Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

УДК 633.15:632.954:631.8:581.132
DOI https://doi.org/10.32782/3083-7464-2026-2-146-151



В. В. Широкоступ
аспірант кафедри агробіології та біохімії,
Уманський національний університет (м. Умань, Україна)
E-mail: shyrokostupv@gmail.com
orcid.org/0009-0001-2787-4598

ЧИСТА ПРОДУКТИВНІСТЬ ФОТОСИНТЕЗУ ПОСІВІВ КУКУРУДЗИ ЗА ДІЇ ГЕРБІЦИДУ І БІОДОБРИВА

У статті висвітлено особливості формування показника чистої продуктивності фотосинтезу рослин кукурудзи (Zea mays L.) залежно від норм і способів внесення гербіциду Мілафорт Екстра і біологічного добрива Кайші Макс. Актуальність дослідження зумовлена оптимізацією технології виробництва кукурудзи на фоні ефективного контролювання сегетальної рослинності та створення сприятливих умов для функціонування фотосинтетичного апарату за рахунок біологізованого препарату. Досліди виконували у 2024–2026 рр. в польових і лабораторних умовах кафедри агробіології та біохімії Уманського національного університету на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому. Гербіцид Мілафорт Екстра вносили у нормах 1,25; 1,50; 1,75 та 2,00 л/га як окремо, так і в комплексі з біодобривом Кайші Макс, 0,4 кг/га. Чисту продуктивність фотосинтезу визначали за приростом сухої речовини рослин у розрахунку на одиницю площі листкової поверхні за добу. Встановлено, що внесення досліджуваних препаратів, як окремо, так і в комплексі, сприяло зростанню показника чистої продуктивності фотосинтезу порівняно з контрольним варіантом досліду. У фазі 8–10 листків найвищі значення показника в усі роки досліджень отримано за комплексного застосування 1,75 л/га гербіциду сумісно з Кайші Макс – 3,13 – 3,59 г/м² за добу залежно від року дослідження. У фазі викидання мітелки у цьому ж варіанті досліду продуктивність фотосинтезу підвищувалася до попереднього обліку, досягаючи 6,23–6,62 г/м² за добу залежно від року дослідження, що перевищувало контроль на 24–31%. Найвищі значення чистої продуктивності фотосинтезу формувалися за внесення 1,75 л/га гербіциду Мілафорт Екстра у комплексі з біодобривом. Отримані результати підтверджують ефективність поєднання застосування гербіцидного захисту з біологічними препаратами з метою підвищення фотосинтетичної продуктивності посівів кукурудзи.
Ключові слова: *кукурудза, гербіцид, біодобриво, продуктивність, фотосинтез.*

V. V. Shyrokostup
PhD student at the Department of Agrobiology and Biochemistry,
Uman National University (Uman, Ukraine)
E-mail: shyrokostupv@gmail.com
orcid.org/0009-0001-2787-4598

NET PHOTOSYNTHESIS PRODUCTIVITY OF MAIZE CROPS UNDER THE INFLUENCE OF HERBICIDE AND BIOFERTILIZER

This article focuses on the characteristics of the formation of the net photosynthetic productivity of corn (Zea mays L.) depending on the application rates and methods of the herbicide Milafort Extra and the biofertilizer Kaishi Max. The relevance of this study stems from the need to optimize corn production technology by combining effective control of weed growth in corn fields with the application of bio-based nutrients, thereby creating favorable conditions for the functioning of the photosynthetic apparatus and maximizing crop productivity. Field studies were conducted from 2024 to 2026 under field and laboratory conditions at the Department of Agrobiology and Biochemistry of Uman National University. The herbicide Milafort Extra was applied at rates of 1,25, 1,50, 1,75, and 2,00 l/ha, both alone and in combination with the biofertilizer Kaishi Max at a rate of 0.4 kg/ha. Net photosynthetic productivity was determined by the increase in plant dry matter per unit of leaf area per day. It was found that the application of the tested products, both individually and in combination, contributed to an increase in the net photosynthetic rate compared to the control treatment. During the 8–10-leaf stage, the highest values of this index in all years of the study were obtained with the combined application of 1,75 l/ha of herbicide together with Kaishi Max – 3,13–3,59 g/m² per day, depending on the year of the study. During the panicle emergence stage, in the same experimental treatment, photosynthetic productivity increased compared to the previous measurement, reaching 6,23–6,62 g/m² per day depending on the year of the study, which exceeded the control by 24–31%. The highest values of photosynthetic productivity were consistently observed when 1,75 l/ha of the herbicide Milafort Extra was applied in combination with a biofertilizer. The results confirm the effectiveness of combining herbicide treatment with biological products to increase the photosynthetic productivity of corn.
Key words: *corn, herbicide, biofertilizer, productivity, photosynthesis.*

