

УДК 633.34:631

Ефективність використання елементів живлення сучасними гібридами кукурудзи в посушливих умовах Лісостепу

О.В. Харченко¹ С.В. Петренко¹, М.Г. Собко², С.І. Медвідь², Е.А. Захарченко¹

¹Сумський національний аграрний університет, Суми, Україна

²Інститут сільського господарства Північного Сходу НААН, Сумський район, с. Сад, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 03.11.2020 Отримано після доопрацювання 15.05.2021 Затверджено до видання 07.06.2021 Доступно онлайн 01.08.2021	Розглянуто проблему ефективності використання основних елементів мінерального живлення з добрив і ґрунту гібридами кукурудзи. Вирощування сучасних гібридів вимагає встановлення необхідної норми добрив під заплановану врожайність з урахуванням потенціалу продуктивності гібриду та погодних умов. За відсутності конкретних цифр виносу поживних речовин для будь-якого нового сорту та гібриду запропоновано ефективність використання елементів живлення визначати за показником рівня інтенсивності сорту, який розраховується за співвідношенням фактичної та нормативної урожайності. Дослідження проведено з гібридами кукурудзи української селекції різної скоростиглості – Зоряний (ФАО 190), Лелека (ФАО 260) та Донор (ФАО 310) у 2018-2019 рр. на полях Інституту сільського господарства Північного Сходу НААН у Сумській області України. Ґрунт – чорнозем типовий вилугований (Endocalcis Chernozem) середньосуглинковий. Вегетаційні періоди в роки дослідження характеризувались як дуже посушливі (ГТК 0,45-0,46). Розрахований рівень інтенсивності гібридів у середньому за два роки на фоні без добрив становив 1,07, а з удобренням ($N_{100} P_{45} K_{45}$) – 1,36. Доведено, що на фоні застосування мінеральних добрив підвищується ефективність використання NPK із ґрунту. Частка елементів живлення, використаних із ґрунту, становить: азоту – 53,8-71,4 %, фосфору – 20,0-26,6 % і калію – 65,4-86,8 %. Відносний вплив добрив на урожай зменшується, тобто зростає частка природної родючості у прирості врожаю на удобреному ґрунті. За два роки з лімітом вологи у вегетаційний період на фоні внесення мінеральних добрив за рахунок природної родючості ґрунтів урожайність усіх гібридів в середньому підвищилася на 1,33-1,46 т/га. Виявлено залежність урожайності всіх гібридів кукурудзи від гідротермічних умов у червні. Встановлено, що за всіх інших рівних умов урожайність прямо співвідносна з індексом ФАО гібриду. Окупність мінеральних добрив оцінено як 0,86-1,14 т/ц.

* E-mail: elionapolis@gmail.com

Форма цитування: Харченко О.В., Петренко С.В., Собко М.Г., Медвідь С.І., Захарченко Е.А. Ефективність використання елементів живлення сучасними гібридами кукурудзи в посушливих умовах Лісостепу. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2021. Вип. 91. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 49-58. <https://doi.org/10.31073/acss91-06>.

1. Вступ

Сучасний рівень продовольчої безпеки досягнуто завдяки інтенсивному промислового сільському господарству, в якому великі агрохолдинги часто вирощують одні й ті самі культури щорічно, використовуючи велику кількість пестицидів та добрив, що, в кінцевому підсумку, виснажує ґрунт, спричиняючи забруднення вод, утрату поживних речовин, зменшення біорізноманіття та викликаючи зміну клімату. Більшості розвинених країн довелося застосувати сучасні сільськогосподарські технології, щоб досягти продовольчої безпеки для зростаючого населення, а також підтримати агробізнес та отримання доходів. Зростає розуміння суспільства щодо того, що нинішня сільськогосподарська практика не є стійкою, оскільки вона, як правило, витрачає цінні ресурси та погіршує стан довкілля [1].

Внесення добрив є важливим для належного забезпечення поживними речовинами та вирощування максимальних урожаїв. Рослини, які ефективно засвоюють та використовують поживні речовини, значно підвищують ефективність застосовуваних добрив, зменшуючи вартість витрачених матеріалів та запобігаючи втратам поживних речовин для екосистем [2]. Ідеальні програми для управління живленням рослин спрямовані на раціональне внесення добрив, тобто внесення поживних речовин у потрібне місце та потрібний час з правильною періодичністю [3]. Однак повинен існувати баланс між урожайністю сільськогосподарських культур та коефіцієнтом використання поживних речовин. Найвищий коефіцієнт завжди там, де вміст поживних речовин у ґрунті найменший [4].

Загальновідомо, що кожний новий сорт чи гібрид сільськогосподарської культури, за визначенням, є більш урожайним, ніж попередні. Сам факт підвищеної урожайності вказує на більш повне використання основних елементів як із ґрунту, так і з внесених добрив, що, своєю чергою, створює умови дефіцитності балансу основних елементів живлення. Отже, чим більш урожайним є той чи інший гібрид, тим агресивнішим він є в екологічному розумінні і більш інтенсивним – в економічному.

Не викликає сумніву обумовленість урожайності культури рівнями інтенсивності технології та сорту (гібриду) і погодними умовами вегетаційного періоду, які є фоном для реалізації перших двох факторів.

Наразі відомо, що однією із обмежувальних умов, у плануванні вирощування того чи іншого гібриду, є встановлення необхідної норми добрив під заплановану врожайність, що, своєю чергою, вимагає кількісного оцінювання рівня інтенсивності цього гібриду. Необхідність цього пояснюється тим, що наявні довідкові дані з ефективності використання елементів живлення культурою (коефіцієнт використання елементів з ґрунту і добрив, або окупність балу бонітету чи добрив) є адекватними для рівнів урожайності культур періоду 1970–1980-х років, коли інтенсивність тодішніх гібридів була суттєво нижчою [5]. Отже, відсутність кількісних даних щодо використання елементів живлення для будь-якого нового сорту чи гібриду вимагає визначитися з рівнем його інтенсивності.

