ISSN 0135-2369

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ КЛІМАТИЧНО ОРІЄНТОВАНОГО
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

ЗРОШУВАНЕ ЗЕМЛЕРОБСТВО

Міжвідомчий тематичний
науковий збірник

Випуск 86

Видавничий дім
«Гельветика»
2026

УДК 631.6 ISSN 0135-2369

Реєстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа: Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення № 928 від 11.06.2026 року (додаток 11). Ідентифікатор медіа R30-04608.
Збірник включено до переліку наукових фахових видань України категорії «Б» у кластері Сільськогосподарські і ветеринарні науки Н1 – Агрономія) відповідно до Наказу Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020 р. (додаток 1)

Рекомендовано до друку Вченою радою Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН (протокол 21 від 2 листопада 2026 року).

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор:
Заєць Сергій Олександрович, доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач відділу кліматично орієнтованих агротехнологій, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України (м. Одеса, Україна).

Члени редакційної колегії:
Аверчев Олександр Володимирович, доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри землеробства, Херсонський державний аграрно-економічний університет (м. Кропивницький, Україна);
Дробітько Антоніна Вікторівна, доктор сільськогосподарських наук, професор, проректор з наукової роботи, Миколаївський національний аграрний університет МОН України (м. Миколаїв, Україна);
Іслам Хандакар Рафік (Islam Khandakar Rafiq), доктор наук, старший науковий співробітник, доцент, Державний університет Огайо (м. Огайо, США);
Лиховид Павло Володимирович, доктор сільськогосподарських наук, провідний науковий співробітник відділу зрошуваного землеробства та декарбонізації агроекосистем, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України (м. Одеса, Україна);
Петрзак Стефан (Pietrzak Stefan), доктор наук, професор, завідувач відділу якості води, Технологічний та природничий інститут (м. Рашин, Польща);
Пілярська Олена Олександрівна, кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, завідувач відділу маркетингу та міжнародної діяльності, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України (м. Одеса, Україна);
Тараско Еустахіо (Tarasco Eustachio), кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри ґрунтознавства, рослинництва та переробки, Університет Барі Альдо Моро (м. Барі, Італія);
Тищенко Андрій Вікторович, доктор сільськогосподарських наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник відділу селекції сільськогосподарських культур, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України (м. Одеса, Україна);
Шатковський Андрій Петрович, доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент НААН, заступник директора з наукової роботи, Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України (м. Київ, Україна).

У збірнику подаються результати наукових досліджень теоретичного та практичного характеру з питань зрошуваного землеробства. Висвітлено елементи системи землеробства, обробіток ґрунту, удобрення, раціональне використання поливної води, особливості ґрунтотворних процесів. Приділено увагу питанням кормовиробництва, вирощування зернових, картоплі та інших культур, створення нових сортів і гібридів, біотехнології, економіці виробництва.

Міжвідомчий тематичний науковий збірник розрахований на науковців, аспірантів, спеціалістів сільського господарства.

e-mail: info@izpr.ks.ua
www.izpr.ks.ua

© Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України, 2026

ЗМІСТ

МЕЛІОРАЦІЯ, ЗЕМЛЕРОБСТВО, РОСЛИННИЦТВО.....**5**

Довгеля О.М., Шатковський А.П., Мельничук Ф.С., Алєксєєва С.А., Антоненко О.О., Власенко О.В., Бородін І.Д. Оптимізація густоти рослин кукурудзи залежно від вологозабезпеченості в умовах Лісостепу України.....**5**

Жигайло Д.С., Марченко Т.Ю., Міщенко С.В., Лавриненко Ю.О., Марченко В.Д. Вплив елементів агротехнології на фотосинтетичні показники гібридів ріпаку озимого (*Brassica napus* L.) в умовах Півдня України.....**14**

Zhygailo T.S., Zhygailo O.I., Danchuk O.V., Grafov A.V., Kozyrev V.V., Zherebchuk S.V., Piliarska O.O. Assessment and control of heavy metal contamination in alfalfa green mass yield on irrigated lands of Odesa Region.....**25**

Кравченко Н.В., Гнітецький М.О., Можарівська І.А. Біочар-асистована фіторемедіація ґрунтів як інноваційна технологія відновлення агроекосистем, забруднених важкими металами.....**32**

Лиховид П.В., Ретьман М.С., Каращук Г.В., Жуйков О.Г., Казанок О.О. Моніторинг засолення ґрунтів Інгулецького зрошуваного масиву за аерокосмічними даними.....**37**

Медончак О.В., Хоненко Л.Г. Урожайність плодів огірка різних товарних фракцій залежно від гібриду, біопрепаратів і мікродобрив за краплинного зрошення в умовах Південного Степу України.....**44**

Сеник І.І., Грам'як Р.П. Адаптація хімічного захисту ріпаку (*Brassica napus L. Oleifera*) в Україні до європейських вимог.....**51**

Сімчук А.П., Заїка В.К., Григорів Я.Я., Дмитрик П.М., Душко П.М. Динаміка виробництва соняшнику в Україні.....**57**

Цилюрик О.І., Тищенко В.О. Агробіологічна адаптивність гібридів кукурудзи за різної густоти стояння та мінерального живлення в Північному Степу України.....**63**

СЕЛЕКЦІЯ, НАСІННИЦТВО.....**71**

Коваль В.С. Оцінка складових генофонду картоплі за стійкістю до *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary....**71**

CONTENTS

AMELIORATION, FARMING, CROP PRODUCTION.....**5**

Dovhelia O.M., Shatkovskyi A.P., Melnychuk F.S., Alekseeva S.A., Antonenko O.O., Vlasenko O.V., Borodin I.D. Optimizing plant stand density of maize depending on the moisture supply in the Forest–Steppe of Ukraine.....**5**

Zhyhailo D.S., Marchenko T.Yu., Mishchenko S.V., Lavrynenko Yu.O., Marchenko V.D. Influence of agrotechnological elements on photosynthetic parameters of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) hybrids in the conditions of Southern Ukraine.....**14**

Zhygailo T.S., Zhygailo O.I., Danchuk O.V., Grafov A.V., Kozyrev V.V., Zherebchuk S.V., Piliarska O.O. Assessment and control of heavy metal contamination in alfalfa green mass yield on irrigated lands of Odesa Region.....**25**

Kravchenko N.V., Hnitetskyi M.O., Mozharivska I.A. Biochar-assisted phytoremediation of soils as an innovative technology for the restoration of agroecosystems contaminated with heavy metals.....**32**

Lykhovyd P.V., Retman M.S., Karashchuk G.V., Zhuikov O.H., Kazanok O.O. Monitoring salinity in soils of the Ingulets irrigation array using aerospace data.....**37**

Medonchak O.V., Khonenko L.H. Yield of cucumber fruits of different marketable fractions depending on the hybrid, biopreparations and microfertilizers under drip irrigation in the Southern Steppe of Ukraine.....**44**

Senyk I.I., Gramiak R.P. Adapting chemical protection for rapeseed (*Brassica napus L. Oleifera*) in Ukraine to European requirements.....**51**

Simchuk A.P., Zaika V.K., Hryhoriv Ya.Ya., Dmytryk P.M., Dushko P.M. Trends in sunflower cultivation in Ukraine.....**57**

Tsyliuryk O.I., Tyshchenko V.O. Agrobiological adaptability of maize hybrids under different stand densities and mineral nutrition in the Northern Steppe of Ukraine.....**63**

BREEDING, SEED FARMING.....**71**

Koval V.S. Assessment of potato gene pool components for resistance to *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary.....**71**

УДК 633.15:631.5:631.432
DOI https://doi.org/10.32848/0135-2369.2026.86.1

ОПТИМІЗАЦІЯ ГУСТОТИ РОСЛИН КУКУРУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД ВОЛОГОЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

ДОВГЕЛЯ О.М. – кандидат сільськогосподарських наук, докторант
orcid.org/0009-0006-7000-0358
Інститут водних проблем і меліорації
Національної академії аграрних наук України
ШАТКОВСЬКИЙ А.П. – доктор сільськогосподарських наук, професор,
член-кореспондент НААН України
orcid.org/0000-0002-4366-0397
Інститут водних проблем і меліорації
Національної академії аграрних наук України
МЕЛЬНИЧУК Ф.С. – доктор сільськогосподарських наук, с.н.с.
orcid.org/0000-0003-2711-5185
ДП «Науковий Центр превентивної токсикології,
харчової та хімічної безпеки імені академіка Л.І. Медведя МОЗ України»
АЛЄКСЄЄВА С.А. – кандидат сільськогосподарських наук
orcid.org/0000-0001-8463-4614
ТОВ «Зелений Дім 2025»
АНТОНЕНКО О.О. – аспірант
orcid.org/0009-0005-5488-896X
Національний університет біоресурсів і природокористування України
ВЛАСЕНКО О.В. – аспірант
orcid.org/0009-0006-9229-9872
Інститут водних проблем і меліорації
Національної академії аграрних наук України
БОРОДІН І.Д. – фахівець
orcid.org/0009-0002-8524-2967
ТОВ «Зелений Дім 2025»

Постановка проблеми. Кукурудза належить до провідних зернових культур світового землеробства і має ключове значення для забезпечення продовольчої, кормової та енергетичної безпеки. Її висока потенційна продуктивність дає змогу отримувати стабільно високі урожаї, однак реалізація генетичного потенціалу сучасних гібридів дедалі більше залежить від гідротермічних умов вегетаційного періоду, які в останні десятиліття характеризуються вираженою нестабільністю. Клімат України змінюється швидкими темпами, при цьому потепління супроводжується зростанням повторюваності посушливих явищ та нерівномірністю розподілу опадів упродовж вегетації. Недобір урожаю зернових культур в Україні дедалі частіше зумовлюється саме зміною температурного режиму повітря та недостатньою кількістю опадів [1].

Аналіз останніх джерел та публікацій. Вплив погодного стресу на кукурудзу є різноманітним: дефіцит вологи пригнічує формування сходів, ранній ріст, фотосинтетичну діяльність і репродуктивний розвиток рослин, а високі температури у критичний період можуть порушувати процеси цвітіння чоловічих суцвіть і запліднення, що безпосередньо позначається на формуванні зернівок. Саме посуха є головним чинником втрат урожаю кукурудзи у роки з найнижчою урожайністю культури. При цьому в посушливі роки відбуваються різкі падіння валових зборів культури та завдаються значні економічні збитки [2, 3]. В умовах підвищеної посушливості особливого значення набуває пошук агротехнічних прийомів, здатних пом'якшити негативний вплив погодних чинників на продуктивність посівів.

Серед таких прийомів ключове місце належить оптимізації густоти рослин – одному з головних чинників одержання стабільно високих урожаїв кукурудзи. Існує залежність урожайності зерна від густоти, причому гібриди істотно різняться за реакцією на цей фактор [4, 5]. Перевищення оптимальної густоти посилює внутрішньовидову конкуренцію за світло, вологу та елементи живлення, унаслідок чого приріст урожаю за рахунок додаткових рослин нівелюється стресом окремих особин, а продуктивність рослин знижується [6, 7].

Із загущенням посівів підвищується висота прикріплення продуктивного качана, зростає вологість

зерна під час збирання та збільшується ризик вилягання. Водночас недостатня густота не забезпечує повного використання продуктивної вологи, поживних речовин і сонячної радіації, що також обмежує рівень урожайності [8, 9]. Більш загущені посіви забезпечують вищу врожайність у роки з кращою вологозабезпеченістю, тоді як зріджені мають перевагу у посушливі роки. Це зумовлює необхідність диференційованого підходу до визначення густоти для окремих гібридів, а також коригування густоти залежно від погодних умов у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах [10, 11].

Метою досліджень було встановлення впливу густоти рослин на морфологічні особливості та продуктивність гібриду кукурудзи P8436AQ у різні за погодними умовами роки та визначення оптимальної густоти для умов Бориспільського району Київської області.

Матеріали та методи. Польові дослідження проведено впродовж 2023–2025 рр. згідно із загальноприйнятими методиками ведення польових дослідів у землеробстві та рослинництві в умовах господарства СТОВ «Любарецьке» Бориспільського району Київської області [12, 13, 14]. Ґрунтовий покрив дослідного поля представлений чорноземом опідзоленим малогумусним із вмістом гумусу 3,8%, вмістом рухомих форм NO_3^- 2,05 мг/100 г ґрунту, P_2O_5 7,3 мг/100 г, K_2O 14,0 мг/100 г, pH 6,2, щільністю ґрунту 1,2 г/см³. Агротехніка вирощування кукурудзи була загальноприйнятою для зони Лісостепу України, за винятком елементів, що вивчали [15].

У схемі польового досліду передбачено вивчення трьох варіантів густоти рослин середньораннього гібриду кукурудзи P8436AQ бренду Pioneer: 70, 75 та 80 тис. рослин/га. Повторність досліду чотириразова, розміщення варіантів – послідовне багатоярусне. Обліки та спостереження проводили згідно із загальноприйнятими методиками [16, 17], а також методикою польового досліду [13].

Біометричні вимірювання здійснювали на 10 типових рослинах кожної облікової ділянки: висоту рослин вимірювали від поверхні ґрунту до місця кріплення верхнього листка, висоту кріплення продуктивного качана – від поверхні ґрунту до місця прикріплення качана. Збирання та облік урожаю проводили у фазу повної стиглості зерна вручну шляхом обмолочування та зважування зерна з усієї облікової площі ділянки [18]. Вологість зерна визначали одночасно зі зважуванням, масу зерна з одного качана встановлювали за середньою пробою. Урожайність зерна перераховували на стандартну вологість 14%.

Метеорологічні умови вегетаційних періодів проаналізовано за даними вимірювань інтернет–метеостанції i-Metos. Погодні умови кожного року оцінювали за сумою активних температур, сумою ефективних температур понад +10°C, сумою опадів за квітень–вересень та гідротермічним коефіцієнтом (ГТК), який розраховували як відношення суми опадів за період до суми активних температур понад +10°C, зменшеної у 10 разів. Градації значень ГТК (1,3–1,5 – достатнє зволоження, 1,0–1,3 – помірне (забезпечене) зволоження, 0,5–1,0 – недостатнє зволоження) використовували відповідно до загальноприйнятої шкали [19].

Сумарне водоспоживання посівів кукурудзи за період від сівби до збирання розраховано за методикою FAO–56 як ETc = Kc×ETo, де ETo – еталонна евапотранспірація, розрахована за методом Пенмана-Монтейта за даними метеостанції i-Metos, а Kc – коефіцієнт культури, прийнятий за табличними значеннями FAO-56 для кукурудзи: 0,30 у початковій фазі, 1,20 у середній (цвітіння–молочна стиглість) та 0,35 у кінцевій фазі [20, 21]. Щорічні дати фаз розвитку встановлено фенологічними спостереженнями.

Статистичну обробку експериментальних даних проводили методами дисперсійного аналізу за загальноприйнятими методиками, зокрема за методикою Ушкаренка В. О. та ін. [4, 13]. При цьому застосовували двофакторний дисперсійний аналіз. Фактор А – густота рослин, фактор В – рік досліджень. Істотність відмінностей між середніми оцінено за найменшою істотною різницею HIP_{05}. Розрахунки виконано із застосуванням програмного забезпечення Microsoft Office Excel та Statistica.

Результати досліджень. У результаті досліджень виявлено, що всі три вегетаційні періоди виявилися теплішими за багаторічну норму: СЕТ(>10°C) становила 1463,6°C у 2023 р. (+12,6%), 1739,3°C у 2024 р. (+33,8%) та 1377,5°C у 2025 р. (+6,0%) проти норми 1300,0°C (табл. 1). Найбільшу теплозабезпеченість зафіксовано у 2024 р., найближчу до норми – у 2025 р.

Підвищена теплозабезпеченість сприяє прискоренню проходження фенологічних фаз і є загалом сприятливою для кукурудзи як культури з високою вимогою до тепла. Тоді як у 2024 р. тепловий профіцит поєднувався з періодами гострого дефіциту вологи, що створювало стресовий гідротермічний фон. При цьому максимальні температури повітря у липні досягали +38,3°C (у II декаді середній показник сягав +27,0°C), а у 2023 і 2025 рр. – +36,8°C. Висока температура за низької вологості повітря у найбільш відповідальні фази розвитку (цвітіння, запилення) є типовим чинником зниження продуктивності кукурудзи у регіонах із нестабільним зволоженням [22].

За показниками суми опадів впродовж вегетаційного періоду простежувалася стала тенденція до

Таблиця 1 – Метеорологічні показники вегетаційного періоду (квітень–вересень), Бориспільський район

Показник	2023 р.	2024 р.	2025 р.	Середнє багаторічне
Сума активних температур, °C	3063,6	3439,3	2967,5	2825,0
Сума ефективних температур (>10°C), °C	1463,6	1739,3	1377,5	1300,0
Сума опадів, мм	375,4	329,2	305,4	343,0
ГТК	1,23	0,96	1,03	1,21

зниження сезонної вологозабезпеченості від достатньої (2023 р.) до дефіцитної (2025 р.). Загалом, кількість опадів упродовж усіх трьох вегетаційних періодів була переважно достатньою для формування високих урожаїв кукурудзи. Водночас місячний та декадний розподіл опадів (табл. 2), який зумовлює внутрішньосезонну нерівномірність зволоження, був визначальним для рівня посухостійкості посівів у конкретному році.

ГТК вегетаційного періоду у 2023 р. становив 1,23, що практично збігається з багаторічною нормою (1,21) та відповідає умовам достатнього зволоження. У 2024 р. цей показник знизився до 0,96, а у 2025 р. становив 1,03, що свідчить про слабку посуху. Відповідно, впродовж вегетаційного періоду 2024–2025 рр. відбувалося переважання випаровування над атмосферними опадами [24]. Тобто, навіть за близьких до норми сезонних сум опадів для рослин спостерігався дефіцит вологи. Таким чином, за гідротермічним критерієм найбільш сприятливим для росту і розвитку рослин кукурудзи був 2023 р., тоді як в інші роки спостерігалися слабко посушливі умови.

За результатами аналізу встановлено, що погодні умови не були однаково сприятливими за роками. У 2023 р. за ГТК 1,23 відбувалися травнева та серпнева посухи, 2024 рік за ГТК 0,96 характеризувався слабкою посухою, а 2025 р. за ГТК 1,03 вирізнявся дефіцитом тепла і нерівномірністю зволоження. Сумарне водоспоживання посівів гібриду Р8436AQ перевищувало суму опадів за вегетацію: дефіцит атмосферного зволоження становив 78,5 мм у 2023 р., 110,2 мм у 2024 р. та 94,0 мм у 2025 р., тобто опади покривали потребу посіву лише на 82,7, 74,9 і 76,5% відповідно (табл. 3). При цьому зниження суми опадів впродовж років (на 70,0 мм з 2023 до 2025 р.) було помітно стрімкішим, ніж зменшення самого ЕТс (на 54,5 мм), тому дефіцит вологозабезпечення не лише зберігався, а й поглиблювався. Максимальний дефіцит зафіксовано у 2024 р. (110,2 мм), коли за високої теплозабезпеченості вегетації випало найменше опадів у критичну фазу цвітіння.

Поглиблення дефіциту у 2024–2025 рр. узгоджується з результатами урожайності: за погіршення вологозабезпеченості знижується здатність середовища підтримувати високу густоту [25], тож перевага загущених посівів 80 тис. рослин/га, яка проявилася у 2023 р., у 2024–2025 рр. змінилася на достовірне зниження врожайності порівняно з іншими варіантами. Отримані суми ЕТс (399,4–453,9 мм) узгоджуються з літературними даними для кукурудзи – 452,7–483,7 мм за дощування [26], що підтверджує коректність розрахунку.

Встановлено переважання чинника погодних умов над фактором густоти, що визначав висоту рослин. У межах року зміна густоти від 70 до 80 тис. рослин/га супроводжувалася зміною висоти лише на ±5 см. Натомість різниця за роками досягала близько 50 см за середніми показниками висоти рослин (до 70 см за окремими повторностями: від 190 см у 2025 р. до 260 см у 2024 р.) (табл. 4). Така слабка та неоднозначна реакція висоти на загущення узгоджується з даними літератури [7, 27].

Максимальна висота сформувалася у 2024 р. за найвищої теплозабезпеченості (САТ – 3439,3°С, СЕТ>10°С – 1739,3°С) у поєднанні з рясними червневими опадами (102,2 мм), що забезпечило інтенсивний лінійний ріст стебла. Найнижчі рослини відзначено у 2025 р., коли травень був прохолодним (13,9°С) і стимулюючий тепловий фон вегетації послаблювався (СЕТ > 10°С лише 1377,5°С). У 2023 р. ріст стримувала травнева посуха, тому висота рослин зайняла проміжне положення, попри найвищий ГТК вегетаційного сезону (1,23). Таким чином, встановлено, що саме декадний розподіл опадів і температур визначав висоту рослин.

Кріплення качана зі збільшенням густоти рослин підвищувалося у 2023 р. (з 97,5 до 100,0 см) та 2024 р. (з 106,3 до 108,8 см), тобто на 2,4–2,6%. Тоді як у 2025 р. цей показник практично не змінювався (102,5 см). Тобто, висота рослин і рівень прикріплення качана залежали від густоти та генетичних особливостей гібрида, зростаючи із загущенням [28], а збільшення густоти підвищувало висоту прикріплення качана на 9,7–13,0% [7, 28].

Таблиця 2 – Місячна динаміка середньої температури повітря та суми опадів за вегетаційний період

Місяць	2023 р.		2024 р.		2025 р.	
	t,°C	опади, мм	t,°C	опади, мм	t,°C	опади, мм
Квітень	9,5	91,0	12,7	86,0	10,8	29,0
Травень	15,5	23,4	15,7	8,8	13,9	71,6
Червень	19,7	58,0	21,7	102,2	19,2	59,4
Липень	21,1	172,0	24,4	43,0	22,5	69,4
Серпень	23,0	14,6	22,0	64,8	19,8	29,0
Вересень	17,7	16,4	19,7	24,4	15,8	47,0

Таблиця 3 – Дефіцит вологозабезпечення посівів гібриду кукурудзи Р8436AQ

Показник	2023 р.	2024 р.	2025 р.
Опади (квітень–вересень), мм	375,4	329,2	305,4
ЕТс, FAO–56 (сівба–збирання), мм	453,9	439,4	399,4
Дефіцит ЕТс − опади, мм	78,5	110,2	94,0
Покриття потреби опадами, %	82,7	74,9	76,5

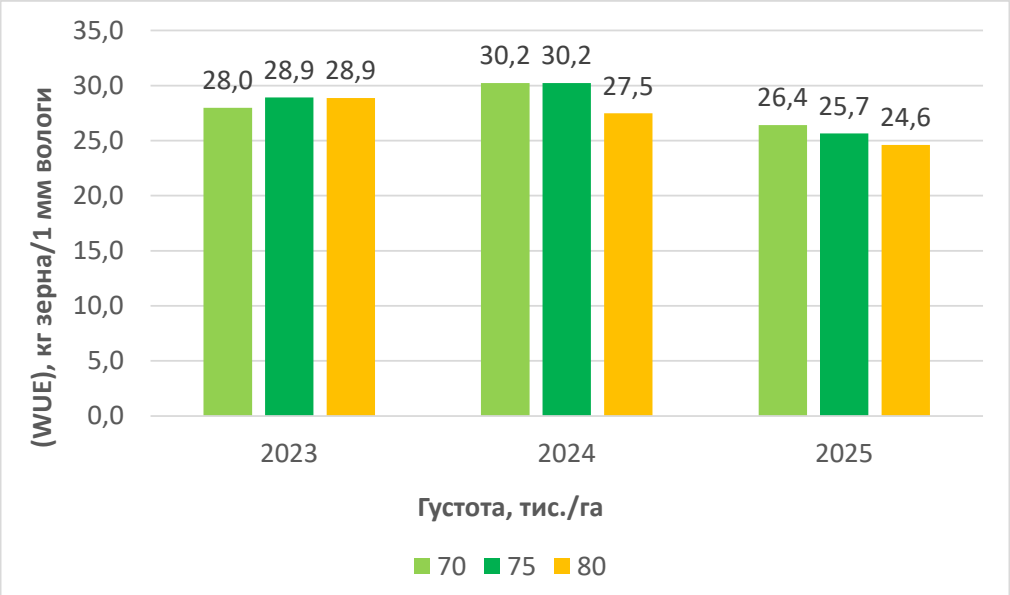


Рис. 1. Ефективність використання вологи (WUE)

Таблиця 4 – Морфологічні показники гібриду P8436AQ залежно від густоти

Рік	Густота, тис. рослин/га	Висота рослин, см	Висота кріплення качана, см
2023	70	210,0	97,5
	75	203,8	96,3
	80	205,0	100,0
2024	70	247,5	106,3
	75	247,5	105,0
	80	242,5	108,8
2025	70	197,5	102,5
	75	196,3	98,8
	80	196,3	102,5
$НІР_{05}$		6,8	5,6
Точність досліду ($S\bar{x}$), %		1,1	1,9
Коефіцієнт варіації (V), %		3,8	6,5

Таблиця 5 – Показники продуктивності гібриду P8436AQ залежно від густоти

Рік	Густота, тис. рослин/га	Маса зерна з 1 качана, кг	Урожайність (за 14% вологості), т/га	Вологість зерна при збиранні, %
2023	70	0,200	12,70	13,3
	75	0,194	13,13	13,0
	80	0,186	13,10	14,5
2024	70	0,215	13,28	16,7
	75	0,203	13,28	16,7
	80	0,178	12,08	18,2
2025	70	0,184	10,55	23,8
	75	0,169	10,25	23,2
	80	0,155	9,83	24,6
$НІР_{05}$		0,004	0,27	1,1
Точність досліду ($S\bar{x}$), %		0,8	0,8	2,0
Коефіцієнт варіації (V), %		2,8	2,7	6,9

Проте у наших даних інтенсивність реакції P8436AQ помітно була нижчою (2–3% порівняно з 10–13% у наведених дослідженнях), що підтверджує генотипову специфіку, оскільки у цього гібрида відмічено стабільну висоту кріплення качана за досліджуваних густот.

За погодних умов років досліджень встановлено різний рівень кріплення, який був найвищим у 2024 р. (105–109 см), а найнижчим у 2023 р. (96–100 см). При цьому співвідношення висоти кріплення качана до висоти рослини у 2023 р. складало 0,47, у 2024 р. – 0,43, а у 2025 р. – 0,52. Це пояснюється негативним впливом на висоту кріплення качана сум ефективних температур.

Відмічено, що зі збільшенням густоти рослин, маса зерна з одного качана знижувалася: у 2023 р. – з 0,200 до 0,186 кг (–6,6%), у 2024 р. – з 0,215 до 0,178 кг (–17,3%), у 2025 р. – з 0,184 до 0,155 кг (–15,9%) (табл. 5). Це зумовлено внутрішньовидовою конкуренцією за світло, вологу й елементи живлення. Так, продуктивність окремої рослини падає із загущенням [27], а найвищі показники маси зерна забезпечуються за низької густоти [29]. Встановлено, що маса качана визначалася сумою опадів впродовж вегетаційного періоду. У 2024 р. цей показник був найвищим (0,178–0,215 кг) завдяки сприятливому червневому зволоженню, у посушливому 2025 р. – найнижчим (0,155–0,184 кг).

Урожайність зерна визначалася чіткою взаємодією «густота × погодні умови». У 2023 р. всі три густоти забезпечили близький рівень урожайності з максимумом 13,13 т/га за густоти 75 тис. рослин/га. Найвищу урожайність, яка сягала 13,28 т/га, одержано у спекотному 2024 р. за густоти 70–75 тис. рослин/га, тоді як за густоти 80 тис. рослин/га цей показник знизився на 9,0%. У посушливо–прохолодному 2025 р. урожайність знижувалася на 6,8% зі збільшенням густоти до 80 тис., порівняно з 70 тис. рослин/га.

Ефективність використання вологи (WUE) визначалася взаємодією густоти рослин із річними показниками зволоження. Найвищі значення ефективності використання волог, які сягали 28,9–30,2 кг/мм у 2023–2024 рр. одержано за густот 70–75 тис. рослин/га (рис. 1).

Тоді як загущення до 80 тис. рослин/га знижувало цей показник, зокрема у роки з дефіцитом вологи: до 27,5 кг/мм у 2024 р. (−9,0%) та з 26,4 до 24,6 кг/мм у 2025 р. (−6,8%), що узгоджується з даними про зниження ефективності використання вологи кукурудзою за надмірної густоти в незрошуваних умовах [30].

Висновки. Вегетаційні періоди 2023–2025 рр. істотно різнилися за гідротермічними умовами: за помірного зволоження 2023 р. (ГТК 1,23 за норми 1,21) спостерігалися травнева та серпнева посухи, тоді як у 2024–2025 рр. зволоження було слабко дефіцитним (ГТК 0,96 та 1,03) з посушливими періодами у травні та липні 2024 р. та квітні та серпні 2025 р. Така контрастність умов забезпечила об'єктивне оцінювання адаптивності досліджуваного гібрида.

Морфологічні показники рослин гібриду P8436AQ визначалися переважно погодними умовами року. Відмінності між варіантами за висотою рослин та кріплення качана при 70–80 тис. рослин/га (2–4 см) не перевищували $НІР_{05}$ (6,8 і 5,6 см). Найвищі значення висоти рослин отримано у теплому 2024 р. (245,8 см), найнижчі – у прохолодному 2025 р. (196,7 см).

Зіставлення сумарного водоспоживання посіву за FAO–56 із сезонними сумами опадів виявило стійкий дефіцит вологозабезпечення 78,5–110,2 мм, поглиблення якого у 2024–2025 рр. зумовило достовірну перевагу розріджених посівів 70–75 тис. рослин/га над загущеним варіантом 80 тис. рослин/га.

Загущення посівів від 70 до 80 тис. рослин/га достовірно знижувало масу зерна з одного качана у всі роки досліджень: у середньому з 0,200 до 0,173 кг за $НІР_{05}$ = 0,004 кг, що підтверджує посилення внутрішньовидової конкуренції за ресурси. Водночас, воно підвищувало вологість зерна при збиранні з 17,6–17,9 до 19,1% ($НІР_{05}$ = 1,1%).

Урожайність зерна формувалася під істотним впливом взаємодії факторів «густота × рік», що підтверджує необхідність її коригування залежно від ґрунтово-кліматичних умов. Для стабілізації продуктивності гібриду P8436AQ в умовах Лісостепу України рекомендовано у роки з прогнозованим дефіцитом вологи формувати густоту 70–75 тис. рослин/га, а за сприятливого зволоження допускати загущення до 80 тис. рослин/га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Litvinov D. V., Litvinova O., Borys N., Masyk I., Butenko A., Onychko V., Khomenko L., Terokhina N., Kharchenko S. The Typicality of Hydrothermal Conditions of the Forest Steppe and Their Influence on the Productivity of Crops. Environmental Research Engineering and Management. *2020. Vol. 76, № 3. P. 84–95. https://doi.org/10.5755/j01.erem.76.3.25365.*

2. Balabukh V. Yield shortfall of cereals in Ukraine caused by the change in air temperature and precipitation amount. Agricultural Science and Practice. *2023. Vol. 10, no. 1. P. 31–53. https://doi.org/10.15407/agrisp10.01.031.*

3. Barna F. M., Manescu A. The Impact of Drought Risk on Maize Crop in Romania. Sustainability. *2025. Vol. 17, № 19. P. 1–21. https://doi.org/10.3390/su17198870.*

4. Білявська Л. Г., Ванжула Д. В. Урожайність гібридів різних ФАО та груп стиглості в умовах Лівобережного Лісостепу України залежно від норми висіву та вологості зерна. Аграрні інновації. *2024. № 27. С. 13–22. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.27.2.*

5. Matteo J. A. D., Ferreyra J. M., Cerrudo A., Echarte L., Andrade F. H. Yield potential and yield stability of Argentine maize hybrids over 45 years of breeding. Field Crops Research. *2016. Vol. 197. P. 107–116. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.023.*

6. Azrai M., Aqil M., Efendi R., Zainuddin B., Syam'un E., Anshori M. F., Riadi M., Priyanto S. B., Andayani N. N., Yasin M., Laurenze R., Syam A. Canopy architectural and physiological traits for optimizing maize yield under high planting density. Frontiers in Sustainable Food Systems. *2025. Vol. 9. P. 1–15. https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1469305.*

7. Багатченко В. В., Таганцова М. М., Стефківська Ю. Л. Вплив густоти рослин кукурудзи на

насіннєву продуктивність батьківських компонентів гібридів Zea mays L. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. *2018, № 26. С. 56–66. https://doi.org/10.47414/np.26.2018.211195.*

8. Cui J., Cui Z., Yang L., Lv X., Cao Q., Hou Y., Yang X., Yan G. Maize grain yield enhancement in modern hybrids associated with greater stalk lodging resistance at a high planting density: a case study in northeast China. Scientific Reports. *2022. Vol. 12, № 1. P. 1–12. https://doi.org/10.1038/s41598–022–18908–z.*

9. Yan P., Pan J., Zhang W., Shi J., Chen X., Cui Z. A high plant density reduces the ability of maize to use soil nitrogen. PLoS ONE. *2017. Vol. 12, № 2. P. 1–12. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172717.*

10. Madić M., Bokan N., Živić M., Đurović D., Paunović A., Tomić D. Grain yield of maize hybrids at different plant densities. Acta Agriculturae Serbica. *2017. Vol. 22, № 44. P. 157–167. https://doi.org/10.5937/aaser1744157m.*

11. Цилюрик О. І., Тищенко В. О. Вплив густоти рослин та рівня мінерального живлення на урожайність зерна кукурудзи в умовах Північного Степу України. Таврійський науковий вісник. *2024. № 137. С. 319–327. https://doi.org/10.32782/2226–0099.2024.137.38.*

12. Лісовал А. П. Методи агрохімічних досліджень. Київ : Вид–во НАУ, 2001. 247 с.