ISSN 3083-7448 (PRINT)
ISSN 3083-7464 ONLINE)

Постановка проблеми. Кукурудза (*Zea mays* L.) належить до однієї з трьох головних зернових культур сучасного аграрного виробництва. Нині в Україні вона є основою експортного потенціалу, а тому стабільність її виробництва надзвичайно важливою ланкою для функціонування ринку зерна та забезпечення сировиною тваринницької і переробної галузей [1]. Проте, реалізація потенціалу сучасних гібридів кукурудзи визначається умовами їх вирощування, рівнем мінерального живлення, водозабезпеченням, фітосанітарним станом посівів та ефективністю контролювання сегетальної рослинності [2].

Висока ефективність застосування гербіцидів з метою усунення небажаної рослинності залишається й донині беззаперечним фактом, оскільки їх внесення дає змогу швидко та вчасно усунути переважну частку бур'янового компоненту посівів, тим самим створивши більш сприятливі умови для росту і розвитку культурних рослин [3, 4]. Відомо, що сучасні системи хімічного захисту кукурудзи забезпечують зниження забур'яненості посівів до 82–95% залежно від поєднання препаратів і технологічних умов їх застосування. Проте, поряд із контролюванням бур'янів важливим напрямом удосконалення технології вирощування кукурудзи є оптимізація живлення рослин із використанням біологічних препаратів, що можуть сприяти покращенню засвоєння елементів живлення та активізації основних фізіологічних процесів рослин, що формують їх продуктивність [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) є одним із важливих показників функціонування фотосинтетичного апарату, оскільки характеризує інтенсивність накопичення органічної речовини одиницею площі листків за одиницю часу і від величини цього показника залежить рівень зернової продуктивності вирощуваної культури [5]. Так, у дослідженнях гербіциду Стеллар, який вносили у фазі 3–5 листків кукурудзи, виявлено, що у фазі розвитку культури 8–10 листків за використання 1,0; 1,1; 1,2 та 1,3 л/га показник ЧПФ перевищував контроль, (гербіцид не застосовували) на 6, 11, 18 та 11% відповідно. Найвищий показник було отримано за норми 1,2 л/га, що супроводжувалося отриманням приросту зерна у 28% порівняно з контролем. Також даними дослідженнями між величиною показника ЧПФ та рівнем врожайності встановлено тісний кореляційний зв'язок ($r^2 = 0,99$) [6].

Схожі результати щодо ефективного контролювання бур'янів та формування фотосинтетичної продуктивності посівів кукурудзи за використання гербіциду отримано Д. М. Козаченком [7]: у контрольному варіанті досліду показник ЧПФ складав 6,62–8,55 г/м² за добу, а у разі застосування препаратів Лаудіс та Стеллар Плюс підвищував до 17,15–18,24 г/м² за добу.

Іншими дослідженнями доведено, що підвищення концентрації гербіциду може пригнічувати синтез у рослинах хлорофілу та знижувати масу коренів, стебел і листків, що негативно позначається на величині чистої продуктивності фотосинтезу посівів [8].

Відмінності в реакції рослин кукурудзи на гербіциди можуть бути пов'язані з генотиповими особливостями. Так, S. Sun із співавторами [9], оцінюючи фотосинтетичні характеристики встановили, що різні гібриди кукурудзи по-різному реагували на мезотріон (гербіцид групи HPPD-інгібіторів) [9].

Значний вплив на формування фотосинтетичного апарату кукурудзи має також живлення рослин на фоні агротехнологічних заходів [10, 11], у тому числі використання органо-мінеральних препаратів. Встановлено, що застосування біологічних добрив та регуляторів росту рослин Євростім Аміно, БіоГумату та Цеовіт АнтиСтрес Мульті сприяло (у критичні періоди розвитку кукурудзи) покращенню фізіологічного стану посівів та зростанню приросту врожайності до 0,52–1,33 т/га порівняно з контролем [3]. Подібні результати одержано при застосуванні Біокомплексу-БТУ та Органік-Баланс, де показник ЧПФ сорту проса Омріяне зростав до 7,64 г/м² за добу [12].