Результати досліджень науковців Волинської державної сільськогосподарської дослідної станції, що проведені з використанням мічених атомів, свідчать про недосконалість визначення норм внесення мінеральних добрив балансовим методом. Наприклад, коефіцієнт використання азоту озимим житом, вирощеним на дерново-підзолистому ґрунті, який визначено з використанням міченого азоту, в 1,6-1,7 рази менше, ніж за визначення балансовим методом [6]. Науковці зазначають, що тривале інтенсивне використання мінеральних добрив, збільшення їх доз, хоч і на фоні органічних добрив, призводить до збільшення частки мулистої фракції у гранулометричному складі ґрунту, що є негативною тенденцією.

Вчені ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» підкреслюють важливість менеджменту живлення сільськогосподарських культур [7]. Висока вартість мінеральних добрив та енергоносіїв іноді призводить до зниження окупності витрат на здобування приросту врожаю відносно неудообрених ділянок. Також, зі зміною кліматичних умов, за вирощування нових інтенсивних гібридів, вносяться корективи і на споживання рослинами поживних елементів із ґрунту. Припускають, що за науково обґрунтованої, збалансованої системи удобрення коефіцієнт використання поживних елементів із ґрунту можна збільшити на більш ніж 20 % [7]. Головною причиною дисбалансу є неправильне співвідношення вмісту у ґрунті поживних елементів для сільськогосподарських культур. Рослинна діагностика проводиться, але часто лише через погодні аномалії для надання висновку про подальше коригування системи удобрення рослин.

Внаслідок глобального потепління прогнозується підвищення уваги вчених до створення гібридів, які будуть мати високу енергію проростання та потужний розвиток на початку вегетаційного періоду. Залежно від індексу групи стиглості – ФАО і ряду генетичних особливостей гібриди кукурудзи можуть відрізнятися за відгуком на внесення мінеральних добрив. Велику роль відіграють ґрунтові умови та особливості рельєфу. В агрономії широко впроваджується використання індексів фотосинтетичної активності із застосуванням супутникового зондування, фотозйомки з квадрокоптерів та літаків, що дозволяє прогнозувати і коригувати живлення рослин.

В цілому, фактори температури та вологості є найважливішими у поясненні зниження врожайності культур; високі температури призводять до скорочення тривалості циклу росту, особливо фази наливу зерна [8]. Підвищення температури лімітує кількість сонячної радіації, що отримується рослиною на всіх стадіях розвитку, і особливо ризиковано – у критичні фази. Проводячи дослідження в умовах зрошення на півдні центральної частини Луїзіани в США D. Fromme та ін. [9] говорять про сильний зв'язок між погоднокліматичними умовами під час запилення та запліднення кукурудзи, бо коли рослина потерпає від сильного дефіциту вологості, вона може не приймати пилок. Посушливі умови й висока температура викликають стреси рослин, що зменшує густоту стояння, знижує біометричні параметри, тому урожайність основної і побічної продукції падає [10].

У праці американських учених підкреслюється необхідність розробки методів визначення коефіцієнтів використання добрив і формул розрахунку норм внесення мінеральних добрив [11]. Акцентується увага на брак інформації щодо розподілу речовин у різних частинах рослини кукурудзи в процесі її розвитку, зокрема в інтенсивних гібридів останнього покоління. Дуже швидко змінюються підходи до системи удобрення, обробітку ґрунту, захисту рослин і застосовуються високотехнологічні гібриди з різною швидкістю. Увага спрямована і на змінні норми висіву. Десятилітніми дослідженнями доведено, що вміст азоту в зерні сучасних гібридів є на 24 % меншим ніж у гібридів 60-х років минулого століття [10]. Тобто, точні розрахунки виносу поживних речовин основною та побічною продукцією залишатимуться важливими компонентами менеджменту живлення рослин.

Оцінка поглинання та розподілу поживних речовин може забезпечити фундамент для більш точного визначення коефіцієнтів використання, особливо в контексті глобального потепління. Однак більший врожай супроводжується падінням родючості ґрунту, про що свідчать дані науковців Канади та США [12].

Відомо, що генетичний відбір гібридів кукурудзи часто проводять за високих норм азоту протягом селекційного циклу [13]. Гібриди, вирощені в 60, 70 і 80-х роках, мають високий рівень засвоєння азоту, ефективніше збільшують суху речовину пагонів при цвітінні, але, в той же час, кількість зернин у качані менше ніж у сучасних гібридів.

Наразі вчені проводять достатньо досліджень з визначення взаємозв'язку між запасом азоту та води, що визначає врожайність та якість культур, вирощуваних у посушливих умовах [14, 15, 16]. Генотипи нової ери відрізняються більшою часткою загального вмісту азоту в рослині у зрілому стані, і демонструють більшу пристосованість до середовищ з низьким умістом азоту [17].

Такі характеристики рослин, як здатність ефективно використовувати фотосинтетичний азот і глибше розподіляти корені, можуть бути використані як критерій оцінки в селекційних програмах для відбору N-ефективних гібридних сортів для вирощування в умовах із низьким умістом азоту [18]. Посилення глобальної нестачі води також вплине на спосіб доставки азоту добрив до рослин і суттєво знизить продуктивність сільськогосподарських культур [19].

Більш високі врожаї, які потрібно буде підтримувати, вимагатимуть посиленого засвоєння більшості необхідних поживних речовин у той час, коли прогнозується дефіцит деяких добрив. Вплив зміни клімату на поживні речовини ґрунту, циклічність, наявність та потреби в них урожаю важко передбачити [14]. Ті чи інші сорти й гібриди сільськогосподарських культур можуть мати різну вимогливість до поживних елементів, що залежить від генетичних особливостей та гідротермічних умов конкретного року [20], тому винесення основних поживних елементів частинами урожаю можуть істотно коліватися [21, 22].