13. Ушкаренко В. О., Вожегова Р. А. Методика польового досліду. Зрошуване землеробство. Одеса : Олді Плюс+, 2024. 448 с.

14. Юрченко С. О., Степаненко Б. В., Хачатурян А. Е. Урожайність гібридів кукурудзи на зерно залежно від їх групи стиглості. Scientific Progress & Innovations. *2024. Т. 27, № 4. С. 66–71. https://doi.org/10.31210/spi2024.27.04.11.*

15. Гангур В. В., Руденко В. В. Біометричні параметри рослин та продуктивність кукурудзи (Zea mays L.) залежно від строків сівби. Scientific Progress & Innovations. *2023. Т. 26. С. 36–41. https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.07.*

16. Лебідь Є. М., Циков В. С., Пащенко Ю. М., Шевченко М. С. Методика проведення польових дослідів з кукурудзою. Дніпропетровськ, 2008. 27 с.

17. Мельник С. І. Методика проведення експертизи сортів рослин групи зернових, круп'яних та зернобобових. Міністерство аграрної політики та продовольства України; Український інститут експертизи сортів рослин. 2016. 81 с. URL: https://sops.gov.ua/uploads/page/5a5f4147d3595.pdf (дата звернення: 22.08.2026).

18. Мащенко Ю. В., Соколовська І. М. Продуктивність кукурудзи залежно від її частки в сівозміні та удобрення. Аграрні інновації. *2023. № 21. С. 57–63. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.21.8.*

19. Niewiadomska A., Sulewska H., Wolna–Maruwka A., Waraczewska Z., Budka A., Ratajczak K. An assessment of the influence of selected herbicides on the microbial parameters of soil in maize (Zea mays) cultivation. Applied Ecology and Environmental Research. *2018. Vol. 16, № 4. P. 4735–4752. https://doi.org/10.15666/aeer/1604_47354752.*

20. Er–Raki S., Chehbouni A., Guemouria N., Duchemin B., Ezzahar J., Hadria R. Combining FAO–56 model and ground–based remote sensing to estimate water consumptions of wheat crops in a semi–arid region. Agricultural Water Management. *2006. Vol. 87, № 1. P. 41–54. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.02.004.*

21. Tarnavsky E., Chavez E., Boogaard H. Agrometeorological risks to maize production in Tanzania: Sensitivity of an adapted Water Requirements Satisfaction Index model to rainfall. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2018. Vol. 73. P. 77–87. https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.04.008.

22. Prasanna B. M., Cairns J. E., Zaidi P. H., et al. Beat the stress: breeding for climate resilience in maize for the tropical rainfed environments. Theoretical and Applied Genetics. *2021. Vol. 134, № 6. P. 1729–1752. https://doi.org/10.1007/s00122–021–03773–7.*

23. Dovhelia O., Antonenko O., Bachinsky O., Melnychuk F., Alekseeva S. Effect of mineral nutrition and nitrogen–fixing agent on maize yield in the Central Forest–Steppe of Ukraine. Naukovì Dopovìdì Nacìonal'nogo Unìversitetu Bìoresursiv ì Prirodokoristuvannâ Ukraïni. *2025. Vol. 21, No. 3. P. 37–48. https://doi.org/10.31548/dopovidi/3.2025.37.*

24. Маренич М. М., Ласло О. О., Драч В. С. Адаптивні властивості гібридів кукурудзи до несприятливих кліматичних умов. Зрошуване землеробство. Збірник наукових праць. *2024. Т. 82. С. 43–47. https://doi.org/10.32848/0135–2369.2024.82.7.*

25. Assefa Y., Carter P., Hinds M., et al. Analysis of Long Term Study Indicates Both Agronomic Optimal Plant Density and Increase Maize Yield per Plant Contributed to Yield Gain. Scientific reports. 2018. Vol. 8, № 4937. P. 1–11. https://doi.org/10.1038/s41598–018–23362–x.

26. Alberto Ma. C., Quilty J. R., Buresh R. J., Waßmann R., Haidar S. A., Correa T. Q., Sandro J. M. Actual evapotranspiration and dual crop coefficients for dry-seeded rice and hybrid maize grown with overhead sprinkler irrigation. Agricultural Water Management. *2014. Vol. 136. P. 1–12. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.01.005.*

27. El–Metwally E., El–Deeb A. A., Safina S., Rabbani B. Behavior of some maize hybrids cultivated with different plant densities. Journal of Plant Production. *2011. Vol. 2, № 3. P. 479–490. https://doi.org/10.21608/jpp.2011.85582.*

28. Богомаз С. О. Оцінка взаємодії густоти та добрив на врожайність сучасних гібридів кукурудзи. Матеріали Міжнародної науково–практичної конференції «Продовольча безпека України. Збереження та відновлення ґрунтових і рослинних ресурсів» (м. Київ, 22–23 травня 2025 року), НУБІП України. *2025. С. 39–43. URL: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/rich_text_files/mizhnarodna_naukovo–praktichna_konferenciya_prodovolcha_1.pdf.*

29. Greveniotis V., Zotis S., Sioki E., Ipsilandis C. G. Field Population Density Effects on Field Yield and Morphological Characteristics of Maize. Agriculture. *2019. Vol. 9, № 7. P. 1–11. https://doi.org/10.3390/agriculture9070160.*

30. Hao B., Ma J., Si S., Wang X., Wang S., Li F., Jiang L. Response of grain yield and water productivity to plant density in drought–tolerant maize cultivar under irrigated and rainfed conditions. Agricultural Water Management. *2024. Vol. 298. P. 1–12. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108880.*

REFERENCES:

1. Litvinov D. V., Litvinova O., Borys N., Masyk I., Butenko A., Onychko V., Khomenko L., Terokhina N., & Kharchenko, S. (2020). The Typicality of Hydrothermal Conditions of the Forest Steppe and Their Influence on the Productivity of Crops. *Environmental Research Engineering and Management*, *76*(3), 84–95. https://doi.org/10.5755/j01.erem.76.3.25365

2. Balabukh, V. (2023). Yield shortfall of cereals in Ukraine caused by the change in air temperature and precipitation amount. *Agricultural Science and Practice*, *10*(1), 31–53. https://doi.org/10.15407/agrisp10.01.031

3. Barna, F. M., & Manescu, A. (2025). The Impact of Drought Risk on Maize Crop in Romania. *Sustainability*, *17*(19), 1–21. https://doi.org/10.3390/su17198870

4. Biliavska, L. H., & Vanzhula, D. V. (2024). Urozhainist hibrydiv (*Zea mays* L.) riznykh FAO ta hrup styhlosti v umovakh Livoberezhnoho Lisostepu Ukrainy zalezhno vid normy vysivu ta volohosti zerna [Yield of maize (*Zea mays* L.) hybrids of various FAO ratings and maturity groups in the Left–Bank Forest–Steppe of Ukraine, depending on seeding rate and grain moisture content]. *Ahrarni innovatsii*, 27, 13–22. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.27.2 [in Ukrainian].

5. Matteo J. A. D., Ferreyra J. M., Cerrudo A., Echarte L., & Andrade, F. H. (2016). Yield potential and yield stability of Argentine maize hybrids over 45 years of breeding. *Field Crops Research*, *197*, 107–116. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.023

6. Azrai M., Aqil M., Efendi R., Zainuddin B., Syam'un E., Anshori M. F., Riadi M., Priyanto S. B., Andayani N. N., Yasin M., Laurenze R., & Syam, A. (2025). Canopy architectural and physiological traits for optimizing maize yield under high planting density. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *9*. https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1469305

7. Bahatchenko, V. V., Tahantsova, M. M., & Stefkivska, Yu. L. (2018). Vplyv hustoty stoiannia roslyn kukurudzy na nasinnievu produktyvnist batkivskykh komponentiv hibrydiv *Zea mays* L. [Effect of maize plant density on the seed productivity of parental components of *Zea mays* L. hybrids]. *Naukovi Pratsi Instytutu Bioenerhetychnykh Kultur i Tsukrovykh Buriakiv*, 26, 56–66. https://doi.org/10.47414/np.26.2018.211195 [in Ukrainian].

8. Cui J., Cui Z., Yang L., Lv X., Cao Q., Hou Y., Yang X., & Yan, G. (2022). Maize grain yield enhancement in modern hybrids associated with greater stalk lodging resistance at a high planting density: a case study in northeast China. *Scientific Reports*, *12*(1), 12(1). 1–12. https://doi.org/10.1038/s41598–022–18908–z

9. Yan P., Pan J., Zhang W., Shi J., Chen X., & Cui, Z. (2017). A high plant density reduces the ability of maize to use soil nitrogen. *PLoS ONE*, *12*(2). 1–12. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172717

10. Madić M., Bokan N., Živić M., Đurović D., Paunović A., & Tomić, D. (2017). Grain yield of maize hybrids at different plant densities. *Acta Agriculturae Serbica*, *22*(44), 157–167. https://doi.org/10.5937/aaser1744157m

11. Tsyliuryk, O. I., & Tyshchenko, V. O. (2024). Vplyv hustoty stoiannia roslyn ta rivnia mineralnoho zhyvlennia na urozhainist zerna kukurudzy v umovakh Pivnichnoho Stepu Ukrainy [Influence of plant density and mineral nutrition level on maize grain yield in the Northern Steppe of Ukraine]. *Tavriiskyi Naukovyi Visnyk*, 137, 319–327. https://doi.org/10.32782/2226–0099.2024.137.38 [in Ukrainian].

12. Lisoval, A. P. (2001). *Metody ahrokhimichnykh doslidzhen [Methods of Agro–chemical Research].* Kyiv: Vyd–vo NAU, 247 [in Ukrainian].

13. Ushkarenko, V. O., & Vozhehova, R. A. (2024). *Metodyka polovoho doslidu. Zroshuvane zemlerobstvo [Methodology of Field Experiments. Irrigated Agriculture].* Odesa: Oldi Plius+ (pp. 1–448) [in Ukrainian].

14. Iurchenko, S. O., Stepanenko, B. V., & Khachaturian, A. E. (2024). Urozhainist hibrydiv kukurudzy na zerno zalezhno vid yikh hrupy styhlosti [Grain yield of maize hybrids depending on their maturity group]. *Scientific Progress & Innovations*, 27(4), 66–71. https://doi.org/10.31210/spi2024.27.04.11 [in Ukrainian].

15. Hanhur, V. V., & Rudenko, V. V. (2023). Biometrychni parametry roslyn ta produktyvnist kukurudzy (*Zea mays* L.) zalezhno vid strokiv sivby [Biometric parameters of plants and productivity of maize (*Zea mays* L.) depending on sowing dates]. *Scientific Progress & Innovations*, *26*, 36–41. https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.07 [in Ukrainian].

16. Lebid, Ye. M., Tsykov V. S., Pashchenko Yu. M., & Shevchenko M. S. (2008). *Metodyka provedennia polovykh doslidiv z kukurudzoiu [Methodology of conducting field experiments with corn].* Dnipropetrovsk, 27 [in Ukrainian].

17. Melnyk, S. I. (2016). Metodyka provedennia ekspertyzy sortiv roslyn hrupy zernovykh, krupianykh ta zernobobovykh [Methodology for the examination of plant varieties of the cereal, groat, and grain legume groups]. Ministerstvo ahrarnoi polityky ta prodovolstva Ukrainy. Ukrainskyi Instytut Ekspertyzy Sortiv Roslyn, 1–81. URL: https://sops.gov.ua/uploads/page/5a5f4147d3595.pdf [in Ukrainian].

18. Mashchenko, Yu. V., & Sokolovska, I. M. (2024). Produktyvnist kukurudzy zalezhno vid yii chastky v sivozmini ta udobrennia [Maize productivity depending on its share in crop rotation and fertilization]. *Ahrarni innovatsii*, 21, 57–63. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.21.8 [in Ukrainian].

19. Niewiadomska A., Sulewska H., Wolna–Maruwka A., Waraczewska Z., Budka A., & Ratajczak, K. (2018). An assessment of the influence of selected herbicides on the microbial parameters of soil in maize (*Zea mays*) cultivation. *Applied Ecology and Environmental Research*, *16*(4), 4735–4752. https://doi.org/10.15666/aeer/1604_47354752

20. Er–Raki S., Chehbouni A., Guemouria N., Duchemin B., Ezzahar J., & Hadria, R. (2006). Combining FAO–56 model and ground–based remote sensing to estimate water consumptions of wheat crops in a semi–arid region. *Agricultural Water Management*, *87*(1), 41–54. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.02.004

21. Tarnavsky E., Chavez E., & Boogaard, H. (2018). Agro–meteorological risks to maize production in Tanzania: Sensitivity of an adapted Water Requirements Satisfaction Index (WRSI) model to rainfall. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *73*, 77–87. https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.04.008

22. Prasanna B. M., Cairns J. E., Zaidi P. H., Beyene Y., Makumbi D., Gowda M., Magorokosho C., Zaman–Allah M., Olsen M., Das A., Worku M., Gethi J., Vivek B., Nair S., Rashid Z., Vinayan M. T., Issa A. B., Vicente F. S., Dhliwayo T., & Zhang, X. (2021). Beat the stress: breeding for climate resilience in maize for the tropical rainfed environments. *Theoretical and Applied Genetics*, *134*(6), 1729–1752. https://doi.org/10.1007/s00122–021–03773–7

23. Dovhelia O., Antonenko O., Bachinsky O., Melnychuk F., & Alekseeva, S. (2025). Effect of mineral nutrition and nitrogen–fixing agent on maize yield in the Central Forest–Steppe of Ukraine. *Naukovì Dopovidì Nacìonal'nogo Unìversitetu Bìoresursiv ì Prirodokoristuvannâ Ukraïni*, 37–48. https://doi.org/10.31548/dopovidi/3.2025.37

24. Marenych, M. M., Laslo, O. O., & Drach, V. S. (2024). Adaptyvni vlastyvosti hibrydiv kukurudzy do nespryiatlyvykh klimatychnykh umov [Adaptive properties of maize hybrids to adverse climatic conditions]. *Zroshuvane Zemlerobstvo. Zbirnyk Naukovykh Prats*, 82, 43–47. https://doi.org/10.32848/0135–2369.2024.82.7 [in Ukrainian].

25. Assefa Y., Carter P., Hinds M., Bhalla G., Schon R., Jeschke M. R., Paszkiewicz S., Smith S. J., & Ciampitti, I. A. (2018). Analysis of Long Term Study Indicates Both Agronomic Optimal Plant Density and Increase Maize Yield per Plant Contributed to Yield Gain. *Scientific reports*. 8(4937). 1–11 https://doi.org/10.1038/s41598–018–23362–x

26. Alberto Ma. C., Quilty J. R., Buresh R. J., Waßmann R., Haidar S. A., Correa T. Q., & Sandro, J. M. (2014). Actual evapotranspiration and dual crop coefficients for dry–seeded rice and hybrid maize grown with overhead sprinkler irrigation. *Agricultural Water Management*, *136*, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.01.005

27. El–Metwally E., El–Deeb A. A., Safina S., & Rabbani, B. (2011). Behavior of some maize hybrids cultivated with different plant densities. *Journal of Plant Production*, *2*(3), 479–490. https://doi.org/10.21608/jpp.2011.85582

28. Bohomaz, S. O. (2025). Otsinka vzaiemodii hustoty stoiannia ta dobryv na vrozhainist suchasnykh hibrydiv kukurudzy [Assessment of the interaction between plant density and fertilizers on the yield of modern maize hybrids]. *Materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Prodovolcha bezpeka Ukrainy. Zberezhennia ta vidnovlennia gruntovykh i roslynnykh resursiv» (m. Kyiv, 22–23 travnia 2025 roku) NUBIP Ukrainy*. 39–43 URL: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/rich_text_files/mizhnarodna_naukovo–praktichna_konferenciya_prodovolcha_1.pdf [in Ukrainian].

29. Greveniotis V., Zotis S., Sioki E., & Ipsilandis, C. G. (2019). Field Population Density Effects on Field Yield and Morphological Characteristics of Maize. *Agriculture*, *9*(7), 160. 1–11. https://doi.org/10.3390/agriculture9070160

30. Hao B., Ma J., Si S., Wang X., Wang S., Li F., & Jiang, L. (2024). Response of grain yield and water productivity to plant density in drought–tolerant maize cultivar under irrigated and rainfed conditions. *Agricultural Water Management*, *298*, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108880

Довгеля О.М., Шатковський А.П., Мельничук Ф.С., Алєксєєва С.А., Антоненко О.О., Власенко О.В., Бородін І.Д. Оптимізація густоти рослин кукурудзи залежно від вологозабезпеченості в умовах Лісостепу України

Мета. Встановити вплив густоти рослин (70, 75 та 80 тис. рослин/га) на морфологічні особливості та продуктивність середньораннього гібриду кукурудзи P8436AQ у різні за гідротермічними умовами роки і визначити оптимальну густоту для умов Бориспільського району Київської області. Методи. Польові дослідження проведено впродовж 2023–2025 рр. у СТОВ «Любарецьке» Бориспільського району Київської області на чорноземі опідзоленому малогумусному (уміст гумусу 3,8%; pH 6,2). Повторність чотириразова, розміщення варіантів послідовне багатоярусне. Біометричні вимірювання виконували на 10 типових рослинах облікової ділянки; урожай збирали у фазу повної стиглості вручну, урожайність перераховували на 14% вологість. Погодні умови оцінювали за сумами активних та ефективних температур, сумою опадів і гідротермічним коефіцієнтом; сумарне водоспоживання розраховували за методикою FAO–56 (ETc = Kc × ETo, метод Пенмана-Монтейта). Дані обробляли двофакторним дисперсійним аналізом (фактор А – густота, фактор В – рік), істотність відмінностей оцінювали за $НІР_{05}$. Результати. Гідротермічний коефіцієнт вегетаційних періодів становив 1,23 у 2023 р., 0,96 у 2024 р. та 1,03 у 2025 р. за багаторічної норми 1,21. Висота рослин і висота кріплення качана визначалися переважно погодними умовами року за неістотного впливу густоти. Загущення посівів істотно знижувало масу зерна з одного качана (з 0,200 до 0,173 кг, $НІР_{05}$ = 0,004 кг) та підвищувало вологість зерна при збиранні (до 19,1% проти 17,6–17,9% за густоти 70–75 тис. рослин/га, $НІР_{05}$ = 1,1%). Дефіцит вологозабезпечення посівів за FAO–56 становив 78,5–110,2 мм. Найвищу ефективність використання вологи (28,9–30,2 кг/мм) отримано за густоти 70–75 тис. рослин/га. У сприятливому за зволоженням 2023 р. урожайність за всіх густот була рівноцінною (12,70–13,13 т/га), тоді як у 2024–2025 рр. густота 80 тис. рослин/га істотно поступалася варіантам 70–75 тис. рослин/га (12,08 та 9,83 порівняно з 13,28 та 10,55 т/га, $НІР_{05}$ = 0,27 т/га). Висновки. Для стабілізації продуктивності гібриду P8436AQ в умовах Лісостепу України рекомендовано у роки з прогнозованим дефіцитом вологи формувати густоту 70–75 тис. рослин/га, а за сприятливого зволоження допускати загущення до 80 тис. рослин/га.

Ключові слова: гібрид P8436AQ, гідротермічний коефіцієнт, евапотранспірація, ефективність використання вологи, морфометричні показники, продуктивність, дисперсійний аналіз.

Dovhelia O.M., Shatkovskyi A.P., Melnychuk F.S., Alekseeva S.A., Antonenko O.O., Vlasenko O.V., Borodin I.D. Optimizing plant stand density of maize depending on the moisture supply in the Forest-Steppe of Ukraine

Purpose. To establish the effect of plant density (70, 75, and 80 thousand plants/ha) on the morphological characteristics and productivity of the mid-early maize hybrid P8436AQ in years contrasting in hydrothermal conditions and to determine the optimal plant density for the conditions of Boryspil district of Kyiv region. **Methods.** Field trials were conducted in 2023–2025 at the farm «Lyubaretske» ALLC on low-

humus podzolized chernozem (humus content 3.8%; pH 6.2). The trial had four replications with successive multistory plot arrangement. Biometric measurements were performed on 10 typical plants per plot; the crop was harvested manually at full grain maturity, and the yield was recalculated to 14% moisture. Weather conditions were assessed by the sums of active and effective temperatures, precipitation, and the hydrothermal coefficient; total water consumption was calculated using the FAO–56 methodology (ETc = Kc × ETo, Penman–Monteith method). Data were processed by two–way analysis of variance (factor A – plant density, factor B – year), with significance assessed by $LSD_{0.05}$. **Results.** The hydrothermal coefficient of the growing seasons was 1.23 in 2023, 0.96 in 2024, and 1.03 in 2025 vs the long–term average of 1.21. Plant height and ear attachment height were determined mainly by weather conditions of the year, with a non-significant effect of density. Thickening of stands significantly reduced grain weight per ear (from 0.200 to 0.173 kg, $LSD_{0.05}$ = 0.004 kg) and increased grain moisture at harvest (up to 19.1% vs 17.6–17.9% at 70–75 thousand plants/ha, $LSD_{0.05}$ = 1.1%). The moisture deficit of the crops by FAO–56 amounted to 78.5–110.2 mm. The highest water use efficiency (28.9–30.2 kg/mm) was obtained at 70–75 thousand plants/ha. In the moisture-favourable year of 2023, all densities provided equal yields (12.70–13.13 t/ha), whereas in 2024–2025 the density of 80 thousand plants/ha was significantly inferior to 70–75 thousand plants/ha (12.08 and 9.83 compare to 13.28 and 10.55 t/ha, $LSD_{0.05}$ = 0.27 t/ha). **Conclusions.** To stabilize the productivity of the hybrid P8436AQ under the Forest–Steppe conditions of Ukraine, plant density should be set at 70–75 thousand plants/ha in years with a predicted moisture deficit, while thickening up to 80 thousand plants/ha is acceptable in years with favourable moisture supply.

Key words: hybrid P8436AQ, hydrothermal coefficient, evapotranspiration, water use efficiency, morphometric parameters, productivity, analysis of variance.



Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 23.09.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 26.10.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.11.2026

УДК 633.853.494:631.5:581.132 (477.7)
DOI https://doi.org/10.32848/0135-2369.2026.86.2

ВПЛИВ ЕЛЕМЕНТІВ АГРОТЕХНОЛОГІЇ НА ФОТОСИНТЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ ГІБРИДІВ РІПАКУ ОЗИМОГО (*BRASSICA NAPUS* L.) В УМОВАХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

ЖИГАЙЛО Д.С. – аспірант
orcid.org/0009-0002-6704-4019
Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України
МАРЧЕНКО Т.Ю. – доктор сільськогосподарських наук, професор
orcid.org/0000-0001-6994-3443
Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України,
Одеський державний аграрний університет,
Одеська державна сільськогосподарська дослідна станція Інституту
кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України
МІЩЕНКО С.В. – доктор сільськогосподарських наук,
старший науковий співробітник
orcid.org/0000-0002-1979-4002
Глухівський національний педагогічний університет
імені Олександра Довженка,
Інститут луб'яних культур Національної академії аграрних наук України
ЛАВРИНЕНКО Ю.О. – доктор сільськогосподарських наук, професор
orcid.org/0000-0001-9442-8793
Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України
МАРЧЕНКО В.Д. – здобувачка вищої освіти
orcid.org/0009-0009-8010-8284
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Постановки проблеми. Ріпак озимий (*Brassica napus* L.) – культура, вирощування якої потребує чіткого виконання елементів агротехнології та використання високоякісного селекційного матеріалу. Важливим фактором підвищення врожайності насіння озимого ріпаку є дотримання елементів технології його вирощування, а саме – своєчасного виконання основних технологічних прийомів у оптимальні терміни, з урахуванням генотипових особливостей та агроекологічних умов.

Вчені відмічають, що для одержання високих урожаїв насіння ріпаку озимого необхідно, щоб площа листкової поверхні ріпаку мала оптимальний розмір у період найбільш активної фази онтогенезу рослин [1, 2].

В працях багатьох дослідників висвітлена фотосинтетична діяльність рослин ріпаку озимого залежно від умов вирощування, гібридів, строків сівби, норм висіву, застосування регуляторів росту та мікродобрив, проте результати досліджень різняться між собою і потребують уточнень [3, 4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для оптимального проходження фотосинтезу посів ріпаку мусить мати певну площу листкової поверхні. Проте, треба розрізняти листкову поверхню як засіб нагромадження пластичних речовин для формування врожаю насіння й листкову масу культур, які вирощуються для отримання кормів. У першому випадку надлишкова листкова поверхня не сприятиме високій урожайності культури, оскільки частина листків буде затінена її верхніми ярусами. Крім того, затінена частина листків не лише не дає продуктивної віддачі, а по суті є зайвою, оскільки для її формування використовується значна частина поживних речовин [5].

Низка експериментальних даних свідчить, що одним із напрямків реалізації механізму дії біологічних препаратів на рослини є формування надземної біомаси (сирої маси та сухої речовини) і площі листкового апарату [6–8]. Так, листковий апарат визначає спрямованість фотосинтетичних процесів посівів і їх продуктивність [9]. Тому для забезпечення оптимальної фотосинтетичної діяльності посіви агрокультур, зокрема озимого ріпаку, потребують формування оптимальної площі листкової поверхні [10, 11].

Одним із ключових механізмів дії стимуляторів росту є їх вплив на інтенсивність фотосинтезу рослин. Загалом фотосинтез – це основний фізіологічний процес, який забезпечує синтез органічної речовини та формування врожаю. За даними досліджень зарубіжних і вітчизняних науковців [12, 13], застосування біостимуляторів сприяє підвищенню вмісту хлорофілу в листках, зміні його фракційного складу, збільшенню площі листкової поверхні, а в підсумку – підвищенню інтенсивності фотосинтезу. Завдяки цьому формується вищий фотосинтетичний потенціал посівів, що забезпечує ефек-

тивніше використання сонячної енергії. Крім того, біостимулятори можуть підвищувати ефективність транспорту асимілянтів до репродуктивних органів рослин, що сприяє формуванню якіснішого генеративного апарату [14].

Слід зауважити, що серед окреслених параметрів, такої бажаної продуктивної архітектоніки показник індивідуальної площі листя або ж значення сформованої площі асиміляційної поверхні відповідного агроценозу ріпаку озимого відіграють одне із базових значень, формуючи фізіологічну потребу в фотосинтетично отриманих асимілянтах необхідних для реалізації генетичного програмного компоненту продуктивності самих рослин [15].

Свого максимуму асиміляційна поверхня на ріпаку озимому переважно досягає на фазу початку цвітіння з інтенсивним зниженням у послідуючі фенологічні фази в міру формування та дозрівання насіння [16]. Зокрема, відмічено, що максимальна площа листової поверхні у рослин спостерігається у фазі цвітіння і плодоношення, та коливається залежно від генотипу сорту чи гібриду на рівні 20,6–48,2 тис. м^2/га. Разом із тим відмічається, що даний показник має певну генотипічну детермінацію та може залежати від морфотипу рослин відповідного сорту чи гібриду, групи його стиглості, системи реалізації генотипового коду з огляду на ґрунтово-кліматичні особливості періоду активної вегетації рослин [17]. При цьому рівень адаптивності самого гібриду чи сорту буде значною мірою визначатись показником площі листя на рослині при істотному коливанні гідротермічних умов [18].

Формування високої урожайності озимого ріпаку (*Brassica napus* L.) значною мірою обумовлене ефективністю фотосинтетичних процесів, які визначають інтенсивність нагромадження органічної речовини впродовж вегетації. У цьому контексті ключову роль відіграє листкова поверхня, яка є провідною морфофункціональною одиницею фотосинтетичного апарату, забезпечуючи поглинання світлової енергії та асиміляцію двоокису вуглецю [19, 20].

Узагальненими показниками, що характеризують стан фотосинтетичної системи, є площа листя, фотосинтетичний потенціал (ФП) та продуктивність фотосинтезу, що в сукупності відображають рівень активності асиміляційного апарату [21–23].

Зважаючи на зміни клімату та розвиток технологій, агротехніка вирощування ріпаку озимого потребує уточнення, особливо в напрямку застосування елементів біологізації.

Мета досліджень – встановлення впливу стимулятору росту та антистресанту на основі амінокислот рослинного походження та біологічно активних речовин (AminoStar®) на фотосинтетичні показники гібридів ріпаку озимого (*Brassica napus* L.) в умовах Південного Степу України.

Матеріали та методика досліджень. Методи досліджень: польовий з метою спостереження за ростом і розвитком рослин, погодними умовами навколишнього середовища та іншими досліджуваними чинниками; вимірювально-ваговий задля встановлення параметрів структури врожаю, урожайності; математично-статистичний для проведення дисперсійного аналізу і статистичної обробки даних та оцінки достовірності отриманих результатів досліджень.

Польові дослідження проведено в ТОВ «СК Сергіївка» Білгород-Дністровського району Одеської області (46°1′42″ пн. ш. 30°22′13″ сх. д.). Розмір ділянок та розміщення: загальна ділянка розміром – 28 м^2, облікова – 14 м^2, розміщення – рандомізованими блоками. Кількість повторностей чотири. Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем звичайний. Застосовували загальновизнану методику досліджень [24, 25].

В дослідженнях використовували гібриди озимого ріпаку. Гібрид озимого ріпаку Арканзас селекції «Limagrain» характеризується відмінними показниками адаптивності до зовнішніх ґрунтово-кліматичних умов. Має генетичну стійкість до фомозу, завдяки генам *RLM3*, *RLM7*. Демонструє високу стійкість до холоду і розтріскування стручків.

Гібрид озимого ріпаку Верітас КЛ селекції компанії DSV (Німеччина) – гібрид середньопізнього строку дозрівання, стійкий до осипання і до основних хвороб.

Гібрид озимого ріпаку СИ Харнас – це середньостиглий інтенсивний гібрид озимого ріпаку селекції «Syngenta» з високим потенціалом урожайності (до 5,0 т/га). Він демонструє високу посухостійкість та зимостійкість, стабільно адаптуючись до різних регіонів вирощування.

Гібрид озимого ріпаку ДК Ексіма від виробника «Dekalb» – середньостиглий гібрид, який поєднує в собі високий потенціал продуктивності та адаптивні властивості. Гібрид комфортний для будь-яких зон та умов вирощування завдяки поєднанню господарсько-цінних ознак і генетичних характеристик. Неперевершена зимостійкість доповнюється пакетом стійкості проти основних хвороб стебла та стійкістю до розтріскування стручків і вилягання рослин, а високий уміст олії в насінні підвищує цінність цього гібриду.

В дослідженнях використовували біопрепарат AminoStar® – стимулятор росту та антистресант рослинного походження на основі амінокислот та біологічно активних речовин. Препарат випускається українським виробником (ТМ «Кісон»). Діюча речовина: вільні амінокислоти рослинного походження – 30%, органічна речовина – 18%, азот (N) – 5%, фосфор (P_2O_5) – 2%, калій (K) – 4%, також містить допоміжні речовини. Рекомендоване дворазове позакореневе підживлення препаратом AminoStar® (20–25 мл препарату на 10 літрів води).

Результати дослідження. У таблиці 1 наведено результати дослідження висоти рослин ріпаку залежно від гібриду (фактор А) та обробки рослин (фактор В) у 2024–2025 та 2025–2026 вегетаційних роках.

За результатами досліджень встановлено, що висота рослин істотно залежала від генотипу гібриду та обробки рослин. У першому році досліджень показники висоти були дещо нижчими, ніж у 2025–2026 вегетаційному році, що свідчить про вплив умов року вирощування на ріст і розвиток рослин.