Передпосівна обробка насіння проса біологічним препаратом Азогран за позакореневого підживлення органо-мінеральним добривом Браман Мультикомплекс забезпечував формування показника ЧПФ на рівні 9,0–9,2 г/м² за добу при 8,5 г/м² за добу у контролі [13].

Використання мікробних препаратів у посівах кукурудзи на основі трьох штамів бактерій роду *B. safensis* MF-01, *B. altitudinis* MF-15 та *B. velezensis* MF-08 забезпечило підвищення показника ЧПФ до 5,86 г/м² проти 3,85 г/м² за добу у контролі [14].

Наукові дані [15–18] чітко демонструють, що застосування біологічних препаратів сприяє відновленню фотосинтетичного апарату кукурудзи після впливу стресових чинників: спостерігається зростання продуктивності фотосинтезу на 15,37–18,85%, вмісту хлорофілів – на 7,8–8,7%.

Дослідженнями з оцінки комплексного впливу біологічних препаратів і систем контролювання бур'янів у посівах кукурудзи свідчать, що біопрепарат NitroStim® за різних способів контролювання бур'янів, у тому числі із застосуванням гербіциду на основі темботріону, сприяє зменшенню біомаси бур'янів на 28% за одночасного зростання продуктивності культури на 12% [19, 20]. Отримані наукові результати підтверджують перспективність поєднання біологізованих елементів живлення із системою хімічного контролювання бур'янів у технології вирощування кукурудзи.

Метою статті є встановлення особливостей формування чистої продуктивності фотосинтезу посівів кукурудзи залежно від впливу гербіциду і біологічного добрива.

Матеріали та методи дослідження. Дослідження виконували впродовж 2024–2026 рр. у польових та лабораторних умовах кафедри агробіології та біохімії Уманського національного університету. Об'єктом досліджень були рослини кукурудзи (*Zea mays* L.) гібриду ДКС 4098, предметом – особливості формування показника чистої продуктивності фотосинтезу на фоні дії гербіциду і біологічного препарату.

Польові досліди закладали на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому з вмістом гумусу 3,7% та pH 5,4, гідролітична кислотність – 3,19 смоль/кг, ємність катіонного обміну – 31,4 смоль/кг. Ґрунт характеризувався такими показниками: вміст рухомих сполук фосфору та калію – 109 і 124 мг/кг (за Чириковим),

легкогідролізованого азоту – 103 мг/кг (за Корнфілдом).

Схема досліду включала триразову повторність, облікова площа ділянки –50 м², варіанти розміщувалися систематично.

Гербіцид Мілафорт Екстра (мезотріон 75 г/л + нікосульфурон 30 г/л) у нормах 1,25; 1,50; 1,75 та 2,00 л/га як окремо, так і в суміші з біодобривом Кайші Макс (висококонцентрований біостимулятор росту рослин та антистресант, компанія «Самміт-Агро Юкрейн», д.р. – рослинні амінокислоти з вмістом L-вільних амінокислот у 80% та азоту у 13%) вносили у фазі розвитку кукурудзи 3–5 листків за допомогою обприскувача ОН–600 з витратою робочого розчину 200 л/га.

Чисту продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) визначали за приростом сухої речовини рослин у розрахунку на одиницю площі листкової поверхні за одиницю часу. Показник розраховували, користуючись формулою $ЧПФ=B_2– B_1/0,5(Л_1+Л_2)×n$, де ЧПФ – чиста продуктивність фотосинтезу, г/м² за добу; B_1 і B_2 – суха маса рослин на початку та в кінці облікового періоду, г; $Л_1$, $Л_2$ – площа листкової поверхні на початку/кінці облікового періоду, м²; n – кількість днів між обліками [21].

Статистичну обробку експериментальних даних проводили методом дисперсійного аналізу, користуючись MS Excel.

