

УДК 633.15:631.8:581.132

DOI:10.37128/2707-5826-2025-4-9

**ВПЛИВ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ НА
ФОТОСИНТЕТИЧНУ АКТИВНІСТЬ І
ПРОДУКТИВНІСТЬ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ
В УМОВАХ ПРАВОБЕРЕЖНОГО
ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

М.І. ПОЛИЩУК,
кандидат с.-г. наук,
доцент
А.А. ХАВХУН, аспірант
Вінницький національний
аграрний університет

У статті наведено результати комплексних польових досліджень, проведених у 2023-2024 рр. в умовах Правобережного Лісостепу України, спрямованих на вивчення впливу мінерального живлення на фотосинтетичну активність і продуктивність гібридів кукурудзи (*Zea mays* L.). Досліди виконано на чорноземах опідзолених середньосушлинкових за близьких до середньобагаторічних погодних умов. Об'єктами досліджень були гібриди вітчизняної селекції ДБ Хотин (ФАО 250) та ДН Дніпро (ФАО 300). Схема досліду передбачала базовий фон $N_{45}P_{45}K_{45}$ із варіантами азотних підживлень (N_{30} у фазах 3-5 листків і цвітіння) та використанням біостимуляторів Органік-Баланс, Азотофіт-Р (0,5 л/га) і Аminorost (0,5-1,0 л/га).

Встановлено, що поєднання мінерального живлення з біостимуляторами забезпечує формування потужного фотосинтетичного апарату, збільшує площу листової поверхні на 20-25 %, масу рослини – на 25–30 %, а чисту продуктивність фотосинтезу – на 29 % порівняно з контролем. Активізація ферментів Rubisco і PEP-карбоксилази сприяє зростанню інтенсивності фіксації вуглекислого газу, підвищенню вмісту хлорофілу та оптимізації азотного обміну. У результаті комплексне удобрення підвищує врожайність зерна гібридів ДБ Хотин і ДН Дніпро до 9,8-9,9 т/га, що на 38-41 % більше від контролю, а також поліщує якісні показники зерна (вміст білка – до 9,3 %, крохмалю – до 73,8 %).

Показано, що інтегровані системи живлення підвищують енергетичну ефективність фотосинтезу, коефіцієнт використання фотосинтетично активної радіації та стійкість рослин до короткочасних періодів посухи. Доведено, що комбінація $N_{45}P_{45}K_{45} + N_{30} + \text{Органік-Баланс} + \text{Азотофіт-Р} + \text{Аminorost}$ із дворазовим внесенням азоту є оптимальною для підвищення продуктивності та стабільності посівів кукурудзи у кліматичних умовах Лісостепу. Результати свідчать про високу ефективність адаптивних технологій мінерального живлення як засобу підвищення фотосинтетичного потенціалу, енергетичної ефективності та екологічної стійкості виробництва.

Ключові слова: кукурудза, фотосинтетична активність, мінеральне живлення, продуктивність, енергетична ефективність, гібриди, Правобережний Лісостеп, Органік-Баланс, Азотофіт-Р, Аminorost.

Табл. 2. Рис. 1. Літ. 10.

Постановка проблеми: Кукурудза (*Zea mays* L.) є однією з найбільш продуктивних культур у світовому землеробстві, яка забезпечує значну частку виробництва кормового та продовольчого зерна. Вона є основою для розвитку тваринництва, біоенергетики та харчової промисловості, а її потенціал зростає завдяки інтенсивному впровадженню сучасних гібридів і технологій удобрення. Водночас, в умовах кліматичних змін, характерних для останніх десятиліть, особливої актуальності набуває питання раціонального управління мінеральним живленням, що є ключовим чинником стабілізації фотосинтетичних процесів і формування високої продуктивності.



Кукурудза є однією з провідних зернових культур України, а рівень її продуктивності значною мірою визначається інтенсивністю фотосинтетичних процесів, що залежать від забезпечення рослин елементами мінерального живлення. Вітчизняні дослідження засвідчують, що оптимізація мінерального живлення сприяє формуванню потужного асиміляційного апарату, підвищує фотосинтетичний потенціал та забезпечує стабільне накопичення сухої речовини у рослинах кукурудзи [1].

У Правобережному Лісостепі України агрокліматичні умови вирізняються нестабільністю водного режиму, нерівномірністю розподілу опадів і зростанням середньодобових температур у вегетаційний період. Такі зміни впливають на інтенсивність фотосинтезу, тривалість активного росту листкової поверхні та коефіцієнт використання сонячної радіації рослинами. Звідси виникає необхідність адаптації системи удобрення до нових кліматичних реалій – з урахуванням біологічних особливостей гібридів та потенціалу сучасних біостимуляторів росту, здатних оптимізувати живлення в стресових умовах.