Найнижчі середні значення висоти рослин за фактором А у середньому за роки було отримано

у гібриду Арканзас – 156,3 см. У гібриду СИ Харнас середня висота становила 162,4 см, а у ДК Екcіма – 166,2 см. Найвищими рослини були у гібриду Верітас КЛ, де середній показник за два роки становив 177,7 см.

Застосування AminoStar® позитивно вплинуло на висоту рослин порівняно з необробленим контролем. У гібриду Арканзас висота рослин збільшилася з 152,9 см у контролі без обробки до 162,9 см за використання AminoStar®, тобто на 10,0 см. У гібриду Верітас КЛ відповідне збільшення становило 7,7 см (з 175,1 до 182,8 см), у СИ Харнас – 8,7 см (з 159,4 до 168,1 см), а у ДК Екcіма – 9,6 см (з 162,9 до 172,5 см).

Обробка рослин водою також дещо змінювала показники висоти, однак її вплив був не істотним порівняно із застосуванням AminoStar®. У більшості випадків обробка препаратом забезпечувала найвищі значення показника.

Таким чином, найвищі рослини ріпаку формувалися у гібриду Верітас КЛ, а застосування AminoStar® сприяло збільшенню висоти рослин усіх досліджуваних гібридів. Максимальне значення висоти за роки досліджень зафіксовано у гібриду Верітас КЛ за обробки AminoStar® – 182,8 см у середньому за два роки. Це свідчить про позитивну реакцію досліджуваних гібридів на застосування препарату та доцільність його використання для стимулювання ростових процесів ріпаку.

На рис. 1 наведено залежність урожайності ріпаку озимого від висоти рослин гібридів ріпаку озимого (*Brassica napus* L.).

Аналіз графіка свідчить про позитивну залежність між висотою рослин та урожайністю для всіх досліджуваних гібридів. Тобто зі збільшенням висоти рослин спостерігається загальна тенденція до підвищення урожайності.

Для гібрида СИ Харнас характерна найбільш крута лінія залежності, зі збільшенням висоти рослин приблизно від 155 до 180 см прогнозована урожайність зростає орієнтовно від 1,6 до 4,1 т/га. Це свідчить про виражений позитивний зв'язок між досліджуваними ознаками.

У гібрида Верітас КЛ також спостерігається чітка позитивна залежність. При збільшенні висоти рослин прогнозована урожайність зростає від 1,5–1,6 до 3,1 т/га, коефіцієнт кореляції становить r = 0,915, що характеризує тісний позитивний зв'язок між висотою рослин і урожайністю.

Для гібрида ДК Екcіма залежність є менш вираженою за нахилом лінії регресії, розрахункова урожайність збільшується від 1,9 до 2,65 т/га при підвищенні висоти рослин від 155 до 180 см. Наведене значення r = 0,825 також вказує на тісний позитивний зв'язок між ознаками.

У гібрида Арканзас розрахункова урожайність зростає від 1,45 до 2,15 т/га зі збільшенням висоти рослин. Лінія залежності має найменший нахил серед представлених гібридів, що свідчить про слабше збільшення урожайності зі зростанням висоти рослин порівняно з іншими гібридами.

Графічний аналіз показує, що збільшення висоти рослин ріпаку озимого супроводжується підвищенням урожайності у всіх досліджуваних гібри-

Таблиця 1 – Висота рослин гібридів ріпаку озимого (*Brassica napus* L.) у фазу цвітіння (ВВСН 61-70) залежно від елементів агротехнології (2024–2026 вегетаційні роки), см

Гібрид *(фактор А)*	Обробка рослин *(фактор В)*	Висота рослин ріпаку, см			
		2024–2025 вегетаційний рік	2025–2026 вегетаційний рік	Середнє за 2024–2026 рр.	Середнє за фактором В
Арканзас	Контроль (без обробки)	150,1	155,7	152,9	162,6
	Контроль (обробка водою)	150,3	155,9	153,1	162,8
	AminoStar®	160,3	165,5	162,9	171,6
	середнє по фактору А	153,6	159,0	156,3	
Верітас КЛ	Контроль (без обробки)	170,4	179,8	175,1	
	Контроль (обробка водою)	170,6	180,0	175,3	
	AminoStar®	179,9	185,7	182,8	
	середнє по фактору А	173,6	181,8	177,7	
СИ Харнас	Контроль (без обробки)	158,4	160,3	159,4	
	Контроль (обробка водою)	158,7	160,5	159,6	
	AminoStar®	165,7	170,4	168,1	
	середнє по фактору А	160,9	163,7	162,4	
ДК Екcіма	Контроль (без обробки)	160,4	165,3	162,9	
	Контроль (обробка водою)	160,6	165,5	163,1	
	AminoStar®	169,5	175,4	172,5	
	середнє по фактору А	163,5	168,7	166,2	
$НІР_{05,см}$	фактор А фактор Б фактор АВ	6,3 5,2 4,3	6,1 5,9 5,4		

дів. Найбільш виражена залежність спостерігається у гібридів СИ Харнас та Верітас КЛ, тоді як у ДК Ексіма та Арканзас приріст урожайності зі збільшенням висоти рослин є менш значним.

За результатами кореляційного аналізу встановлено позитивний зв'язок між висотою рослин ріпаку озимого та його урожайністю у всіх досліджуваних гібридів. Найтісніший зв'язок за наведеними на графіку даними характерний для гібрида Верітас КЛ (r = 0,915), для ДК Ексіма коефіцієнт кореляції становить r = 0,825. Підвищення висоти рослин супроводжувалося збільшенням урожайності, однак сила прояву цієї залежності залежала від генотипових особливостей гібридів.

Таблиця 2 характеризує вплив гібриду (фактор А) та обробки рослин (фактор В) на площу листкової поверхні ріпаку впродовж двох вегетаційних років – 2024–2025 та 2025–2026 рр.

За результатами досліджень встановлено, що площа листкової поверхні істотно залежала як від генотипових особливостей гібридів, так і від застосованої обробки рослин біопрепаратом.

У гібрида Арканзас площа листкової поверхні за контрольного варіанта без обробки середнє значення за два роки становило 21,56 тис. м²/га. Обробка водою не значно підвищувала цей показник, а застосування препарату AminoStar® забезпечило найвище значення – 23,35 тис. м²/га у середньому за роки. Середнє за фактором А для гібрида Арканзас становило 22,16 тис. м²/га.

У гібрида Верітас КЛ показник площі листкової поверхні також збільшувався залежно від обробки. На контролі без обробки середнє значення становило 21,99 тис. м²/га, за використання AminoStar® – 23,64 тис. м²/га (збільшення показника на 1,65 тис. м²/га). Середнє значення за фактором А становило 22,55 тис. м²/га.

Для гібрида СИ Харнас площа листкової поверхні на контролі без обробки становила в середньому 22,23 тис. м²/га, за обробки водою площа листкової поверхні збільшилась не суттєво, а після застосування AminoStar® – 23,36 тис. м²/га, площа листкової поверхні збільшилась на 1,13 тис. м²/га. Середнє значення за фактором А становило 22,61 тис. м²/га.

Найвищі значення площі листкової поверхні зафіксовано у гібрида ДК Ексіма. На контролі без обробки середня площа листкової поверхні становила 23,80 тис. м²/га, за застосування AminoStar® – 25,89 тис. м²/га (збільшення площі листкової поверхні на 2,09 тис. м²/га). Середнє значення за фактором А становило 24,50 тис. м²/га.

Таким чином, у всієї сукупності досліджуваних гібридів застосування AminoStar® супроводжувалося збільшенням площі листкової поверхні порівняно з контролем без обробки та контролем з обробкою водою. Найбільшу площу листкової поверхні сформував гібрид ДК Ексіма, тоді як найменші середні значення за фактором А отримано у Арканзасу – 22,16 тис. м²/га.

Порівняння років показує, що у більшості варіантів площа листкової поверхні була більшою у 2025–2026 вегетаційному році, ніж у 2024–2025 рр., що свідчить про вплив умов року вирощування на формування листкового апарату.

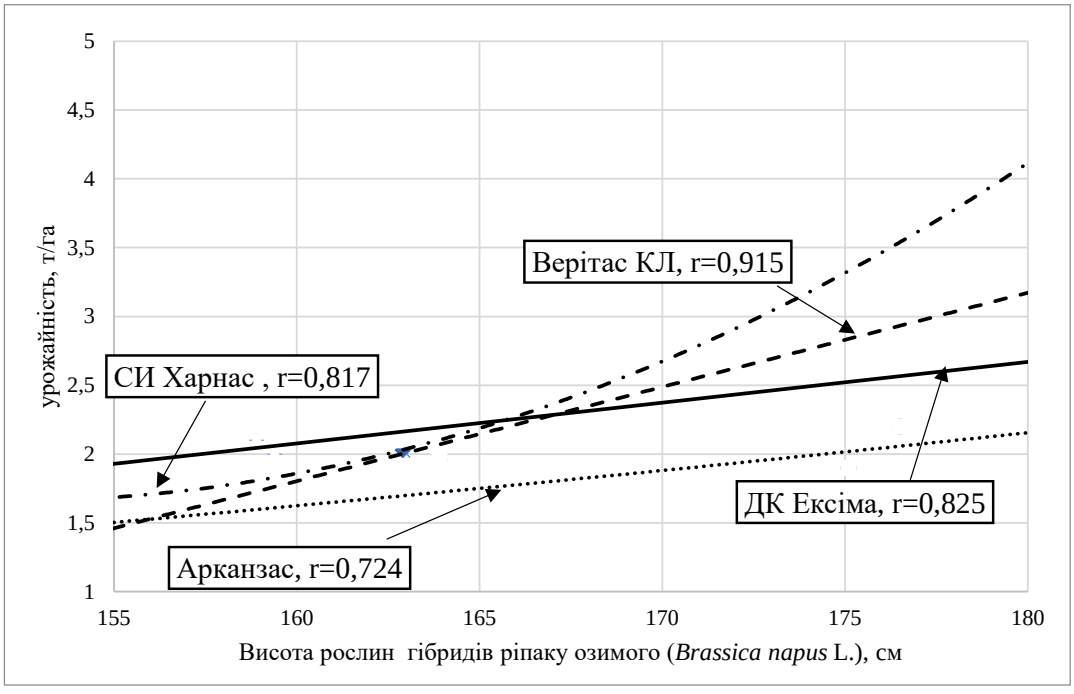


Рис. 1. Кореляційно-регресійна модель залежності урожайності насіння та висоти рослин у гібридів ріпаку озимого (Brassica napus L.)

На рисунку 2 представлено залежність урожайності гібридів ріпаку озимого (*Brassica napus* L.) від площі листкової поверхні. Для всіх досліджуваних гібридів спостерігається нелінійна, параболічна залежність. Зі збільшенням площі листкової поверхні урожайність спочатку зростає, досягає максимального значення, а за подальшого збільшення площі листкової поверхні – знижується.

Найвищу потенційну урожайність за графіком має гібрид ДК Ексіма – близько 2,50 т/га за площі

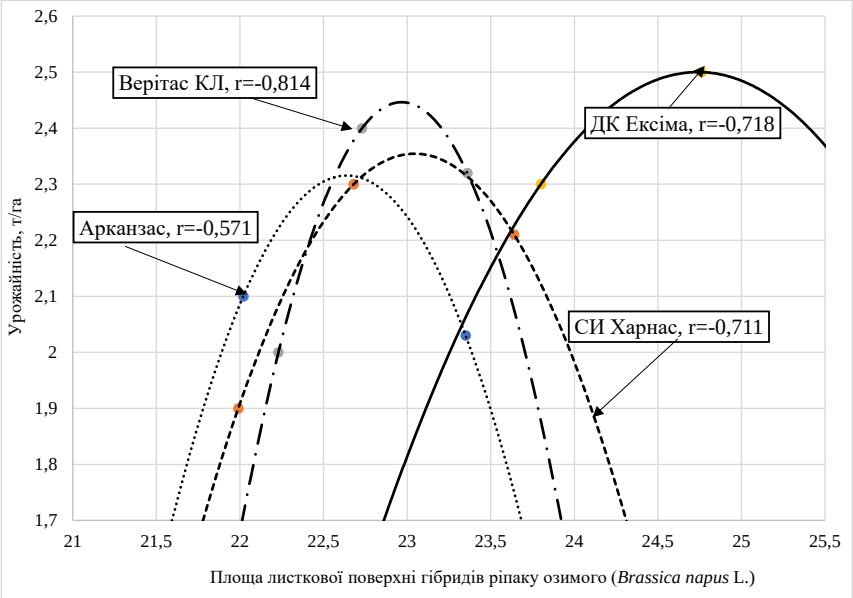


***Рис. 2. Кореляційно-регресійна модель залежності урожайності насіння та площі листкової поверхні у фазу цвітіння* (ВВСН 61-70) у *гібридів ріпаку озимого (Brassica napus* L.)**

Таблиця 2 – Площа листкової поверхні гібридів ріпаку озимого (*Brassica napus* L.) у фазу цвітіння (ВВСН 61-70) залежно від елементів агротехнології (2024–2026 вегетаційні роки), тис. м²/га

Гібрид *(фактор А)*	Обробка рослин *(фактор В)*	Площа листкової поверхні, тис. м²/га			
		2024–2025 вегетаційні роки	2025–2026 вегетаційні роки	Середнє за 2024–2026 рр.	Середнє за фактором В
Арканзас	Контроль (без обробки)	20,83	22,29	21,56	22,39
	Контроль (обробка водою)	20,85	22,31	21,58	22,42
	AminoStar®	23,02	23,68	23,35	24,06
	середнє по фактору А	21,57	22,76	22,16	
Верітас КЛ	Контроль (без обробки)	21,61	22,37	21,99	
	Контроль (обробка водою)	21,63	22,39	22,01	
	AminoStar®	23,26	24,01	23,64	
	середнє по фактору А	22,17	22,92	22,55	
СИ Харнас	Контроль (без обробки)	22,17	22,28	22,23	
	Контроль (обробка водою)	22,19	22,31	22,25	
	AminoStar®	23,12	23,59	23,36	
	середнє по фактору А	22,49	22,73	22,61	
ДК Ексіма	Контроль (без обробки)	23,49	24,11	23,80	
	Контроль (обробка водою)	23,51	24,13	23,82	
	AminoStar®	25,64	26,14	25,89	
	середнє по фактору А	24,21	24,79	24,50	
$НІР_{05,}$ тис. м²/га	фактор А фактор Б фактор АВ	0,66 0,58 0,55	0,76 0,63 0,64		

листкової поверхні 24,7–24,8 тис. м²/га. Коефіцієнт кореляції становить r = –0,718, що свідчить про тісний обернений зв'язок між досліджуваними показниками в межах кореляційного аналізу.

Для Верітас КЛ максимальна прогнозована урожайність становить 2,45 т/га при площі листкової поверхні в межах 22,7–23,3 тис. м²/га. Найтісніший обернений зв'язок зафіксовано саме для цього гібриду – r = –0,814.

У гібрида СИ Харнас максимум урожайності становить розрахунково 2,35 т/га при площі листкової поверхні близько 23,0–23,1 тис. м²/га, а коефіцієнт кореляції дорівнює r = –0,711.

Для гібриду Арканзас характерний найнижчий коефіцієнт кореляції серед досліджуваних гібридів – r = –0,571. Максимальна урожайність становить близько 2,30 т/га при площі листкової поверхні 22,6–22,7 тис. м²/га.

Збільшення площі листкової поверхні не забезпечує необмеженого підвищення урожайності в умовах нестійкого природного зволоження Південного Степу. Для кожного гібриду існує оптимальна площа листкової поверхні, за якої формується максимальна урожайність. Подальше її збільшення супроводжується зниженням урожайності. Найвищий рівень продуктивності продемонстрував ДК Ексіма, тоді як найбільш виражений обернений кореляційний зв'язок між показниками встановлено у Верітас КЛ.

Фотосинтетичний потенціал відображає сумарну площу листкової поверхні, яка функціонує протягом певного періоду вегетації, тому його збільшення свідчить про формування більш тривалої та активної роботи листкового апарату.

На величину фотосинтетичного потенціалу посівів у 2024–2025 та 2025–2026 вегетаційних роках впливав як генотип гібриду ріпаку та обробка рослин біопрепаратом (табл. 3).

У гібрида Арканзас на контрольному варіанті без обробки фотосинтетичний потенціал становив 1,431 млн м²*діб/га у 2024–2025 вегетаційному році та 1,442 млн м²*діб/га у 2025–2026 рр., а середнє значення за два роки – 1,437 млн м²*діб/га. За обробки водою цей показник збільшився незначно, тоді як застосування AminoStar® забезпечило найвище значення – 1,471 млн м²*діб/га (збільшення на 0,040 млн м²*діб/га). Середнє за фактором А становило 1,449 млн м²*діб/га.

Для гібрида Верітас КЛ середнє значення фотосинтетичного потенціалу на контролі без обробки становило 1,439 млн м²*діб/га. Обробка водою підвищила незначно, а застосування AminoStar® – до 1,483 млн м²*діб/га (збільшення фотосинтетичного потенціалу на 0,044 млн м²*діб/га). Середнє значення за фактором А становило 1,454 млн м²*діб/га.

У гібрида СИ Харнас фотосинтетичний потенціал на контролі без обробки становив у середньому 1,499 млн м²*діб/га. За обробки водою він збільшувався незначно, а після застосування AminoStar® – до 1,543 млн м²*діб/га (збільшення на 0,044 млн м²*діб/га). Середнє за фактором А становило 1,514 млн м²*діб/га.

Таблиця 3 – Фотосинтетичний потенціал гібридів ріпаку озимого (*Brassica napus* L.), (2024–2026 вегетаційні роки), млн м² *діб/га

Гібрид *(фактор А)*	Обробка рослин *(фактор В)*	Фотосинтетичний потенціал гібридів, млн м² *діб/га			
		2024–2025 вегетаційні роки	2025–2026 вегетаційні роки	Середнє за 2024–2026 вегетаційні роки	Середнє за фактором В
Арканзас	Контроль (без обробки)	1,431	1,442	1,437	1,473
	Контроль (обробка водою)	1,433	1,444	1,439	1,475
	AminoStar®	1,467	1,474	1,471	1,512
	середнє по фактору А	1,444	1,453	1,449	
Верітас КЛ	Контроль (без обробки)	1,433	1,444	1,439	
	Контроль (обробка водою)	1,435	1,446	1,441	
	AminoStar®	1,477	1,489	1,483	
	середнє по фактору А	1,448	1,460	1,454	
СИ Харнас	Контроль (без обробки)	1,497	1,501	1,499	
	Контроль (обробка водою)	1,499	1,503	1,501	
	AminoStar®	1,537	1,548	1,543	
	середнє по фактору А	1,511	1,517	1,514	
ДК Ексіма	Контроль (без обробки)	1,512	1,523	1,518	
	Контроль (обробка водою)	1,514	1,525	1,520	
	AminoStar®	1,546	1,557	1,552	
	середнє по фактору А	1,524	1,535	1,530	
$НІР_{05,}$ млн м² *діб/га	фактор А фактор Б фактор АВ	0,031 0,024 0,029	0,028 0,022 0,015		

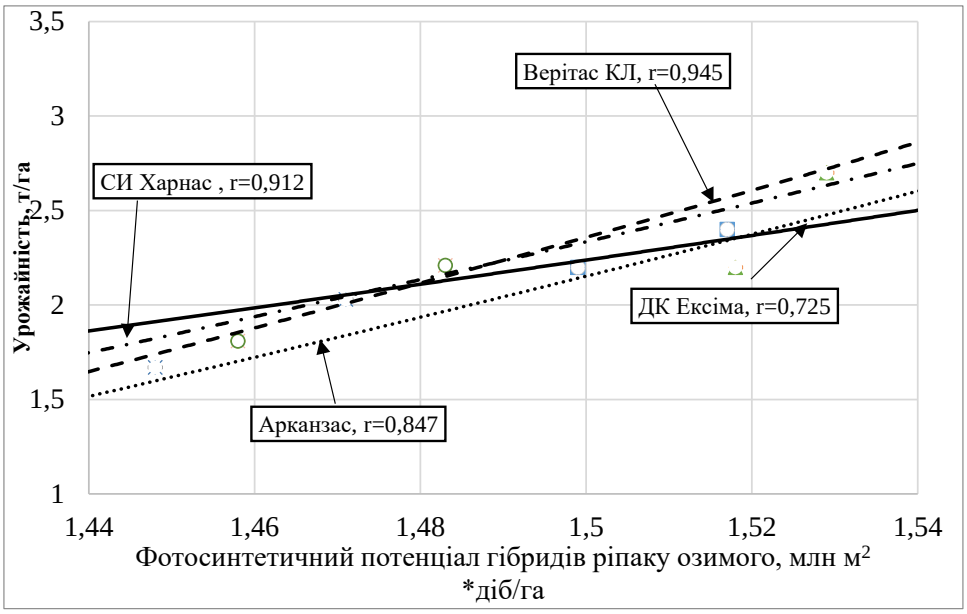


Рис. 3. Кореляційно-регресійна модель залежності урожайності насіння та фотосинтетичного потенціалу у гібридів ріпаку озимого (Brassica napus L.)

Найвищі показники зафіксовано у гібрида ДК Ексіма**.** На контролі без обробки середній фотосинтетичний потенціал становив 1,518 млн м²*діб/га, за обробки водою збільшення незначно, а за застосування AminoStar® **–** 1,552 млн м²*діб/га (збільшення на 0,034 млн м²*діб/га). Середнє значення за фактором А становило 1,530 млн м²*діб/га.

Отримані дані свідчать про послідовне збільшення фотосинтетичного потенціалу залежно від способу обробки рослин. Для всіх досліджуваних гібридів найнижчі значення були отримані на контролі без обробки, дещо вищі – за обробки водою, а найвищі – при застосуванні AminoStar®**.**

За середніми значеннями фактора А (гібриди) найбільший фотосинтетичний потенціал сформував ДК Ексіма (1,530 млн м²*діб/га)**,** а найменший – Арканзас (1,449 млн м²*діб/га).

Порівняння років показує, що в усіх гібридів фотосинтетичний потенціал у 2025–2026 вегетаційному році був вищим, ніж у 2024–2025 рр. Наприклад, у ДК Ексіма середній показник зріс з 1,524 до 1,535 млн м²*діб/га, а у СИ Харнас – з 1,511 до 1,515 млн м²*діб/га.

На графіку наведено залежність урожайності гібридів ріпаку озимого (т/га) від фотосинтетичного потенціалу (ФП) гібридів, млн м²*діб/га. По осі абсцис відкладено фотосинтетичний потенціал у межах 1,44–1,54 млн м²*діб/га, а по осі ординат – урожайність від 1,0 до 3,5 т/га.

Рисунок 3 демонструє позитивну залежність урожайності від фотосинтетичного потенціалу – зі збільшенням ФП загалом спостерігається підвищення урожайності гібридів.

Найвищу тісноту зв'язку представлено для гібриду Арканзас – коефіцієнт кореляції становить r = 0,847, що свідчить про сильний позитивний зв'язок між фотосинтетичним потенціалом і врожайністю. За підвищення ФП урожайність цього гібриду зростає найбільш закономірно.

Для гібриду СИ Харнас залежність також є позитивною, але дещо слабшою. При збільшенні фотосинтетичного потенціалу від приблизно 1,45 до 1,53 млн м²*діб/га урожайність зростає від 1,7–1,8 до 2,7 т/га.

У гібриду Верітас КЛ простежується тенденція до підвищення урожайності зі збільшенням ФП. При значеннях ФП близько 1,48–1,53 млн м²*діб/га урожайність зростає приблизно від 2,1 до 2,7–2,8 т/га.

Для ДК Ексіма залежність є менш вираженою, урожайність збільшується приблизно від 1,8 до 2,5 т/га зі зростанням фотосинтетичного потенціалу. Дані спостережень мають певне відхилення від лінії тренду, що свідчить про вплив на урожайність не лише фотосинтетичного потенціалу, а й інших факторів.

Висновки. Збільшення висоти рослин ріпаку озимого супроводжується підвищенням урожайності у всіх досліджуваних гібридів. Найбільш виражена залежність спостерігається у СИ Харнас та Верітас КЛ, тоді як у ДК Ексіма та Арканзас приріст урожайності зі збільшенням висоти рослин є менш значним.

В посушливих умовах Південного Степу, за дефіциту природного зволоження, збільшення площі листкової поверхні ріпаку озимого не забезпечує необмеженого підвищення урожайності. Для кожного гібриду існує оптимальна площа листкової поверхні, за якої формується максимальна урожайність. Подальше її збільшення супроводжується зниженням урожайності. Найвищий рівень продуктивності продемонстрував ДК Ексіма, тоді як найбільш виражений обернений кореляційний зв'язок між показниками встановлено у Верітас КЛ.

Застосування AminoStar® сприяло збільшенню фотосинтетичного потенціалу незалежно від гібриду, а найвищий рівень цього показника сформувався у гібрида ДК Екслма – 1,552 млн м²*діб/га за використання препарату. Збільшення фотосинтетичного потенціалу за застосування AminoStar® свідчить про позитивну дію обробки на формування та функціонування листкового апарату рослин ріпаку, що створює передумови для підвищення ефективності фотосинтетичних процесів і формування продуктивності посіву. Збільшення фотосинтетичного потенціалу посівів ріпаку озимого супроводжується підвищенням його урожайності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Безкоровайний В. М., Мойсієнко В. В. Формування врожайності та якості насіння ріпаку озимого залежно від гібридів і способів сівби в умовах Лісостепу Правобережного. *Український журнал природничих наук.* 2024. № 9. С. 169–178. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.17

2. Бахмат М. І., Сендецький І. В., Фотосинтетична продуктивність рослин ріпаку озимого залежно від норм висіву та застосування регулятора росту «Вермийодіс». *Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету*. 2020. Вип. 11, № 3. С. 51–60.

3. Гамаюнова В., Гаро І. Економічна ефективність вирощування ріпаку озимого залежить від впливу елементів технології в умовах Лісостепу України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2021. Вип. 3. С. 38–45. https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-3(111)

4. Yurchuk S. S. Photosynthetic potential of winter rape crops depending on agrotechnological methods. Scientific and Technical *Bulletin of the Institute of Oilseed Crops NAAS*. 2025. № 38. P. 126–138. https://doi.org/10.36710/IOC-2025-38-12

5. Лавриненко Ю. О., Влащук А. М., Прищепо М. М., Шапарь Л. В. Формування фотосинтетичного потенціалу у сортів ріпаку озимого залежно від строків сівби та норми висіву. *Зрошуване землеробство*. 2016. Вип. 65. С. 75–80.

6. Короткова І., Дробітько А. Вплив способу сівби й удобрення на входження в зиму ріпаку озимого в умовах Лісостепу України. *Scientific Progress & Innovations*. 2024. № 27(1). С. 47–52. https://doi.org/10.31210/spi2024.27.01.08.

7. Вожегова Р. А., Бєлов Я. В. Динаміка накопичення надземної біомаси гібридами кукурудзи залежно від густоти стояння рослин та удобрення за вирощування в умовах зрошення. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2019. Вип. 109, Ч. 1. С. 3–9. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.109-1.1

8. Домарацький Є. О. Позакореневі азотні підживлення та рістрегулюючі препарати як фактори формування фотосинтетичного потенціалу рослин ріпаку озимого. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2018. Вип. 101. С. 22–28.

9. Shokalo N., Kulyk M., Rozhko I., Demianchenko V. Yield of field pea varieties for grain and vegetable use depending on seed inoculation. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. Vol. 29(1). P. 74–80. https://doi.org/10.31210/spi2026.29.01.12

10. Товпига М. Л., Домарацький Є. О. Динаміка наростання надземної біомаси озимого ріпаку різних строків сівби під впливом стимулятора росту 287 «Хелафіт». *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка.* 2025. № 49. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-4.22.

11. Bakhmat M., Sendetsky I., Sendetsky W. Peculiarities of autumn vegetation of winter rapes by pre-position treatment of seeds by the growth regulator and sowing rates. *Modern engineering and innovative technologies*. 2021. Iss. 15. Part 2. P. 94–102. https://doi.org/10.30890/2567-5273.

12. Щербаков В. Я., Домарацький Є. О. Особливості фотосинтетичної діяльності рослин озимого ріпаку залежно від азотних підживлень та рістрегулюючих препаратів. *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2018. № 87. С. 148–154.

13. Олійник О. О., Кучерова А. В., Гольцман О. С. Особливості вирощування ріпаку озимого в умовах Полісся України. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Сільськогосподарські науки».* 2016. Вип. 2. С. 91–99.

14. Khan W., Rayirath U.P., Subramanian S. et al. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2009. Vol. 28. P. 386–399. https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x

15. Jarecki W. The reaction of winter oilseed rape to different foliar fertilization with macro– and micronutrients. *Agriculture*. 2021. Vol. 11. Article 515. https://doi.org/10.3390/agriculture11060515

16. Malagoli P., Laine P., Rossato L., Ourry A. Dynamics of nitrogen uptake and mobilization in field-grown winter oilseed rape (*Brassica napus*) from stem extension to harvest: I. Global N flows between vegetative and reproductive tissues in relation to leaf fall and their residual N. *Annals of Botany*. 2005. Vol. 95, Iss. 5. P. 853–861.

17. Ahmadi S. A. K., Eyni-Nargeseh H. Foliar application of growth regulators mitigates harmful effects of drought stress and improves seed yield and oil quality of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Gesunde Pflanzen*. 2023. Vol. 75, № 6. P. 2449–2462.

18. Tsytsiura Y. Formation and determination of the individual area of oilseed radish leaves in agrophytocenosises of different technological construction. *Agronomy Research*. 2020. Vol. 18, № 3. P. 2217–2244.

19. Савчук Ю. М., Антоненко О. Ф. Залежність урожайності та посівних якостей насіння ріпаку озимого від сортів та технології вирощування в умовах Правобережного Лісостепу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2019. № 2 (93). С. 20–27.

20. Балабаш В. С. Врожайність ріпаку озимого залежно від застосування біопрепаратів на півдні України. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки.* 2026. Вип. 148, Ч. 1. С. 7886. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.148.1.9

21. Дробіт О. С., Балабаш В. С. Фотосинтетичний потенціал та насіннєва продуктивність *Brassica napus* L. за використання біопрепаратів та зрошення. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки.* 2026. Вип. 150. С. 11–19. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.2

22. Marchenko T. Yu., Vozhegov R. A., Lavrynenko Yu. O., Khomenko T. M. Features of the formation of photosynthetic potential and seed yield of maize parental components under irrigation and the use of a growth stimulator. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2020. Vol. 16, Iss. 2. P. 191–198. https://doi.org/10.21498/2518-1017.16.2.2020.209239.

23. Донець А. О., Марченко Т. Ю., Міщенко С. В., Лавриненко Ю. О., Графов А. В., Пілярська О. О. Динаміка фотосинтетичного потенціалу у гібридів кукурудзи різних груп ФАО за беззмінних посівів та системи захисту від сегетальної рослинності. *Аграрні інновації.* 2026. № 37. С. 50–59. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2026.37.7

24. Присяжнюк О. І., Климович Н. М., Полуніна О. В. та ін. Методологія і організація наукових досліджень в сільському господарстві та харчових технологіях : монографія. Київ : Нілан-ЛТД, 2021. 300 с. https://doi.org/10.47414/978-966-924-927-2.

25. Вожегова Р. А., Заєць С. О., Рудік О. Л. та ін. Формування основ еколого-безпечного функціонування агрофітоценозів на неполивних землях Південного Степу : наук.-метод. рекомендації. Одеса : Олді+, 2025. 50 с.

REFERENCES:

1. Bezkorovainyi, V. M., & Moisiienko, V. V. (2024). Formuvannia vrozhainosti ta yakosti nasinnia ripaku ozymoho zalezhno vid hibrydiv i sposobiv sivby v umovakh Lisostepu Pravoberezhnoho [Yield and seed quality formation of winter oilseed rape depending on hybrids and sowing methods in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychykh nauk*, *9*, 169–178. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.17 [in Ukrainian].

2. Bakhmat, M. I., & Sendetskyi, I. V. (2020). Fotosyntetychna produktyvnist roslyn ripaku ozymoho zalezhno vid norm vysivu ta zastosuvannia rehuliatora rostu «Vermyiodis» [Photosynthetic productivity of winter rape plants depending on sowing rates and application of the growth regulator "Vermiyodis"]. *Zbirnyk naukovykh prats Podilskoho derzhavnoho ahrarno-tekhnichnoho universytetu*, *11*(3), 51–60 [in Ukrainian].