Основні результати дослідження. Встановлено, що застосування різних норм гербіциду Мілафорт Екстра і біодобрива Кайші Макс зумовлювало зростання чистої продуктивності фотосинтезу посівів кукурудзи, яка залежала від норми гербіциду та поєднання його внесення з біологічним препаратом. Так, у 2024 р. в контрольному варіанті досліду показник ЧПФ склав 2,61 г/м² за добу. У варіанті досліду з позакореневим підживленням рослин кукурудзи біодобривом Кайші Макс у нормі 0,4 кг/га прослідковувалося зростання досліджуваного показника до 2,91 г/м² за добу, що на 12% перевищувало контроль. Така реакція рослин кукурудзи на використання біопрепарату може бути пов'язана зі стимулюванням проявлення у рослинах фізіологічних процесів, покращенням їх забезпечення елементами живлення та підвищенням ефективності функціонування фотосинтетичного апарату (рис. 1).

Обприскування посівів кукурудзи гербіцидом Мілафорт Екстра також сприяло зростанню показника ЧПФ відносно контролю, однак простежувалась залежність між величиною даного показника і нормою застосування препарату. Так, за використання 1,25 л/га гербіциду показник ЧПФ складав 2,81 г/м² за добу, що на 8% перевищувало контрольний варіант досліду. За подальшого підвищення норми внесення гербіциду до 1,50; 1,75 та 2,00 л/га прослідковувалося й пропорційне зростання величини показника ЧПФ до 2,86; 3,00 та 3,11 г/м² за добу відповідно.

Зростання показника ЧПФ за використання норм гербіциду можна пояснити насамперед послабленням конкурентного тиску з боку сегетальної рослинності на рослини кукурудзи, а саме – зниженням конкуренції з боку бур'янів за світло, ґрунтову вологу та елементи мінерального живлення. Внаслідок цього рослини кукурудзи отримували більше ресурсів для підтримання своєї фотосинтетичної активності.

Найбільш ефективним стосовно формування показника чистої продуктивності фотосинтезу рослин кукурудзи виявилося за комплексного застосування гербіциду Мілафорт Екстра і біодобрива Кайші Макс.

Так, за внесення Мілафорт Екстра 1,25 л/га сумісно із Кайші Макс 0,4 кг/га досліджуваний

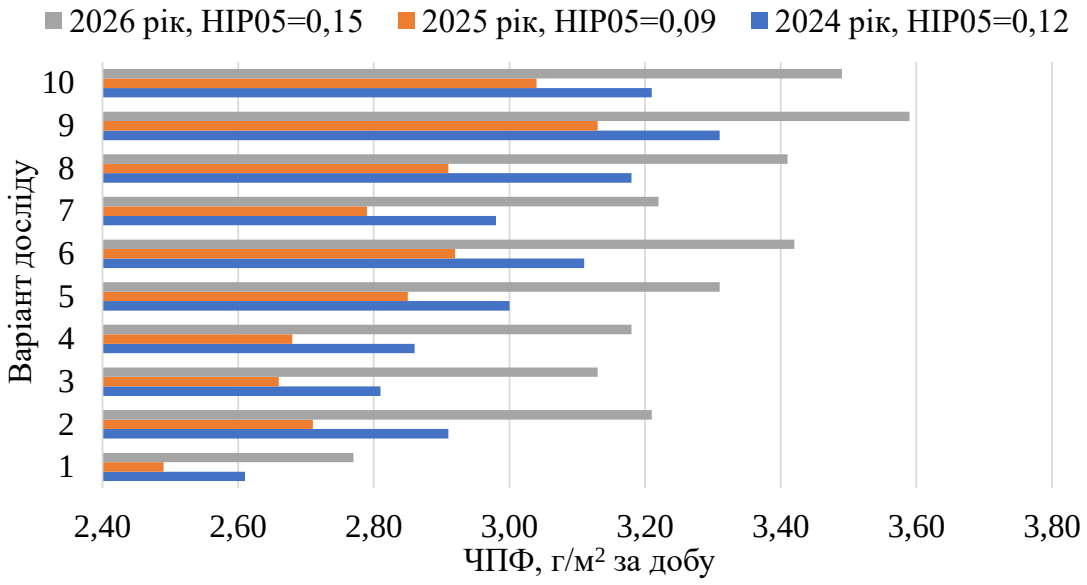


Рис. 1. Чиста продуктивність фотосинтезу посівів кукурудзи за використання гербіциду і біодобрива, фаза 8–10 листків
1. Контроль (без препаратів; 2. Кайші Макс 0,4 кг/га; 3. Мілафорт Екстра 1,25 л/га; 4. Мілафорт Екстра 1,50 л/га; 5. Мілафорт Екстра 1,75 л/га; 6. Мілафорт Екстра 2,00 л/га; 7. Мілафорт Екстра 1,25 л/га + Кайші Макс 0,4 кг/га; 8. Мілафорт Екстра 1,50 л/га + Кайші Макс 0,4 кг/га; 9. Мілафорт Екстра 1,75 л/га + Кайші Макс 0,4 кг/га; 10. Мілафорт Екстра 2,00 л/га + Кайші Макс 0,4 кг/га