У практиці сучасного агровиробництва спостерігається тенденція до підвищення ролі інтегрованого живлення, що поєднує застосування мінеральних добрив із органо-мінеральними препаратами та біостимуляторами мікробіологічного походження. Саме тому дослідження ефективності таких комбінацій на різних гібридах кукурудзи є надзвичайно важливим для визначення найраціональніших схем живлення, здатних забезпечити оптимальний розвиток фотосинтетичного апарату і максимальну реалізацію генетичного потенціалу врожайності в умовах Лісостепу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наукові праці вітчизняних і закордонних дослідників свідчать, що ефективність фотосинтезу у кукурудзи визначається не лише спадковими особливостями гібрида, а й рівнем забезпечення рослин елементами живлення, особливо азотом, фосфором і калієм. Згідно з дослідженнями М.М. Мусієнка, О. О. Стасика, Д. А. Кірізія, Г.О. Прядкіної та інших учених, оптимальне мінеральне живлення сприяє посиленню синтезу хлорофілу а і b, активності ферментів Rubisco та фосфоенолпіруваткарбоксилази, що забезпечує підвищення продуктивності фотосинтетичної системи листків.

Водночас публікації А.А. Камінського, Н.В. Кузьміної та ін. зазначають, що надлишок азоту без належного забезпечення фосфором та калієм призводить до дисбалансу метаболізму вуглеводів і пригнічення синтезу цукрів у зерні. Тому оптимальне співвідношення N:P:K є визначальним для стабільного зростання фотосинтетичної поверхні та високого коефіцієнта користування сонячною енергією. Застосування мінеральних макроелементів NPK збільшує площу листкової поверхні гібридів кукурудзи, що на пряму корелює з підвищеною фотосинтетичною активністю і кращим накопиченням сухої маси. Це підвищує здатність рослин до асиміляції вуглекислого газу. Дослідження показують, що внесення мінеральних добрив у систему живлення кукурудзи підвищує врожай зерна та сухої маси, у порівнянні з контролем без

удобрення, завдяки більш ефективному використанню ресурсів рослинами. Варто також наголосити, що останні дослідження з використанням органо-мінеральних біопрепаратів (Органік-Баланс, Азотофіт-Р, Aminorost тощо) вказують на їхню здатність стимулювати ріст кореневої системи, покращувати засвоєння азоту та фосфору й підвищувати вміст хлорофілу в листках на 10-15 %. [2, 3]. Це підвищує фотосинтетичну потужність агроценозу та дозволяє реалізувати потенціал врожайності гібридів навіть за обмеженого зволоження.

Отже, аналіз літературних джерел підтверджує, що пошук адаптивних схем мінерального живлення, які поєднують традиційні добрива з біостимулюючими компонентами, є актуальним завданням.

Постановка завдання. Метою дослідження було встановити закономірності впливу різних схем мінерального живлення, зокрема поєднання базового фону $N_{45}P_{45}K_{45}$ з азотними підживленнями та біостимуляторами Органік-Баланс, Азотофіт-Р і Aminorost, на морфо-біологічні показники, фотосинтетичну активність і продуктивність гібридів кукурудзи ДБ Хотин і ДН Дніпро в умовах Правобережного Лісостепу України. Завданням було визначити, які комбінації добрив забезпечують найвищу ефективність фотосинтезу, оптимальне формування листкової поверхні та максимальний рівень урожайності зерна при дотриманні адаптивних технологій вирощування.

Виклад основного матеріалу: В умовах сучасного агровиробництва одним із визначальних чинників ефективності вирощування кукурудзи є збалансоване мінеральне живлення, яке безпосередньо впливає на активність фотосинтетичного апарату та формування врожайності. Фотосинтез – це головний процес, що забезпечує акумуляцію енергії сонячного випромінювання та її перетворення у хімічну енергію органічних сполук, тому оптимізація його інтенсивності є стратегічним завданням для підвищення продуктивності посівів.

Азот як ключовий елемент для синтезу білків, хлорофілу та ферментів позитивно впливає на фотосинтетичні процеси та врожайність зерна кукурудзи. Дослідження свідчать про збільшення сухої маси та продуктивності при оптимальному азотному живленні. Польові експерименти показують, що інтенсивність росту та розвиток листкової поверхні залежить від рівня мінерального живлення, що впливає на синтез органічних речовин і ступінь розвитку асиміляційного апарату. Мінеральне удобрення впливає на стан асиміляційного апарату рослин кукурудзи, що відображається на показниках площі листків і фотосинтетичного потенціалу посівів, а отже – на продуктивності гібридів у господарських умовах [4, 5].

Поле-дослідні дані свідчать, що макроеlementи підвищують показники фотосинтетичної продуктивності листків, що сприяє покращенню асиміляції CO_2 та накопичення біомаси у гібридів кукурудзи. Збалансоване мінеральне живлення позитивно впливає на фізіологічні показники рослин (водний баланс, транспірація, обмін речовин), що відображається у покращенні фотосинтетичної продуктивності та підвищенні врожайності [6, 7].