3. Hamaiunova, V., & Haro, I. (2021). Ekonomichna efektyvnist vyroshchuvannia ripaku ozymoho zalezhyt vid vplyvu elementiv tekhnolohii v umovakh Lisostepu Ukrainy [Economic efficiency of winter rape cultivation depends on the influence of technology elements in the Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomoria*, *3*, 38–45. https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-3(111) [in Ukrainian].

4. Yurchuk, S. S. (2025). Photosynthetic potential of winter rape crops depending on agrotechnological methods. *Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oilseed Crops NAAS*, *38*, 126–138. https://doi.org/10.36710/IOC-2025-38-12

5. Lavrynenko, Yu. O., Vlashchuk, A. M., Pryshchepo, M. M., & Shapar, L. V. (2016). Formuvannia fotosyntetychnoho potentsialu u sortiv ripaku ozymoho zalezhno vid strokiv sivby ta normy vysivu [Formation of photosynthetic potential in winter rape varieties depending on sowing dates and seeding rate]. *Zroshuvane zemlerobstvo*, *65*, 75–80 [in Ukrainian].

6. Korotkova, I., & Drobitko, A. (2024). Vplyv sposobu sivby i udobrennia na vkhodzhennia v zymu ripaku ozymoho v umovakh Lisostepu Ukrainy [Influence of sowing method and fertilization on entering winter of winter rape in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine]. *Scientific Progress & Innovations*, *27*(1), 47–52. https://doi.org/10.31210/spi2024.27.01.08 [in Ukrainian].

7. Vozhehova, R. A., & Bielov, Ya. V. (2019). Dynamika nakopychennia nadzemnoi biomasy hibrydamy kukurudzy zalezhno vid hustoty stoiannia roslyn ta udobrennia za vyroshchuvannia v umovakh zroshennia [Dynamics of aboveground biomass accumulation by maize hybrids depending on plant density and fertilization under irrigated conditions]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Silskohospodarski nauky*, *109*(1), 3–9. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.109-1.1 [in Ukrainian].

8. Domaratskyi, Ye. O. (2018). Pozakorenevi azotni pidzhyvlennia ta ristrehuliuiuchi preparaty yak faktory formuvannia fotosyntetychnoho potentsialu roslyn ripaku ozymoho [Foliar nitrogen fertilization and growth-regulating preparations as factors in the formation of photosynthetic potential of winter rape plants]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Silskohospodarski nauky*, *101*, 22–28 [in Ukrainian].

9. Shokalo, N., Kulyk, M., Rozhko, I., & Demianchenko, V. (2026). Yield of field pea varieties for grain and vegetable use depending on seed inoculation. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 74–80. https://doi.org/10.31210/spi2026.29.01.12.

10. Tovpyha, M. L., & Domaratskyi, Ye. O. (2025). Dynamika narostannia nadzemnoi biomasy ozymoho ripaku riznykh strokiv sivby pid vplyvom stymuliatora rostu "Khelafit" [Dynamics of aboveground biomass growth of winter rape of different sowing dates under the influence of the growth stimulator "Khelafit"]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika*, *49*. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-4.22 [in Ukrainian].

11. Bakhmat, M., Sendetsky, I., & Sendetsky, W. (2021). Peculiarities of autumn vegetation of winter rapes by pre-position treatment of seeds by the growth regulator and sowing rates. *Modern engineering and innovative technologies*, *15*(2), 94–102. https://doi.org/10.30890/2567-5273

12. Shcherbakov, V. Ya., & Domaratskyi, Ye. O. (2018). Osoblyvosti fotosyntetychnoi diialnosti roslyn ozymoho ripaku zalezhno vid azotnykh pidzhyvlen ta ristrehuliuiuchykh preparativ [Features of photosynthetic activity of winter rape plants depending on nitrogen fertilization and growth-regulating preparations]. *Ahrarnyi visnyk Prychornomoria*, *87*, 148–154 [in Ukrainian].

13. Oliinyk, O. O., Kucherova, A. V., & Holtsman, O. S. (2016). Osoblyvosti vyroshchuvannia ripaku ozymoho v umovakh Polissia Ukrainy [Peculiarities of winter rape cultivation in the conditions of Ukrainian Polissia]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Seriia "Silskohospodarski nauky"*, *2*, 91–99 [in Ukrainian].

14. Khan, W., Rayirath, U. P., Subramanian, S., Jithesh, M. N., Rayorath, P., Hodges, D. M., Critchley, A. T., Craigie, J. S., Norrie, J., & Prithiviraj, B. (2009). Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*, *28*, 386–399. https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x

15. Jarecki, W. (2021). The reaction of winter oilseed rape to different foliar fertilization with macro- and micronutrients. *Agriculture*, *11*, Article 515. https://doi.org/10.3390/agriculture11060515

16. Malagoli, P., Laine, P., Rossato, L., & Ourry, A. (2005). Dynamics of nitrogen uptake and mobilization in field-grown winter oilseed rape (*Brassica napus*) from stem extension to harvest: I. Global N flows between vegetative and reproductive tissues in relation to leaf fall and their residual N. *Annals of Botany*, *95*(5), 853–861.

17. Ahmadi, S. A. K., & Eyni-Nargeseh, H. (2023). Foliar application of growth regulators mitigates harmful effects of drought stress and improves seed yield and oil quality of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Gesunde Pflanzen*, *75*(6), 2449–2462.

18. Tsytsiura, Y. (2020). Formation and determination of the individual area of oilseed radish leaves in agrophytocenosises of different technological construction. *Agronomy Research*, *18*(3), 2217–2244.

19. Savchuk, Yu. M., & Antonenko, O. F. (2019). Zalezhnist urozhainosti ta posivnykh yakostei nasinnia ripaku ozymoho vid sortiv ta tekhnolohii vyroshchuvannia v umovakh Pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Dependence of yield and seed qualities of winter rape on varieties and cultivation technology in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, *2*, 20–27 [in Ukrainian].

20. Balabash, V. S. (2026). Vrozhainist ripaku ozymoho zalezhno vid zastosuvannia biopreparativ na pivdni Ukrainy [Yield of winter rape depending on the application of biological preparations in southern Ukraine]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Silskohospodarski nauky*, *148*(1), 78–86. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.148.1.9 [in Ukrainian].

21. Drobit, O. S., & Balabash, V. S. (2026). Fotosyntetychnyi potentsial ta nasinnieva produktyvnist *Brassica napus* L. za vykorystannia biopreparativ ta zroshennia [Photosynthetic potential and seed productivity of *Brassica napus* L. using biological preparations and irrigation]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Silskohospodarski nauky*, *150*, 11–19. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.150.2 [in Ukrainian].

22. Marchenko, T. Yu., Vozhegov, R. A., Lavrynenko, Yu. O., & Khomenko, T. M. (2020). Features of the formation of photosynthetic potential and seed yield of maize parental components under irrigation and the use of a growth stimulator. *Plant Varieties Studying and Protection*, *16*(2), 191–198. https://doi.org/10.21498/2518-1017.16.2.2020.209239

23. Donets, A. O., Marchenko, T. Yu., Mishchenko, S. V., Lavrynenko, Yu. O., Hrafov, A. V., & Piliarska, O. O. (2026). Dynamika fotosyntetychnoho potentsialu u hibrydiv kukurudzy riznykh hrup FAO za bezzminnykh posiviv ta systemy zakhystu vid sehetalnoi roslynnosti [Dynamics of photosynthetic potential in maize hybrids of different FAO groups under continuous cropping and weed control system]. *Ahrarni innovatsii*, *37*, 50–59. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2026.37.7 [in Ukrainian].

24. Prysiazhniuk, O. I., Klymovych, N. M., Polunina, O. V., et al. (2021). *Metodolohiia i orhanizatsiia naukovykh doslidzhen v silskomu hospodarstvi ta kharchovykh tekhnolohiiakh: monohrafiia* [Methodology and organization of scientific research in agriculture and food technologies: monograph]. Nilan-LTD. https://doi.org/10.47414/978-966-924-927-2 [in Ukrainian].

25. Vozhehova, R. A., Zaiets, S. O., Rudik, O. L., et al. (2025). *Formuvannia osnov ekolohichno-bezpechnoho funktsionuvannia ahrofytotsenoziv na nepolyvnykh zemliakh Pivdennoho Stepu: naukovo-metodychni rekomendatsii* [Formation of the foundations of ecologically safe functioning of agrophytocenoses on non-irrigated lands of the Southern Steppe: scientific and methodical recommendations]. Oldi+. [in Ukrainian].

Жигайло Д.С., Марченко Т.Ю., Міщенко С.В., Лавриненко Ю.О., Марченко В.Д. Вплив елементів агротехнології на фотосинтетичні показники гібридів ріпаку озимого (*Brassica napus* L.) в умовах Півдня України

Мета досліджень – встановлення впливу стимулятору росту та антистресанту на основі амінокислот рослинного походження та біологічно активних речовин (AminoStar®) на фотосинтетичні показники гібридів ріпаку озимого (*Brassica napus* L.) в умовах Південного Степу України. Методи. Польові досліди проводили в ТОВ «СК Сергіївка» Білгород-Дністровського району Одеської області (46°1′42″ пн. ш. 30°22′13″ сх. д). У дослідженнях використовували В дослідженнях використовували гібриди озимого ріпаку закордонної селекції. Гібрид озимого ріпаку Арканзас селекції «Limagrain». Гібрид озимого ріпаку Верітас КЛ – гібрид середньопізнього строку дозрівання. Гібрид озимого ріпаку СИ Харнас – це середньостиглий інтенсивний гібрид озимого ріпаку селекції «Syngenta». Гібрид озимого ріпаку ДК Екс-іма від виробника «Dekalb» – середньостиглий гібрид. AminoStar® – стимулятор росту та антистресант рослинного походження на основі амінокислот та біологічно активних речовин. Результати. Застосування AminoStar® позитивно вплинуло на висоту рослин порівняно з необробленим контролем. У гібриду Арканзас висота рослин збільшилася з 152,9 см у контролі без обробки до 162,9 см за використання AminoStar®, тобто на 10,0 см. У гібриду Верітас КЛ відповідне збільшення становило 7,7 см (з 175,1 до 182,8 см), у СИ Харнас – 8,7 см (з 159,4 до 168,1 см), а у ДК Ексіма – 9,6 см (з 162,9 до 172,5 см). Застосування AminoStar® супроводжувалося збільшенням площі листкової поверхні порівняно з контролем без обробки та контролем з обробкою водою. Найбільшу площу листкової поверхні сформував гібрид ДК Ексіма. За середніми значеннями фактора А (гібриди) найбільший фотосинтетичний потенціал сформував ДК Ексіма (1,533 млн м²*діб/га), а найменший – Арканзас (1,452 млн м²*діб/га). В усіх гібридів фотосинтетичний потенціал у 2025–2026 вегетаційному році був вищим, ніж у 2024–2025 рр. Наприклад, у ДК Ексіма середній показник зріс з 1,527 до 1,538 млн м²*діб/га, а у СИ Харнас – з 1,515 до 1,524 млн м²*діб/га. Висновки. Збільшення висоти рослин ріпаку озимого супроводжується підвищенням урожайності у всіх досліджуваних гібридів. Збільшення площі листкової поверхні не забезпечує необмеженого підвищення урожайності. Для кожного гібриду існує оптимальна площа листкової поверхні, за якої формується максимальна урожайність. Подальше її збільшення супроводжується зниженням урожайності. Застосування AminoStar® сприяло збільшенню фотосинтетичного потенціалу незалежно від

гібриду, а найвищий рівень цього показника сформувався у гібрида ДК Ексіма – 1,552 млн м²*діб/га за використання препарату. Збільшення фотосинтетичного потенціалу за застосування AminoStar® свідчить про позитивну дію обробки на формування та функціонування листкового апарату рослин ріпаку, що створює передумови для підвищення ефективності фотосинтетичних процесів і формування продуктивності посіву. Збільшення фотосинтетичного потенціалу посівів ріпаку озимого супроводжується підвищенням його урожайності.

Ключові слова: ріпак озимий, гібрид, регулятор росту, антистресант, висота рослини, площа асимиляційної поверхні, фотосинтетичний потенціал, врожай.

Zhyhailo D.S., Marchenko T.Yu., Mishchenko S.V., Lavrynenko Yu.O., Marchenko V.D. Influence of agrotechnological elements on photosynthetic parameters of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) hybrids in the conditions of Southern Ukraine

The aim – determination of the effect of a plant-based amino acid and bioactive substance-based growth stimulant and anti-stress agent (AminoStar®) on the photosynthetic parameters of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) hybrids under the conditions of the Southern Steppe of Ukraine. **Methods.** Field trials were conducted at SK Serhiivka LLC in the Bilhorod-Dnistrovskyi district of the Odesa region (46°1′42″ N, 30°22′13″ E). Foreign-bred winter rapeseed hybrids were used in the study: the Arkansas hybrid (Limagrain); the Veritas CL hybrid (Eridon), a mid-late maturing variety; the SY Harnas hybrid (Syngenta), a mid-season intensive variety; and the DK Exima hybrid (Dekalb), a mid-season variety. AminoStar® is a plant-derived growth stimulant and anti-stress agent based on amino acids and biologically active substances. **Results.** The application of AminoStar® had a positive effect on plant height compared to the untreated control. For the Arkansas hybrid, plant height increased from 152.9 cm in the untreated control to 162.9 cm with the use of AminoStar® – an increase of 10.0 cm. For the Veritas CL hybrid, the corresponding increase was 7.7 cm (from 175.1 to 182.8 cm); for SY Harnas, it was 8.7 cm (from 159.4 to 168.1 cm); and for DK Exima, it was 9.6 cm (from 162.9 to 172.5 cm). The application of AminoStar® resulted in an increase in leaf surface area compared to both the untreated control and the water-treated control. The DK Exima hybrid developed the largest leaf surface area. Based on the mean values for Factor A (hybrids), DK Exima exhibited the highest photosynthetic potential (1.533 million m²*days/ha), while Arkansas showed the lowest (1.452 million m²·days/ha). Across all hybrids, photosynthetic potential was higher in the 2025–2026 growing season than in 2024–2025. For instance, the average value for DK Exima rose from 1.527 to 1.538 million m²*days/ha, and for SY Harnas, it increased from 1.515 to 1.524 million m²*days/ha. **Conclusions.** An increase in winter rapeseed plant height is accompanied by higher yields across all the hybrids studied. However, increasing leaf surface area does not lead to unlimited yield growth; each hybrid has an optimal leaf surface area at which maximum yield is achieved, beyond which further increases result in lower yields. The application of AminoStar® boosted photosynthetic potential regardless of the hybrid, with the DK Exima hybrid achieving the highest level – 1.552 million m²·days/ha – when treated with the product. This increase in photosynthetic potential indicates that the treatment positively influences the formation and functioning of the rapeseed plants' leaf apparatus, thereby creating conditions for enhanced photosynthetic efficiency and crop productivity. Consequently, the increase in photosynthetic potential in winter rapeseed crops is accompanied by higher yields.

Key words: winter rapeseed, hybrid, growth regulator, anti-stress agent, plant height, assimilation surface area, photosynthetic potential, yield.

Дата першого надходження статті до видання: 06.10.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 26.10.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.11.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

UDC 633.31:631.67:504.5:546.3 (477.74)
DOI https://doi.org/10.32848/0135-2369.2026.86.3

ASSESSMENT AND CONTROL OF HEAVY METAL CONTAMINATION IN ALFALFA GREEN MASS YIELD ON IRRIGATED LANDS OF ODESA REGION

ZHYGAILO T.S. – Candidate of Agricultural Sciences
orcid.org/0000-0002-9580-5922
Institute of Climate-Smart Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
ZHYGAILO O.L. – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor
orcid.org/0000-0002-3552-327X
I. I. Mechnykov Odesa National University
DANCHUK O.V. – Doctor of Veterinary Sciences, Professor
orcid.org/0000-0002-9226-1499
Institute of Climate-Smart Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
GRAFOV A.V. – Doctor of Chemical Sciences, Senior Researcher
orcid.org/0000-0002-7387-3676
Institute of Climate-Smart Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
KOZYREV V.V. – Candidate of Agricultural Sciences
orcid.org/0000-0003-4717-3200
Institute of Climate-Smart Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
ZHEREBCHUK S.V. – Research Fellow
orcid.org/0000-0002-0212-7107
Institute of Climate-Smart Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
PILIARSKA O.O. – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher
orcid.org/0000-0001-8649-0618
Institute of Climate-Smart Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

Problem Statement. Irrigation is one of the key factors contributing to the stabilization of forage crop production under the arid conditions of southern Ukraine. At the same time, the efficiency of irrigated agriculture depends not only on providing plants with an adequate amount of water but also on the quality of irrigation water. Elevated mineralization of irrigation water may alter the soil water and salt regime, affect the conditions of plant mineral nutrition, and consequently influence crop yield formation and the quality of plant products.

This issue is of particular importance for forage crops, as, alongside high productivity, the environmental safety of the resulting plant biomass is an essential requirement. The presence of potentially toxic elements in the soil creates conditions for their uptake by plants and incorporation into the “soil–plant–animal” trophic chain. Among the most hazardous contaminants of agricultural land are cadmium (Cd), mercury (Hg), and lead (Pb), the accumulation of which in forage products requires continuous monitoring.

Alfalfa (*Medicago sativa* L.) is one of the major perennial forage crops cultivated under irrigated conditions. Its productivity is determined over several cutting cycles and largely depends on the water regime and soil and climatic conditions. Under such circumstances, assessment based solely on yield does not provide a comprehensive characterization of the efficiency of alfalfa cultivation. It is important to simultaneously determine the effect of irrigation water quality on crop productivity and assess the potential transfer of heavy metals from soil to green biomass, taking into account spatial variations in soil and climatic conditions and the dynamics of individual cut formation.

Therefore, a comprehensive assessment of alfalfa productivity and the environmental safety of its green biomass on irrigated lands of Odesa Region is relevant. Such an assessment should combine the evaluation of the effect of irrigation water mineralization on yield with monitoring of Cd, Hg, and Pb accumulation in forage products. The application of mathematical modelling makes it possible to quantitatively assess these processes under different growing conditions and identify potential risks of obtaining products that do not comply with established safety standards.

Analysis of Recent Research and Publications. Heavy metal contamination of agricultural soils remains an important environmental issue, as their accumulation poses a risk of toxic elements entering plant products and subsequently migrating through trophic chains. Particular attention is given to cadmium (Cd), lead (Pb), and mercury (Hg), which are characterized by persistence in the environment and the ability to accumulate in soils and plants. The intensity of their transfer within the “soil–plant” system is determined not only by the total metal content but also by its bioavail-

ability, which depends on pH, organic matter content, particle-size distribution, and other soil properties [1].

Alfalfa (*Medicago sativa* L.), a valuable forage crop characterized by high productivity and an extensive root system, is of particular interest in studies of heavy metal migration. Chen et al. [2] reported that alfalfa is capable of absorbing potentially toxic elements and activating a range of physiological and biochemical mechanisms of tolerance to metal stress. A substantial proportion of the absorbed elements may accumulate in the root system, whereas their translocation to aboveground biomass depends on the specific properties of the element and growing conditions. Jócsák et al. [3] demonstrated that excessive concentrations of heavy metals may adversely affect alfalfa growth and development, photosynthetic processes, and water and mineral metabolism, while plants are also capable of activating a range of protective mechanisms.

Experimental studies confirm the element-specific response of *M. sativa* to individual heavy metals. For Cd, the bioavailability and accumulation in aboveground biomass have been shown to depend on the properties of the soil environment [4]. Studies of Pb have revealed differences in plant tolerance and the involvement of mechanisms associated with metal transport, root system development, and protective responses [5]. For Hg, its accumulation has been shown to depend on the mobility of its compounds in soil and to be associated with a corresponding response of the alfalfa antioxidant system [6]. Thus, the concentration of heavy metals in aboveground biomass is determined by the interaction of the level of soil contamination, element availability, and the biological characteristics of the crop.

Under irrigated agricultural conditions, the quality of irrigation water represents an additional factor. García-Carrillo et al. [7] identified differences in Pb accumulation in the roots and aboveground parts of alfalfa when different sources of irrigation water were used. Hamoud et al. [8] likewise confirmed the potential accumulation of Cd and Pb in soil and agricultural crops under wastewater irrigation, indicating the need to monitor heavy metal concentrations not only in soil and irrigation water but also directly in forage products.

Thus, recent studies have characterized the patterns of heavy metal uptake and accumulation by alfalfa, as well as the effects of soil conditions and irrigation water quality on these processes. However, quantitative assessment of heavy metal concentration in alfalfa forage biomass, taking into account soil and climatic conditions, water availability, and the productivity of individual cuts, remains insufficiently studied. The application of mathematical modelling provides an opportunity to comprehensively account for these factors and assess heavy metal accumulation in green biomass under different growing conditions.

Aim of the Study. The aim of the study was to assess the effect of irrigation water mineralization on the formation of green biomass yield of second-year alfalfa and to determine the patterns of cadmium (Cd), mercury (Hg), and lead (Pb) accumulation in forage products depending on the level of soil contamination, water availability, natural and climatic and soil conditions of the Odesa Region, and cutting cycle.

Materials and Methods. The methodological basis of the study was a dynamic approach to modelling the processes of crop productivity formation and heavy metal contamination [9], implemented using [name of the dynamic model]. Its application involves comprehensive simulation of the interactions among the main components of the agroecosystem within the “soil–plant–atmosphere” system and makes it possible to simultaneously assess yield formation and the uptake and accumulation of contaminants in plant products.

The modelling approach was based on the assumption that plant growth, development, and productivity formation are determined by the interaction between the biological characteristics of the crop and a set of environmental factors. Biomass formation was simulated by taking into account the synthesis of organic matter through photosynthesis, its distribution between the aboveground and belowground plant organs, and the utilization of assimilates for growth processes. The uptake of mineral nutrients by the root system and their subsequent utilization by plants were also taken into account.

The numerical modelling reproduced the main components of agroecosystem functioning, including the radiation, thermal, and water regimes of the crop, mineral nutrition conditions, as well as soil salinization and sodification processes. A separate model module described heavy metal migration within the “soil–plant” system, including the supply of available forms of contaminants to the root system, their uptake by plants, and their subsequent translocation and accumulation in plant organs.

The modelled object was second-year alfalfa (*Medicago sativa* L.) grown for green biomass production. Yield formation and its environmental characteristics were considered as the result of interconnected physiological and biochemical processes involving the formation, transformation, and accumulation of plant biomass, as well as the uptake and accumulation of contaminants in plants. Alfalfa green biomass yield was used as the productivity indicator, while cadmium (Cd), mercury (Hg), and lead (Pb) concentrations were used as indicators of the environmental safety of the forage product.

For the numerical experiments, agroclimatic, soil, and agroecological characteristics of the Odesa Region were used. The calculations were performed for the natural and climatic zones and subzones and agro-soil provinces represented within the region, taking into account the corresponding soil types. Modelling was conducted for second-year alfalfa separately for the first, second, and third cuts under both natural and regulated water supply conditions.

To assess the effect of irrigation water quality on alfalfa productivity, a series of numerical experiments was performed by varying the total mineralization of irrigation water from 0.4 to 3.0 g/dm³. The interpretation of the results took into account the regulatory criteria for water suitability for irrigation and the environmentally safe management of irrigated agriculture [10–12].

To assess heavy metal contamination of alfalfa green biomass, data on Cd, Hg, and Pb concentrations in the soils of the Odesa Region obtained from agro-

chemical surveys and the certification of agricultural lands were used as initial parameters [13]. Based on these data, model calculations were performed to estimate the uptake and accumulation of the studied metals in alfalfa green biomass under different soil and climatic conditions, water availability, and cutting cycles.

The model-calculated concentrations of Cd, Hg, and Pb in plant biomass, expressed on a dry matter basis, were converted to a standard forage moisture content of 12% to assess the safety of the forage product. The resulting values were compared with the applicable maximum permissible levels of heavy metal concentrations in feed established by the regulatory documents of Ukraine [14, 15].

Results. The modelling results (Fig. 1) demonstrate a consistent decline in alfalfa green biomass yield with increasing irrigation water mineralization from 0.4 to 3.0 g/dm³. At the same time, the magnitude of the crop response was determined by both the cutting cycle and the natural, climatic, and soil characteristics of the study area.

The most pronounced effect of irrigation water quality was observed for the first cut. In the Northern Steppe of the Right-Bank Province, an increase in water mineralization from 0.4 to 3.0 g/dm³ resulted in a decrease in green biomass yield from 26.9 to 23.6 t/ha, i.e., by 3.3 t/ha (12.3%). In the Southwestern Province, the yield decreased from 25.4 to 23.2 t/ha, corresponding to a reduction of 2.2 t/ha (8.7%). In the Southern Steppe of the Right-Bank Province, the decrease was from 29.8 to 27.3 t/ha, or by 2.5 t/ha (8.4%), whereas in the Southern Dry Steppe of the Danube Province, the yield declined from 25.5 to 23.3 t/ha, corresponding to a reduction of 2.2 t/ha (8.6%). Thus, the highest relative sensitivity of first-cut productivity to increasing irrigation water mineralization was observed in the Northern Steppe of the Right-Bank Province.

The high sensitivity of first-cut alfalfa to irrigation water mineralization can be explained by the fact that the most intensive growth and vegetative biomass formation occur in spring. The application of mineralized water during this period increases the concentration of salts in the soil solution, which reduces water uptake by the roots, causes loss of turgor, and inhibits the growth of young stems. During the formation of the second and third cuts, plants adapt to the prevailing growing conditions, activate their endogenous protective mechanisms, and accumulate stress-related compounds, enabling them to tolerate salt stress considerably more effectively.

For the second cut, the negative effect of increased irrigation water mineralization persisted but was less pronounced. Depending on the agro-soil province, at a mineralization level of 0.4 g/dm³, green biomass yield ranged from 20.3 to 28.2 t/ha, whereas at 3.0 g/dm³ it ranged from 19.2 to 26.2 t/ha. The highest productivity level across the entire range of mineralization studied was maintained in the Southern Steppe of the Right-Bank Province, indicating the substantial role of territorial soil and climatic conditions in yield formation alongside irrigation water quality.

In the third cut, the response of yield to changes in water mineralization was even less pronounced, whereas spatial differentiation in productivity became more evident. In the Southern Steppe of the Right-Bank Province, yield decreased from 20.3 to 19.8 t/ha, while in the Northern Steppe of the Right-Bank Province it declined from 19.3 to 18.6 t/ha. Considerably lower productivity was obtained in the Northern Steppe of the Southwestern Province, where yields ranged from 12.4 to 11.9 t/ha, and in the Southern Dry Steppe of the Danube Province, where they ranged from 10.8 to 9.6 t/ha.

Thus, the results of the first series of modelling experiments demonstrated that an increase in irrigation

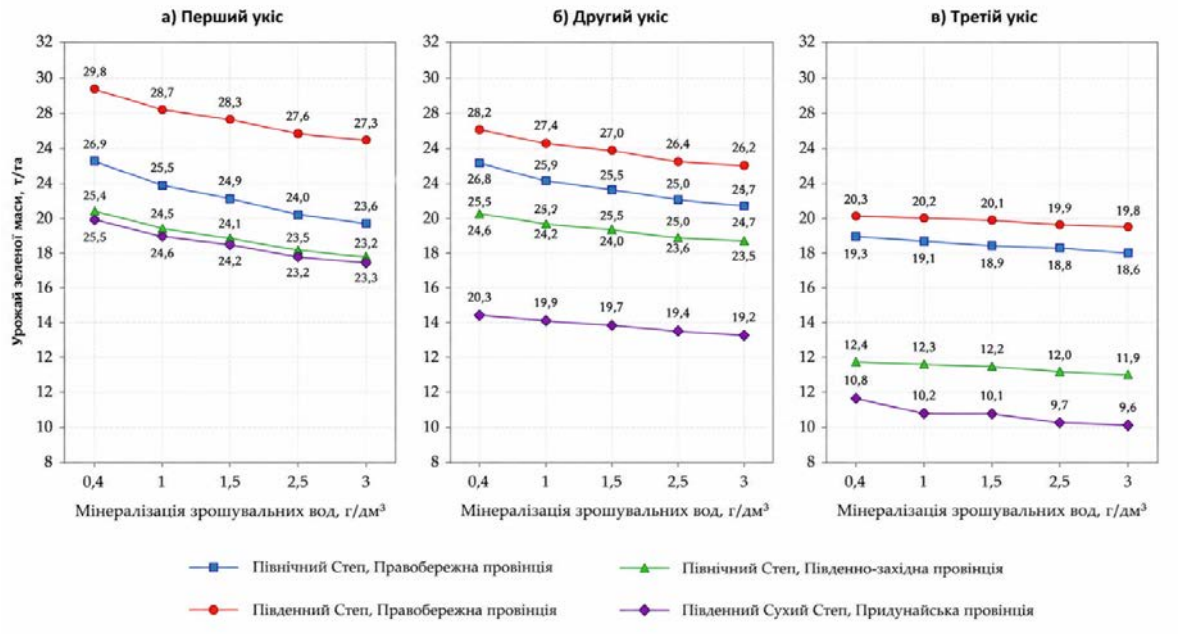


Fig. 1. Relationship between second-year alfalfa green biomass yield and irrigation water quality, Odesa Region

water mineralization was accompanied by a decrease in alfalfa green biomass yield under all the natural and climatic conditions considered. The crop response to deteriorating irrigation water quality was most pronounced in the first cut. In subsequent cuts, the effect of mineralization became weaker, whereas the role of natural, climatic, and soil differences in determining productivity became more pronounced.

The next stage of the study involved assessing heavy metal accumulation in alfalfa green biomass. In this series of modelling experiments, calculations for irrigated conditions were performed at an irrigation water mineralization level of 0.4 g/dm³. The results presented in Table 1 characterize the spatial and within-season variability of Cd, Hg, and Pb concentrations depending on the content of the respective metal in the soil, water availability, and cutting cycle.

For all three metals studied, a general trend toward decreasing concentrations in green biomass from the first to the third cut was observed, although the magnitude of these changes varied among agro-soil provinces. Under rainfed conditions, Cd concen-

Table 1 – Assessment of heavy metal contamination of alfalfa green biomass yield in Odesa Region

Growing conditions	Cutting cycle	Natural and climatic zone (subzone)				
		Forest-Steppe	Northern Steppe		Southern Steppe	Southern Dry Steppe
		Agro-soil province				
		Right-Bank	Right-Bank	Southwestern	Right-Bank	Danube
		Soil				
		Typical chernozem, light clayey	Ordinary chernozem, light clayey	Ordinary chernozem, heavy loamy	Southern chernozem, medium loamy	Dark chestnut, medium-textured loam soil
		Variant 1				
		Cadmium concentration (C_{Cd}) in soil, mg/kg:				
		0,16	0,21	0,17	0,21	0,17
		Cadmium concentration (C_{Cd}) in green biomass, mg/kg:				
Rainfed	1-st	0,0123	0,0158	0,0114	0,0150	0,0114
	2-d	0,0070	0,0088	0,0097	0,0097	0,0097
	3-rd	0,0070	0,0088	0,0053	0,0097	0,0026
Irrigated	1-st	-	0,0114	0,0097	0,0132	0,0097
	2-d	-	0,0079	0,0079	0,0079	0,0088
	3-rd	-	0,0079	0,0044	0,0079	0,0026
		Variant 2				
		Mercury concentration (C_{Hg}) in soil, mg/kg:				
		0,0098	0,0122	0,0108	0,0122	0,0108
		Mercury concentration (C_{Hg}) in green biomass, mg/kg:				
Rainfed	1-st	0,0255	0,0308	0,0255	0,0290	0,0246
	2-d	0,0176	0,0176	0,0211	0,0185	0,0211
	3-rd	0,0141	0,0176	0,0123	0,0185	0,0062
Irrigated	1-st	-	0,0229	0,0202	0,0255	0,0211
	2-d	-	0,0141	0,0176	0,0176	0,0194
	3-rd	-	0,0141	0,0106	0,0106	0,0053
		Variant 3				
		Lead concentration (C_{Pb}) in soil, mg/kg:				
		11,1	15,6	10,8	15,6	10,8
		Lead concentration (C_{Pb}) in green biomass, mg/kg:				
Rainfed	1-st	1,311	1,742	1,135	1,628	1,100
	2-d	0,704	1,144	0,915	1,056	0,942
	3-rd	0,704	1,144	0,537	1,056	0,273
Irrigated	1-st	-	1,294	0,906	1,487	0,915
	2-d	-	0,810	0,774	0,845	0,836
	3-rd	-	0,810	0,458	0,836	0,229

tration in the green biomass of the first cut ranged from 0.0114 to 0.0158 mg/kg, Hg from 0.0246 to 0.0308 mg/kg, and Pb from 1.100 to 1.742 mg/kg. In the third cut, the corresponding ranges decreased to 0.0026–0.0097 mg/kg for Cd, 0.0062–0.0185 mg/kg for Hg, and 0.273–1.144 mg/kg for Pb. Thus, the highest accumulation of the heavy metals studied in aboveground biomass generally occurred during the initial cycle of forage stand utilization.