ISSN 3083-7448 (PRINT)
ISSN 3083-7464 ONLINE)

показник зріс до 2,98 г/м² за добу, що на 0,37 г/м² за добу (14%) перевищувало контроль. За зростання норми гербіциду до 1,50 л/га ЧПФ складала 3,18 г/м² за добу, а за норми 1,75 л/га сягала максимального значення у 3,31 г/м² за добу (на 27% більше за контроль). За максимальної норми Мілафорт Екстра у 2,00 л/га показник ЧПФ дещо знизився проти попереднього варіанту досліду і складав 3,21 г/м² за добу. Очевидно, за максимальної норми гербіциду у 2,00 л/га могло виникати додаткове гербіцидне навантаження, що змінювало фізіологічну реакцію рослин на комплекс препаратів і зменшувало відносний вплив біодобрива на формування фотосинтетичної продуктивності. Це свідчить про відсутність доцільності подальшого зростання норми застосування гербіциду у комплексі з біодобривом.

Визначення чистої продуктивності фотосинтезу у 2025 р. показало, що абсолютні значення даного показника були дещо нижчими, ніж у 2024 р., що зумовлено менш сприятливими погодними умовами. Так, у контрольному варіанті досліду показник ЧПФ складав 2,49 г/м² за добу, а за внесення Кайші Макс – 2,71 г/м² за добу. Обприскування посівів кукурудзи гербіцидом Мілафорт Екстра забезпечило збільшення показника ЧПФ від 2,66 до 2,92 г/м² за добу залежно від норми гербіциду. У разі комплексного внесення препаратів, як і у попередньому році, ЧПФ зростала до 2,79–3,13 г/м² за добу. Найбільш ефективним, як і в 2024 р. було поєднання Мілафорт Екстра 1,75 л/га + Кайші Макс 0,4 кг/га, де чиста продуктивність фотосинтезу склала 3,13 г/м² за добу проти 2,49 г/м² за добу у контролі.

Отже, менш сприятливі умови 2025 р. знизили величину абсолютних значень показника ЧПФ, проте не змінили спрямованості реакції рослин на внесення препаратів.

У 2026 р. зберіглася подібна залежність формування показника ЧПФ від норм і способів внесення препаратів, проте абсолютні значення ЧПФ у всіх варіантах досліду були вищими порівняно з попередніми роками досліджень, оскільки у 2026 році погодні умови були найбільш сприятливими для вегетації рослин кукурудзи. Так, за використання біодобрива Кайші Макс чиста продуктивність фотосинтезу зросла до 3,21 г/м² за добу проти 2,77 г/м² за добу у контрольному варіанті досліду. Внесення гербіциду Мілафорт Екстра у нормах 1,25–2,00 л/га без біодобрива сприяло поступовому зростанню показника ЧПФ від 3,13 до 3,42 г/м² за добу.

Комплексне внесення препаратів забезпечило формування показника ЧПФ на рівні 3,22; 3,41; 3,59 та 3,49 г/м² за добу відповідно до норм гербіциду. Найвищий показник також було отримано у варіанті досліду 1,75 л/га Мілафорт Екстра + 0,4 кг/га Кайші Макс (3,59 г/м² за добу), що на 30% перевищувало контроль. Загалом, отримані результати підтверджують доцільність поєднання гербіцидного захисту з біологічним препаратами для підживленням кукурудзи з метою підвищення ефективності функціонування її фотосинтетичного апарату.

Повторне визначення ЧПФ у фазі викидання мітелки показало, що вона зросла порівняно з попереднім обліком у фазі 8–10 листків. Це пов'язано з підсиленням фотосинтетичної продуктивності посівів у цей період, проте залежність між показником і нормою гербіциду, внесеного окремо і у комплексі з біодобривом, збереглася. Так, за внесення Кайші Макс простежувалось зростання показника ЧПФ до 5,29; 5,02 та 5,59 г/м² за добу відповідно рокам дослідження (рис. 2).