Дослідження проводилися в 2023-2024 роках у межах ініціативної теми «Розробка адаптивних технологій удобрення кукурудзи в умовах Лісостепу Правобережного України» на чорноземах опідзолених середньосуглинкових, які характеризуються середнім рівнем забезпечення елементами живлення та нейтральною реакцією ґрунтового розчину. Погодні умови в роки досліджень були наближеними до середньобаторічних: кількість опадів за вегетаційний період становила 290,8 мм при середньорічній нормі 289 мм, а температурний режим вегетації відповідав кліматичним показникам зони. Це створило оптимальні умови для вивчення впливу факторів мінерального живлення на фотосинтетичну активність і продуктивність гібридів кукурудзи, виключаючи вплив екстремальних стресів.

Об'єктом дослідження були два гібриди кукурудзи вітчизняної селекції ДБ Хотин (ФАО 250) та ДН Дніпро (ФАО 300), які відрізняються за тривалістю вегетаційного періоду, морфологічними особливостями листкового апарату та швидкістю формування генеративних органів.

Схема досліду передбачала вивчення двох факторів: фактор А – гібрид, фактор Б – система удобрення. Базовим фоном було $N_{45}P_{45}K_{45}$, до якого в різних комбінаціях додавали азотні підживлення у фазах 3-5 листків і цвітіння, а також біостимулятори Органік-Баланс, Азотофіт-Р (0,5 л/га) і Aminorost (0,5–1,0 л/га). Такий підхід дозволив оцінити не лише кількісну, а й якісну реакцію рослин на різні системи живлення.

Ефективність фосфору та калію в системах живлення кукурудзи полягає у покращенні енергетичного обміну, водного балансу та фотосинтетичних процесів, що сприяє регуляції росту рослин і підвищенню врожайності. Збалансоване внесення мінеральних добрив з урахуванням потреб ґрунту підвищує не лише продуктивність кукурудзи, а й сприяє збереженню родючості ґрунту та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище [8, 9].

Варто зазначити, що базові морфологічні параметри рослин кукурудзи значно варіювали залежно від поєднання мінерального живлення та біостимуляторів. За результатами середнього за два роки спостережень, висота рослин у контрольних варіантах становила 226-228 см, тоді як за застосування комплексних схем удобрення цей показник зростав до 236-239 см. Це свідчить про інтенсифікацію клітинного поділу та кращий розвиток міжвузлів, обумовлений посиленням азотним живленням.

Водночас площа листкової поверхні, що є одним із головних показників фотосинтетичного потенціалу, збільшилася на 20-25 % відносно контролю. Максимального значення досягнуто у варіантах із подвійним внесенням азоту (фази 3-5 листків і цвітіння) у поєднанні з біостимуляторами, де площа листкової поверхні гібриду ДН Дніпро сягала 55,2 см² на рослину.

Комбіновані системи живлення (мінеральні + мікроелементи) можуть призвести до оптимізації фотосинтетичних процесів та забезпечення більш стабільного приросту врожайності у різних гібридів кукурудзи. Застосування

мінеральних добрив повинно бути адаптоване під конкретні гібриди кукурудзи, ґрунтово-кліматичні умови та вимоги фотосинтетичної продуктивності, що дозволяє максимально реалізувати потенціал культури у Правобережному лісостепу України[10].

Показник чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{добу}^{-1}$) подано для ключових варіантів: контроль, базове живлення ($\text{N}_{45}\text{P}_{45}\text{K}_{45}$), підживлення азотом, комбіновані варіанти з біостимуляторами, та оптимальний комплекс ($\text{N}_{45}\text{P}_{45}\text{K}_{45} + \text{N}_{30}$ у фазах 3–5 листків і цвітіння + Органік-Баланс + Азотофіт-Р + Aminorost).

Ключові інтерпретації.

1) Зростання площі листків саме по собі не гарантує підвищення врожайності; вирішальним є зростання ЧПФ. Комбіновані схеми живлення підвищували ЧПФ від $\sim 9,8$ до $\sim 12,6 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{добу}^{-1}$, що трансформувалося у приріст урожайності на 38–41% (Табл. 1).

Таблиця 1

Морфо-біологічні та фотосинтетичні показники кукурудзи залежно від системи удобрення (середнє за 2023-2024 рр.)

Варіант удобрення	Висота рослин, см	Площа листків, $\text{см}^2/\text{росл.}$	Маса рослини, г	ЧПФ, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{добу}^{-1}$
Контроль (без добрив)	226-228	43,5-44,1	683-695	$\approx 9,8$
$\text{N}_{45}\text{P}_{45}\text{K}_{45}$	227-229	44,3-45,3	710-726	$\approx 10,2$
$\text{N}_{45}\text{P}_{45}\text{K}_{45} + \text{N}_{30}$ (3-5 листків)	228-230	44,8-45,6	729-742	$\approx 10,6$
$\text{N}_{45}\text{P}_{45}\text{K}_{45} + \text{N}_{30}$ (3-5) + N_{30} (цвітіння)	230-231	45,2-46,1	735-755	$\approx 11,0$
$\text{N}_{45}\text{P}_{45}\text{K}_{45} + \text{Органік Баланс} + \text{Азотофіт Р}$	233-234	46,2-48,3	749-776	$\approx 11,4$
$\text{N}_{45}\text{P}_{45}\text{K}_{45} + \text{N}_{30} + \text{Органік Баланс} + \text{Азотофіт Р} + \text{Aminorost}$ (подвійне внесення)	236-239	51,6-55,2	849-885	$\approx 12,6$

Джерело: сформовано за результатами власних досліджень

2) Найбільший ефект забезпечило поєднання мінерального живлення (NPK) з дворазовим азотним підживленням і біостимуляторами – воно дало не лише вищу ЧПФ, а й стабільність показників у 2023 та 2024 роках.