Основними причинами обмеженого успіху селекції є те, що генетична обумовленість реакцій рослин на поживні речовини та особливості взаємодії рослин зі змінними середовищами недостатньо зрозумілі [19]. Складність генів, що беруть участь у використанні поживних речовин (макро- та мікроелементів), і обмежені зусилля селекціонерів, ґрунтознавців, фізіологів та агрономів для цілісної оцінки питань ефективності використання поживних речовин, перешкоджають прогресу в цій галузі. Обговорюються визначення та доступні методи розрахунку ефективності використання поживних речовин, механізми засвоєння, роль сільськогосподарських культур в ефективності споживання в умовах біотичних та абіотичних стресів та стратегії селекції для підвищення ефективності використання поживних речовин у рослинництві [23].

Посухостійкість гібридів кукурудзи може залежати від інтенсивності й тривалості посухи, фаз розвитку рослини, набору механізмів посухостійкості, наявних в обраних гібридів. Реакція гібридів на діапазон макро- та мікроекологічних стресів характеризується з огляду на ефективність використання води, макро- та мікроелементів, урожайність зерна та екологічний індекс [24, 25].

На сьогодні Міжнародне дослідницьке співтовариство випустило сотні гібридів та сортів кукурудзи, що гідні для вирощування за межами США, зокрема і в посушливих умовах Африки, дослідження не призупиняються [26]. Упровадження сучасних стратегій захисту рослин, таких як трансгенна боротьба з комахами та застосування позакореневого фунгіциду, можуть поширити тривалість засвоєння поживних речовин у сучасному виробництві кукурудзи [27]. Тому існує критична потреба в переоцінці схеми поглинання та розподілу поживних речовин у трансгенних, захищених від комах гібридах, вирощених із використанням сучасних технологічних рішень, як підвищена густота рослин, вдосконалене добриво, сучасні хімічні засоби захисту рослин. Історично поліпшення врожаю зерна кукурудзи супроводжується збільшенням загального виходу біомаси і саме цей потенціал забезпечує рушійну силу поглинання та засвоєння поживних речовин [27, 28].

У більш ранніх роботах авторів статті [5, 29, 30] вже було доведено, що як один із критеріїв рівня інтенсивності будь-якого нового сорту (PiC) може бути використано співвідношення урожайності фактичної (Y^F) та нормативної (Y^N), яку розраховано за існуючими нормативними даними:

$$PiC = Y^F / Y^N \quad (1)$$

Нормативну чи розрахункову урожайність запропоновано визначати як суму урожайності, яка може бути сформована за рахунок природної родючості ґрунту, або його бонітету (Y^B) та приросту урожайності від застосування добрив (ΔY):

$$Y^N = Y^B + \Delta Y, \text{ т/га} \quad (2)$$

З деяким наближенням можна вважати, що найчастіше, реально значущим є приріст урожайності культури від безпосередньо внесених під неї мінеральних добрив, оскільки органічні добрива у вигляді гною практично не вносяться, а післядія мінеральних, за фактично незначних доз фосфору та калію, є неістотною.

Виходячи із формули 1, можна вважати, що фактична урожайність ($У^Ф$) того чи іншого гібриду (сорт) на удобрених посівах може бути розрахована як:

$$У^Ф = P_iC \cdot У^Н = P_iC (У^Д + \Delta У), \text{ т/га} \quad (3)$$

Одним із існуючих методів розрахунку чи визначення вказаних величин можуть бути рекомендації М.В. Калінчика [30], сутність яких полягає в тому, що врожайність без добрив (за бонітетом) береться як експериментальна величина залежно від типу ґрунту і умов, а приріст урожайності ($\Delta У$) від норми добрив (X , ц.д.р./га) пропонується визначати методом спадної дохідності за залежністю:

$$\Delta У = aX^2 + bX, \text{ т/га} \quad (4),$$

де: «а» і «b» – емпіричні коефіцієнти, які є індивідуальними для культури, типу ґрунту та погодних умов.

За рекомендацією авторів цього методу [31], для практичних розрахунків слід враховувати дані для середніх погодних умов.

Стосовно технології вирощування культури і рівня інтенсивності сорту, слід зазначити, що врахування показника приросту урожайності є доцільним тільки за порівняльного оцінювання різних господарств, а в аналізі даних одного господарства, поля чи досліду цей показник не має практичного сенсу, оскільки оцінювання інтенсивності сорту автоматично передбачає врахування існуючого рівня інтенсивності технології вирощування культури [32].

Отже, коротким оглядом сучасних публікацій виявлено підвищений інтерес селекціонерів до створення високоврожайних гібридів кукурудзи, які мають високий рівень засвоєння поживних елементів. Вихід на ринок таких гібридів диктує коригування системи удобрення, програмування врожайності з урахуванням виходу біомаси та гідротермічних умов. Для більш коректного розрахунку приросту врожайності пропонується використовувати показник рівня інтенсивності сорту.

Метою дослідження є оцінити потенціал урожайності гібридів кукурудзи вітчизняної селекції та ефективність використання ними елементів живлення (NPK) з добрив у посушливих умовах Лісостепу.

2. Матеріали та методи

2.1. Характеристика об'єктів та методика досліджень

Польові досліді з вивчення впливу удобрення на урожайність гібридів кукурудзи проведено на дослідних полях Інституту сільського господарства Північного Сходу НААН (ІСГПС) впродовж 2018-2019 рр. Дослідне поле розміщено поблизу с. Сад Сумського району Сумської області. Географічні координати: 50°88'99,72" Північної широти та 34°70'30,19" Східної довготи.