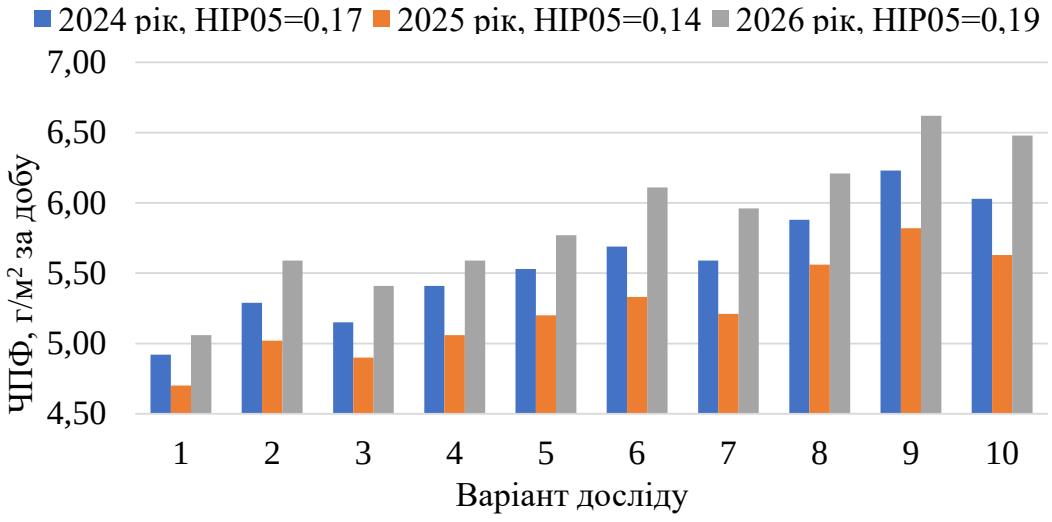


Рис. 2. Чиста продуктивность фотосинтезу посівів кукурудзи за використання гербіциду і біодобрива, фаза викидання мітелки
1. Контроль (без препаратів); 2. Кайші Макс 0,4 кг/га; 3. Мілафорт Екстра 1,25 л/га; 4. Мілафорт Екстра 1,50 л/га; 5. Мілафорт Екстра 1,75 л/га; 6. Мілафорт Екстра 2,00 л/га; 7. Мілафорт Екстра 1,25 л/га + Кайші Макс 0,4 кг/га; 8. Мілафорт Екстра 1,50 л/га + Кайші Макс 0,4 кг/га; 9. Мілафорт Екстра 1,75 л/га + Кайші Макс 0,4 кг/га; 10. Мілафорт Екстра 2,00 л/га + Кайші Макс 0,4 кг/га

За внесення гербіциду Мілафорт Екстра без біодобрива простежувалося зростання ЧПФ зі збільшенням норми препарату. У 2024 р. показник зростав від 5,15 за норми 1,25 л/га до 5,69 г/м² за добу за 2,0 л/га; у 2025 р. від 4,90 до 5,33, а у 2026 р. від 5,41 до 6,11 г/м² за добу.

Найвищі значення ЧПФ, як і за попереднього обліку, отримано за комплексного застосування препаратів. Зокрема, за норми гербіциду у 1,75 л/га + Кайші Макс 0,4 кг/га у 2024, 2025 і 2026 роках показник ЧПФ складав відповідно 6,23; 5,82 та 6,62 г/м² за добу. За підвищення норми використання гербіциду до 2,0 л/га спостерігалося певне зниження продуктивності фотосинтезу, відповідно до 6,03; 5,63 та 6,48 г/м² за добу, що підтверджує встановлену в попередній фазі тенденцію.

Висновок. Таким чином, застосування досліджуваних препаратів як самостійно, так і у комплексі, сприяло зростанню чистої продуктивності фотосинтезу посівів кукурудзи. Найвищі значення ЧПФ формувалися за внесення 1,75 л/га гербіциду Мілафорт Екстра сумісно з біодобривом Кайші Макс – 6,23–6,62 г/м² за добу у фазі викидання мітелки, що перевищувало значення контрольного варіанту досліду на 23,8–30,8%. Це засвідчує позитивний вплив поєднання гербіцидного захисту посівів кукурудзи з підживленням біологічним препаратом на формування фотосинтетичної продуктивності посівів культури.