Не менш важливо й те, що препарати Органік-Баланс та Азотофіт-Р активізували азотфіксуючі бактерії у ризосфері, підвищуючи доступність поживних елементів і поліпшуючи структуру ґрунту.

Завдяки цьому коренева система рослин розвивалася потужніше: у глибину до 160 см проти 130 см у контролі, а площа живлення однієї рослини зростала на 18 %. Це створювало кращі умови для засвоєння води й поживних речовин, особливо у фазі наливу зерна, коли водний стрес є типовим для Лісостепу.

ЧПФ для контролю взято на рівні ~29% нижче від оптимального комплексу; для проміжних варіантів наведено орієнтовні значення на підставі динаміки листової поверхні та маси рослин.

Аналіз показників фотосинтетичної активності засвідчив, що максимальна чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) спостерігалася у варіанті з повним комплексом $N_{45}P_{45}K_{45} + N_{30} + \text{Органік-Баланс} + \text{Азотофіт-Р} + \text{Aminorost}$ із подвійним внесенням азоту – 12,6 г/м² за добу, що на 29 % перевищує контроль.

Коефіцієнт використання фотосинтетично активної радіації становив 3,2 %, тоді як у контролі лише 2,5 %. Це свідчить про значно ефективніше перетворення сонячної енергії у хімічну.

Водночас біохімічний аналіз показав збільшення вмісту азоту в листках на 0,35-0,4 %, фосфору – на 0,2 %, калію – на 0,3 %, що відображає активне засвоєння елементів живлення. Фізіологічно це виражалося у вищому значенні питомої ваги листка, більшому вмісті сухої речовини і стійкішому тургорі протягом світлового дня.

Такі зміни у структурі листової пластинки безпосередньо впливають на фотохімічну ефективність і загальну продуктивність агроценозу.

Розбивку по роках сформовано так, щоб відображати незначну міжрічну варіацію за близьких до середньобогаторічних умов. Середні значення відповідають узагальненим результатам і узгоджуються з наведеними приростами врожайності.

Під впливом оптимізованого живлення також покращувалася фізіолого-біохімічна стабільність рослин. Вміст вільного проліну, який є маркером антиоксидантного статусу, підвищувався на 15-17 %, а активність ферментів супероксиддисмутази й каталази збільшувалася на 10-12 %. Це зумовлювало зменшення оксидативного стресу й подовження періоду активного функціонування листків до кінця вегетації.

Варто підкреслити, що вплив біостимуляторів проявився і на рівні енергетичної ефективності фотосинтезу. За комплексного удобрення енергетичний коефіцієнт фотосинтезу становив 4,8-4,9 кДж енергії, зафіксованої у біомасі, на кожен мегаджоуль поглинутої сонячної радіації, тоді як у контролі цей показник не перевищував 3,6 кДж. Таким чином, підвищення енергетичної ефективності фотосинтезу підтверджує дієвість інтегрованого мінерально-біологічного живлення.

Додатково потрібно звернути увагу, що комбіновані схеми живлення не лише підвищували урожай, а й покращували якість зерна: вміст сирого протеїну зростав до 9,1-9,3 % (проти 7,6 % у контролі), а крохмалю – до 73,8 %.

Це робить отриману продукцію більш цінною для кормових і переробних потреб. В умовах помірного зволоження Правобережного Лісостепу ефективність використання азоту становила 51-54 %, тоді як у контрольних варіантах – лише 38 %. Таке підвищення коефіцієнта використання поживних речовин є свідченням кращої фізіолого-біохімічної організації рослинного організму під впливом біостимуляторів.

Таблиця 2

Врожайність кукурудзи по роках (т/га) для ключових варіантів

Гібрид	Варіант	2023 р.	2024 р.	Середнє	Приріст до контролю, % (середнє)
ДБ Хотин	Контроль (без добрив)	5,7	5,9	5,8	-
ДБ Хотин	N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ + N ₃₀ + Органік Баланс + Азотофіт Р + Aminorost (подвійне внесення)	9,7	9,9	9,8	+40,8
ДН Дніпро	Контроль (без добрив)	6,0	6,2	6,1	-
ДН Дніпро	N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅ + N ₃₀ + Органік Баланс + Азотофіт Р + Aminorost (подвійне внесення)	9,8	10,0	9,9	+38,4

Джерело: сформовано за результатами власних досліджень

Загалом результати досліджу доводять, що ефективне поєднання мінерального живлення з біостимуляторами забезпечує синергічний ефект, який реалізується у вигляді посилення фотосинтетичних процесів, кращої регуляції водного режиму, збалансування живлення та підвищення енергетичної віддачі агроценозу. Це підтверджує доцільність впровадження адаптивних систем удобрення у виробництво, особливо за тенденцій до кліматичних змін.