Ґрунт – чорнозем типовий вилугований (Endocalcis Chernozem) середньосуглинковий на лесоподібному суглинку з такими основними характеристиками: вміст гумусу – 4,1-4,7 %; $pH_{KCl} = 5,0$; вміст легкогідролізованого азоту (за Корнфілдом) – 112,0 мг/кг; вміст рухомих сполук P_2O_5 та K_2O (методом Чирикова (екстракція 0,5 м CH_3COOH) – відповідно 118,0 та 100,0 мг/кг; середня щільність будови ґрунту у шарі 0-20 см (за ядерним методом) – 1,25 г/см³. Параметри вмісту елементів живлення і щільності будови ґрунту було використано в розрахунках досліджуваних показників.

Дослідження проводили на двох варіантах польового досліді – удобреному і неудобреному, з гібридами кукурудзи вітчизняної селекції з різними індексами скоростиглості – Зоряний (ФАО 190), Лелека (ФАО 260) та Донор (ФАО 310); оригінатор - Інститут рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН. Повторність досліді 3-х кратна. Площа облікової ділянки 28 м². Технологія вирощування загальноприйнята для зони. Основний обробіток ґрунту – відвальна оранка на глибину 20-22 см. Догляд за рослинами був однаковим на обох варіантах. Норми мінеральних добрив 190 кг д.р./га ($N_{100}P_{45}K_{45}$). Попередник кукурудзи в сівозміні – пшениця озима.

Збирання урожаю зерна кукурудзи проводили механізовано; масу зерна враховували за вологості 14 %.

Розрахунок рівня інтенсивності сортів (гібридів) виконали з використанням формули 1 на основі урожаїв зерна.

Для розрахунку коефіцієнтів використання рослинами елементів мінерального живлення із добрив та ґрунту (%) застосували такі показники: фактична урожайність

зерна, т/га (експериментально); вміст елементів живлення (N, P, K) у зерні і побічній продукції (згідно з довідковими даними [33]); вміст елементів живлення у ґрунті, мг/кг (експериментально); щільність будови ґрунту, т/м³ (експериментально).

2.2. Метеорологічні умови 2018 і 2019 рр.

Оцінка гідротермічних умов вегетаційного періоду кукурудзи за роки досліджень показала, що як в окремі місяці, так і в цілому за вегетацію, умови 2018 та 2019 років були близькі між собою, але суттєво відрізнялися від середніх. Так, за даними метеопункту, розміщеного на території дослідного поля, за сумою активних температур вегетаційний період 2018 р. був теплішим на 475°, а 2019 р. – на 373° порівняно з середніми багаторічними даними. Кількість атмосферних опадів як у 2018, так і в 2019 р., в усі місяці була суттєво меншою ніж середньобагаторічні дані, а сума опадів за вегетаційний період була вдвічі меншою порівняно з багаторічними даними з різницею в 161,1 та 162,1 мм (Табл. 1).

Таблиця 1

Характеристика гідротермічних умов вегетаційного періоду кукурудзи (метеостанція ІСГПС НААН)

Показник	Середньомісячні параметри					За період вегетації (сума)
	V	VI	VII	VIII	IX	
Середні багаторічні дані						
Температура повітря, °C	15,6	18,8	20,2	19,2	13,4	2705
Атмосферні опади, мм	54	67	76	57	50,0	304,0
ГТК	1,12	1,19	1,16	0,95	1,24	1,12
Фактичні дані 2018 р.						
Температура повітря, °C	19,9	21,5	22,6	23,0	16,8	3180
Атмосферні опади, мм	18,5	37,5	59,0	3,6	24,3	142,9
ГТК	0,30	0,58	0,84	0,05	0,48	0,45
Фактичні дані 2019 р.						
Температура повітря, °C	18,0	24,5	21,1	21,5	15,5	3078
Атмосферні опади, мм	41,0	16,8	57,4	4,5	22,2	141,9
ГТК	0,74	0,23	0,88	0,07	0,48	0,46
Примітка. ГТК – гідротермічний коефіцієнт Селянинова по місяцях і середній за вегетації						

Примітка. ГТК – гідротермічний коефіцієнт Селянинова по місяцях і середній за вегетацію

За середнім для вегетаційного періоду значенням гідротермічного коефіцієнта (ГТК) Г.Т. Селянинова середньобагаторічні умови можна характеризувати як слабо посушливі, а за фактичними даними за 2018 та 2019 роки – як дуже посушливі. Детальне порівняння погодних умов двох років однозначно показує, що суттєва різниця між ними щодо атмосферних опадів була тільки в червні. В цьому місяці також констатовано й найвищу середньомісячну температуру повітря – +24,5 °C в 2019 р. проти +21,5 °C у 2018 р. Як результат, фактичне значення ГТК у червні 2019 р. виявилось набагато нижчим, ніж у 2018 р. Отже, наведені дані показують, що умови в роки досліджень були дуже посушливими, а умови червня 2019 р. – особливо сухими й спекотним. Враховуючи, що в червні йде процес формування вегетативних органів і цей період, як відомо, є для кукурудзи критичним [34], не виключеним є негативний вплив погодних умов на урожайність кукурудзи.

3. Результати досліджень та їх обговорення

В таблиці 2 представлено урожайні дані гібридів на удобрених і неудобрених ділянках та розрахований за їх різницею приріст урожаю від внесення добрив.

Наведені урожайні дані однозначно вказують, що в обох випадках (варіант з добривами і варіант без добрив) з підвищенням індексу скоростиглості ФАО урожайність зерна кукурудзи зростає, при цьому урожайність в 2018 році була більшою, ніж у 2019, що, на нашу думку, і визначається суттєвими відмінностями гідротермічного режиму в червні, у критичний час для розвитку генеративних органів. При цьому приріст урожайності від добрив не істотно відрізнявся і між гібридами і за роками.