Under irrigated conditions, Cd, Hg, and Pb concentrations in green biomass were lower in most of the cases considered than under rainfed conditions. Specifically, in the first cut, Cd concentration under irrigation ranged from 0.0097 to 0.0132 mg/kg compared with 0.0114–0.0158 mg/kg under rainfed conditions; Hg concentration ranged from 0.0202 to 0.0255 mg/kg compared with 0.0246–0.0308 mg/kg, while Pb concentration ranged from 0.906 to 1.487 mg/kg compared with 1.100–1.742 mg/kg. A similar trend was generally maintained in the second and third cuts. These results indicate that water availability is one of the factors determining heavy metal concentration in the resulting plant biomass.

The decrease in Cd, Hg, and Pb concentrations in alfalfa green biomass under irrigation can be attributed to the classical physiological dilution effect. Under increased water availability, the rate of organic matter synthesis and biomass accumulation substantially exceeds the rate of heavy metal ion uptake and translocation to aboveground plant organs. In addition, optimal soil moisture promotes the binding of a proportion of metals by the soil adsorption complex, whereas under rainfed conditions during drought, evaporation of the soil solution causes a rapid increase in the concentration of Cd, Hg, and Pb ions in the remaining soil water, thereby enhancing their uptake by plant roots.

To assess the environmental safety of the forage product, the model-calculated heavy metal concentrations, converted to a standard forage moisture content of 12%, were compared with the applicable maximum permissible levels for their concentrations in feed [14, 15]. Under all natural and climatic conditions studied, across different cuts and water availability regimes, the concentrations of Cd, Hg, and Pb in alfalfa green biomass did not exceed the established regulatory limits. The maximum calculated concentrations were 0.0158 mg/kg for Cd, 0.0308 mg/kg for Hg, and 1.742 mg/kg for Pb, whereas the corresponding maximum permissible concentrations were 1.0, 0.1, and 30 mg/kg, respectively.

Thus, the modelling results indicate that, at the studied levels of soil contamination in the Odesa Region, the green biomass of second-year alfalfa meets the established feed safety requirements with respect to Cd, Hg, and Pb concentrations. At the same time, the observed spatial and within-season variability in heavy metal accumulation supports the need for monitoring their concentrations within the “soil–plant” system, particularly during the first cut, for which the highest calculated concentrations of the elements studied were obtained.

CONCLUSIONS:

1. An increase in irrigation water mineralization from 0.4 to 3.0 g/dm³ results in a consistent decrease in the green biomass yield of second-year alfalfa. The greatest biomass losses were observed in the first cut (8.4–12.3%), which can be attributed to osmotic stress during the period of intensive spring vegetative growth.

2. Cd, Hg, and Pb concentrations in alfalfa green biomass exhibit pronounced within-season dynamics, with maximum values observed in the first cut and minimum values in the third cut, corresponding to the intensity of spring uptake of these elements from the soil.

3. Irrigation was found to be a factor contributing to the environmental optimization of forage quality: due to the physiological biomass dilution effect (dilution effect), heavy metal concentrations in irrigated green biomass were 15–25% lower than those in corresponding rainfed biomass.

4. All calculated concentrations at a forage moisture content of 12% – 0.0158 mg/kg for Cd, 0.0308 mg/kg for Hg, and 1.742 mg/kg for Pb – were below the applicable maximum permissible levels for forage products, namely 1.0, 0.1, and 30 mg/kg, respectively, confirming the high agroecological quality of the product.

5. A methodological approach to environmental monitoring has been substantiated, according to which analytical monitoring of alfalfa forage quality and heavy metal concentrations (Cd, Hg, and Pb) should primarily focus on first-cut samples, as they are the most representative of the potential maximum accumulation of toxicants.

6. The feasibility of differentiated irrigation regimes has been established. When using a water source with a high salt concentration (>1.5 g/dm³) during the formation of the first cut, the application of a water-saving irrigation regime is justified, whereas for the second and third cuts, a biologically optimal irrigation regime is appropriate. This differentiation is associated with the increasing physiological tolerance of the forage stand to irrigation water mineralization throughout the growing season.

Конфлікт інтересів: один з авторів є членом редакційної колегії журналу. Для забезпечення незалежності редакційного процесу рукопис розглядався редактором, який не мав конфлікту інтересів з автором. Автор не брав участі у відборі рецензентів, процесі рецензування та прийнятті рішення щодо публікації статті. Рукопис пройшов стандартну процедуру подвійного сліпого рецензування.

BIBLIOGRAPHY:

1. Rashid A., Schutte B. J., Ulery A., Deyholos M. K., Sanogo S., Lehnhoff E. A., Beck L. Heavy Metal Contamination in Agricultural Soil: Environmental Pollutants Affecting Crop Health. *Agronomy*. 2023. Vol. 13, No. 6. Article 1521. DOI: 10.3390/agronomy13061521.

2. Chen L., Beiyuan J., Hu W., Zhang Z., Duan C., Cui Q., Zhu X., He H., Huang X., Fang L. Phytoremediation of potentially toxic elements (PTEs) contaminated soils using alfalfa (Medicago sativa L.): A comprehensive review. *Chemosphere.* 2022. Vol. 293. Article 133577. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.133577.

3. Jócsák I., Knolmajer B., Szarvas M., Rabnecz G., Pál-Fám F. Literature Review on the Effects of Heavy Metal Stress and Alleviating Possibilities through Exogenously Applied Agents in Alfalfa (Medicago sativa L.). *Plants*.

2022. Vol. 11, No. 16. Article 2161. DOI: 10.3390/plants11162161.

4. Zhao X.-Y., Zhang Z.-Y., Huang Y.-M., Feng F.-J. Enhancing the effect of biochar ageing on reducing cadmium accumulation in Medicago sativa L. *Science of the Total Environment*. 2023. Vol. 862. Article 160690. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.160690.

5. Wang Y., Meng Y., Mu S., Yan D., Xu X., Zhang L., Xu B. Changes in phenotype and gene expression under lead stress revealed key genetic responses to lead tolerance in Medicago sativa L. *Gene*. 2021. Vol. 791. Article 145714. DOI: 10.1016/j.gene.2021.145714.

6. Baragaño D., Forján R., Álvarez N., Gallego J. R., González A. Zero valent iron nanoparticles and organic fertilizer assisted phytoremediation in a mining soil: Arsenic and mercury accumulation and effects on the antioxidative system of Medicago sativa L. *Journal of Hazardous Materials*. 2022. Vol. 433. Article 128748. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2022.128748.

7. García-Carrillo M., Flores-Hernández E. A., Leos-Escobedo L., Ramírez-Gottfried R. I., Ruiz-Machuca L. M., Luna-Ortega J. G., Preciado-Rangel P., Concilco-Alberto E. Heavy metals phytoextraction potential of Medicago sativa L. irrigated with waste and groundwater. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 2024. Vol. 40. Article 55089. DOI: 10.20937/RICA.55089.

8. Hamoud Y. A., Shaghaleh H., Zia-Ur-Rehman M., Rizwan M., Umair M., Usman M., Ayub M. A., Riaz U., Alnusairi G. S. H., Alghanem S. M. S. Cadmium and lead accumulation in important food crops due to wastewater irrigation: Pollution index and health risks assessment. *Heliyon*. 2024. Vol. 10, No. 3. Article e24712. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e24712.

9. Жигайло О. Л. Контроль забруднення важкими металами багаторічних трав на зрошуваних землях Одещини. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2011. № 8. С. 155–161.

10.Про нормативи екологобезпечного зрошення, осушення, управління поливами та водовідведенням : Постанова Кабінету Міністрів України від 02 вересня 2020 р. № 766. *Офіційний вісник України*. 2020. № 72. С. 47.

11. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії : ДСТУ 2730:2015. [Чинний від 2016-01-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 14 с.

12. Якість води для систем краплинного зрошення. Агрономічні, екологічні та технічні критерії : ДСТУ 7591:2014. [Чинний від 2015-07-01]. Київ : Мінекономрозвитку України, 2015. 18 с.

13. Голубченко В. Ф., Куліджанов Е. В., Лаптєва О. А. Вміст важких металів у ґрунтах Одеської області. *Агроекологічний журнал*. 2015. № 4. С. 58–62.

14. Про затвердження нормативів гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у ґрунтах, а також переліку таких речовин : Постанова Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2021 р. № 1325.

15. Про затвердження Переліку речовин, наявність яких у кормах є обмеженою або забороненою : наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 16 серпня 2024 р. № 2691.

REFERENCES:

1. Rashid, A., Schutte, B. J., Ulery, A., Deyholos, M. K., Sanogo, S., Lehnhoff, E. A., & Beck, L. (2023). Heavy metal contamination in agricultural soil: Environmental pollutants affecting crop health. *Agronomy*, 13(6), 1521. https://doi.org/10.3390/agronomy13061521

2. Chen, L., Beiyuan, J., Hu, W., Zhang, Z., Duan, C., Cui, Q., Zhu, X., He, H., Huang, X., & Fang, L. (2022). Phytoremediation of potentially toxic elements (PTEs) contaminated soils using alfalfa (Medicago sativa L.): A comprehensive review. *Chemosphere,* 293, 133577. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133577

3. Jócsák, I., Knolmajer, B., Szarvas, M., Rabnecz, G., & Pál-Fám, F. (2022). Literature review on the effects of heavy metal stress and alleviating possibilities through exogenously applied agents in alfalfa (Medicago sativa L.). *Plants,* 11(16), 2161. https://doi.org/10.3390/plants11162161

4. Zhao, X.-Y., Zhang, Z.-Y., Huang, Y.-M., & Feng, F.-J. (2023). Enhancing the effect of biochar ageing on reducing cadmium accumulation in Medicago sativa L. *Science of the Total Environment*, 862, 160690. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160690

5. Wang, Y., Meng, Y., Mu, S., Yan, D., Xu, X., Zhang, L., & Xu, B. (2021). Changes in phenotype and gene expression under lead stress revealed key genetic responses to lead tolerance in Medicago sativa L. *Gene,* 791, 145714. https://doi.org/10.1016/j.gene.2021.145714

6. Baragaño, D., Forján, R., Álvarez, N., Gallego, J. R., & González, A. (2022). Zero valent iron nanoparticles and organic fertilizer assisted phytoremediation in a mining soil: Arsenic and mercury accumulation and effects on the antioxidative system of Medicago sativa L. *Journal of Hazardous Materials*, 433, 128748. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128748

7. García-Carrillo, M., Flores-Hernández, E. A., Leos-Escobedo, L., Ramírez-Gottfried, R. I., Ruiz-Machuca, L. M., Luna-Ortega, J. G., Preciado-Rangel, P., & Concilco-Alberto, E. (2024). Heavy metals phytoextraction potential of Medicago sativa L. irrigated with waste and groundwater. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 40, 55089. https://doi.org/10.20937/RICA.55089

8. Hamoud, Y. A., Shaghaleh, H., Zia-Ur-Rehman, M., Rizwan, M., Umair, M., Usman, M., Ayub, M. A., Riaz, U., Alnusairi, G. S. H., & Alghanem, S. M. S. (2024). Cadmium and lead accumulation in important food crops due to wastewater irrigation: Pollution index and health risks assessment. *Heliyon*, 10(3), e24712. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24712

9. Zhygailo, O. L. (2011). Kontrol zabrudnennia vazhkymy metalamy bahatorichnykh trav na zroshuvanykh zemliakh Odeshchyny [Control of heavy metal contamination of perennial grasses on irrigated lands of Odesa region]. *Ukrainskyi hidrometeorolohichnyi zhurnal*, *8, 155–161* [in Ukrainian].

10. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2020). Pro normatyvy ekolohobezpechnoho zroshennia, osushennia, upravlinnia polyvamy ta vodovidvedenniam [On standards for environmentally safe irrigation, drainage, irrigation management and water disposal] Resolution No. 766, September 2, 2020. [in Ukrainian].

11. DSTU 2730:2015. (2016). Yakist pryrodnoi vody dlia zroshennia. Ahronomichni kryterii [Quality of natural water for irrigation. Agronomic criteria]. Kyiv: SE “UkrNDNC”, 14 [in Ukrainian].

12.DSTU 7591:2014. (2015). Yakist vody dlia system kraplynnoho zroshennia. Ahronomichni, ekolohichni ta tekhnichni kryterii [Water quality for drip irrigation systems. Agronomic, environmental and technical criteria]. Kyiv: Ministry of Economic Development of Ukraine, 18 [in Ukrainian].

13. Holubchenko, V. F., Kulidzhanov, E. V., & Laptieva, O. A. (2015). Vmist vazhkykh metaliv u gruntakh Odeskoi oblasti [Content of heavy metals in soils of Odesa region]. *Ahroekolohichnyi zhurnal*, 4, 58–62 [in Ukrainian].

14. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2021). Pro zatverdzhennia normatyviv hranychno dopustymykh kontsentratsii nebezpechnykh rechovyn u gruntakh, a takozh pereliku takykh rechovyn [On approval of standards

for maximum permissible concentrations of hazardous substances in soils and the list of such substances]. Resolution No. 1325, December 15, 2021. [in Ukrainian].

15.Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. (2024). Pro zatverdzhennia Pereliku rechovyn, naiavnist yakykh u kormakh ye obmezhenoiu abo zaboronenoiu [On approval of the List of substances whose presence in feed is restricted or prohibited]. Order No. 2691, August 16, 2024. [in Ukrainian].

Zhygailo T.S., Zhygailo O.L., Danchuk O.V., Grafov A.V., Kozyrev V.V., Zherebchuk S.V., Piliarska O.O. Assessment and control of heavy metal contamination in alfalfa green mass yield on irrigated lands of Odesa region

Purpose. To assess the effect of irrigation water mineralization on the formation of green mass yield of second-year alfalfa and to determine the patterns of cadmium (Cd), mercury (Hg), and lead (Pb) accumulation in forage depending on the level of soil contamination, water supply conditions, natural-climatic and soil characteristics of Odesa Region, and cutting cycle. **Methods.** The study was conducted using dynamic mathematical modeling of crop productivity formation and heavy metal contamination within the “soil–plant–atmosphere” system. A series of numerical experiments was performed for second-year alfalfa (Medicago sativa L.), taking into account the natural-climatic and agro-soil conditions of Odesa Region. The effect of irrigation water quality on productivity was assessed by varying water mineralization from 0.4 to 3.0 g/dm³. The accumulation of Cd, Hg, and Pb in green mass was modeled for the first, second, and third cuttings under different water supply conditions. The calculated heavy metal concentrations were adjusted to a standard forage moisture content of 12% and compared with the current maximum permissible levels established for feed. **Results.** A consistent decrease in alfalfa green mass yield was observed with increasing irrigation water mineralization. The response was most pronounced in the first cutting, where an increase in mineralization from 0.4 to 3.0 g/dm³ resulted in an 8.4–12.3% decrease in yield, depending on natural-climatic and soil conditions. In the second and third cuttings, the effect of water mineralization became less pronounced, whereas spatial differences in productivity became more evident. Spatial and within-season variability in heavy metal accumulation in the green mass was identified. Under most of the studied conditions, the highest concentrations of Cd, Hg, and Pb occurred in the first cutting and decreased in subsequent cutting cycles. Under irrigation, the concentrations of the studied elements in the green mass were lower in most model variants than under non-irrigated conditions. The maximum calculated concentrations were 0.0158 mg/kg for Cd, 0.0308 mg/kg for Hg, and 1.742 mg/kg for Pb and did not exceed the established maximum permissible levels for forage. **Conclusions.** Irrigation water quality is an important factor affecting alfalfa productivity, with the first cutting showing the greatest sensitivity to increased water mineralization. The accumulation of Cd, Hg, and Pb in green mass is influenced by soil conditions, water supply, and cutting cycle. At the studied levels of soil contamination in Odesa Region, the green mass of second-year alfalfa complied with feed safety requirements for Cd, Hg, and Pb content. The identified patterns can be used for the integrated control of forage productivity and quality on irrigated lands.

Key words: mathematical modeling, forage, water mineralization, agro-soil conditions, water supply, cadmium, mercury, lead.

Жигайло Т.С., Жигайло О.Л., Данчук О.В., Графов А.В., Козирєв В.В., Жеребчук С.В., Пілярська О.О. Оцінка та контроль забруднення урожаю зеленої маси люцерни важкими металами на зрошуваних землях Одещини

Мета. Оцінити вплив мінералізації зрошувальної води на формування врожаю зеленої маси люцерни другого року життя та визначити закономірності накопичення кадмію (Cd), ртуті (Hg) і свинцю (Pb) у кормовій продукції залежно від рівня забруднення ґрунту, умов водозабезпечення, природно-кліматичних і ґрунтових особливостей території Одеської області та укосу. **Методи.** Дослідження проведено із застосуванням динамічного математичного моделювання процесів формування продуктивності сільськогосподарських культур та їх забруднення важкими металами в системі «ґрунт – рослина – атмосфера». Виконано серію чисельних експериментів для люцерни посівної (*Medicago sativa* L.) другого року життя з урахуванням природно-кліматичних та агроґрунтових умов Одеської області. Вплив якості зрошувальної води на продуктивність оцінювали при зміні її мінералізації від 0,4 до 3,0 г/дм³. Накопичення Cd, Hg і Pb у зеленій масі моделювали для першого, другого і третього укосів за різних умов водозабезпечення. Розраховані концентрації важких металів приводили до стандартної вологості корму 12% та зіставляли з чинними нормативами їх максимально допустимого вмісту в кормах. **Результати.** Встановлено закономірне зниження врожаю зеленої маси люцерни зі збільшенням мінералізації зрошувальної води. Найбільш вираженою реакція була у першому укосі, де при підвищенні мінералізації від 0,4 до 3,0 г/дм³ зниження врожаю залежно від природно-кліматичних і ґрунтових умов становило 8,4–12,3%. У другому і третьому укосах вплив мінералізації послаблювався, а територіальні відмінності продуктивності прояв-лялися більш виразно. Виявлено просторову та внутрішньосезонну мінливість накопичення важких металів у зеленій масі. Для більшості досліджуваних умов найбільші концентрації Cd, Hg і Pb формувалися у першому укосі та зменшувалися у наступних циклах скошування. За зрошення вміст досліджуваних елементів у зеленій масі в більшості модельних варіантів був нижчим порівняно з незрошуваними умовами. Максимальні розрахункові концентрації становили 0,0158 мг/кг для Cd, 0,0308 мг/кг для Hg та 1,742 мг/кг для Pb і не перевищували встановлених максимально допустимих рівнів у кормовій продукції. **Висновки.** Якість зрошувальної води є істотним чинником формування продуктивності люцерни, причому найбільша чутливість до підвищення мінералізації характерна для першого укосу. Накопичення Cd, Hg і Pb у зеленій масі визначається ґрунтовими умовами, водозабезпеченням та циклом скошування. За досліджуваних рівнів забруднення ґрунтів Одеської області зелена маса люцерни другого року життя за вмістом Cd, Hg і Pb відповідала нормативним вимогам щодо безпечності кормів. Отримані закономірності можуть бути використані для комплексного контролю продуктивності та якості кормової продукції на зрошуваних землях.

Ключові слова: математичне моделювання, кормова продукція, мінералізація води, агроґрунтові умови, водозабезпечення, кадмій, ртуть, свинець.

Дата першого надходження статті до видання: 23.09.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 26.10.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.11.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

УДК 635.21:361.523
DOI DOI https://doi.org/10.32848/0135-2369.2026.86.4

БІОЧАР-АСИСТОВАНА ФІТОРЕМЕДІАЦІЯ ҐРУНТІВ ЯК ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВІДНОВЛЕННЯ АГРОЕКОСИСТЕМ, ЗАБРУДНЕНИХ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ

КРАВЧЕНКО Н.В. – доктор сільськогосподарських наук, професор
orcid.org/0000-0001-6072-2652
Державний університет «Житомирська політехніка»
ГНІТЕЦЬКИЙ М.О. – доктор PhD з агрономії, доцент
orcid.org/0000-0002-8088-2677
МОЖАРІВСЬКА І.А. – кандидат сільськогосподарських наук
orcid.org/0000-0003-0564-4457
Державний університет «Житомирська політехніка»

Постановка проблеми. Біочар-асистована фіторемедіація є перспективним напрямом відновлення ґрунтів, забруднених важкими металами, що поєднує сорбційні властивості вуглецевих матеріалів із ремедіаційним потенціалом рослин [1–2]. Інтегроване застосування біочару та фіторемедіантів дає змогу регулювати біодоступність потенційно токсичних елементів, покращувати властивості ґрунту та сприяти відновленню функціональної стійкості агроекосистем [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Забруднення ґрунтів важкими металами та іншими потенційно токсичними елементами є одним із чинників деградації агроекосистем і створює довготривалі ризики для рослинництва та продовольчої безпеки [11, 13]. Особливу небезпеку становлять кадмій (Cd), свинець (Pb), цинк (Zn), мідь (Cu), нікель (Ni) і хром (Cr), які за підвищених концентрацій можуть негативно впливати на біологічні процеси у ґрунті, ріст і розвиток рослин та надходити до трофічних ланцюгів [12, 14, 18].

На відміну від багатьох органічних забруднювачів, важкі метали не піддаються біологічному розкладанню [15], тому основними завданнями ремедіації є їх вилучення, зменшення рухомості, біодоступності або переведення у стабільніші форми [16]. Традиційні фізико-хімічні методи очищення забруднених ґрунтів можуть потребувати значних матеріальних та енергетичних витрат, саме тому дедалі більшого значення набувають природоорієнтовані технології, серед яких перспективною є фіторемедіація [4, 6] та її поєднання з органічними меліорантами [17].

Одним із таких матеріалів є **біочар (biochar)** – стабільний вуглецевмісний пористий продукт, який отримують у процесі термохімічного перетворення біомаси за обмеженого доступу кисню. Сировиною для його виробництва можуть бути деревина, солома, рослинні рештки, відходи харчової промисловості, гній та інші види органічної біомаси [7, 10].

Метою дослідження є наукове обґрунтування перспектив застосування інтегрованого підходу, що поєднує внесення пірогенного вуглецевого матеріалу рослинного походження з культивуванням толерантних рослин-ремедіаторів для екологічної реабілітації техногенно порушених сільськогосподарських територій [5, 8]. Особливу увагу приділено механізмам іммобілізації потенційно токсичних елементів у субстраті, зниженню їх біодоступності та надходження до рослин, а також можливості одночасного поліпшення фізико-хімічних властивостей едафічного середовища.

Методи досліджень. У роботі застосовано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів: системний та порівняльний аналіз сучасних наукових публікацій, узагальнення результатів експериментальних досліджень, аналіз закономірностей сорбції та трансформації забруднювачів у системі «субстрат–рослина», оцінювання змін кислотно-лужних і сорбційних характеристик середовища та порівняння ефективності використання різних видів рослин-ремедіаторів [9]. Проаналізовано механізми взаємодії вуглецевого сорбенту з катіонами Pb, Cd, Zn, Cu та іншими потенційно токсичними елементами, а також чинники, що визначають результативність їх стабілізації.

Результати досліджень. Характеристики біочару значною мірою визначаються видом вихідної сировини та режимом піролізу. Температура піролізу впливає на пористість, питому поверхню, pH, ароматичність вуглецю та кількість поверхневих функціональних груп. Біочар, одержаний за вищих температур, як правило, характеризується більшою площею поверхні, пористістю та стабільністю вуглецевої матриці, тоді як матеріали, одержані за нижчих температур, можуть містити більшу кількість кисневмісних функціональних груп (рис. 1) [1].



Рис. 1. Різні види біочару (https://surl.li/ryuwjg)

Особливо цікаво для ремедіації становить здатність біочару впливати на рухомість потенційно токсичних елементів. Основними механізмами їх взаємодії з поверхнею біочару є фізична адсорбція, електростатична взаємодія, іонний обмін, комплексоутворення з функціональними групами, поверхневе осадження та зміна кислотно-лужних умов ґрунтового середовища [3]. Завдяки цьому частина рухомих форм металів може переходити у менш доступний для рослин стан. Таким чином, принцип біочар-асистованої фіторемедіації можна представити, як функціональну систему:

біочар → зміна властивостей ґрунту → іммобілізація потенційно токсичних елементів → зміна ризосферного середовища → зниження фітотоксичності → покращення росту рослин → фітостабілізація забрудненої території.

Особливо показовими є результати Diquattro et al. [5], які досліджували ґрунти, забруднені Cd, Pb та Zn, із використанням біочару з деревини хвойних порід у дозі 5% маси ґрунту. Початкові концентрації Cd у досліджуваних ґрунтах становили 4,8 та 74 мг/кг, Pb -318 та 1899 мг/кг, Zn– 622 та 3803 мг/кг. Як рослинні компоненти системи використовували кардон (*Cynara cardunculus* L.), ріпак (*Brassica napus* L.) та сафлор (*Carthamus tinctorius* L.). Встановлено, що внесення біочару позитивно впливало на формування біомаси рослин. Маса кореневої системи кардону збільшувалася приблизно на 14–22%, сафлору – на 71–98%, а ріпаку – до 17% залежно від досліджуваного ґрунту [5]. Водночас у більшості варіантів застосування біочару сприяло зменшенню концентрації потенційно токсичних елементів у коренях, пагонах або насінні та їх переважному утриманню у підземній частині рослин. Ці результати принципово важливі для розуміння механізму технології. Біочар не обов'язково повинен збільшувати вилучення металу надземною біомасою. Навпаки, у багатьох випадках його найбільш цінною функцією є **асистована фітостабілізація** – зменшення рухомості металів у ґрунті та обмеження їх транслокації до надземних органів рослин (табл. 1).

Важливо, що позитивний вплив біочару не обмежується фізико-хімічною іммобілізацією металів. Його внесення може змінювати структуру ґрунтового мікробіому, ферментативну активність та процеси трансформації азоту. У дослідженні Diquattro et al. [5] було встановлено збагачення окремих бактеріальних таксонів, пов'язаних із трансформацією азоту, а активність уреази в забруднених ґрунтах після внесення біочару зростала.

Отже, формується складніша система взаємодій **«біочар – ґрунт – мікробіом – коренева система – забруднювач»**, що принципово відрізняє цю технологію від звичайного внесення сорбенту. Перспективним розвитком технології *є поєднання біочару з ризосферними мікроорганізмами, що стимулюють ріст рослин* (PGPR). У сучасних експериментальних дослідженнях комбіноване застосування біочару та PGPR у ґрунті, забрудненому Cd, Pb і Zn, сприяло істотному зниженню обмінних форм металів. Для ґрунту, обробленого біочаром, повідомлялося про зменшення обмінних фракцій Cd, Pb і Zn відповідно на 56, 60 та 81% порівняно з необробленим ґрунтом. Поєднання біочару з PGPR також забезпечувало збільшення біомаси однорічного райграсу приблизно на 31% порівняно з контролем [6]. Це дозволяє говорити вже про наступне покоління ремедіаційних технологій:

біочар + рослина-фіторемедіант + корисні ризосферні мікроорганізми.

Перспективним є також *використання модифікованих біочарів*. Хімічна, або фізична модифікація поверхні може змінювати порову структуру, кількість активних центрів та спорідненість матеріалу до конкретного металу. Зокрема, сучасні дослідження свідчать про перспективність сіркомодифікованих матеріалів для зв'язування Cd, лужної модифікації для збільшення пористості та композитних біочарів для підвищення сорбційної здатності [4]. Однак застосування біочару не можна розглядати як універсальну технологію з однаковою ефективністю для всіх забруднювачів. Результат залежить від виду металу, його хімічної форми, pH і гранулометричного складу ґрунту, вихідної сировини біочару, температури піролізу, дози внесення, виду рослини та тривалості взаємодії матеріалу з ґрунтом [3, 7].

Метааналіз екологічних ефектів застосування біочару в забруднених важкими металами ґрунтах показує загалом позитивний ефект щодо зменшення токсичності катіонних металів та покращення родючості ґрунту, однак реакція окремих елементів може суттєво відрізнятися. Зокрема, для Cr встановлені ефекти, які не дозволяють автоматично переносити закономірності, характерні для Cd, Pb або Zn [7]. Отже, вибір типу біочару повинен здійснюватися відповідно до конкретного типу забруднення. Наразі особливий інтерес становить поєднання біочару з непродовольчими та енергетичними культурами: кардон, сафлор, ріпак та інші толерантні види здатні створювати рослинний покрив на деградованих зем-

Таблиця 1 – Результати застосування біочару у системах ремедіації ґрунтів

Показник	Умови/результат	Практичне значення
Cd	у досліджених ґрунтах – 4,8–74 мг/кг	біочар сприяв зниженню біодоступності та надходження до рослин
Pb	318–1899 мг/кг	переважне утримання у ґрунті та кореневій зоні
Zn	622–3803 мг/кг	зменшення надходження потенційно токсичних форм до рослин
Кардон	коренева біомаса +14–22%	формування стійкого рослинного покриву
Сафлор	коренева біомаса +71–98%	високий потенціал для асистованої фіторемедіації
Ріпак	приріст кореневої біомаси до 17%	можливість використання непродовольчої біомаси

Складено за результатами Diquattro et al. [5],

лях і водночас формувати біомасу, що потенційно може бути використана у технічних, або енергетичних напрямах [5]. Такий підхід переводить ремедіацію від концепції «очищення забрудненої ділянки» до концепції **керованого фітоменеджменту деградованих земель**. Додатковою перевагою технології є можливість використання сільськогосподарських відходів для виробництва самого біочару. Солома, деревні відходи, лушпиння, обрізки рослин та інша залишкова біомаса можуть бути перетворені на стабільний вуглецевий матеріал і повторно залучені до агроекосистеми. У такий спосіб формується циркулярний технологічний ланцюг:

рослинні відходи → піроліз → біочар → внесення у забруднений ґрунт → іммобілізація металів → вирощування фіторемедіантів → відновлення функцій ґрунту.

Це дає підстави розглядати біочар-асистовану фіторемедіацію не лише як природоохоронний захід, а як складову кліматично орієнтованого та циркулярного землеробства. Висока стабільність частини вуглецю біочару забезпечує також потенціал його довготривалого збереження у ґрунті [1, 3]. Разом із тим практичне впровадження технології потребує попереднього аналізу властивостей біочару та забрудненого ґрунту. Недоцільно рекомендувати однакову дозу і тип біочару незалежно від умов ділянки. Необхідними є визначення pH, вмісту органічної речовини, катіонообмінної здатності, рухомих форм забруднювачів, а також оцінювання довгострокової стабільності іммобілізованих елементів [3, 7].

Встановлено, що інтегроване використання вуглецевого сорбенту та рослинного компонента створює синергетичний ефект, за якого фізико-хімічне зв'язування забруднювачів доповнюється біологічними механізмами їх вилучення, накопичення або стабілізації. Пориста структура, значна питома поверхня та наявність функціональних груп у пірогенному матеріалі сприяють сорбції й комплексоутворенню потенційно токсичних елементів, тоді як зміна реакції середовища та катіонообмінної здатності може обмежувати їх рухомість і біодоступність. Одночасно покращуються умови водно-мінерального живлення, функціонування кореневої системи та розвитку рослин на деградованих територіях. Результативність технології залежить від походження сировини, температури піролізу, норми внесення сорбенту, властивостей субстрату, виду забруднювача та біологічних особливостей рослин. Обґрунтовано доцільність диференційованого добору комбінацій «сорбент–рослина» відповідно до типу та рівня техногенного навантаження.