Подяки. Автор висловлює вдячність Уманському національному університету за надання польової та лабораторної бази, а також організаційної підтримки під час проведення наукового дослідження.

Фінансування дослідження. Дослідження виконано без зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів. Відсутній.

Авторський внесок. Широкоступ В. В.: визначення концепції дослідження; підбір методів дослідження; забезпечення ресурсами та обладнанням; підготовка рукопису.

Декларація використання генеративного штучного інтелекту. Під час підготовки рукопису генеративні інструменти штучного інтелекту/ШІ-асистовані технології не використовувалися

References

1. Demianiuk, O.S., Matusevych, H.D., Mazur, S.O., et al. (2023). Pshenytsia, kukurudza ta soniashnyk – osnovni kultury ukrainskoho eksportu [Wheat, corn, and sunflower are the primary crops of Ukrainian exports]. *Zemlerobstvo Ta Roslynnytstvo: Teoriia I Praktyka,* 4(10), 41–50. http://doi.org/10.54651/agri.2023.04.05 [in Ukrainian].

2. Andriienko, A.L., & Andriienko, O.O. (2026). Formuvannia vrozhainosti ta yakisnykh pokaznykiv zerna kukurudzy pid vplyvom ahrotekhnolohichnykh zakhodiv [Formation of yield and quality indicators of corn grain under the influence of agrotechnological measures]. *Biuleten Umanskoho Natsionalnoho Universytetu*, 1, 5–16. http://doi.org/10.32782/2310-0478-2026-1-5-16 [in Ukrainian].

3. Poltava, O.P., & Demianiuk, O.S. (2025). Efektyvnist pozakorenevoho pidzhyvlennia kukurudzy (*Zea mays* L.) u Livoberezhnomu Lisostepu Ukrainy [The effectiveness of extraradical fertilization of corn (*Zea mays* L.) in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Ahroekolohichnyi Zhurnal,* 2, 148–155. https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2025.333840 [in Ukrainian].

4. Shatsman, D.O. (2018). Produktyvnist kukurudzy za riznykh system zakhystu i bezzminnoho vyroshchuvannia u Livoberezhnomu Lisostepi Ukrainy [Productivity of corn under different systems of protection and permanent growing in Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Ahroekolohichnyi Zhurnal,* 3, 82–88. https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2018.148363 [in Ukrainian].

5. Stasyk, O.O., Kirizii, D.A., & Priadkina, H.O. (2021). Fotosyntez i produktyvnist: osnovni naukovi dosiahnennia ta innovatsiini rozrobky [Photosynthesis and productivity: main scientific achievements and innovative developments]. *Fiziolohiia Roslyn I Henetyka*, 53(2), 160–184. https://doi.org/10.15407/frg2021.02.160 [in Ukrainian].

6. Zabolotna, A.V., Zabolotnyi, O.I., & Datsenko, A.A. (2021). Chysta produktyvnist fotosyntezu ta vrozhainist kukurudzy za umov vykorystannia herbitsydu Stellar [Net photosynthetic productivity and corn yield under the using of herbicide Stellar]. *Zroshuvane Zemlerobstvo,* 75, 29–33. https://doi.org/10.32848/0135-2369.2021.75.5 [in Ukrainian].

7. Kozachenko, D.M. (2026). Osoblyvosti funktsionuvannia fotosyntetychnoho aparatu hibrydiv kukurudzy zalezhno vid herbitsydnoho zakhystu ta pozakorenevoho udobrennia [Functioning of the maize photosynthetic apparatus as affected by herbicide protection and foliar application of fertilisers]. *Bioenerhetyka,* 1, 101–108. https://doi.org/10.47414/be.2026.No1.pp101-108 [in Ukrainian].

8. Chen, P., Niu, M., Qiu, Y., et al. (2024). Physiological effects of maize stressed by HPPD inhibitor herbicides via multi-spectral technology and two-dimensional correlation spectrum technology. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 272, 116087. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116087

9. Sun, S., Wang, L., Wang, S., et al. (2024). Photosynthetic and Physiological Responses of Different Maize Varieties to Mesotrione. *Agronomy*, 14(8), 1701. https://doi.org/10.3390/agronomy14081701

10. Poliakov, V.I., & Karpuk, L.M. (2020). Fotosyntetychna produktyvnist kukurudzy zalezhno vid ahrotekhnolohichnykh zakhodiv [Photosynthetic productivity of maize depending on agrotechnological measures]. *Naukovi Pratsi Instytutu Bioenerhetychnykh Kultur i Tsukrovykh Buriakiv,* 28, 209–221. https://doi.org/10.47414/np.28.2020.230248 [in Ukrainian].