Виходячи із наведених вище залежностей (формули 1-3), стає можливим визначитися з рівнем інтенсивності використання елементів живлення як співвідношенням

фактичної і нормативної урожайностей на неудобрених ділянках (PiC_B) і фактичного і нормативного приростів урожаю на удобрених (PiC_D):

$$PiC_B = \frac{Y_B^\Phi}{Y_B^H}; \quad PiC_D = \frac{\Delta Y^\Phi}{\Delta Y^H} \quad (5),$$

де Y_B^Φ – урожайність зерна кукурудзи фактична на неудобрених ділянках; Y_B^H – урожайність нормативна на неудобрених ділянках; ΔY^Φ – приріст урожаю зерна фактичний на удобрених ділянках; ΔY^H – приріст урожаю зерна нормативний на удобрених ділянках.

Таблиця 2

Фактична урожайність гібридів кукурудзи (2018-2019 рр.)

Гібрид	Урожайність зерна фактична, т/га		
	на удобрених ділянках (Y^Φ)	на неудобрених ділянках (Y_B^Φ)	приріст (ΔY^Φ)
<i>2018 р.</i>			
Зоряний	8,61	5,48	3,13
Лелека	9,01	5,68	3,33
Донор	9,72	6,02	3,70
<i>2019 р.</i>			
Зоряний	7,32	4,26	3,06
Лелека	8,40	5,03	3,37
Донор	8,67	5,35	3,32
<i>В середньому за 2018-2019 рр.</i>			
Зоряний	7,96	4,86	3,10
Лелека	8,70	5,36	3,34
Донор	9,20	5,68	3,52

Примітка. Індекси скоростиглості гібридів: Зоряний - ФАО 190; Лелека - ФАО 260; Донор - ФАО 310.

Згідно з прийнятими рекомендаціями [3] на чорноземах типових середньосуглинкових, нормативна урожайність кукурудзи без внесення добрив (Y_B^H) за середніх погодних умов становить 4,93 т/га. Для таких ґрунтів параметри моделі (емпіричні коефіцієнти, які є індивідуальними для культури, типу ґрунту та погодних умов) відгуку врожайності на добрива (формула 4) становлять «а» – 0,097, «в» – 0,927, що за норми добрив 1,90 ц д.р./га може забезпечити нормативний приріст урожайності зерна кукурудзи кожного гібриду (ΔY^H) – 1,41 т/га.

Результати розрахунків показують, що рівень інтенсивності використання елементів живлення (PiC) кожним гібридом в обох варіантах досліді у кожному році був різним і коливався від 0,86 до 2,62, а діапазон середніх значень за два роки становив 0,98-2,05 (Табл. 3).

Таблиця 3

Рівень інтенсивності використання елементів живлення гібридами кукурудзи (PiC)

Рік	Гібрид	Рівень інтенсивності (PiC)		
		на удобрених ділянках	на неудобрених ділянках	Приріст урожайності (ΔY^Φ)
2018	Зоряний	1,36	1,11	2,22
	Лелека	1,42	1,15	2,36
	Донор	1,53	1,22	2,62
2019	Зоряний	1,15	0,86	2,17
	Лелека	1,32	1,02	2,40
	Донор	1,37	1,08	2,35
2018-2019 середній	Зоряний	1,26	0,98	2,20
	Лелека	1,37	1,08	2,38
	Донор	1,45	1,15	2,50

Примітка. Індекси скоростиглості гібридів: Зоряний - ФАО 190; Лелека - ФАО 260; Донор - ФАО 310.

З іншого боку, якщо прийнята нами умова щодо кількісної оцінки інтенсивності сорту (формула 1) є справедливою, то таке трактування, виходячи із залежності 3,

передбачає однакове значення інтенсивності використання основних елементів живлення рослинами як із ґрунту (PiC_B), так і з добрив (PiC_D), тобто:

$$PiC_B = PiC_D = PiC \quad (6)$$

Підтвердженням цієї умови можна вважати те, що приріст урожайності від добрив (ΔY) не є результатом прямого досліду, а визначається як різниця між фактичною урожайністю на удобрених ділянках (Y_D) і урожайністю без добрив (Y_B).

Отже, виходячи із справедливості рівняння 3 і умови 6, можна говорити про те, що на фоні застосування мінеральних добрив розподіл фактичної врожайності між урожайністю без застосування добрив і приростом від добрив є дещо іншим, ніж раніше визначений (див. табл. 2).

У першому наближенні можна вважати, що за внесення мінеральних добрив ефективність використання основних елементів із ґрунту зростає. В результаті цього, на фоні внесених добрив, урожайність, за рахунок природної родючості ґрунту, стає більшою, ніж за їх відсутності, а частка ефекту від добрив зменшується, що відображено у таблиці 4.

Таблиця 4

Фактичні та скориговані урожайності гібридів кукурудзи у варіантах без добрив та за внесення $N_{100} P_{45} K_{45}$ згідно з PiC

Гібрид	Фактична урожайність на фоні добрив (Уд)	Рівень інтенсивності (РiС)	Урожайність, т/га			
			за рахунок бонітету		приріст від добрив	
			фактична без добрив	уточнена на фоні добрив	за різницею	уточнений за РiС
2018 р.						
Зоряний	8,61	1,36	5,48	6,70	3,13	1,91
Лелека	9,01	1,42	5,68	7,01	3,33	2,00
Донор	9,72	1,53	6,02	7,54	3,70	2,18
2019 р.						
Зоряний	7,32	1,15	4,26	5,68	3,06	1,64
Лелека	8,40	1,32	5,03	6,48	3,37	1,92
Донор	8,67	1,37	5,35	6,73	3,32	1,94
В середньому у 2018-2019 рр. (дуже посушливі роки)						
Зоряний	7,96	1,26	4,86	6,19	3,10	1,77
Лелека	8,70	1,37	5,36	6,74	3,34	1,96
Донор	9,20	1,45	5,68	7,14	3,52	2,06
Примітка. Індеси скоростиглості гібридів: Зоряний - ФАО 190; Лелека - ФАО 260; Донор - ФАО 310						