Висновки. Поєднання сорбційних властивостей пірогенного вуглецевого матеріалу з ремедіаційним потенціалом рослин є перспективним природоорієнтованим рішенням для реабілітації деградованих сільськогосподарських територій. Такий підхід здатний одночасно зменшувати міграційну активність токсикантів, обмежувати їх включення до трофічних ланцюгів, покращувати властивості едафічного середовища та створювати передумови для відновлення його продуктивних і екологічних функцій. Подальші дослідження мають бути спрямовані на оптимізацію доз сорбенту, добір рослинних видів і оцінювання довгострокової стабільності іммобілізованих елементів за різних ґрунтово-кліматичних умов.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Majewska M., Hanaka A. Biochar in the bioremediation of metal-contaminated soils. *Agronomy*. 2025. №15(2). Art. 273. DOI: 10.3390/agronomy15020273

2. Singh S. V., Raghuvanshi S., Singh Y., Yadav K. K., Gacem A., Nandipamu T. M. K., Khalid M., Hameed R., Sharma R., Datta D., Ghosh S., Kumari A., Singh A. K., Pramanick B., Zhang X., Wang C., Alreshidi M. A. Biochar's multifaceted role in bioremediation of emerging contaminants and heavy metals in complex rhizospheric ecosystem. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2025. № 198. Art. 106005. DOI: 10.1016/j.ibiod.2025.106005

3. Mei Y., Zhuang S., Wang J. Adsorption of heavy metals by biochar in aqueous solution: A review. *Science of the Total Environment*. 2025. №968. Art. 178898. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2025.178898

4. Qian R., Yu K., Chen N., Li R., Tang K. H. D. Adsorptive immobilization of cadmium and lead using unmodified and modified biochar: A review of the advances, synthesis, efficiency and mechanisms. *Chemosphere*. 2025. № 370. Art. 143988. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2024.143988

5. Diquattro S., Pinna M. V., Garau M., Pulina A., Obinu L., Porceddu A., Roggero P. P., Castaldi P., Garau G. Valuable non-food crops for biochar-assisted phytoremediation of contaminated soils: The case of cardoon, rapeseed and safflower. *Applied Soil Ecology*. 2024. № 198. Art. 105349. DOI: 10.1016/j.apsoil.2024.105349

6. Pinna M. V., Diquattro S., Ventorino V., Magaraci G., Romano I., Garau M., Porfido C., Spagnuolo M., Roggero P. P., Garau G., Castaldi P. Combining biochar, plant growth-promoting rhizobacteria, and annual ryegrass for the recovery of a PTEs multi-contaminated soil. *Applied Soil Ecology*. 2025. № 215. Art. 106447. DOI: 10.1016/j.apsoil.2025.106447

7. Ren J., Ren X., Deng Z., Zhang H., Wang J., Zhang C., Lu F., Shi J. Ecological effects of biochar in heavy metal-contaminated soils from multidimensional perspective: Using meta-analysis. *Bioresource Technology*. 2025. № 432. Art. 132695. DOI: 10.1016/j.biortech.2025.132695

8. Ye L., Gao G., Li F., Sun Y., Yang S., Qin Q., Wang J., Bai N., Xue Y., Sun L. A comprehensive review on biochar-based materials for the safe utilization and remediation of heavy metal-contaminated agricultural soil and associated mechanisms. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2025. № 13(3). Art. 116179. DOI: 10.1016/j.jece.2025.116179

9. Meng F., Wang Y., Wei Y. Advancements in biochar for soil remediation of heavy metals and/or organic pollutants. *Materials*. 2025. №18(7). Art. 1524. DOI: 10.3390/ma18071524

10. Imran S., Sumi M. J., Harine I. J., Paul N. C., Mahamud M. A., Rabbi R. H. M., Brestic M., Rhaman M. S. Biochar amendments in soil: A sustainable approach for mitigating heavy metal stress in plants. *Phyton – International Journal of Experimental Botany*. 2025. №94(4). P. 1073–1109. DOI: 10.32604/phyton.2025.064046

11. Романчук Л. Д., Матвійчук Н. Г., Матвійчук Б. В. Фіторемедіація ґрунтів шляхом вирощування енергетичних культур. *Український журнал природничих наук*. 2025. №11. С. 223–234. DOI: 10.32782/naturaljournal.11.2025.24

12. Борецька І. Ю., Джура Н. М., Романюк О. І. Фіторемедіація техногенно забруднених ґрунтів з використанням енергетичних культур. *Екологічні науки*. 2021. № 6 (39). С. 72–76. DOI: 10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.11

13. Кулик М. І., Галицька М. А., Самойлік М. С., Жорник І. І. Фіторемедіаційні аспекти використання енергетичних культур в умовах України. *Agrology*. 2019. Т. 2, № 1. С. 65–73. DOI: 10.32819/2617-6106.2018.14020

14. Самохвалова В. Л., Фатєєв А. І., Зуза С. Г., Погромська Я. А., Зуза В. О., Панасенко Є. В., Горпинченко П. Ю. Фіторемедіація техногенно забруднених ґрунтів. *Агроекологічний журнал*. 2015. № 1. С. 92–100. DOI: 10.33730/2077-4893.1.2015.272192

15. Крайнюков О. М., Кривицька І. А., Найдьонова О. Є. Еколого-токсикологічна оцінка якості ґрунтів території Харківського району Харківської області. *Український журнал природничих наук*. 2024. № 7. С. 25–32. DOI: 10.32782/naturaljournal.7.2024.3

16. Асмаковський Є. В., Яковенко О. І. Фіторемедіаційні властивості деревних видів рослин у складі полезахисних лісосмуг Чернігівської області. *Український журнал природничих наук*. 2026. № 17. С. 7–20. DOI: 10.32782/naturaljournal.17.2026.1

17. Гапоненко А. М., Гнатюк А. М., Кулик М. В., Бондарь В. І., Блюм О. Б. Ртуть у надземних частинах *Trifolium repens* L. та *Trifolium pratense* L.: накопичення та перспективи фітоекстракції. *Агроекологічний журнал*. 2025. № 4. С. 173–181. DOI: 10.33730/2077-4893.4.2025.345457

18. Kireitseva H., Demchyk L., Paliy O., Kahukina A. Toxic impacts of the war on Ukraine. *International Journal of Environmental Studies*. 2023. №80(2). P. 267–276. DOI: 10.1080/00207233.2023.2170582

REFERENCES:

1. Majewska M., Hanaka A. (2025). Biochar in the bioremediation of metal-contaminated soils. Agronomy. №15(2). Art. 273. DOI: 10.3390/agronomy15020273

2. Singh S. V., Raghuvanshi S., & Alreshidi M. A. (2025). Biochar's multifaceted role in bioremediation of emerging contaminants and heavy metals in complex rhizospheric ecosystem. International Biodeterioration & Biodegradation. № 198. Art. 106005. DOI: 10.1016/j.ibiod.2025.106005

3. Mei Y., Zhuang S., Wang J. (2025). Adsorption of heavy metals by biochar in aqueous solution: A review. Science of the Total Environment. № 968. Art. 178898. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2025.178898

4. Qian R., Yu K., & Tang K. H. D. (2025). Adsorptive immobilization of cadmium and lead using unmodified and modified biochar: A review of the advances, synthesis, efficiency and mechanisms. Chemosphere. № 370. Art. 143988. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2024.143988

5. Diquattro S., Pinna M. V., & Garau G. (2024). Valuable non-food crops for biochar-assisted phytoremediation of contaminated soils: The case of cardoon, rapeseed and safflower. Applied Soil Ecology. № 198. Art. 105349. DOI: 10.1016/j.apsoil.2024.105349

6. Pinna M. V., Diquattro S., & Castaldi P. (2025). Combining biochar, plant growth-promoting rhizobacteria, and annual ryegrass for the recovery of a PTEs multi-contaminated soil. Applied Soil Ecology. № 215. Art. 106447. DOI: 10.1016/j.apsoil.2025.106447

7. Ren J., Ren X., & Shi J. (2025). Ecological effects of biochar in heavy metal-contaminated soils from a multidimensional perspective: Using meta-analysis. Bioresource Technology. № 432. Art. 132695. DOI: 10.1016/j.biortech.2025.132695

8. Ye L., Gao G., & Sun L. (2025). A comprehensive review on biochar-based materials for the safe utilization and remediation of heavy metal-contaminated agricultural soil and associated mechanisms. Journal of Environmental Chemical Engineering. № 13(3). Art. 116179. DOI: 10.1016/j.jece.2025.116179

9. Meng F., Wang Y., Wei Y. (2025). Advancements in biochar for soil remediation of heavy metals and/or organic pollutants. Materials. № 18(7). Art. 1524. DOI: 10.3390/ma18071524

10. Imran S., Sumi M. J., & Rhaman M. S. (2025). Biochar amendments in soil: A sustainable approach for mitigating heavy metal stress in plants. Phyton-International Journal of Experimental Botany. № 94(4). P. 1073–1109. DOI: 10.32604/ phyton.2025.064046

11. Romanchuk L. D., Matviichuk N. H., Matviichuk B. V. (2025). Fitoremediatsiia gruntiv shliakhom vyroshchuvannia enerhetychnykh kultur [Phytoremediation of soils by growing energy crops]. Ukrainskyi zhurnal pryrodnychykh nauk. 2025. № 11. S. 223–234. DOI: 10.32782/natural journal.11.2025.24 [in Ukrainian].

12. Boretska I. Yu., Dzhura N. M., Romaniuk O. I. (2021). Fitoremediatsiia tekhnohenno zabrudnenykh gruntiv z vykorystanniam enerhetychnykh kultur [Phytoremediation of technogenically contaminated soils using energy crops]. Ekolohichni nauky. 2021. № 6(39). S. 72–76. DOI: 10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.11 [in Ukrainian].

13. Kulyk M. I., Halytska M. A., Samoilik M. S., Zhornyk I. I. (2019). Fitoremediatsiini aspekty vykorystannia enerhetychnykh kultur v umovakh Ukrainy [Phytoremediation aspects of energy crops use in Ukraine]. Agrology. 2019. № 2(1). S. 65–73. DOI: 10.32819/2617-6106.2018.14020 [in Ukrainian].

14. Samokhvalova V. L., Fatieiev A. I., & Horpynchenko P. Yu. (2015). Fitoremediatsiia tekhnohenno zabrudnenykh gruntiv [Phytoremediation of technogenically contaminated soils]. Ahroekolohichnyi zhurnal. 2015. № 1. S. 92–100. DOI: 10.33730/2077-4893.1.2015.272192 [in Ukrainian].

15. Krainiukov O. M., Kryvytska I. A., Naidonova O. Ye. (2024). Ekoloho-toksykolohichna otsinka yakosti gruntiv terytorii Kharkivskoho raionu Kharkivskoi oblasti [Ecological and toxicological assessment of soil quality in the Kharkiv district of the Kharkiv region]. Ukrainskyi zhurnal pryrodnychykh nauk. 2024. № 7. S. 25–32. DOI: 10.32782/natural journal.7.2024.3 [in Ukrainian].

16. Asmakovskyi Ye. V., Yakovenko O. I. (2026). Fitoremediatsiini vlastyvosti derevnykh vydiv roslyn u skladi polezakhysnykh lisosmuh Chernihivskoi oblasti [Phytoremediation properties of woody plant species in field-protective forest belts of Chernihiv region]. Ukrainskyi zhurnal pryrodnychykh nauk. 2026. № 17. S. 7–20. DOI: 10.32782/natural journal.17.2026.1 [in Ukrainian].

17. Haponenko A. M., Hnatiuk A. M., & Blium O. B. (2025). Rtutu nadzemnykh chastynakh Trifolium repens L. ta Trifolium pratense L.: nakopychennia ta perspektyvy fitoekstraktsii [Mercury in the aboveground parts of Trifolium repens L. and Trifolium pratense L.: accumulation and prospects for phytoextraction]. Ahroekolohichnyi zhurnal. 2025. № 4. S. 173–181. DOI: 10.33730/2077-4893.4.2025.345457 [in Ukrainian].

18. Kireitseva H., Demchyk L., Paliy O., Kahukina A. (2023). Toxic impacts of the war on Ukraine. International Journal of Environmental Studies. 2023. № 80 (2). P. 267–276. DOI: 10.1080/00207233.2023.2170582

Кравченко Н.В., Гнітецький М.О., Можарівська І.А. Біочар-асистована фіторемедіація ґрунтів, як інноваційна технологія відновлення агроекосистем, забруднених важкими металами

Метою дослідження є наукове обґрунтування перспектив застосування інтегрованого підходу, що поєднує внесення пірогенного вуглецевого матеріалу рослинного походження з культивуванням толерантних рослин-ремедіаторів для екологічної реабілітації техногенно порушених сільськогосподарських територій. Особливу увагу приділено механізмам іммобілізації потенційно токсичних елементів у субстраті, зниженню їх біодоступності та надходження до рослин, а також можливості одночасного поліпшення фізико-хімічних властивостей едафічного середовища.

Результати досліджень. Встановлено, що інтегроване використання вуглецевого сорбенту та рослинного компонента створює синергетичний ефект, за якого фізико-хімічне зв'язування забруднювачів доповнюється біологічними механізмами їх вилучення, накопичення або стабілізації. Пориста структура, значна питома поверхня та наявність функціональних груп у пірогенному матеріалі сприяють сорбції й комплексоутворенню потенційно токсичних елементів, тоді як зміна реакції середовища та катіонообмінної здатності може обмежувати їх рухомість і біодоступність. Одночасно покращуються умови водно-мінерального живлення, функціонування кореневої системи та розвитку рослин на деградованих територіях. Показано, що результативність технології залежить від походження сировини, температури піролізу, норми внесення сорбенту, властивостей субстрату, виду забруднювача та біологічних особливостей рослин. Обґрунтовано доцільність диференційованого добору комбінацій «сорбент–рослина» відповідно до типу та рівня техногенного навантаження.

Висновки. Поєднання сорбційних властивостей пірогенного вуглецевого матеріалу з ремедіаційним потенціалом рослин є перспективним природоорієнтованим рішенням для реабілітації деградованих сільськогосподарських територій. Такий підхід здатний одночасно зменшувати міграційну активність токсикантів, обмежувати їх включення до трофічних ланцюгів, покращувати властивості едафічного середовища та створювати передумови для відновлення його продуктивних і екологічних функцій. Подальші дослідження мають бути спрямовані на оптимізацію доз сорбенту, добір рослинних видів і оцінювання довгострокової стабільності іммобілізованих елементів за різних ґрунтово-кліматичних умов.

Ключові слова: пірогенний вуглець, потенційно токсичні елементи, сорбційна іммобілізація, рослини-ремедіатори, техногенне навантаження, екологічна реабілітація, біодоступність токсикантів, природоорієнтовані рішення.

Kravchenko N.V., Hnitetskyi M.O., Mozharivska I.A. Biochar-assisted phytoremediation of soils as an innovative technology for the restoration of agroecosystems contaminated with heavy metals

Purpose. The purpose of the study was to provide a scientific rationale for an integrated approach combining the application of plant-derived pyrogenic carbon material with the cultivation of tolerant remediating plants for the ecological rehabilitation of technologically disturbed agricultural areas. Particular attention was paid to the mechanisms responsible for the immobilisation of potentially toxic elements within the substrate, reduction of their bioavailability and uptake by plants, as well as the possibility of simultaneously improving the physicochemical properties of the edaphic environment.

Results. The integrated application of carbonaceous sorbents and plant components was found to generate a synergistic effect in which physicochemical binding of contaminants is complemented by biological mechanisms of their extraction, accumulation or stabilisation. The porous structure, high specific surface area and presence of functional groups in pyrogenic materials promote the sorption and complexation of potentially toxic elements, while changes in environmental reaction and cation-exchange capacity may reduce their mobility and bioavailability. At the same time, improved conditions for water and mineral nutrition support root-system functioning and plant development in degraded areas. The effectiveness of the proposed approach depends on feedstock origin, pyrolysis temperature, sorbent application rate, substrate properties, contaminant type and concentration, and biological characteristics of the selected plant species. The differentiated selection of "sorbent–plant" combinations according to the type and intensity of anthropogenic pressure is therefore substantiated.

Conclusions. Combining the sorption capacity of pyrogenic carbon materials with the remediation potential of plants represents a promising nature-based solution for the rehabilitation of degraded agricultural areas. This approach can simultaneously reduce contaminant mobility, limit their transfer into trophic chains, improve the properties of the edaphic environment and facilitate the restoration of its productive and ecological functions. Further research should focus on optimising sorbent application rates, selecting appropriate plant species and assessing the long-term stability of immobilised elements under contrasting soil and climatic conditions.

Key words: pyrogenic carbon, potentially toxic elements, sorption immobilisation, remediating plants, anthropogenic pressure, ecological rehabilitation, contaminant bioavailability, nature-based solutions.

Дата першого надходження статті до видання: 16.09.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 26.10.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.11.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

УДК 528.88: 631.41
DOI DOI https://doi.org/10.32848/0135-2369.2026.86.5

МОНІТОРИНГ ЗАСОЛЕННЯ ҐРУНТІВ ІНГУЛЕЦЬКОГО ЗРОШУВАНОГО МАСИВУ ЗА АЕРОКОСМІЧНИМИ ДАНИМИ

ЛИХОВИД П.В. – доктор сільськогосподарських наук, старший дослідник
orcid.org/0000-0002-0314-7644
Інститут водних проблем і меліорації
Національної академії аграрних наук України
РЕТЬМАН М.С. – кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник
orcid.org/0000-0002-6972-2410
Інститут водних проблем і меліорації
Національної академії аграрних наук України
КАРАЩУК Г.В. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент
orcid.org/0000-0002-4948-0952
Херсонський державний аграрно-економічний університет
ЖУЙКОВ О.Г. – доктор сільськогосподарських наук, професор
orcid.org/0000-0002-5762-7934
Інститут водних проблем і меліорації
Національної академії аграрних наук України
КАЗАНОК О.О. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент
orcid.org/0000-0002-6817-4985
Херсонський державний аграрно-економічний університет

Постановка проблеми. Ґрунт є основою виробництва продукції рослинництва, а отже, забезпечення продовольчої безпеки. В останні роки спостерігається істотне зниження родючості ґрунтів внаслідок ірраціональної антропогенної активності та екологічних трансформацій, пов'язаних із глобальним потеплінням, як на території України, так і глобально. Деградація і зниження родючості ґрунтів є прямою загрозою продовольчій безпеці, оскільки неминуче ведуть до зниження продуктивності агроекосистем. Одним із найбільш загрозливих факторів деградації ґрунтових ресурсів є вторинне засолення – накопичення солей у профілі ґрунту, пов'язане із ірраціональною агротехнологією. Вторинне засолення призводить до порушення фізико-хімічних, структурних і механічних властивостей ґрунту, ускладнює процес засвоєння вологи та поживних речовин рослинами, а токсичні солі додатково чинять прямий згубний ефект на агрокультури. У найбільшій мірі соленакопиченню сприяє зрошення, особливо у випадку використання поливної води невідповідної якості, з високим вмістом водорозчинних солей і несприятливим катіонно-аніонним складом [16]. В умовах України, одним із найбільш уразливих до вторинного засолення є Інгулецький зрошуваний масив, ґрунти якого вже доволі тривалий час піддаються негативному впливу високомінералізованої поливної води Інгулецької зрошувальної системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До останнього часу, моніторинг засолення ґрунтів виконувався виключно у форматі польових зйомок, які включали відбирання зразків ґрунту з різних його шарів і наступний аналіз вмісту солей, їх аніонного та катіонного складу в агрохімічній лабораторії. Цей метод донині є стандартом агромеліоративних досліджень. Втім, розвиток сучасних технологій дозволяє використовувати нові, менш трудомісткі та витратні підходи до оцінки стану засолення ґрунтів, принаймні, їх верхнього (0–20 см) шару. Мова ведеться про технології дистанційного зондування Землі, які в рамках геоінформаційних систем і технологій постають як високоефективний засіб оперативного просторового моніторингу та картування динаміки процесів соленакопичення в поверхневому шарі ґрунту. Меліоративний супутниковий моніторинг бере початок з 2010-х років, і набуває бурхливого розвитку, що підтверджується кількістю нових наукових публікацій у рейтингових виданнях, починаючи з 2020-х років [15]. Основою супутникового меліоративного моніторингу, як і у випадку з більш поширеним і вживаним у науково-практичній діяльності моніторингом посівів сільськогосподарських культур, є специфічні індекси, як мультиспектральні, так і індекси видимого спектру та гіперспектральні індекси, які за рахунок урахування співвідношення випромінювання поверхнею ґрунту в різних спектральних каналах, здатні опосередковано характеризувати властивості ґрунту. В окремих випадках використовуються і методики опосередкованого екстраполювання характеристик рослинного покриву на властивості ґрунту; в таких дослідженнях меліоративні характеристики описують за вегетаційними індексами [4]. Так, наприклад, знижені відносно нормального фону величини нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (NDVI) було використано для ілюстрування негативного впливу засолення ґрунтів на ріст і розвиток рослин у Бангладеші [6]. Певною мірою NDVI, зафіксований на ділянках із розрідженою або відсутньою рослинністю, здатен передавати особливості акумуляції солей у верхніх шарах ґрунту [10].

Втім, на наш погляд, такий підхід хоча і знайшов підтримку та поширення у наукових роботах, втім, має високі ризики невірної інтерпретації та грубих помилок в оцінці меліоративного стану, оскільки така опосередкована характеристика не враховує саме відбиття від самого ґрунту, а реакція різних рослин на сольовий стрес може істотно відрізнятися і спотворювати результати [9]. Крім того, велике значення має і вибір супутникових знімків, за якими виконується оцінка меліоративного стану ґрунту. Важливо, щоб не тільки просторова роздільна здатність відповідала масштабам зйомки, але і джерело даних було надійним, знімки були без атмосферних спотворень і «білих плям», пов'язаних із хмарністю або іншими метеорологічними явищами, а також спектральні зображення було знято у відповідних спектральних діапазонах, які є необхідними для розрахунку обраного меліоративного індекса. Найчастіше в сучасних роботах із дистанційної оцінки засолення ґрунтів використовують супутникові знімки Landsat, Sentinel-2 (для більш деталізованих і менш масштабних за площами досліджень), і MODIS (для великих територій) [12]. Наприклад, для оцінки засолення ґрунтів у центральній Анатолії, Туреччина, дослідники використовували спектральні знімки Landsat 5, у результаті чого було встановлено найбільш тісний кореляційний зв'язок між вмістом солей у верхньому шарі ґрунтів і спектральним каналом SWIR1 (короткохвильове інфрачервоне відбиття) [8]. У дослідженні, виконаному в умовах Узбекистану, було успішно застосовано мультиспектральні знімки сателіту Landsat 8 OLI для розрахунку нормалізованого диференційного індексу засолення (NDSI), використаного для оцінки засолення зрошуваних ґрунтів [14]. Поєднання дистанційного зондування із засобами машинного навчання для деталізованого встановлення зв'язків між мультиспектральними індексами та вмістом солей у ґрунтовому профілі є одним із найбільш перспективних і актуальних завдань сучасної агроекології, оскільки математичні моделі та моделі машинного навчання не тільки пояснюють, але й дозволяють оцінити сценарії майбутнього розвитку ситуації із засоленням сільськогосподарських земель [5]. Вже зараз комплексні моделі на основі алгоритмів ансамблевого навчання, машини опорних векторів і штучних нейронних мереж успішно використовуються для прогнозування засолення ґрунту на основі великих масивів супутникових даних у форматі ґрунтових індексів, таких як індекс засолення (SI), індекс яскравості (BI), ґрунтово-коригований вегетаційний індекс (SAVI), тощо [17].

Мета статті. Метою роботи було виконати динамічну оцінку засолення ґрунтів Інгулецького зрошуваного масиву за даними супутникового моніторингу за період 2000–2026 рр., побудувати прогностичні моделі для оцінки тренду розвитку меліоративної ситуації та виконати картування засоленості земель.

Матеріали та методика досліджень. Для оцінки багаторічної динаміки просторового розподілу та ступеня засолення ґрунтів Інгулецького зрошуваного масиву було застосовано інструментарій геоінформаційного аналізу та дані дистанційного зондування Землі, доступні в рамках функціоналу хмарної платформи Google Earth Engine (GEE). Межі об'єкта дослідження визначено за допомогою просторового обрізання прямокутною геометрією (32.5°–33.2° E, 46.7°–47.3° N), що повністю охоплює необхідний масив зрошуваних земель, розташований у Миколаївській і Херсонській областях. Для виконання дослідження було обрано мультиспектральні супутникові знімки MODIS (продукт MOD09A1, просторова роздільна здатність 500 м, ідеальна для регіонального визначення) за 27-річний період (2000–2026 рр.). Для усунення спотворень від рослинного покриву (природного та від агроекосистем) та відбиття від водних об'єктів і забудови, період оцінки обмежено літньо-осіннім вікном (з 15 липня по 15 жовтня), коли значна частина ріллі перебуває у стані стерні або відкритого ґрунту. Для кожного року формувалася медіанна композиція відбивної здатності у короткохвильовому інфрачервоному спектральному діапазоні (короткохвильові канали SWIR1: 1628–1652 нм та SWIR2: 2105–2155 нм), що мінімізувало супутній вплив хмарності та атмосферних перешкод.

Для оцінки ступеня засоленості ґрунтів використовували нормалізований диференційний індекс засолення (Normalized Difference Salinity Index, NDSI), який розраховується як відношення різниці відбиття у спектральних каналах SWIR1 та SWIR2 до їх суми. Вибір даного індексу обґрунтований високою чутливістю комбінації спектральних каналів SWIR1 та SWIR2 до кристалічних сольових кірок і мінералізованого поверхневого шару ґрунту, що дозволяє чітко диференціювати відкриті засолені ділянки від незасолених масивів. З метою виключення змішування спектральних сигналів і хибного результату (зокрема, пов'язаного з прямим впливом відбиття русла річок Інгулець та Дніпро) застосовано просторову фільтрацію шляхом векторного маскування гідрографічних об'єктів (буферизація русел на 250 м) з наступним накладанням маски суходолу. Картування та часова динаміка аналізувалися шляхом просторового усереднення даних за трьома 9-річними часовими періодами: 2000–2008, 2009–2017 та 2018–2026 рр. Використання хмарної платформи GEE забезпечило автоматизовану потокову обробку великих обсягів супутникової інформації, єдність калібрування даних за часовим рядом та високу відтворюваність математико-картографічного моделювання. Роботу з платформою виконували шляхом написання скрипта для картування та розрахункової роботи мовою JavaScript ES6.

Напрям тренду та його статистичну значущість встановлювали за допомогою тесту Манна-Кендалла [7]. Прогнозування подальшого розвитку меліоративної ситуації на Інгулецькому зрошуваному масиві на 5 років вперед (до 2030 року включно) виконували за двома алгоритмами – за лінійним експоненційним згладжуванням за Хольтом, та ауторегресійною моделлю інтегрованого ковзного середнього (ARIMA) [1, 18]. Розрахунки виконували із використанням бібліотек pandas, numpy, statsmodels, pymannkendall у мові програмування Python 3 за $p < 0.05$.

Таблиця 1 – Величина супутникового нормалізованого диференційного індексу засолення (NDSI) для ґрунтів Інгулецького зрошуваного масиву за період 2000–2026 рр.

Рік	Величина індексу			
	Мінімальна	Середня	Максимальна	±SD (CV)
2000	0,03	0,18	0,72	0,10 (55,56%)
2001	0,04	0,17	0,69	0,06 (35,29%)
2002	0,06	0,17	0,43	0,06 (35,29%)
2003	0,04	0,16	0,44	0,06 (37,50%)
2004	0,06	0,19	0,44	0,05 (26,32%)
2005	0,05	0,16	0,38	0,05 (31,25%)
2006	0,04	0,15	0,36	0,04 (26,67%)
2007	0,04	0,12	0,38	0,04 (33,33%)
2008	0,04	0,17	0,45	0,06 (35,29%)
2009	0,05	0,15	0,47	0,05 (33,33%)
2010	0,06	0,17	0,57	0,07 (41,18%)
2011	0,04	0,14	0,49	0,05 (35,71%)
2012	0,04	0,13	0,47	0,05 (38,46%)
2013	0,05	0,15	0,36	0,04 (26,67%)
2014	0,04	0,13	0,45	0,05 (38,46%)
2015	0,07	0,17	0,34	0,05 (29,41%)
2016	0,06	0,16	0,40	0,04 (25,00%)
2017	-0,12	0,14	0,39	0,05 (35,71%)
2018	0,01	0,14	0,63	0,07 (50,00%)
2019	0,05	0,14	0,50	0,05 (35,71%)
2020	0,04	0,13	0,45	0,05 (38,46%)
2021	0,05	0,17	0,51	0,06 (35,29%)
2022	0,05	0,17	0,59	0,06 (35,29%)
2023	0,05	0,17	0,46	0,05 (29,41%)
2024	0,05	0,15	0,68	0,06 (40,00%)
2025	0,04	0,15	0,38	0,05 (33,33%)
2026	0,06	0,17	0,60	0,06 (35,29%)

Результати досліджень. У результаті виконання обчислень у Google Earth Engine було сформовано вихідну базу даних щодо величини NDSI по роках досліджень із описовою статистикою (табл. 1). За роками дослідження помітно, що в рамках Інгулецького зрошуваного масиву показник мав доволі сильне варіювання (в межах 25–56%), що пояснюється високою неоднорідністю ґрунтового покриву, а також різним ступенем засоленості земель в межах масиву. Найбільша середня та максимальна величина NDSI, так само як і максимальне варіювання індексу, зафіксовано для 2000 року. Найменша середня величина зафіксована у 2007 році, у той час як найменший максимум – у 2015 році. В цілому, за весь період дослідження середня величина індексу NDSI коливалася в межах від 0,12 до 0,18, що приблизно відповідає 0,05–0,06% фізичного вмісту солей у верхньому шарі ґрунту, або низькому ступеню засолення. Втім, в окремих точках спостерігається сильне засолення ґрунтів на рівні 0,16–0,20% (величина NDSI в межах 0,60–0,75).

Оцінка тренду засолення за величиною індексу NDSI засвідчила про наявність статистично істотної тенденції до зменшення інтенсивності засолення ґрунтів усереднено по всьому Інгулецькому зрошуваному масиву за досліджуваний 27-річний період (табл. 2).

Таблиця 2 – Аналіз тренду засолення ґрунтів Інгулецького зрошуваного масиву за величиною супутникового нормалізованого диференційного індексу засолення (NDSI), методика Манн-Кендалла

Статистичний показник	Величина
S-статистика	-67
Z-статистика	-2,10
p-статистика	0,0357
Нахил Сена	-0,00083 на рік

Прогнозування подальшого розвитку меліоративної ситуації на ґрунтах Інгулецького зрошуваного масиву за методами Хольта та ауторегресійною моделлю дозволило встановити декілька можливих сценаріїв. У першу чергу, зупинимо увагу на лінійному прогнозі за Хольтом (табл. 3).

В цілому, точковий прогноз вказує, що до 2030 року середній за зрошуваним масивом NDSI може стабільно знизитися до 0,1515, що на 1,9% нижче середньої величини за період 2018–2026 рр. У той самий час, сценарії розвитку по нижній межі прогнозу свідчать про вірогідність падіння величини NDSI до 0,1136 (або на 35,9%). За найменш сприятливого сценарію прогнозу по верхній межі рівень

засолення може сягнути свого історичного максимуму у майже 0,19. Варто зазначити, що середня абсолютна похибка прогнозу становила 0,0128 або 8,31%, що свідчить про високу точність моделі [13].

Для часового ряду за критерієм інформативності Акаіке (AICc) обрано оптимальну специфікацію ARIMA(0,1,1). Точність моделі дещо поступається лінійній інтерполяції за Хольтом (середня похибка 0,0131 проти 0,0128), але тест Льюнга-Бокса на «білий шум» залишків засвідчив, що залишки моделі є невипадковими, і модель має високу адекватність (Q = 8,42, p = 0,393) [3]. Прогнозовані величини досліджуваного індексу засоленості наведено в табл. 4.

Модель ARIMA враховує локальні сплески останніх років (2022, 2023, 2026 рр., де NDSI зростав до 0,17) та коригує прогноз на користь виваженого середнього рівня (0,161) із поступовим розширенням довірчого інтервалу через невизначеність майбутніх коливань. Таким чином, сценарій прогнозований за ауторегресійною моделлю є більш песимістичний, і свідчить про вищу вірогідність збереження поточного рівня засоленості ґрунтів Інгулецького зрошуваного масиву з певною тенденцією до можливого погіршення ситуації.

Засобами картування Google Earth Engine нами було створено мапу досліджуваного Інгулецького зрошуваного масиву відносно території України (рис. 1), а також динамічні зображення середньозваженого по 9-річних періодах NDSI (рис. 2). Мінімальна середня величина супутникового NDSI зафіксована для періоду 2009–2017 рр. (0,149), у той час як максимальна – в початковий період 2000–2008 рр. (0,160). Варто відзначити, що мінімальна величина індексу засоленості співпадає із періодом введення в експлуатацію нового методу поліпшення якості поливної води в Інгулецькій зрошувальній системі [11]. А враховуючи, що зрошувальна вода є основним джерелом вторинного засолення і осолонцювання ґрунтів досліджуваного масиву, цілком логічно, що поліпшення якості поливної води має позитивний відгук ґрунтового покриву.