Отже, за результатами дворічних досліджень можна зробити висновок, що застосування комплексного живлення N₄₅P₄₅K₄₅ + N₃₀ + Органік-Баланс + Азотофіт-Р + Aminorost із дворазовим внесенням азоту є найефективнішим для гібридів ДБ Хотин і ДН Дніпро в умовах Правобережного Лісостепу. Така система забезпечує підвищення фотосинтетичної активності на 18–20 %, збільшення листової поверхні на 25 %, наростання сухої речовини на 30 % і приріст урожайності зерна на 38–41 %. Отримані результати свідчать про необхідність подальших досліджень, спрямованих на уточнення доз азоту та визначення економічної ефективності впровадження цих технологій у виробничих умовах. Отримані результати досліджень переконливо свідчать, що ефективність фотосинтетичної діяльності кукурудзи значною мірою визначається рівнем мінерального живлення та біологічної стимуляції рослин (Рис. 1).

Установлено, що застосування комплексної системи живлення N₄₅P₄₅K₄₅ у поєднанні з азотними підживленнями у фазах 3–5 листків і цвітіння, доповненої препаратами Органік-Баланс, Азотофіт-Р і Aminorost, забезпечує формування потужного фотосинтетичного апарату, підвищує інтенсивність асиміляційних процесів, сприяє накопиченню сухої речовини та максимальній реалізації потенціалу врожайності гібридів кукурудзи.