Примітка. Індекси скористиглості гібридів: Зоряний - ФАО 190; Лелека - ФАО 260; Донор - ФАО 310

Наведені дані однозначно вказують, що на фоні внесення 190 кг д.р./га мінеральних добрив ($N_{100}P_{45}K_{45}$) урожайність за рахунок природної родючості ґрунтів в дуже сухих умовах вегетаційного періоду в середньому за два роки в усіх гібридів підвищилася на 1,33-1,46 т/га. Крім того, можна зауважити, що, за уточненими даними, приріст урожайності від добрив, хоча і меншою мірою ніж у варіанті без добрив, залежав і від ФАО гібриду, і від метеорологічних умов червня (Табл. 4). Кількісні характеристики використання основних елементів живлення з ґрунту та ефективність внесених добрив наведено в табл. 5. При цьому фактичну окупність добрив (Od , т/ц) визначали як співвідношення приросту урожайності (ΔY , т/га) та норми внесених добрив ($X = 1,90$ ц д.р./га).

Коефіцієнт (відсоток) використання рослинами із ґрунту (K_E) кожного з основних елементів (N, P, K) розраховували за відомою залежністю [21]:

$$K_E = \frac{Y_B \cdot C_E}{OM \cdot h \cdot \Gamma_E} 1000, \% \quad (7),$$

де: Y_B – фактична урожайність на неудобрених ділянках, т/га;

C_E – вміст елементу живлення в врожаї (в основній і побічній продукції), кг/т ($N = 26,5$; $P = 10,4$; $K = 28,8$ [22]) на неудобрених ділянках;

Γ_E – вміст елементу живлення у ґрунті на неудобрених ділянках, мг/кг;

ОМ – об'ємна маса ґрунту (щільність будови), т/м³ (1,25);

Н – розрахунковий шар ґрунту, см (20).

Таблиця 5

Ефективність використання мінеральних добрив і основних елементів мінерального живлення з ґрунту гібридами кукурудзи за уточненими урожайними даними (на фоні N₁₀₀P₄₅K₄₅)

Рік	Гібрид	Фактична урожайність на фоні добрив (У _ф), т/га	Окупність мінеральних добрив (Од), т/ц	Коефіцієнт (відсоток) використання елементів живлення із ґрунту (К _е), %		
				N	P	K
2018	Зоряний	8,61	1,00	63,2	23,6	77,2
	Лелека	9,01	1,05	66,3	24,7	80,7
	Донор	9,72	1,14	71,4	26,6	86,8
2019	Зоряний	7,32	0,86	53,8	20,0	65,4
	Лелека	8,40	1,01	61,3	22,8	74,6
	Донор	8,67	1,02	63,7	23,7	77,5
2018-2019 середній	Зоряний	7,96	0,93	56,5	21,8	71,3
	Лелека	8,70	1,03	63,8	23,8	77,6
	Донор	9,20	1,08	67,6	25,2	82,2

Таким чином, за норми добрив 190 кг д.р./га (N₁₀₀P₄₅K₄₅) в дуже посушливих умовах (як у 2018 та 2019 роках), урожайність зерна досліджуваних гібридів кукурудзи коливалася за роками в межах 7,32-9,72 т/га (в середньому за два роки 7,96-9,20 т/га) з окупністю добрив урожаєм 0,86-1,14 т/ц (в середньому за два роки 0,93-1,08 т/ц) та коефіцієнтом (відсотком) використання основних елементів із ґрунту: азоту – 53,8-71,4 % (в середньому за два роки 56,5-67,6 %), фосфору – 20,0-26,6 % (в середньому за два роки 21,8-25,2 %) і калію – 65,4-86,8 % (71,3-82,2 %).

Підсумовуючи наведене, можна стверджувати, що припущення про зростання ефективності використання культурою основних елементів живлення із ґрунту на фоні мінеральних добрив доведено не безпосередньо у спеціальних дослідках, а опосередковано. Це вказує на доцільність уточнення цього явища в цільових дослідженнях в Україні, зокрема і з використанням мічених атомів.

Висновки

1. На чорноземі типовому в зоні Лісостепу за дуже посушливих погодних умов у вегетаційний період (ГТК = 0,45-0,46) на фоні N₁₀₀ P₄₅ K₄₅ гібриди кукурудзи Зоряний (ФАО 190), Лелека (ФАО 260) і Донор (ФАО 310) здатні сформувати урожайність на рівні 7,32-9,72 т/га. При цьому, з підвищенням значення індекса ФАО, урожайність кукурудзи, як на варіантах удобрення, так і без них, зростає.

2. Критичні гідротермічні умови в червні 2019 р. (ГТК = 0,23) стали причиною зниження врожайності кукурудзи на 0,61-1,29 т/га порівняно з 2018 р. (ГТК у червні 0,58).

3. Попередньо можна стверджувати, що внесення мінеральних добрив підвищує ефективність використання культурою основних елементів живлення з ґрунту і, в нашому випадку, за два дуже сухих роки це підвищення в середньому по гібридах опосередковано становило 1,33-1,46 т/га (різниця між значенням урожайності за рахунок бонітету на фоні добрив (уточнена) та фактичної без добрив).

4. У дуже посушливих умовах вегетаційного періоду за норми добрив N₁₀₀P₄₅K₄₅ їх окупність становила 0,86-1,14 т/ц, а коефіцієнт (відсоток) використання основних елементів з ґрунту: азоту – 53,8-71,4 %, фосфору – 20,0-26,6 % і калію – 65,4-86,8 %.