Рис. 1. Розташування Інгулецького зрошуваного масиву

Таблиця 3 – Прогнозування ступеня засолення ґрунтів Інгулецького зрошуваного масиву за величиною супутникового нормалізованого диференційного індексу засолення (NDSI), метод Хольта

Рік	Точковий прогноз	95% нижня межа	95% верхня межа
2027	0,1548	0,1240	0,1856
2028	0,1537	0,1207	0,1867
2029	0,1526	0,1172	0,1880
2030	0,1515	0,1136	0,1894

Таблиця 3 – Прогнозування ступеня засолення ґрунтів Інгулецького зрошуваного масиву за величиною супутникового нормалізованого диференційного індексу засолення (NDSI), метод ARIMA

Рік	Точковий прогноз	95% нижня межа	95% верхня межа
2027	0,1609	0,1249	0,1969
2028	0,1609	0,1211	0,2007
2029	0,1609	0,1177	0,2041
2030	0,1609	0,1146	0,2072

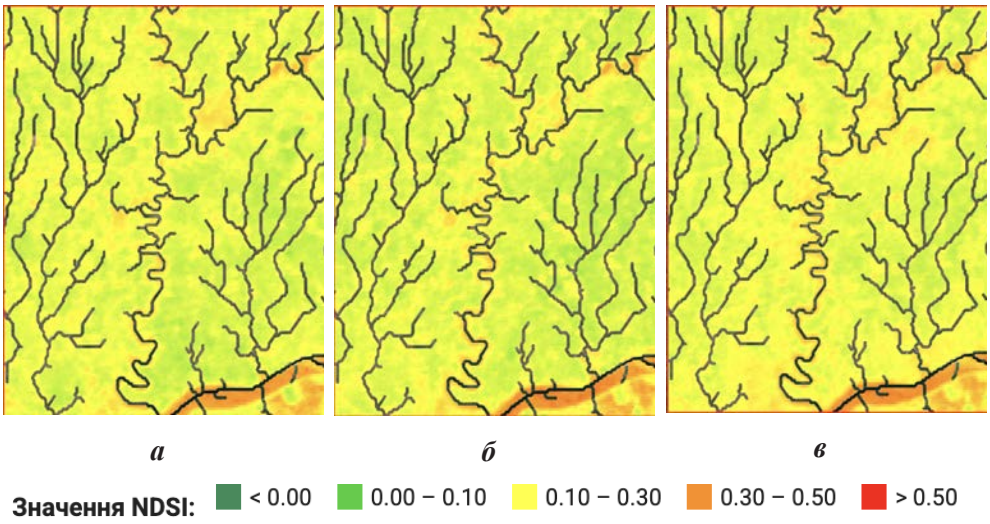


Рис. 2. Динаміка середньозваженого NDSI на ґрунтах Інгулецького зрошуваного масиву за 9-річні періоди: а) 2000–2008 рр.; б) 2009–2017 рр.; в) 2018–2026 рр.

Погіршення стану у період 2018–2026 рр. пов'язане, на нашу думку, в першу чергу зі зниженням культури землеробства та виведенням великих площ зрошуваних земель із обробітку внаслідок бойових дій. Крім того, воєнні дії могли спричинити прямий негативний вплив на сольовий режим уражених мілітарною активністю ґрунтів, оскільки встановлено, що ґрунти накопичують залишки токсичних хімічних речовин різного складу техногенного походження, які залишаються після активних бойових дій. Так, наприклад, встановлено, що артилерійські снаряди, що містять фосфор, спричиняють викиди фосфорної кислоти, яка забруднює ґрунт і викликає його підкислення та стимулює відкладення токсичних солей [2]. В цілому за досліджуваними 9-річними періодами зафіксовано мінімальне коливання величини NDSI, що помітно на картограмах – фактично, кольорова схема є незмінною, із незначними відмінностями у відтінках. Таким чином, динаміка зміни засолення ґрунтів Інгулецького зрошуваного масиву відрізняється доволі повільними змінами у часовому розрізі, і фактично без змін у просторовому розподілі незасолених і засолених ґрунтів.

Висновки. Використання інструментарію Google Earth Engine та нормалізованого диференційного індексу засолення (NDSI) є сучасною альтернативою високовитратним і трудомістким ґрунтовим зйомкам, забезпечує високу точність та відтворюваність моніторингу засолення земель на регіональному рівні. Отримані результати свідчать про можливу поступову стабілізацію та загальну позитивну динаміку зміщення сольового режиму ґрунтів Інгулецького зрошуваного масиву, однак наявність локальних сплесків вимагає подальшого впровадження адаптивних засобів контролю та оптимізації зрошувальних норм і ретельного моніторингу якості поливної води та проведення відповідних еколого-меліоративних заходів із попередження деградації ґрунтів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Alfaki M. M. A., Masih S. B. Modeling and forecasting by using time series ARIMA models. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2015. Vol. 4. No. 3. P. 2278–0181

2. Biyashev B., Drobitko A., Markova N., Bondar A., Pismenniy O. Chemical analysis of the state of Ukrainian soils in the combat zone. *International Journal of Environmental Studies*. 2024. Vol. 81. No. 1. P. 199–207. DOI: https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2271754

3. Dare J., Patrick A. O., Oyewola D. O. Comparison of stationarity on Ljung box test statistics for forecasting. *Earthline Journal of Mathematical Sciences*. 2022. Vol. 8. No. 2. P. 325–336. DOI: https://doi.org/10.34198/ejms.8222.325336

4. Gojiya K. M., Rank H. D., Chauhan P. M., Patel D. V., Satasiya R. M., Prajapati G. V. Remote sensing and GIS applications in soil salinity analysis: A comprehensive review. *International Journal of Environment and Climate Change*. 2023. Vol. 13. No. 11. P. 2149–2161. DOI: https://doi.org/10.9734/IJECC/2023/v13i113377

5. Haq Y. U., Shahbaz M., Asif H. S., Al-Laith A., Alsabban W. H. Spatial mapping of soil salinity using machine learning and remote sensing in Kot Addu, Pakistan. *Sustainability*. 2023. Vol. 15. No. 17. P. 12943. DOI: https://doi.org/10.3390/su151712943

6. Hossen B., Yabar H., Faruque M. J. Exploring the potential of soil salinity assessment through remote sensing and GIS: Case study in the coastal rural areas of Bangladesh. *Land*. 2022. Vol. 11. No. 10. P. 1784. DOI: https://doi.org/10.3390/land11101784

7. Hussain M., Mahmud I. pyMannKendall: a python package for non parametric Mann Kendall family of trend tests. *Journal of Open Source Software*. 2019. Vol. 4. No. 39. P. 1556. DOI: https://doi.org/10.21105/joss.01556

8. Kılıc O. M., Budak M., Gunal E., Acır N., Halbac-Cotoara-Zamfir R., Alfarraj S., Ansari M. J. Soil salinity assessment of a natural pasture using remote sensing techniques in central Anatolia, Turkey. *PLOS ONE*. 2022.

Vol. 17. No. 4. P. e0266915. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266915

9. Liu C., Jiang X., Yuan Z. Plant responses and adaptations to salt stress: A review. *Horticulturae*. 2024. Vol. 10. No. 11. P. 1221. DOI: https://doi.org/10.3390/horticulturae10111221

10. Lykhovyd P. V. A case study on the possibility of soil meliorative state assessment by remote sensing data. *Grail of Science*. 2023. Vol. 27. P. 226–230. DOI: https://doi.org/10.36074/grail-of-science.12.05.2023.034

11. Lykhovyd P. V., Kozlenko Y. V. Assessment and forecast of water quality in the River Ingulets irrigation system. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. Vol. 8. No. 1. P. 350–355. DOI: https://doi.org/10.15421/2018_221

12. Mehla M. K., Kumar A., Kumar S., Jhorar R. K. Soil salinity assessment and mapping using spectral indices and geostatistical techniques-concepts and reviews. *Remote Sensing of Soils*. Elsevier, 2024. P. 429–437. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18773-5.00019-3

13. Moreno J. J. M., Pol A. P., Abad A. S., Blasco B. C. Using the R-MAPE index as a resistant measure of forecast accuracy. *Psicothema*. 2013. Vol. 25. No. 4. P. 500–506. DOI: https://doi.org/10.7334/psicothema2013.23

14. Oymatov R., Teshaev N., Makhsudov R., Safarov F. Analysis of soil salinity in irrigated agricultural land using remote sensing data: case study of Chinoz district in Uzbekistan. *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 401. P. 02004. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340102004

15. Sahbeni G., Ngabire M., Musyimi P. K., Székely B. Challenges and opportunities in remote sensing for soil salinization mapping and monitoring: A review. *Remote Sensing*. 2023. Vol. 15. No. 10. P. 2540. DOI: https://doi.org/10.3390/rs15102540

16. Singh A. Soil salinity: A global threat to sustainable development. *Soil Use and Management*. 2022. Vol. 38. No. 1. P. 39–67. DOI: https://doi.org/10.1111/sum.12772

17. Thangarasu T., Mengash H. A., Allafi R., Mahgoub H. Spatial prediction of soil salinity: Remote sensing and machine learning approach. *Journal of South American Earth Sciences*. 2025. Vol. 156. P. 105440. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jsames.2025.105440

18. Yapar G., Capar S., Selamlar H. T., Yavuz I. Modified Holt's linear trend method. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*. 2018. Vol. 47. No. 5. P. 1394–1403. DOI: https://doi.org/10.15672/HJMS.2017.493

REFERENCES:

1. Alfaki, M. M. A., & Masih, S. B. (2015). Modeling and forecasting by using time series ARIMA models. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 4(3), 2278–0181

2. Biyashev, B., Drobitko, A., Markova, N., Bondar, A., & Pismenniy, O. (2024). Chemical analysis of the state of Ukrainian soils in the combat zone. *International Journal of Environmental Studies*, 81(1), 199–207. https://doi.org/10.1080/00207233.2023.2271754

3. Dare, J., Patrick, A. O., & Oyewola, D. O. (2022). Comparison of stationarity on Ljung box test statistics for forecasting. *Earthline Journal of Mathematical Sciences*, 8(2), 325–336. https://doi.org/10.34198/ejms.8222.325336

4. Gojiya, K. M., Rank, H. D., Chauhan, P. M., Patel, D. V., Satasiya, R. M., & Prajapati, G. V. (2023). Remote sensing and GIS applications in soil salinity analysis: A comprehensive review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(11), 2149–2161. https://doi.org/10.9734/IJECC/2023/v13i113377

5. Haq, Y. U., Shahbaz, M., Asif, H. S., Al-Laith, A., & Alsabban, W. H. (2023). Spatial mapping of soil salinity using machine learning and remote sensing in Kot Addu, Pakistan. *Sustainability*, 15(17), 12943. https://doi.org/10.3390/su151712943

6. Hossen, B., Yabar, H., & Faruque, M. J. (2022). Exploring the potential of soil salinity assessment through remote sensing and GIS: Case study in the coastal rural areas of Bangladesh. *Land*, 11(10), 1784. https://doi.org/10.3390/land11101784

7. Hussain, M., & Mahmud, I. (2019). pyMannKendall: a python package for non parametric Mann Kendall family of trend tests. *Journal of Open Source Software*, 4(39), 1556. https://doi.org/10.21105/joss.01556

8. Kılıc, O. M., Budak, M., Gunal, E., Acır, N., Halbac-Cotoara-Zamfir, R., Alfarraj, S., & Ansari, M. J. (2022). Soil salinity assessment of a natural pasture using remote sensing techniques in central Anatolia, Turkey. *PLOS ONE*, 17(4), e0266915. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266915

9. Liu, C., Jiang, X., & Yuan, Z. (2024). Plant responses and adaptations to salt stress: A review. *Horticulturae*, 10(11), 1221. https://doi.org/10.3390/horticulturae10111221

10. Lykhovyd, P. V. (2023). A case study on the possibility of soil meliorative state assessment by remote sensing data. *Grail of Science*, 27, 226–230. https://doi.org/10.36074/grail-of-science.12.05.2023.034

11. Lykhovyd, P. V., & Kozlenko, Y. V. (2018). Assessment and forecast of water quality in the River Ingulets irrigation system. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(1), 350–355. https://doi.org/10.15421/2018_221

12.Mehla, M. K., Kumar, A., Kumar, S., & Jhorar, R. K. (2024). Soil salinity assessment and mapping using spectral indices and geostatistical techniques-concepts and reviews. In *Remote Sensing of Soils* (pp. 429–437). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18773-5.00019-3

13. Moreno, J. J. M., Pol, A. P., Abad, A. S., & Blasco, B. C. (2013). Using the R-MAPE index as a resistant measure of forecast accuracy. *Psicothema*, 25(4), 500–506. https://doi.org/10.7334/psicothema2013.23

14. Oymatov, R., Teshaev, N., Makhsudov, R., & Safarov, F. (2023). Analysis of soil salinity in irrigated agricultural land using remote sensing data: case study of Chinoz district in Uzbekistan. *E3S Web of Conferences*, 401, 02004. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340102004

15. Sahbeni, G., Ngabire, M., Musyimi, P. K., & Székely, B. (2023). Challenges and opportunities in remote sensing for soil salinization mapping and monitoring: A review. *Remote Sensing*, 15(10), 2540. https://doi.org/10.3390/rs15102540

16. Singh, A. (2022). Soil salinity: A global threat to sustainable development. *Soil Use and Management*, 38(1), 39–67. https://doi.org/10.1111/sum.12772

17. Thangarasu, T., Mengash, H. A., Allafi, R., & Mahgoub, H. (2025). Spatial prediction of soil salinity: Remote sensing and machine learning approach. *Journal of South American Earth Sciences*, 156, 105440. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2025.105440

18. Yapar, G., Capar, S., Selamlar, H. T., & Yavuz, I. (2018). Modified Holt's linear trend method. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 47(5), 1394–1403. https://doi.org/10.15672/HJMS.2017.493

Лиховид П.В., Ретьман М.С., Каращук Г.В., Жуйков О.Г., Казанок О.О. Моніторинг засолення ґрунтів Інгулецького зрошуваного масиву за аерокосмічними даними

Мета. Дослідження присвячено оцінці багаторічної просторово-часової динаміки засолення ґрунтів масиву Інгулецької зрошувальної системи за 2000–2026 рр. на основі даних дистанційного зондування Землі, а також математичному моделюванню та короткостроковому прогнозуванню подальших змін меліоративного стану зрошуваних земель до 2030 року.

Методи. Робота базується на аналізі мультиспектральних супутникових знімків MODIS (продукт MOD09A1, роздільна здатність 500 м) у середовищі хмарної платформи Google Earth Engine (GEE). Для мінімізації впливу вегетаційного покриву та варіацій зволоження використано часове вікно з 15 липня по 15 жовтня. Оцінку рівнів засолення здійснено за допомогою нормалізованого диференційного індексу засолення (NDSI). Для виключення хибних сигналів застосовано просторове векторне маскування гідрографічної мережі. Довгострокові тренди оцінено за допомогою непараметричного тесту Манн-Кендалла. Моделювання та прогнозування часового ряду (2027–2030 рр.) виконано за методами лінійного згладжування Хольта та авторегресійної моделі на основі інтегрованого ковзного середнього ARIMA(0,1,1).

Результати. Виявлено статистично значущий спадний тренд показника NDSI за 27-річний період (статистика S = -67, Z = -2,10, p < 0,05), що свідчить про поступове зниження інтенсивності засолення ґрунтів із середньою швидкістю -0,00083 на рік. Усереднені значення NDSI по 9-річних періодах склали: 0,1600 (2000–2008 рр.), 0,1489 (2009–2017 рр.) та 0,1522 (2018–2026 рр.). Побудовані моделі прогнозування продемонстрували високу точність. За моделлю Хольта очікується продовження плавної деградації індексу засоленості до 0,1515 у 2030 році, тоді як модель ARIMA(0,1,1) передбачає стабілізацію показника на рівні 0,1609 з урахуванням локальних флуктуацій останніх років. За результатами розрахунків було побудовано картограми розподілу індексу NDSI в межах Інгулецького зрошуваного масиву за досліджуваними 9-річними періодами.

Висновки. Використання інструментарію GEE та індексу NDSI забезпечує високу точність та відтворюваність моніторингу засолених земель на регіональному рівні. Отримані результати підтверджують поступову стабілізацію та загальну позитивну спрямованість зміщення сольового режиму ґрунтів Інгулецького масиву, однак наявність локальних сплесків вимагає подальшого впровадження адаптивних засобів контролю та оптимізації полівних норм.

Ключові слова: агроекологічний моніторинг, меліорація земель, MODIS, NDSI, супутниковий моніторинг.

Lykhovyd P.V., Retman M.S., Karashchuk G.V., Zhuikov O.H., Kazanok O.O. Monitoring salinity in soils of the Ingulets irrigation array using aerospace data

Purpose. The study is devoted to evaluating the long-term spatiotemporal dynamics of soil salinity within the Ingulets irrigation system array for the period of 2000–2026 based on Earth observation data, as well as mathematical modeling and short-term forecasting of further changes in the reclamation status of irrigated lands up to 2030.

Methods. The work is based on the analysis of multispectral MODIS satellite imagery (MOD09A1 product, 500 m spatial resolution) within the Google Earth Engine (GEE) cloud platform. To minimize the influence of vegetation cover and soil moisture variations, a temporal window from July 15 to October 15 was utilized. Soil salinity levels were evaluated using the Normalized Difference Salinity Index (NDSI). To exclude false signals, spatial vector masking of the hydrographic network was applied. Long-term trends were assessed using the non-parametric Mann-Kendall test. Time series modeling and forecasting (2027–2030) were performed using Holt's linear exponential smoothing and an autoregressive integrated moving average model, ARIMA(0,1,1).

Results. A statistically significant downward trend in the NDSI metric was identified over the 27-year period (statistic S = -67, Z = -2.10, p < 0.05), indicating a gradual reduction in soil salinity intensity at an average rate of -0.00083 per year. The averaged NDSI values across 9-year periods were 0.1600 (2000–2008), 0.1489 (2009–2017), and 0.1522 (2018–2026). The constructed predictive models demonstrated high accuracy. According to Holt's model, a continued smooth decline in the salinity index to 0.1515 is expected by 2030, whereas the ARIMA(0,1,1) model projects stabilization at 0.1609, accounting for local fluctuations in recent years. Based on the calculation results, maps of NDSI index distribution within the Ingulets irrigation array were generated for the analyzed 9-year periods.

Conclusions. The application of GEE tools and the NDSI index provides high accuracy and reproducibility for regional monitoring of saline lands. The obtained results confirm a gradual stabilization and an overall positive shift in the soil salt regime of the Ingulets array; however, the presence of localized spikes highlights the need for adaptive monitoring techniques and optimized irrigation regimes.

Key words: agroecological monitoring, land reclamation, MODIS, NDSI, satellite monitoring.

Дата першого надходження статті до видання: 09.09.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 26.10.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.11.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

УДК 635.63:631.559:631.674.6(477.7)
DOI DOI https://doi.org/10.32848/0135-2369.2026.86.6

УРОЖАЙНІСТЬ ПЛОДІВ ОГІРКА РІЗНИХ ТОВАРНИХ ФРАКЦІЙ ЗАЛЕЖНО ВІД ГІБРИДУ, БІОПРЕПАРАТІВ І МІКРОДОБРИВ ЗА КРАПЛИННОГО ЗРОШЕННЯ В УМОВАХ ПІВДЕННОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

МЕДОНЧАК О.В. – аспірант
orcid.org/0009-0007-1065-7558
Миколаївський національний аграрний університет
ХОНЕНКО Л.Г. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент
orcid.org/0000-0002-5365-8768
Миколаївський національний аграрний університет

Постановкапроблеми.Огірок(*Cucumissativus*L.) належить до найпоширеніших овочевих культур світу, а його виробництво має важливе продовольче та економічне значення. Водночас у зоні Південного Степу України, що характеризується хронічним дефіцитом атмосферного зволоження, високим рівнем сонячної радіації та зростаючою частотою теплових аномалій, вирощування цієї вологолюбної культури є складним науково-практичним завданням. Аридизація клімату останніх років, збільшення тривалості бездощових періодів та почастішання екстремально високих температур повітря істотно лімітують ростові й генеративні процеси рослин огірка, знижуючи як загальну врожайність плодів, так і якість товарної продукції.

Краплинне зрошення є обов'язковим елементом сучасної технології вирощування огірка в цій зоні, оскільки забезпечує стабілізацію водопостачання кореневої зони. Проте навіть за оптимального водного режиму культура залишається чутливою до перегрівання надземної частини рослин, порушення фотосинтетичної діяльності листкового апарату, зниження інтенсивності цвітіння та формування зав'язі. Саме тому важливого значення набуває пошук елементів технології, які підвищують адаптивність рослин, стабілізують продукційний процес та мінімізують наслідки погодних аномалій. До таких елементів належать сучасні мікродобрива та біопрепарати, а також раціональний добір високопродуктивних адаптованих гібридів.

У практиці овочівництва для огірка важлива не лише сумарна загальна врожайність плодів, а й структура товарної продукції, оскільки плоди різних розмірних стандартів мають різну ринкову вартість та неоднакову трудомісткість збирання. Тому дослідження формування врожайності огірка за окремими товарними стандартами плодів є актуальним завданням, що безпосередньо пов'язане з підвищенням ефективності зрошуваного овочівництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням продуктивності огірка та впливу агротехнологічних чинників на його врожайність присвячено значну кількість наукових праць. Проведеними дослідженнями встановлено, що врожайність культури істотно залежить від генотипових особливостей гібриду, умов вирощування та рівнів мінерального і біологічного живлення [2, 3]. Ресурси сучасних гібридів огірка та способи їх використання, зокрема партенокарпічних форм корнішонного типу, детально обґрунтовано у працях вітчизняних селекціонерів [4, 14].

Значну увагу приділено ролі біопрепаратів у підвищенні продуктивності овочевих культур. Встановлено позитивний вплив бактеріальних препаратів на енергію проростання та схожість насіння огірка [6], а також на формування структурних елементів урожаю за впливу біопрепаратів у захищеному ґрунті [10]. Дослідники відзначають ефективність застосування органічних, гумінових і нанодобрив для поліпшення мінерального живлення та підвищення врожайності сільськогосподарських культур, зокрема і огірка [11, 12]. Позакореневе підживлення рослин розглядається як дієвий засіб стабілізації продукційного процесу за несприятливих погодних умов [13].

Окремий напрям досліджень стосується залежності продуктивності овочевих культур від агрокліматичних умов. Установлено, що клімат є одним із визначальних чинників формування врожаю овочів в Україні, а зростання аридності та частоти теплових аномалій істотно ускладнює вирощування вологолюбних культур [8]. У цьому контексті особливого значення набуває застосування хелатних форм мікроелементів та біологічно активних препаратів, ефективність яких, за даними досліджень у світі, в аридних і напіваридних умовах забезпечує від 11 до 24% приросту врожайності овочевих культур [12, 15]. Водночас реакція культури на такі препарати значною мірою залежить від генотипу, що зумовлює доцільність вивчення поєднання гібридного складу та елементів живлення.

Поряд із цим питання комплексного впливу мікродобрив, біопрепаратів, гібриду та стандарту вибірки плодів на продуктивність огірка за краплинного зрошення в умовах Південного Степу України залишається недостатньо вивченим. Особливо бракує даних щодо диференційованої оцінки врожайності за товарними фракціями плодів у роки з контрастними гідротермічними умовами, чим і обумовлено доцільність проведення даного дослідження [16].

Метою досліджень було науково обґрунтувати вплив гібридного складу, біопрепаратів та мікродобрив на формування врожайності плодів огірка різних товарних стандартів (SS, LS, TR) за краплинного зрошення в умовах Південного Степу України,

а також визначити найбільш продуктивне поєднання цих елементів технології для років із різними гідротермічними умовами.

Матеріали та методика досліджень. Трифакторний польовий дослід проведено впродовж 2023–2025 рр. на базі Навчально-науково-практичного центру (ННПЦ) Миколаївського національного аграрного університету (МНАУ), розташованого в зоні Південного Степу України. Схемою досліду було передбачено вивчення трьох факторів: фактор А – гібрид огірка (Кібрія F1, Мадейра F1); фактор В – біопрепарат (контроль без застосування біопрепаратів, Азотофіт, Органік-баланс); фактор С – мікродобриво (контроль без застосування мікродобрив, Росток огірки, Квантум ПЛАТИНУМ).

Рослини вирощували за краплинного зрошення сезонною нормою 4100–4400 м³/га за схемою сівби 200×26,5 см, що відповідає густоті 20 300 рослин/га. Облік урожайності проводили за трьома товарними стандартами вибірки плодів: SS (пікулі, діаметр плоду до 1,0 см), LS (корнішони, діаметр 3,0–3,5 см) та TR (зеленці, довжина 9–12 см). У роботі використано польовий, вимірювально-ваговий, порівняльний та математично-статистичний методи досліджень.

Погодно-кліматичні умови років досліджень суттєво відрізнялися: 2023 рік характеризувався відносно сприятливим гідротермічним режимом (ГТК 0,48–0,52); 2024 рік виявився аномально посушливим і спекотним (ГТК 0,25–0,28, абсолютний максимум температури +41,6 °С – 16 липня); 2025 рік був помірно посушливим (ГТК 0,32–0,38, максимум +39,6 °С – 9 липня). Така контрастність між роками обумовила створення природного навантаження щодо виявлення жаростійкості гібридів та ефективності агрохімічних засобів за різних гідротермічних умов [1, 8].

Результати досліджень. Урожайність плодів огірка є інтегральним показником реалізації генетичного потенціалу гібриду в конкретних агрокліматичних умовах і визначається сукупністю біотичних та абіотичних чинників. Проведеними дослідженнями встановлено, що формування врожайності плодів огірка істотно залежало від взаємодії всіх трьох досліджуваних факторів, причому ця реакція проявлялася як на рівні окремих комбінацій, так і за середніми значеннями по кожному з факторів. Оскільки дослід проводили в умовах краплинного зрошення, водний режим рослин був аналогічним за роками, що дало змогу об'єктивніше оцінити саме вплив елементів живлення та біопрепаратного супроводу на продуктивність культури.

2023 рік був найсприятливішим за гідротермічним режимом із трьох років вирощування і дозволив найповніше реалізувати генетичний потенціал обох гібридів. Загальна середня врожайність гібриду Кібрія F1 за абсолютного контролю становила 40,499 т/га; застосування біопрепарату Азотофіт на контрольному фоні мікродобрива підвищувало її до 43,116 т/га, а Органік-балансу – до 45,552 т/га. За використання мікродобрива Квантум ПЛАТИНУМ відповідні значення зростали до 46,202; 49,277 та 52,848 т/га. Гібрид Мадейра F1 у всіх без винятку варіантах перевищував Кібрія F1: у абсолютному контролі його врожайність становила 45,122 т/га, тобто була на 4,623 т/га вищою (табл. 1).

Найнижчий загальний урожай плодів огірка у 2023 році забезпечив гібрид Кібрія F1, у контролі без біопрепарату і без мікродобрива – 40,499 т/га, а найвищий – за вирощування гібриду Мадейра F1 та обробки рослин Органік-баланс + Квантум ПЛАТИНУМ – 57,941 т/га. Різниця між крайніми варіантами склала 17,442 т/га, що свідчить про високий сумарний ефект як генотипу, так і досліджуваних елементів. У середньому по всіх варіантах гібрид Мадейра F1 сформував 51,00 т/га, що на 4,55 т/га перевищувало показник гібриду Кібрія F1 (46,45 т/га).

Вегетаційний період 2024 року виявився найважчим для вирощування огірків в умовах Південного Степу: гідротермічний коефіцієнт за травень–вересень становив 0,25–0,28 – удвічі нижче від критичного значення 0,5, а 16 липня абсолютний регіональний рекорд температури склав +41,6 °С. Такі умови спричинили теплову депресію рослин огірків у період цвітіння і зав'язування плодів та знизили загальний потенціал урожайності на 35–40% порівняно з 2023 роком.

Попри це загальна закономірність дії факторів зберігалася: продуктивність послідовно зростала від контролю до інтенсивніших варіантів технології, а гібрид Мадейра F1 знову перевищував гібрид Кібрія F1 у всіх комбінаціях (табл. 2).

Найменшу сумарну врожайність плодів огірка у 2024 році сформовано гібридом Кібрія F1 у варіанті абсолютного контроля – 25,367 т/га, а найвищу –

Таблиця 1 – Загальна середня врожайність плодів огірка (SS+LS+TR) за 2023 рік, т/га

Гібрид (фактор А)	Біопрепарат (фактор В)	Мікродобриво (фактор С)			Середнє за 2023–2025 рр.
		контроль – обробка водою	Росток огірки	Квантум ПЛАТИНУМ	
Кібрія F1	контроль – обробка водою	40,499	43,803	46,202	43,500
	Азотофіт	43,116	46,889	49,277	46,427
	Органік-баланс	45,552	49,815	52,848	49,407
Середнє по гібриду Кібрія F1		**43,056**	**46,837**	**49,442**	**46,445**
Мадейра F1	контроль – обробка водою	45,122	48,373	51,166	48,220
	Азотофіт	48,192	50,747	53,806	50,916
	Органік-баланс	50,024	53,636	57,941	53,867
Середнє по гібриду Мадейра F		**47,778**	50,919	54,306	51,000

Примітка. Схема 200×26,5 см, 20300 рослин/га. Краплинне зрошення. Жирним виділено середні значення. ГТК 2023: 0,48–0,52. Складено за власними даними авторів.

у гібриду Мадейра F1 + Органік-баланс + Квантум ПЛАТИНУМ – 40,215 т/га (різниця 14,848 т/га). Зазначимо, що недобір урожаю плодів в екстремальному році у гібрида Мадейра F1 був дещо меншим (32,2%), ніж у гібрида Кібрія F1 (35,4%), що вказує на вищу адаптивність цього гібриду до високих температур та більш посилену здатність утримувати зав'язь і продовжувати плодоношення за стресових умов повітряного середовища.

У 2025 році за помірно посушливих умов (ГТК 0,32–0,38) продуктивність культури порівняно до 2024 року частково відновилася. Загальна середня врожайність становила по гібриду Кібрія F1 31,48 т/га, а гібриду Мадейра F1 – 36,28 т/га, тобто перевищувала рівень 2024 року біля 5%, але ще не досягала значень найбільш оптимального 2023 року. Максимальну врожайність (49,930 т/га) було отримано на посівах гібриду Мадейра F1 у варіанті з комплексним застосуванням Органік-балансу та Квантум ПЛАТИНУМ за вибірки зеленців. Часткове відновлення продуктивності у 2025 році порівняно з 2024 роком є закономірним і відповідає моделі адаптивного відновлення партенокарпічних гібридів за помірного стресу [1, 16].

Найповніше закономірності впливу досліджуваних факторів проявляються під час аналізу середніх значень показників (табл. 3).

Дані свідчать, що в середньому за три роки нижчу продуктивність забезпечував гібрид Кібрія F1, контроль без біопрепарату і без мікродобрива – 30,850 т/га, тоді як найвищу – гібрид Мадейра F1 за поєднання з застосуванням Органік-баланс + Квантум ПЛАТИНУМ – 46,792 т/га. Різниця між зазначеними варіантами склала 15,942 т/га, що засвідчує досить високий сумарний ефект оптимізації взятої на дослідження технології.

За фактором В (біопрепарат) у межах гібриду Кібрія F1 урожайність у контролі становила 33,786 т/га, за застосування біопрепарату Азотофіт – 35,982 т/га, мікродобрива Органік-баланс – 38,130 т/га; у гібриду Мадейра F1 відповідно сформовано 38,267; 40,550 та 43,026 т/га. Для обох гібридів більш оптимальним біопрепаратом виявився Органік-баланс, ефективність якого пов'язана із синергізмом бактерій *Azospirillum brasilense* та *Bacillus subtilis*, які одночасно підвищують азотфіксацію, мобілізацію фосфору та забезпечують індуковану системну стійкість рослин [6, 10].

За фактором С (мікродобриво) простежували не менш чітку закономірність. У гібриду Кібрія F1 середня врожайність зростала з 32,630 т/га у контролі до 36,139 т/га за використання біопрепарату Росток огірки та 39,138 т/га – мікродобрива Квантум ПЛАТИНУМ; по гібриду Мадейра F1 – відповідно отримали 37,267, 40,729 та 43,859 т/га. Отже, із мікродобрив стабільно кращі результати забезпечував Квантум ПЛАТИНУМ, що узгоджується з даними щодо ефективності амінокислотних хелатів мікроелементів за вирощування огірка в аридних і напівaридних умовах [11, 12].