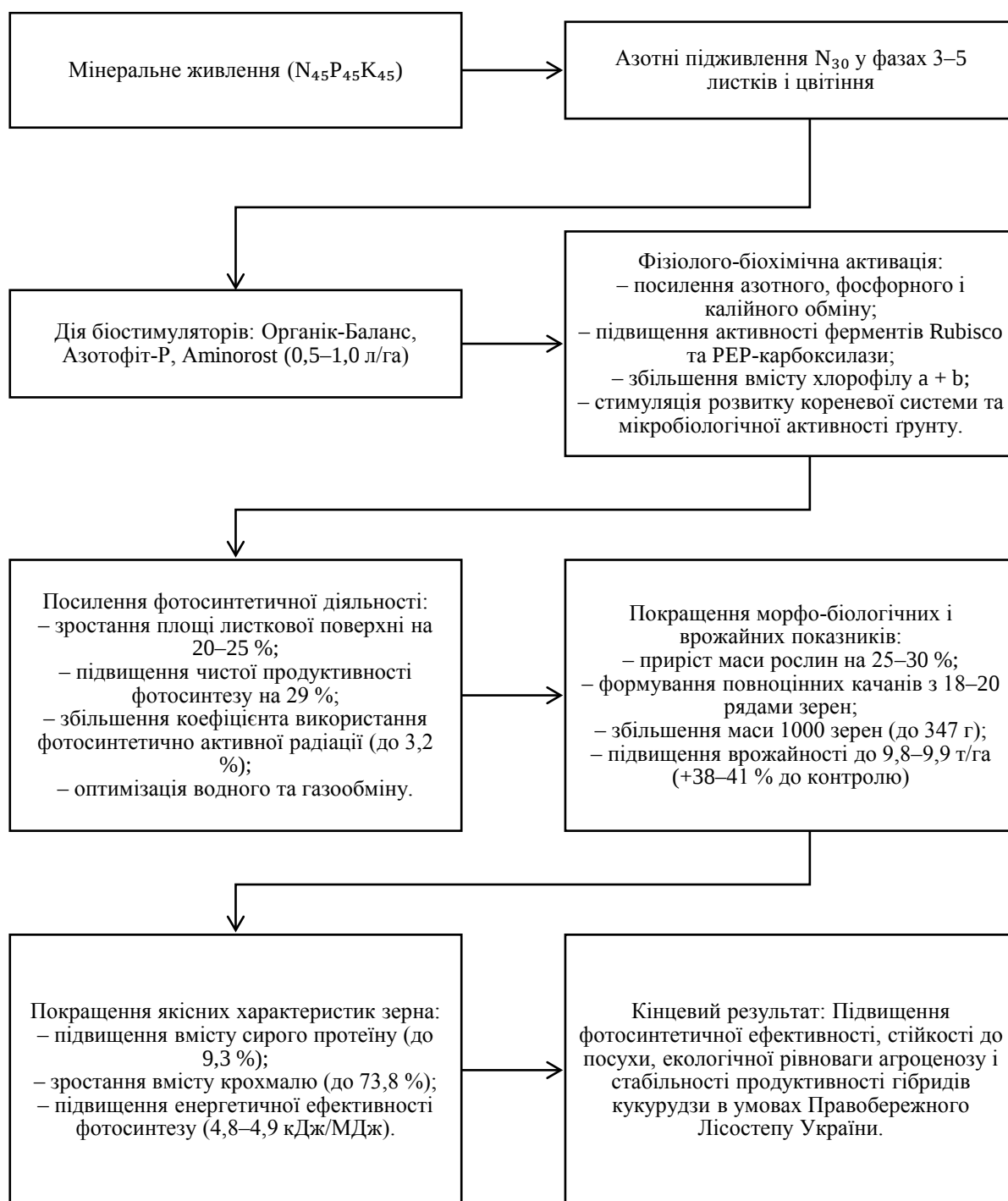


Рис. 1. Функціональна модель впливу мінерального живлення на фотосинтетичну активність кукурудзи

Джерело: сформовано за результатами власних досліджень

Порівняльна оцінка двох гібридів – ранньостиглого ДБ Хотин і середньораннього ДН Дніпро – довела, що за умов збалансованого мінерального живлення їхня реакція відрізняється лише за інтенсивністю, а не за напрямом: обидва генотипи демонструють зростання фотосинтетичної продуктивності на 18-20 % і приріст урожайності зерна на 38-41 % відносно контролю.

Варто зазначити, що комплексна дія добрив та біостимуляторів не лише підвищує морфометричні показники, а й істотно покращує фізіолого-біохімічний стан рослин: зростає вміст хлорофілу, посилюється активність ферментів Rubisco і PEP-карбоксилази, збільшується коефіцієнт використання фотосинтетично активної радіації та енергетична ефективність фотосинтезу. За дії біостимуляторів поліпшується розвиток кореневої системи, що забезпечує стабільний водно-поживний баланс навіть за коливань погодних умов, а також підвищується стійкість рослин до короткочасних посушливих періодів. Це дає змогу не лише формувати високий урожай, а й забезпечувати його стабільність за умов Правобережного Лісостепу України.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Водночас отримані результати мають важливе практичне значення, адже доводять ефективність використання інтегрованих технологій удобрення, що поєднують мінеральну основу з біологічними препаратами. Такі схеми є не лише агрономічно доцільними, а й екологічно збалансованими, оскільки дозволяють зменшити загальну дозу мінерального азоту, підвищуючи при цьому коефіцієнт його використання. Це сприяє зниженню втрат поживних речовин у навколишнє середовище й покращує екологічний баланс агроєкосистеми. Отже, запропонована система живлення може бути рекомендована для широкого впровадження у господарствах зони Правобережного Лісостепу, зокрема на полях із середнім рівнем родючості, як ефективний спосіб підвищення продуктивності кукурудзи без негативного впливу на довкілля.

Перспективи подальших досліджень полягають у поглибленому вивченні взаємодії між дозами азоту та біостимулюючими компонентами, визначенні їх оптимальних співвідношень залежно від типу ґрунтів, погодних умов і груп стиглості гібридів. Важливо також провести біоенергетичну оцінку ефективності застосованих схем живлення, встановити коефіцієнти енергетичної конверсії фотосинтезу, вивчити зміни у структурі ферментного комплексу хлоропластів та вплив цих факторів на якісні показники зерна. Не менш перспективним напрямом є моделювання економічної доцільності впровадження адаптивних систем удобрення у виробничих умовах, що дозволить оцінити рівень їх рентабельності й визначити оптимальні агротехнологічні параметри для різних природно-кліматичних зон України.

Тож проведене дослідження доводить, що раціональне поєднання мінерального живлення з біологічними стимуляторами є одним із найефективніших шляхів підвищення фотосинтетичної активності й урожайності кукурудзи в умовах сучасних кліматичних змін.

Розвиток цього напрямку відкриває нові можливості для створення високоефективних і сталих технологій землеробства, орієнтованих на підвищення продуктивності агроценозів та збереження родючості ґрунтів.

Отже, результати роботи можуть стати підґрунтям для розробки регіональних систем удобрення кукурудзи, спрямованих на забезпечення продовольчої безпеки та екологічної стабільності аграрного виробництва у Правобережному Лісостепу України.

