаєм 2024 року представниками роду *Penicillium* spp. та видами *Fusarium oxysporum* та *Alternaria tenuissima* порівняно з контролем (без обробки). Окрім цього, обробки сприяли покращенню показників якості зерна: вміст сирої клейковини зріс на 1,7%, а вміст сухого білка – на 1,0% відносно контролю. Недоліки при застосуванні екстракту часнику не виявлено; технологія є екологічно безпечною та може бути рекомендована до використання в органічному виробництві.

Підписи відповідальних виконавців:

Старший науковий співробітник

Віктор ПІВТОРАЙКО

Аспірант

Юрій СІПЧАК

Акт складений «01» грудня 2024

Додаток В

УКРАЇНА



СВІДОЦТВО

про реєстрацію авторського права на твір

№ 134250

Наукова стаття «Mycobiota of winter wheat (TRITICUM L.) seeds depending on protective measures» («Mycobiota of winter wheat»)

(вид, назва твору)

Автор (співавтори) **Спичак Юрій Іванович**

(прізвище, ім'я, по батькові (за наявності), псевдонім (за наявності))

Твір оприлюднено: **Опублікування: Spychak Yu. I. Mycobiota of winter wheat (TRITICUM L.) seeds depending on protective measures // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: агрономія та біологія. - 2024. - Випуск 3 (57). - С. 3-11.**

(відомості про факт і дату оприлюднення твору (за наявності))

Авторські майнові права належать повністю **Спичак Юрій Іванович, вул. Харківська, 40, кв. 50, м. Суми, Сумський р-н, Сумська обл., 40001**

(прізвище, ім'я, по батькові (за наявності) фізичної особи / найменування юридичної особи, адреса)

Дата реєстрації 11 березня 2025 р.

Директор Державної організації
«Український національний
офіс інтелектуальної власності
та інновацій»

Олена ОРЛЮК



Додаток Г

УКРАЇНА



СВІДОЦТВО

про реєстрацію авторського права на твір

№ 134785

Наукова стаття «Changes in the seed and soil microbiota caused by seed treatment with chemical and biological agents» («Changes in the seed and soil microbiota»)

(вид, назва твору)

Автор (співавтори) Спичак Юрій Іванович, Рожкова Тетяна Олександрівна, Титова Людмила В'ячеславівна, Білявська Людмила Олексіївна, Бакуменко Ольга Миколаївна, Татарінова Валентина Іванівна, Ємець Олександр Михайлович, Півторайко Віктор Володимирович, Бурдуланюк Алла Олександрівна, Деменко Віктор Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові (за наявності), псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать спільно Спичак Юрій Іванович, вул. Харківська, 40, кв. 40, м. Суми, 40001; Рожкова Тетяна Олександрівна, вул. Г. Кондратьєва, 112, кв. 113, м. Суми, 40021; Титова Людмила В'ячеславівна, вул. Академіка Заболотного, 76, кв. 80, м. Київ, 03187; Білявська Людмила Олексіївна, вул. Василя Симоненка, 5, кв. 7, м. Київ, 03189; Бакуменко Ольга Миколаївна, вул. Центральна, 9, с. Косівщина, Сумська обл., 42342; Татарінова Валентина Іванівна, вул. Плодова, 12/1, м. Суми, 40002; Ємець Олександр Михайлович, вул. Г. Кондратьєва, 158/3, кв. 44, м. Суми, 40021; Півторайко Віктор Володимирович, вул. Лісова, 42, с. Журавка, Прилуцький р-н, Чернігівська обл., 17620; Бурдуланюк Алла Олександрівна, вул. Г. Кондратьєва, 160В, кв. 23, м. Суми, 40021; Деменко Віктор Михайлович, вул. Г. Кондратьєва, 116, кв. 12, м. Суми, 40021

(прізвище, ім'я, по батькові (за наявності) фізичної особи / найменування юридичної особи, адреса)

Дата реєстрації 31 березня 2025 р.

**Директор Державної організації
«Український національний
офіс інтелектуальної власності
та інновацій»**

 **Олена ОРЛЮК**



УКРАЇНА



СВІДОЦТВО

про реєстрацію авторського права на твір

№ 128750

Стаття «ВІЛИВ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ НА СТРУКТУРУ ВРОЖАЙНОСТІ ТА ЯКІСТЬ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ НА ПІВНІЧНОМУ СХОДІ УКРАЇНИ»

(вид. назва твору)

Автор (співавтори) **Спичак Юрій Іванович, Бутенко Сергій Олександрович**

(прізвище, ім'я, по батькові (за наявності), псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать спільно **Спичак Юрій Іванович, вул. Харківська, 40, м. Суми, Сумська обл., 40001; Бутенко Сергій Олександрович, вул. Г. Кондратьєва, 160/3, м. Суми, 40021**

(прізвище, ім'я, по батькові (за наявності) фізичної особи / найменування юридичної особи, адреса)

Дата реєстрації 31 липня 2024 р.

Директор Державної організації
«Український національний
офіс інтелектуальної власності
та інновацій»

 **Олена ОРЛЮК**