11. Mokriienko, V.A., & Pryndiuk, Ya.O. (2024). Formuvannia ta produktyvnist asymiliatsiinoho aparatu roslyn kukurudzy zalezhno vid normy vysivu ta udobrennia [Formation and productivity of the assimilation apparatus of corn under different sowing and fertilization rates]. *Novitni Ahrotekhnolohii*, 12(1). https://doi.org/10.47414/na.12.1.2024.297343 [in Ukrainian].

12. Fedorchenko, M.M., & Karpuk, L.M. (2024). Osoblyvosti formuvannia fotosyntetychnykh

pokaznykiv posiviv prosa za orhanichnoho vyrobnytstva u Pravoberezhnomu Lisostepu Ukrainy [Peculiarities of the formation of photosynthetic indicators in proso millet under organic production in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Naukovi Pratsi Instytutu Bioenerhetychnykh Kultur i Tsukrovykh Buriakiv,* 32, 63–73. https://doi.org/10.47414/np.32.2024.324679 [in Ukrainian].

13. Holodna, A.V., & Hordiienko, M.V. (2026). Fotosyntetychna diialnist posiviv prosa zalezhno vid tekhnolohii vyroshchuvannia u Pravoberezhnomu Lisostepu [Photosynthetic activity of millet crops depending on cultivation technology in the right-bank Forest-Steppe]. *Ahroekolohichnyi Zhurnal,* 2, 167–177. https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2026.359718 [in Ukrainian].

14. Singh, S., Singh, U.B., Trivdi, M., et al. (2021). Restructuring the cellular responses: connecting microbial intervention with ecological fitness and adaptiveness to the maize (*Zea mays* L.) grown in saline–sodic soil. *Frontiers in Microbiology*, 11, 568325. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.568325

15. Wang, Y., Lu, Y., Wang, L., et al. (2023). Analysis of the molecular composition of humic substances and their effects on physiological metabolism in maize based on untargeted metabolomics. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1122621. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1122621

16. Ratajczak, K., Sulewska, H., Panasiewicz, K., et al. (2023). Phytostimulator application after cold stress for better maize (*Zea mays* L.) plant recovery. *Agriculture*, 13(3), 569. https://doi.org/10.3390/agriculture13030569

17. Chen, C.-H., Lin, K.-H., Chang, Y.-S., & Chang, Y.-J. (2023). Application of water-saving irrigation and biostimulants on the agronomic performance of maize (*Zea mays*). *Process Safety and Environmental Protection*, 177, 1377–1386. https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.08.008

18. Ocwa, A., Mohammed, S., Mousavi, S. M. N., et al. (2024). Maize grain yield and quality improvement through biostimulant application: a systematic review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24, 1609–1649. https://doi.org/10.1007/s42729-024-01687-z

19. Gazoulis, I., Kanatas, P., Antonopoulos, N., et al. (2023). The integrated effects of biostimulant application, mechanical weed control, and herbicide application on weed growth and maize (*Zea mays* L.) yield. *Agronomy*, 13(10), 2614. https://doi.org/10.3390/agronomy13102614

20. Katsenios, N., Sparangis, P., Vitsa, S., et al. (2023). Application of biostimulants and herbicides as a promising co-implementation: The incorporation of a new cultivation practice. *Agronomy*, 13(10), 2634. https://doi.org/10.3390/agronomy13102634

21. Hrytsaienko, Z.M., Hrytsaienko, A.O., & Karpenko, V.P. (2003). Metody biolohichnykh ta ahrokhimichnykh doslidzhen roslyn i gruntiv [Methods of Biological and Agrochemical Research on Plants and Soils]. Kyiv: "Nichlava", 316 pp. https://lib.udau.edu.ua/items/dece6178-3dec-49fa-b0f2-70ccf71aa31e [in Ukrainian].

Дата першого надходження статті до видання: 18.09.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 14.10.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 24.11.2026