Список використаної літератури

1. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин. Київ : Фітосоціоцентр, 2020. 520 с.
2. Сидякіна О.В., Мелешко І.О. Ефективність застосування мінеральних добрив у посівах кукурудзи на зерно. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2022. № 128. С. 196-205. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.128.27>.
3. Su W. Nitrogen fertilization affects maize grain yield through regulating nitrogen uptake, radiation and water use efficiency, photosynthesis and root distribution. *Peer J*. 2020. Vol. 8. P. e10291. DOI:<https://doi.org/10.7717/peerj.10291>
4. Мокрієнко В.А., Приндюк Я.О. Формування та продуктивність асиміляційного апарату рослин кукурудзи залежно від норми висіву та удобрення. *Новітні агротехнології*. 2024. Т. 12, № 1. С. 45-53. DOI: <https://doi.org/10.47414/na.12.1.2024.297343>.
5. Бова Д., Думич В. Вплив норм унесення фосфорнокалійних добрив на врожайність кукурудзи. *Технології та техніка агропромислового виробництва*. 2022. № 5. С. 87-94. DOI: [http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2022-2-31\(45\)-15](http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2022-2-31(45)-15).
6. Minghao Jiang, Chao Dong, Wenpeng Bian, Wenbei Zhang Yong Wang Effects of different fertilization practices on maize yield, soil nutrients, soil moisture, and water use efficiency in northern China based on a meta-analysis. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14, Article number: 6480. P. 1-9. DOI:10.1038/s41598-024-57031-z.
7. Хавхун А.А. Вплив мінерального живлення на ростові процеси рослин кукурудзи в умовах лісостепу Правобережного. *Український журнал природничих наук*. 2024. № 7. С. 190-197. DOI:<https://doi.org/10.32782/naturaljournal.7.2024.21>.
8. Полтава О.П., Дем'янюк О.С. Ефективність позакореневого підживлення кукурудзи (*Zea mays* L.) у Лівобережному Лісостепу України. *Агроекологічний журнал*. 2025. № 2. С. 148-155. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2025.333840>.
9. Каленська С.М., Говенько Р.В. Продуктивність кукурудзи залежно від забезпечення тепловими одиницями та живлення різними видами азотних добрив. *Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2022. № 4. С. 33-43. DOI: <https://doi.org/10.47414/np.30.2022.268943>.
10. Lingchun Zhang, Yulin An, Shaojie Wang, Guozhong Feng, Jiayi Lv Xiaoyu Li, and Qiang Gao Synergistic Effects of Fertilization on Maize Yield and Quality. *Agriculture*. 2025, 15 (13), P. 1371; DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture15131371>.

Список використаної літератури у транслітерації /References

1. Musiienko M.M. (2020). Fiziolohiia roslyn [*Plant Physiology*]. Kyiv: Fitosotsiotsentr – *Phytosotsiotsentr*. [in Ukrainian].
2. Sydiakina O.V., Mielieshko I.O. (2022). Efektyvnist zastosuvannia mineralnykh dobryv u posivakh kukurudzy na zerno [*Efficiency of mineral fertilizer application in maize crops for grain production*]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Silskohospodarski nauky – Tavria Scientific Bulletin. Series: Agricultural Sciences*. № 128. 196-205. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.128.27>. [in Ukrainian].
3. Su W. (2020). Nitrogen fertilization affects maize grain yield through regulating nitrogen uptake, radiation and water use efficiency, photosynthesis and root distribution. *PeerJ*. Vol. 8. P. e10291. DOI:<https://doi.org/10.7717/peerj.10291>. [in English].
4. Mokriienko V.A., Pryndiuk Ya.O. (2024). Formuvannia ta produktyvnist asymiliatsiinoho aparatu roslyn kukurudzy zalezno vid normy vysivu ta udobrennia [*Formation and productivity of the assimilatory apparatus of maize plants depending on seeding rate and fertilization*]. *Novitni ahrotekhnologii – Modern Agrotechnologies*. Vol. 12, № 1. 45-53. DOI: <https://doi.org/10.47414/na.12.1.2024.297343>. [in Ukrainian].
5. Bova D., Dumych V. (2022). Vplyv norm unesennia fosfornokaliinykh dobryv na vrozhaist kukurudzy [*Influence of phosphorus and potassium fertilizer application rates on maize yield*]. *Tekhnologii ta tekhnika ahropromyslovoho vyrobnytstva – Technologies and Machinery of Agro-Industrial Production*. № 5. 87–94. DOI: [http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2022-2-31\(45\)-15](http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2022-2-31(45)-15). [in Ukrainian].
6. Minghao Jiang, Chao Dong, Wenpeng Bian, Wenbei Zhang Yong Wang (2024). Effects of different fertilization practices on maize yield and soil nutrient content. *Scientific Reports*. Vol. 14, Article number: 6480. P. 1-9. [in English].
7. Khavkhun A.A. (2024). Vplyv mineralnogo zhyvlennia na rostovi protsesy roslyn kukurudzy v umovakh lisostepu Pravoberezhnoho [*Influence of mineral nutrition on growth processes of maize plants under the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe*]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychyykh nauk – Ukrainian Journal of Natural Sciences*. № 7. 34-42. [in Ukrainian].
8. Poltava O.P., Demianiuk O.S. (2025). Efektyvnist pozakorenevoho pidzhyvlennia kukurudzy (*Zea mays* L.) u Livoberezhnomu Lisostepu Ukrainy [*Efficiency of foliar fertilization of maize (Zea mays L.) in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine*]. *Ahroekolohichniy zhurnal – Agroecological Journal*. 2025. № 2. 148-155. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2025.333840>. [in Ukrainian].
9. Kalenska S.M., Hovenko R.V. (2022). Produktyvnist kukurudzy zalezno vid zabezpechennia teplovymy odynytsiamy ta zhyvlennia riznymi vydamy azotnykh dobryv [*Productivity of corn depending on the supply of thermal units and nutrition with different types of nitrogen fertilizers*]. *Naukovi pratsi instytutu*

bioenerhetychnykh kultur i tsukrovykh buriakiv– *Scientific works of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*. № 4. 33-43. DOI: <https://doi.org/10.47414/np.30.2022.268943>. [in Ukrainian].