Список використаних джерел

1. Pareek A., Dhankher O.P., Foyer C.H. Mitigating the impact of climate change on plant productivity and ecosystem sustainability. *Journal of Experimental Botany*. 2020. Vol. 71, Issue 2. P. 451–456. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz518>.
2. Baligar V.C., Fageria N.K., He Z.L. Nutrient use efficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2001. V. 32:7-8. P. 921-950. DOI: <https://doi.org/10.1081/CSS-100104098>
3. Кучер А., Кучер Л. Економіка використання мінеральних добрив в сільському господарстві. *Пропозиція*. 2017. URL: <https://propozitsiya.com.ua/ekonomika-vykorystannya-mineralnyh-dobryv-v-sil'skomu-gospodarstvi>
4. Salim N., Raza A. Nutrient use efficiency (NUE) for sustainable wheat production: a review. *Journal of Plant Nutrition*. 2020. Vol. 43:2 P. 297-315. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1676907>.
5. Харченко О.В., Прасол В.І., Захарченко Е.А., Собко М.Г. До проблеми аналітичної оцінки ефективності мінеральних добрив та екологічних обмежень їх норми: наукове видання. Суми: Університетська книга, 2016. 31 с.
6. Котвицький Б.Б. Пряма дія мінеральних добрив та оптимальний рівень їх застосування у сівозімінах залежно від родючості дерново-підзолистих ґрунтів Західного Полісся. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2016. Вип. 85. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 61-65. <https://doi.org/10.31073/acss85-09>.

7. Мірошниченко М.М., Гладкіх Є.Ю., Ревтьє-Уварова А.В., Панасенко Є.В., Звонар А.М., Сорокотяга Г.В., Коваленко С.С., Смищенко В.М. Дев'ять наближень сучасної системи удобрення сільськогосподарських культур. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. 2018. Вип. 87. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". С. 82-91. <https://doi.org/10.31073/acss87-13>.
8. Сучасні підходи до застосування мінеральних добрив за збереження ґрунтової родючості в умовах зміни клімату / Гамаюнова В.В., Хоненко Л.Г., Бакланова Т.В. [та ін.]. *Наукові горизонти*. 2020. № 2 (87). С. 89-101.
9. Fromme D.D., Spivey T.A., Grichar W.J. Agronomic Response of Corn (Zea mays L.) Hybrids to Plant Populations. *International Journal of Agronomy*. Vol. 2019, Article ID 3589768, 8 p. 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/3589768>.
10. White J.W., Reynolds M.P. A physiological perspective on modeling temperature response in wheat and maize crops. *Proceedings of a Workshop, CIMMYT, Modeling Temperature Response in Wheat and Maize*. 2003. El Batán, Mexico. P. 8-17.
11. Elmore R.W., Sawyer J.E., Boyer M.J., Woli K.P. Updating an old paradigm: Corn growth, development, dry matter, and nutrient accumulation and partitioning. *Crops and Soil magazine*. 2019. P. 34-58. <https://doi.org/10.2134/cs2019.52.0213>
12. Bender R.R., Haegerle J.W., Ruffo M.L., Below F.E. Modern Corn Hybrids' Nutrient Uptake Patterns. *Better Crops*. 2013. Vol. 97, No. 1. P. 7-10 URL: <https://www.ipni.net/.../page%207.pdf>.
13. Sangoi L., Ender M., Guidolin A.F., Almeida M.L., Valmor A. Nitrogen fertilization impact on agronomic traits of maize hybrids released at different decades. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília. 2001. V. 36, n. 5. P. 757-764. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000500005>.
14. McDonald G., Bovill W., Huang C., Lightfoot D.C. Kole. Nutrient Use Efficiency. *Genomics and Breeding for Climate-Resilient Crops*. 2013. Vol. 2. Issue 3. P. 333-393. https://doi.org/10.1007/978-3-642-37048-9_10.
15. Lopushniak V. Influence of fertilizing schemes in the crop rotation system on the organic matter and nitrogen content in the dark-grey podzolized soil in the western forest-steppe of the Ukraine. *Polish Journal of Soil Science*. 2011. Vol. 44. No.1. P.19-24.
16. Лопушняк В.І. Вплив систем удобрення на вологозабезпечення культур в польовій сівозміні Західного Лісостепу України. Актуальні проблеми підвищення родючості ґрунтів та застосування агрохімічних засобів в агрофітоценозах: матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, присвяченої Міжнародному дню агрохіміка 07-09 червня 2017 року. Львів: ЛНАУ. С.163-174.
17. Mueller M.S., Vyn T.J. Maize plant resilience to N stress and post-silking N capacity changes over time: a review. *Front. Plant. Sci.* 2016. V. 7. P. 1-7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00053>.
18. Shoot and root traits of summer maize hybrid varieties with higher grain yields and higher nitrogen use efficiency at low nitrogen application rates / Su W., Kamran M., Xie J. [et al.]. *PeerJ*. V. 7:e7294. 2019. P. 1-21. <https://doi.org/10.7717/peerj.7294>.
19. The intersection of nitrogen nutrition and water use in plants: new paths towards improved crop productivity / Plett D.C., Ranathunge K., Melino V.J. [et al.]. *Journal of experimental botany*. V. 71. Issue 15. 2020. P. 4452-4468. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa049>.
20. Мірошниченко М.М., Звонар А.М., Панасенко Є.В., Леонов О.Ю. Надходження елементів живлення до рослин пшениці озимої різних сортів у контрастні за погодними умовами роки. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 89. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 51-62. <https://doi.org/10.31073/acss89-06>.
21. Господаренко Г.М., Прокопчук І.В., Бойко В.П. Засвоєння основних елементів живлення соєю з ґрунту й добрив. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 89. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 63-70. <https://doi.org/10.31073/acss89-07>.
22. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Любич В. В., Бойко В. П. Засвоєння основних елементів живлення з ґрунту й мінеральних добрив пшеницею озимою на чорноземі опідзоленому Правобережного лісостепу України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2020. Вип. 3. С. 35-44. [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-3\(107\)](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-3(107)).
23. Hawkesford M., Kopriva S., De Kok L. Nutrient Use Efficiency in Plants. *Concepts and Approaches (book)*. *Plant Ecophysiology series*. 2014. V. 9. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-10635-9>.
24. Adey E., Roozeboom K., Balboa G.R., Schlegel A. Drought-tolerant corn hybrids yield more in drought-stressed environments with no penalty in non-stressed environments. *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7. P. 1-9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01534>.
25. Гладкіх Є.Ю. Ефективність комбінування добрив із стресопротекторами та регуляторами росту для послаблення впливу абіотичних стресів на рослини. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 90. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 57-64. <https://doi.org/10.31073/acss90-06>.
26. McFadden J., Smith D., Wechsler S., Wallander S. Development, adoption, and management of drought-tolerant corn in the United States, EIB-204. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. 2019. 39 p. URL: <https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/91103/eib-204.pdf?v=4176>.
27. Bender R.R., Haegerle J.W., Ruffo M.L., Below F.E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. *Agronomy Journal*. 2013. Vol. 105, Issue 1. P. 161-170. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0352>.
28. Гамаюнова В., Литовченко А. Урожайность и водопотребление пшеницы озимой в зависимости от сортовых особенностей, предшественников и фона питания в условиях степи Украины. *Stiinta agricola*. 2017. № 1, С. 23-27. URL: <https://sa.uasm.md/index.php?journal=sa&page=article&op=view&path%5B%5D=529>.
29. Харченко О.В., Петренко Ю.М. Ресурсні рівні врожайності сільськогосподарських культур та їх екологічне оцінювання. Суми: Мрія, 2017. 53 с.
30. Агроекономічні та екологічні аспекти встановлення оптимального рівня врожайності нових сортів сільськогосподарських культур. За ред. О.В. Харченка. Суми: ФОП Щербина І.В. 2017. 154 с. URL: <http://repo.snau.edu.ua/bitstream/123456789/6275/1/%D0%90%D0%B3%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D0%B%D0%BD%D0%B%D0%BC%D1%96%D1%87%D0%BD%D1%96%D0%BD%D1%96%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8.pdf>.

31. On problem of establishing the intensity level of crop variety and its yield value subject to the environmental conditions and constraints / Kharchenko O., Zakharchenko E., Kovalenko I. [et al.]. *AgroLife scientific journal*. 2019. V.8. № 1. P. 113-119. URL: http://agrolifejournal.usamv.ro/pdf/vol.VIII_1/Art14.pdf.

32. Калінчик М.В., Ільчук М.М., Калінчик М.Б. Економічне обґрунтування норм внесення мінеральних добрив залежно від ціни на ресурси та продукцію. Київ: Нічлава. 2006. 43 с.

33. Довідник по удобренню сільськогосподарських культур / за ред. П.О. Дмитренка, Б.С. Носка. Київ: Урожай, 1987. 202 с.

34. Польовий А.М., Божко Л.Ю. Довгострокові агрометеорологічні прогнози. Київ: КНТ. 2007. 293 с.

UDC 633.34:631

Nutrients use efficiency by modern hybrids of maize under arid conditions of the Forest-Steppe

O.V. Kharchenko¹, S.V. Petrenko¹, M.G. Sobko², S.I. Medvid², E.A. Zakharchenko^{1*}

¹Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

²Institute of Agriculture of the Northeast of NAAS, Sumy, Sad, Ukraine

*E-mail: elionapolis@gmail.com

The nutrient use efficiency of maize hybrids from the soil or through fertilizers is considered. Cultivation of modern hybrids requires determining the necessary rate of fertilizer to get the planned yield, taking into account their potential productivity and weather conditions. In the absence of data of nutrient uptake for new hybrids, it is proposed to use an indicator of their level of intensity, which is calculated by the ratio of the actual yield and its normative (calculated) value. Studies were conducted in 2018 and 2019 in the fields of the Institute of Agriculture of the Northeast of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. Soil – chernozem typical leached (Endocalcis Chernozem). Three maize (*Zea mays* L.) hybrids of Ukrainian selection were used: Zoryany (FAO 190), Leleka (FAO 260) and Donor (FAO 310). The vegetation seasons 2018-2019 were characterized as very arid (hydrothermal coefficient of Selianinov (HTC) 0.45-0.46). The calculated rate intensity of hybrids on average of two years was 1.07 at sites without fertilizers, and 1.36 at sites with fertilizers (N₁₀₀ P₄₅ K₄₅). The efficiency of soils N,P,K use increases by application of mineral fertilizers. The nutrients output from the soil: nitrogen – 53.8-71.4 %, phosphorus – 20.0-26.6 % and potassium – 65.4-86.8 %. The relative effect of fertilizers on the yield decreases, therefore, rate of natural fertility in the growth of the crop on fertilized soil increases. Due to the natural fertility of soils, the yield of all hybrids increased by an average of 1.33-1.46 t/ha with N₁₀₀ P₄₅ K₄₅ applying. The dependence of yield of all maize hybrids on hydrothermal conditions in June was obtained. It was found that, all other things being equal, the yield is directly correlated with the FAO index of the hybrid. The payback of mineral fertilizers is estimated as 0.86-1.14 t / c.

Keywords: *Zea mays*; corn; hybrids; nutrients; rate intensity of cultivars; nutrient utilization; economic return; nutrients use efficiency; mineral fertilizer; Chernozem typical..

Citing: Kharchenko O.V., Petrenko S.V., Sobko M.G., Medvid S.I., Zakharchenko E.A. 2021. Nutrients use efficiency by modern hybrids of maize under arid conditions of the Forest-Steppe. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 91. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 49-58. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31073/acss91-06>.