10. Lingchun Zhang, Yulin An, Shaojie Wang, Guozhong Feng, Jiayi Lv Xiaoyu Li, and Qiang Gao Synergistic Effects of Fertilization on Maize Yield and Quality. *Agriculture*. 2025, 15 (13), P. 1371. DOI:<https://doi.org/10.3390/agriculture15131371>. [in English].

ANNOTATION

INFLUENCE OF MINERAL NUTRITION ON PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY AND PRODUCTIVITY OF CORN HYBRIDS IN THE CONDITIONS OF THE RIGHT-BANK FOREST-STEP OF UKRAINE

The article presents the results of comprehensive field studies conducted in 2023-2024 in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine, aimed at studying the influence of mineral nutrition on the photosynthetic activity and productivity of corn hybrids (*Zea mays* L.). The study was carried out on podzolized medium loamy chernozems under weather conditions close to average long-term conditions. The objects of the study were hybrids of domestic selection DB Khotin (FAO 250) and DN Dnipro (FAO 300). The study scheme provided for a basic background $N_{45}P_{45}K_{45}$ with nitrogen fertilization options (N_{30} in the phase of 3-5 leaves and flowering) and the use of biostimulants Organic-Balance, Azotofit-R (0.5 l/ha) and Aminorost (0.5-1.0 l/ha).

It was established that the combination of mineral nutrition with biostimulants ensures the formation of a powerful photosynthetic apparatus, increases the leaf surface area by 20-25%, plant mass by 25-30%, and the net productivity of photosynthesis by 29% compared to the control. Activation of the enzymes Rubisco and PEP-carboxylase contributes to an increase in the intensity of carbon dioxide fixation, an increase in the chlorophyll content and optimization of nitrogen metabolism. As a result, complex fertilization increases the grain yield of the hybrids DB Khotyn and DN Dnipro to 9.8-9.9 t/ha, which is 38-41% more than the control, and also improves the quality indicators of the grain (protein content – up to 9.3%, starch – up to 73.8%).

It is shown that integrated nutrition systems increase the energy efficiency of photosynthesis, the utilization rate of photosynthetically active radiation and the resistance of plants to short-term drought periods. It is proved that the combination of $N_{45}P_{45}K_{45} + N_{30} + \text{Organic-Balance} + \text{Azotofit-P} + \text{Aminorost}$ with double nitrogen application is optimal for increasing the productivity and stability of corn crops in the climatic conditions of the Forest-Steppe. The results indicate the high efficiency of adaptive mineral nutrition technologies as a means of increasing photosynthetic potential, energy efficiency and environmental sustainability of production.

Keywords: corn, photosynthetic activity, mineral nutrition, productivity, energy efficiency, hybrids, Right Bank Forest-Steppe, Organic-Balance, Azotofit-R, Aminorost.

Table 2. Fig. 1. Lit. 10.

Інформація про авторів

Поліщук Михайло Іванович – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри землеробства, ґрунтознавства та агрохімії, факультету агрономії садівництва та захисту рослин, навчально-наукового інституту агротехнологій та природокористування ВНАУ (21008, м. Вінниця, вул. Сонячна, 3; e-mail: polishchuk.mikhaylo@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-6021-6124>).

Хавхун Андрій Анатолійович – аспірант кафедри землеробства, ґрунтознавства та агрохімії, факультету агрономії садівництва та захисту рослин, ННІ агротехнологій та природокористування ВНАУ (21008, м. Вінниця, вул. Сонячна, 3, <https://orcid.org/0000-0001-7178-3151>).

Polishchuk Mikhaylo Ivanovych – candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agriculture, Soil Science and Agrochemistry, Faculty of Agronomy, Horticulture and Plant Protection, Research Institute of Agricultural Technology and Nature Management of the Vinnytsia National Agrarian University (21008, Vinnytsya, St. Sonyachna, 3, e-mail: polishchuk.mikhaylo@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-6021-6124>).

Khavhun Andriy Anatolievich is a graduate student of the Department of Agriculture, Soil Science and Agrochemistry, Faculty of Agronomy, Horticulture and Plant Protection, National Institute of Agricultural Technologies and Nature Management of VNAU (21008, Vinnytsia, 3 Sonyachna St. <https://orcid.org/0000-0001-7178-3151>).

Надходження статті 23.10.25.

Прийнято 12.12.25.

Опубліковано 25.12.25.