Таблиця 2 – Загальна середня врожайність плодів огірка (SS+LS+TR) за 2024 рік, т/га

Гібрид (фактор А)	Біопрепарат (фактор В)	Мікродобриво (фактор С)			Середнє за 2023–2025 рр.
		контроль– обробка водою	Росток огірки	Квантум ПЛАТИНУМ	
Кібрія F1	контроль – обробка водою	25,367	28,363	30,930	28,222
	Азотофіт	26,992	29,822	33,245	30,020
	Органік-баланс	27,855	31,942	35,357	31,718
Середнє по гібриду		**26,738**	**30,042**	**33,178**	**29,987**
Мадейра F1	контроль – обробка водою	29,445	32,737	35,238	32,473
	Азотофіт	31,272	34,588	37,645	34,502
	Органік-баланс	32,913	36,935	40,215	36,687
Середнє по гібриду		**31,210**	**34,753**	**37,698**	34,553

Примітка. Схема 200×26,5 см, 20300 рослин/га. Краплинне зрошення. Скорочення врожайності 2024/2023: Кібрія F1 – 35,4%, Мадейра F1 – 32,2%. Складено за власними даними авторів.

Таблиця 3 – Загальна середня врожайність плодів огірка (SS+LS+TR), т/га (середнє за 2023–2025 рр.)

Гібрид (фактор А)	Біопрепарат (фактор В)	Мікродобриво (фактор С)			Середнє за 2023–2025 рр.
		контроль– обробка водою	Росток огірки	Квантум ПЛАТИНУМ	
Кібрія F1	контроль – обробка водою	30,850	33,983	36,535	33,786
	Азотофіт	32,821	36,011	39,128	35,982
	Органік-баланс	34,223	38,420	41,757	38,130
Середнє по гібриду		**32,630**	**36,139**	**39,138**	**35,969**
Мадейра F1	контроль – обробка водою	35,175	38,501	41,136	38,267
	Азотофіт	37,450	40,311	43,650	40,550
	Органік-баланс	39,181	43,125	46,792	43,026
Середнє по гібриду		**37,267**	**40,729**	**43,859**	40,612

Примітка. Схема 200×26,5 см, 20300 рослин/га. Краплинне зрошення. Трирічне усереднення 2023–2025 рр. Жирним виділено середні значення. Складено за власними даними авторів.

Важливою складовою аналізу є оцінка врожайності за товарними фракціями плодів (табл. 4).

Установлено, що в усі роки досліджень найбільшу частку в формуванні валового збору забезпечували зеленці (TR), дещо нижчою була врожайність корнішонів (LS), а найнижчою – пікулів (SS). У середньому за три роки врожайність фракції SS склала 28,475 т/га у гібриду Кібрія F1 та 33,141 т/га – у гібриду Мадейра F1; фракції LS – сягали відповідно 35,535 та 40,018 т/га; а фракції TR – 43,896 та 48,677 т/га. Саме фракція SS, яка формується на ранніх етапах плодоношення, виявилася найчутливішою до абіотичного стресу, тоді як більш крупна товарна фракція TR була більш стійкою до змін погодних чинників.

Показовим є розмах міжваріантної варіації врожайності всередині кожної фракції, який відображає ступінь чутливості товарної групи до комплексу агрозаходів. Так, у сприятливому 2023 році різниця між найбільш оптимальним поєднанням факторів (Мадейра F1 + Органік-баланс + Квантум ПЛАТИНУМ) і найгіршим (Кібрія F1, абсолютний контроль) варіантами становила у фракції пікулів SS 11,202 т/га, фракції корнішонів LS – 16,957 т/га, а у фракції зеленців TR сягала 24,167 т/га (+50,0%), тобто була максимальною серед усіх товарних стандартів. Це підтверджує, що найбільша товарна фракція TR крупних плодів огірка, яка формується за найповнішої реалізації вегетативного та генеративного потенціалу рослин, найсильніше реагує на оптимізацію живлення та біологічний супровід, тоді як рання дрібна фракція SS має нижчий абсолютний потенціал приросту, проте є важливим індикатором раннього розвитку рослин та початкової генеративної віддачі культури.

Заслуговує на увагу той факт, що відносна ефективність мікродобрива Квантум ПЛАТИНУМ не знижувалася, а навпаки, зростала за посилення абіотичного стресу. У гібриду Мадейра F1 приріст урожайності від Квантум ПЛАТИНУМ відносно контрольного фону без мікродобрива збільшився з 13,7% у сприятливому 2023 році до 15,3% в екстремально посушливому 2024 році та на 16,4% у помірно посушливому 2025 році. Аналогічно зростала і різниця між біопрепаратами Органік-баланс та Азотофіт. Це підтверджує антистресову функцію амінокислотних хелатів мікроелементів і бактеріального консорціуму, які за напруженого гідротермічного режиму частково компенсують негативний вплив повітряної посухи та перегріву, підтримуючи роботу ферментативних систем, синтез хлорофілу й адаптацію рослин до теплового стресу [11, 12].

Динаміка загальної врожайності плодів огірка за роками (табл. 5) засвідчує, що перевага гібриду Мадейра F1 над Кібрія F1 була стабільною щороку.

Приріст склав 4,55 т/га у 2023 році, 4,56 т/га – у 2024 році, 4,80 т/га – у 2025 році та у середньому за роками досліджень – 4,64 т/га (12,9%). Це підтверджує високу екологічну пластичність і стабільність гібриду Мадейра F1, його здатність оптимізувати продукційні процеси в умовах стресу та ефективніше використовувати як поливну воду, так і додаткові елементи технологічного супроводу [15].

Визначені закономірності дають підставу стверджувати, що в умовах Півдня України навіть за застосування краплинного зрошення вирішальне значення у формуванні врожайності огірка мають не лише генотип та забезпечення вологою, а й здатність рослин адаптуватися до повітряної посухи, перегріву та коливань температурного режиму. Краплинне зрошення забезпечує стабільне надходження вологи до кореневої зони, однак не усуває повною мірою впливу високих температур на листковий апарат, інтенсивність транспірації, збереження зав'язі та ріст плодів. За таких умов позитивний ефект біопрепаратів і мікродобрив посилюється їх здатністю покращувати живлення, стабілізувати фізіолого-біохімічні процеси, підвищувати стійкість рослин до абіотичних стресів і створювати кращі передумови для формування генеративних органів.

У біологічному аспекті стала перевага гібриду Мадейра F1 над гібридом Кібрія F1 зумовлена вищим гетерозисним потенціалом, більшою щіль-

Таблиця 4 – Врожайність плодів огірка за товарними фракціями, т/га (середнє за 2023–2025 рр.)

Товарна фракція плодів (фактор С)	Гібрид (фактор А)		Різниця М–К, т/га (%)
	Кібрія F1(К)	Мадейра F1(М)	
Пікулі (SS)	28,475	33,141	+4,666 (16,4)
Корнішони (LS)	35,535	40,018	+4,483 (12,6)
Зеленці (TR)	43,896	48,677	+4,781 (10,9)
Середнє (SS+LS+TR)	35,969	40,612	+4,643 (12,9)

Примітка. SS – пікулі, LS – корнішони, TR – зеленці. Складено за власними даними авторів.

Таблиця 5 – Динаміка загальної середньої врожайності у розрізі років та гібридів, т/га (середнє за 2023–2025 рр.)

Рік (характеристика)	Гібрид (фактор А)		Різниця М–К, т/га (%)	ГТК сезону
	Кібрія F1(К)	Мадейра F1(М)		
2023 (сприятливий)	46,45	51,00	+4,55 (9,8)	0,48–0,52
2024 (екстремальна посуха)	29,99	34,55	+4,56 (15,2)	0,25–0,28
2025 (помірна посуха)	31,48	36,28	+4,80 (15,2)	0,32–0,38
Середнє за 3 роки	35,97	40,61	+4,64 (12,9)	–

Примітка. Середнє по всіх варіантах досліду. ГТК – гідротермічний коефіцієнт. Складено за власними даними авторів.

ністю жіночих квіток на пагонах першого порядку та вищою конкурентоспроможністю флоемного транспорту асимілятів до плодів. За дефіциту вологи рослини цього гібриду здатні підтримувати вищий осмотичний потенціал у клітинах листків і зберігати ефективнішу систему флоемного завантаження, що забезпечує вищу реалізацію генеративного потенціалу врожайності за стресових умов. Позитивний ефект біопрепаратів пояснюється активізацією розвитку кореневої системи, покращенням засвоєння елементів живлення та формуванням більш потужного асиміляційного апарату, тоді як мікродобрива безпосередньо беруть участь у синтезі ферментів, регуляції фотосинтетичної діяльності й наливі плодів. Саме тому їх сумісна дія на фоні високопродуктивного гібриду виявилася найбільш ефективною [5, 7].

Висновки. Погодні умови років досліджень істотно впливали на продуктивність огірка. Найсприятливішим був 2023 рік (ГТК 0,48–0,52), у якому середня загальна врожайність по всіх варіантах становила 46,45 т/га у гібриду Кібрія F1 та 51,00 т/га у гібриду Мадейра F1; найнесприятливішим виявився 2024 рік (ГТК 0,25–0,28, максимум +41,6°С), у якому врожайність плодів огірка знизилася до 29,99 та 34,55 т/га відповідно; у 2025 році продуктивність визначена середньою (31,48 та 36,28 т/га).

Гібрид Мадейра F1 упродовж усіх років і за всіма товарними фракціями стабільно перевищував гібрид Кібрія F1. За даними 2023–2025 рр. середня загальна врожайність плодів огірка склала у гібриду Кібрія F1 35,97 т/га, а у гібриду Мадейра F1 – 40,61 т/га (перевага 4,64 т/га, або 12,9%), що свідчить про вищу екологічну пластичність і адаптованість гібриду Мадейра F1.

Із біопрепаратів більш ефективним виявився Органік-баланс, із мікродобрив – Квантум ПЛАТИНУМ. За трирічними даними застосування Органік-балансу підвищувало загальну врожайність відносно контролю з 33,79 до 38,13 т/га у гібриду Кібрія F1 та з 38,27 до 43,03 т/га у гібриду Мадейра F1; внесення Квантум ПЛАТИНУМ – з 32,63 до 39,14 т/га та з 37,27 до 43,86 т/га відповідно.

Максимальною врожайність плодів огірка за всі роки вирощування та всіма товарними фракціями формувалася за поєднання гібриду Мадейра F1 з біопрепаратом Органік-баланс і мікродобривом Квантум ПЛАТИНУМ (46,79 т/га), тоді як найменш ефективним визначено варіант гібриду Кібрія F1 без біопрепарату і без мікродобрива (30,85 т/га). Найбільшу частку валового збору формували зеленці (TR), а найчутливішою до стресових погодних умов визначено фракцію пікулів (SS).

Для умов краплинного зрошення Південного Степу України більш доцільним є вирощування гібриду Мадейра F1 із поєднанням застосування біопрепарату Органік-баланс та мікродобрива Квантум ПЛАТИНУМ, оскільки саме цей варіант забезпечує максимальний прояв потенціалу продуктивності культури, вищу стійкість до посухи та стабільне формування товарного врожаю в роки з різними гідротермічними умовами. Перспективою подальших досліджень є економіко-енергетичне обґрунтування досліджуваних нами елементів технологічної моделі та оцінка якості плодів за товарними фракціями.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. FAOSTAT. Crops and livestock products: cucumbers and gherkins [Data set]. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2023. URL: https://www.fao.org/faostat (дата звернення: 17.08.2026).

2. Бздель М. І. Господарсько-біологічна характеристика гібридів огірка національної та іноземної селекції в умовах Західного регіону України: кваліфікаційна робота. Львів, 2024. 98 с. URL: https://repository.lnup.edu.ua/handle/123456789/7427 (дата звернення: 17.08.2026).

3. Рожко І. І., Сиплива Н. О., Кулик М. І., Гайдай А. О. Урожайність сортів огірка посівного (*Cucumis sativus* L.) залежно від умов вирощування. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки.* 2024. № 140. С. 204–213. DOI: https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.140.27 (дата звернення: 17.08.2026).

4. Плужнікова Л. Є., Сергієнко О. В., Радченко Л. О. Ресурси сорту огірка та способи їх використання. *Сортовивчення та охорона сортів рослин*. 2005. № 2. С. 63–69. https://doi.org/10.21498/2518-1017.2.2005.67455 (дата звернення: 17.08.2026).

6. Уланич О. І., Господаренко Г. М. та ін. Наукові, методологічні та практичні підходи до проблем сучасної агрономії: монографія. Дніпро: Середняк Т. К., 2021. 452 с. http://lib.udau.edu.ua/handle/123456789/8742. (дата звернення: 21.08.2026)

1. Піщаленко М. А., Усенко С. С. Особливості впливу біопрепаратів при замочуванні на енергію проростання та схожість насіння огірків. Хімія, біотехнологія, екологія та освіта: зб. матеріалів VI міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. Полтава, 2022. С. 229–232. URL: https://dspace.pdau.edu.ua/handle/123456789/15514. (дата звернення: 21.08.2026).

7. Вдовенко С. А., Паламарчук І. І. Інновації в технології вирощування овочевих рослин родини Гарбузові у відкритому ґрунті: монографія. Вінниця: ТВОРИ, 2021. 184 с. URL : https://repository.vsau.org/getfile.php/28988.pdf (дата звернення: 21.08.2026).

8. Божко Л. Ю. Клімат і продуктивність овочевих культур в Україні: монографія. Одеса: Екологія, 2010. 365 с.

9. Кононенко Ю. Г. Вплив різних систем удобрення на урожайність огірка в овоче-кормовій сівозміні в Лівобережному Лісостепу України: кваліфікаційна робота магістра. Харків: ДБТУ, 2024. 57 с. URL: https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/63269 (дата звернення: 17.08.2026).

10. Перепелиця Л. О., Кирилюк В. М. Формування структурних елементів урожаю огірка (*Cucumis sativus)* за впливу біопрепаратів Арбініс та Новамін Н в умовах теплиці. Modern Technologies and Innovations as New Tools for the Development of Science: матеріали XXIV міжнар. наук.-практ. конф. Мюнхен, 2026. С. 16–20. URL: https://eprints.zu.edu.ua/48394/ (дата звернення: 27.08.2026).

11. Куц О. В., Романова Т. А., Білак В. В. Вплив органічних та гумінових добрив на урожайність огірка. 2026. С. 26–28. URL: https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/24333/3/apz-2025-26-28.pdf (дата звернення: 27.08.2026).

12. Ефективність нанодобрива на основі зв'язаного вуглецю в поліпшенні живлення сільськогосподарських культур / М. Мірошниченко та ін. Вісник аграрної науки. 2025. Т. 103, № 2. С. 13–20. URL: https://agrovisnyk.com/pdf/ua_2025_02_02.pdf (дата звернення: 07.08.2026).

13. Душенок А. І. Ефективність позакореневого підживлення рослин огірка. Матеріали студ. наук. конф. (м. Полтава, 15-16 берез. 2023 р.). Полтава, 2023. Том ІІ. С. 44–46. URL: https://dspace.pdau.edu.ua/handle/123456789/16665. (дата звернення: 27.08.2026).

14. Сергієнко О. В., Шабетя О. М., Івченко Т. В. та ін. Оцінка нових партенокарпічних гібридних комбінацій огірка F1 за цінними селекційними ознаками та їх мінливістю в умовах західного походження. *Овочівництво та баштанництво.* 2022. № 71. С. 25–32. https://doi.org/10.32717/0131-0062-2022-71-25-32.

15. Рудь В. П., Ільїнова Ю. М., Могильна О. М., Терохіна Л. А., Духін Е. О. Інноваційні зонально адаптовані рішення в овочівництві. *Овочівництво та баштанництво.* 2023. № 72. С. 89–98. https://doi.org/10.32717/0131-0062-2022-72-89-98.

16. Kovalenko O. A., Hamaiunova V. V., Honenko L. H., Medonchak O. V. Productivity of Cucumber Hybrids Under Drip Irrigation in the South of Ukraine. *Europäische Wissenschaft*. 2024. Buch 26, Teil 3. P. 132–150. URL: https://desymp.promonograph.org/index.php/sge/article/view/sge26-00-024. (дата звернення: 27.08.2026).

REFERENCES:

1. FAOSTAT (2023). Crops and livestock products: cucumbers and gherkins [Data set]. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. URL: https://www.fao.org/faostat.

2. Bzdel, M. I. (2024). *Hospodarsko-biolohichna kharakterystyka hibrydiv ohirka natsionalnoi ta inozemnoi selektsii v umovakh Zakhidnoho rehionu Ukrainy [Agro-biological characteristics of domestic and foreign cucumber hybrids in the Western region of Ukraine].* Lviv, 98 [in Ukrainian].

3. Rozhko, I. I., Syplyva, N. O., Kulyk, M. I., & Haidai, A. O. (2024). Urozhainist sortiv ohirka posivnoho (*Cucumis sativus* L.) zalezhno vid umov vyroshchuvannia [Yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.) depending on growing conditions]. *Tavriiskyi Naukovyi Visnyk. Ser.: Agricultural Sciences, 140, 204–213*. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.140.27 [in Ukrainian].

4. Pluzhnikova, L. Ye., Serhiienko, O. V., & Radchenko, L. O. (2005). Resursy sortu ohirka ta sposoby yikh vykorystannia [Cucumber variety resources and ways of their use]. *Sortovyvchennia ta okhorona sortiv roslyn, 2, 63–69*. https://doi.org/10.21498/2518-1017.2.2005.67455 [in Ukrainian].

5. Ulianych, O. I., & Hospodarenko, H. M. et al. (2021). *Naukovi, metodolohichni ta praktychni pidkhody do problem suchasnoi ahronomii [Scientific, methodological, and practical approaches to the problems of modern agronomy].* Dnipro: Seredniak T. K., 452 p. [in Ukrainian].

6. Pishchalenko, M. A., & Usenko, S. S. (2022). Osoblyvosti vplyvu biopreparativ pry zamochuvanni na enerhiiu prorostannia ta skhozhist nasinnia ohirkiv [Effect of biopreparations at soaking on germination energy and viability of cucumber seeds]. *Khimiia, biotekhnolohiia, ekolohiia ta osvita, (pp. 229–232).* Poltava [in Ukrainian].

7. Vdovenko, S. A., & Palamarchuk, I. I. (2021). *Innovatsii v tekhnolohii vyroshchuvannia ovochevykh roslyn rodyny Harbuzovi u vidkrytomu grunti [Innovations in open-field cultivation technology for Cucurbitaceae vegetables].* Vinnytsia: TVORY, 184 p. [in Ukrainian].

8. Bozhko, L. Yu. (2010). *Klimat i produktyvnist ovochevykh kultur v Ukraini [Climate and Productivity of Vegetable Crops in Ukraine].* Odesa: Ekolohiia, 365 p. [in Ukrainian].

9. Kononenko, Yu. H. (2024). *Vplyv riznykh system udobrennia na urozhainist ohirka v ovoche-kormovii sivozmini v Livoberezhnomu Lisostepu Ukrainy [Effect of different fertilization systems on cucumber yield in a vegetable-forage crop rotation in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine].* Kharkiv: DBTU, 57 p. URL: https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/63269 [in Ukrainian].

10. Perepelytsia, L. O., & Kyryliuk, V. M. (2026). Formuvannia strukturnykh elementiv urozhaiu ohirka (*Cucumis sativus*) za vplyvu biopreparativ Arbinis ta Novamin N v umovakh teplytsi [Formation of cucumber (*Cucumis sativus*) yield structure under the influence of biopreparations Arbinis and Novamin N in a greenhouse]. *Modern Technologies and Innovations as New Tools for the Development of Science, (pp. 16–20).* Munich. URL: https://eprints.zu.edu.ua/48394/ [in Ukrainian].

11. Kuts, O. V., Romanova, T. A., & Bilak, V. V. (2026). Vplyv orhanichnykh ta huminovykh dobryv na urozhainist ohirka [Effect of organic and humic fertilizers on cucumber yield]. pp. 26–28. URL: https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/24333/3/apz-2025-26-28.pdf [in Ukrainian].

12.Miroshnychenko, M. et al. (2025). Efektyvnist nanodobryva na osnovi zviazanoho vuhletsiu v polipshenni zhyvlennia silskohospodarskykh kultur [Efficiency of a carbon-based nanofertilizer in improving the nutrition of agricultural crops]. *Visnyk Ahrarnoi Nauky, 103(2), 13–20.* URL: https://agrovisnyk.com/pdf/ua_2025_02_02.pdf [in Ukrainian].

13. Dushenok, A. I. (2023). Efektyvnist pozakorenevoho pidzhyvlennia roslyn ohirka [Efficiency of foliar feeding of cucumber plants]. *Proceedings of the Student Scientific Conference (Vol. II, pp. 44–46).* Poltava. URL: https://dspace.pdau.edu.ua/handle/123456789/16665 [in Ukrainian].

14. Serhiienko, O. V., Shabetia, O. M., Ivchenko, T. V. et al. (2022). Otsinka novykh partenokarpichnykh hibrydnykh kombinatsii ohirka F1 za tsinnymy selektsiinymy oznakamy ta yikh minlyvistiu v umovakh zakhidnoho pokhodzhennia [Evaluation of new parthenocarpic F1 cucumber hybrid combinations for valuable breeding traits and their variability]. *Ovochivnytstvo ta Bashtannytstvo, 71, 25–32*. https://doi.org/10.32717/0131-0062-2022-71-25-32 [in Ukrainian].

15. Rud, V. P., Ilinova, Yu. M., Mohylna, O. M., Terokhina, L. A., & Dukhin, E. O. (2023). Innovatsiini zonalno adaptovani rishennia v ovochivnytstvi [Innovative zonally adapted solutions in vegetable growing]. *Ovochivnytstvo ta Bashtannytstvo, 72, 89–98*. https://doi.org/10.32717/0131-0062-2022-72-89-98 [in Ukrainian].

17. Kovalenko, O. A., Hamaiunova, V. V., Honenko, L. H., & Medonchak, O. V. (2024). Productivity of Cucumber Hybrids Under Drip Irrigation in the South of Ukraine. *Europäische Wissenschaft*, Buch 26, Teil 3, 132–150. URL: https://desymp.promonograph.org/index.php/sge/article/view/sge26-00-024

Медончак О.В., Хоненко Л.Г. Урожайність плодів огірка різних товарних фракцій залежно від гібриду, біопрепаратів і мікродобрив за краплинного зрошення в умовах Південного Степу України

Мета. Науково обґрунтувати вплив добору гібриду, біопрепаратів та мікродобрив на формування врожайності плодів огірка різних товарних стандартів (пікулі SS, корнішони LS, зеленці TR) за краплинного зрошення в умовах Південного Степу України та визначити найбільш продуктивне поєднання досліджуваних елементів технології для років із контрастними гідротермічними умовами. **Методи.** Польовий дослід проводили впродовж 2023–2025 рр. на базі Навчально-науково-практичного центру Миколаївського національного аграрного університету. Досліджували гібриди огірка Кібрія F1 та Мадейра F1 (фактор А), біопрепарати – контроль, Азотофіт, Органік-баланс (фактор В) та мікродобрива – контроль, Росток огірки, Квантум ПЛАТИНУМ (фактор С). Схема сівби 200×26,5 см (20 300 рослин/га), краплинне зрошення сезонною нормою 4100–4400 м³/га у дослідженнях. Застосовували польовий, вимірювально-ваговий, порівняльний та статистичний методи. **Результати.** Установлено, що формування врожайності плодів огірка зумовлювалося комплексною взаємодією погодних умов року, генотипових особливостей гібриду та застосуванням біопрепарату Органік-баланс і мікродобрива Квантум ПЛАТИНУМ. За трирічного усереднення загальна врожайність плодів по всіх варіантах становила у гібриду Кібрія F1 35,97 т/га, у Мадейра F1 – 40,61 т/га (перевага +4,64 т/га, або 12,9%). Найбільш продуктивним було поєднання гібриду Мадейра F1 з біопрепаратом Органік-баланс і мікродобривом Квантум ПЛАТИНУМ – 46,79 т/га, тоді як абсолютний контроль гібриду Кібрія F1 забезпечив лише 30,85 т/га (різниця 15,94 т/га). Найбільшу частку валового збору формували зеленці (TR), найчутливішою до посухи виявилася фракція пікулів (SS). **Висновки.** Для умов краплинного зрошення Південного Степу України доцільно вирощувати гібрид Мадейра F1 з поєднанням застосування біопрепарату Органік-баланс і мікродобрива Квантум ПЛАТИНУМ, що забезпечує максимальну реалізацію продуктивного потенціалу культури та сталий рівень урожаю за різного рівня гідротермічного забезпечення.

Ключові слова: Cucumis sativus L., пікулі, корнішони, зеленці, погодні умови року вирощування, посухостійкість, мікродобрива, біопрепарати, продуктивність.

Medonchak O.V., Khonenko L.H. Yield of cucumber fruits of different marketable fractions depending on the hybrid, biopreparations and microfertilizers under drip irrigation in the Southern Steppe of Ukraine

Purpose. To substantiate scientifically the effect of the hybrid, biopreparations and microfertilizers on the yield formation of cucumber fruits of different marketable standards (pickles SS, gherkins LS, greengrocers TR) under drip irrigation in the Southern Steppe of Ukraine, and to determine the most productive combination of technological elements for years with contrasting hydrothermal supply. **Methods.** A field experiment was carried out in 2023–2025 at the Educational, Research and Practical Centre of Mykolaiv National Agrarian University. The factors studied were the cucumber hybrid (Kibria F1, Madeira F1), the biopreparation (control, Azotofit, Organik-balance) and the microfertilizer (control, Rostok ohirky, Kvantum PLATINUM). The sowing scheme was 200×26.5 cm (20,300 plants/ha) under drip irrigation with a seasonal rate of 4100–4400 m³/ha. Field, measuring-weighing, comparative and statistical methods were applied. **Results.** The yield of cucumber fruits was determined by the combined influence of the weather conditions of the year, the hybrid genotype and the biological and micronutrient support. Averaged over three years, the total yield across all treatments was 35.97 t/ha for Kibria F1 and 40.61 t/ha for Madeira F1 (an advantage of +4.64 t/ha, or 12.9%). The most productive combination was Madeira F1 with Organik-balance and Kvantum PLATINUM – 46.79 t/ha, whereas the absolute control of Kibria F1 provided only 30.85 t/ha (a difference of 15.94 t/ha). The greengrocer fraction (TR) formed the largest share of the gross harvest, while the pickle fraction (SS) proved the most sensitive to drought. **Conclusions.** For the conditions of drip irrigation in the Southern Steppe of Ukraine, it is advisable to grow the hybrid Madeira F1 with the mandatory use of the biopreparation Organik-balance and the microfertilizer Kvantum PLATINUM, which ensures the maximum realization of the crop's productive potential and the stability of the yield under different levels of hydrothermal supply.

Key words: Cucumis sativus L., pickles, gherkins, greengrocers, hydrothermal coefficient, Madeira F1, Organik-balance, drought resistance.

Дата першого надходження статті до видання: 22.09.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 26.10.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.11.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

УДК 633.85 : 632.9
DOI DOI https://doi.org/10.32848/0135-2369.2026.86.7

АДАПТАЦІЯ ХІМІЧНОГО ЗАХИСТУ РІПАКУ (BRASSICA NAPUS L. OLEIFERA) В УКРАЇНІ ДО ЄВРОПЕЙСЬКИХ ВИМОГ

СЕНИК І.І. – доктор сільськогосподарських наук, с.н.с.
orcid.org/0000-0003-4756-7824
Західноукраїнський національний університет
ГРАМ'ЯК Р.П. – аспірант
orcid.org/0009-0008-0117-3372
Західноукраїнський національний університет

Постановка проблеми. Серед основних сільськогосподарських культур України, орієнтованих на зовнішні ринки, вагоме місце належить озимому та ярому ріпаку. У 2025 році за загального обсягу виробництва близько 3,2 млн т на експорт було спрямовано 1,8 млн т насіння, тобто понад половину отриманого врожаю. Значна частина продукції, що залишилася, використовувалася як сировина для олійно-жирової промисловості. Обсяг виробництва ріпакової олії становив близько 582 тис. т, з яких 576 тис. т або майже 99%, також було реалізовано на зовнішніх ринках. Таким чином, основним напрямом використання ріпаку та продукції його переробки в Україні залишається експорт, передусім до європейських країн [1, 2].

За таких умов конкурентоспроможність українського ріпаку визначається не лише рівнем урожайності та якісними характеристиками насіння, а й відповідністю технології його виробництва вимогам європейського ринку. Особливої актуальності набуває контроль за використанням засобів захисту рослин, оскільки застосування діючих речовин, не дозволених у країнах ЄС, або недотримання регламентів їх використання може призводити до перевищення допустимих рівнів залишкових кількостей у продукції. Це, своєю чергою, створює ризики обмеження або відмови в прийманні експортних партій [3–5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У технології вирощування ріпаку для контролювання шкідливих організмів використовують препарати інсектицидної, фунгіцидної та гербіцидної дії [6–7]. Водночас окремі діючі речовини, дозволені або поширені у практиці захисту посівів в Україні, можуть мати інший регуляторний статус у країнах Європейського Союзу [8].

Одним із перших технологічних заходів, спрямованих на захист рослин ріпаку, є оброблення насіннєвого матеріалу перед сівбою [9–10]. Така операція переважно виконується на спеціалізованих насіннєвих підприємствах, де насіння обробляють препаратами, до складу яких входять діючі речовини інсектицидного та фунгіцидного призначення. Це забезпечує їх безпосередню концентрацію у зоні контакту насіння з ґрунтом і створює захисний бар'єр у найбільш критичний період розвитку рослин – від проростання до появи та формування молодих сходів [11–13].

В подальшому під час вегетації ріпаку фунгіцидний захист є невід'ємною складовою отримання високого урожаю насіння, оскільки втрати урожаю від хвороб можуть досягати 80%. Досить часто його поєднують із застосуванням морфорегуляторів або самі діючі речовини зазначеної групи препаратів володіють ретардантними властивостями [14–17].

Особливої уваги агроценози Brassica napus L. потребують щодо контролю шкідників (ріпаковий квіткоїд, попелиці, блішки, молі), які за даними науковців можуть знизити урожайність до 55% [17–20].

Не менш актуальним є контроль сегетальної рослинності в посівах ріпаку, оскільки втрати урожаю можуть досягати 60%. Причому, гербокритичний період припадає на перші 30–50 днів вегетації досліджуваної культури [21–23].

Серед вирощуваних в Україні сільськогосподарських культур Brassica napus L. вимагає максимального рівня агрофармакологічного захисту для забезпечення високого рівня урожайності та якості вирощеної продукції. А це в свою чергу вимагає особливих підходів до застосування засобів захисту рослин в контексті регуляторного статусу діючих речовин, можливості формування їх залишків у продукції та відповідності установленим вимогам ринку, на який планується її реалізація.

Метою досліджень було провести порівняльну оцінку діючих речовин, що входять до складу агрофармакологічних препаратів різного цільового спрямування, та визначити можливості їх використання для формування ефективних систем захисту ріпаку озимого та ярого від комплексу шкідливих організмів з урахуванням чинних вимог європейського ринку.

Матеріали та методика досліджень. Інформаційною основою роботи слугували спеціалізовані інформаційні ресурси [8, 24–25], на базі яких проведено опрацювання та систематизацію відомостей щодо основних діючих речовин, їх функціонального призначення та характеристик засобів захисту рослин. Порівняльний аналіз отриманої інформації використовували для оцінювання доцільності застосування окремих діючих речовин у системах захисту ріпаку озимого та ярого з урахуванням вимог, що висуваються до продукції на ринку ЄС.

Результати досліджень. Технологія вирощування ріпаку передбачає висівання насіннєвих, яке підготовлене відповідним чином на насінєвих заводах. При цьому на кожну насінину наносяться захисні діючі речовини інсектицидної та фунгіцидної дії. З їх допомогою контролюються шкідливі об'єкти на початкових етапах росту і розвитку ріпаку. Це

перш за все хрестоцвіті блішки, збудники переноспорозу, альтернаріозу, фомозу. У табл. 1 наведена порівняльна інформація найбільш поширених діючих речовин, які використовуються для протруювання насіння ріпаку, щодо дозволеності використання в Україні та Європейському Союзі.

Таблиця 1 – Фунгіцидні та інсектицидні діючі речовини протруйників*[8, 24]

Діюча речовина	Використання	
	Україна	ЄС
Флуопіколід	+	+
Клотіанідин	+	–
Флуоксастробін	+	+

Примітка: «+» – дозволено до використання; «–» – заборонено до використання.

Серед значної кількості протруйників, для обробки насіння ріпаку рекомендується використовувати тільки одну інсектицидну та дві фунгіцидних діючих речовини.

У післясходовий період важливою складовою системи захисту ріпаку є застосування фунгіцидів, спрямованих на обмеження розвитку основних фітопатогенів (табл. 2).

Наведені дані дають змогу зіставити їх регуляторний статус в Україні та Європейському Союзі й визначити діючі речовини, використання яких потребує особливої уваги за вирощування ріпаку для подальшої реалізації на європейському ринку. Особливу небезпеку для посівів становлять збудники фомозу, альтернаріозу, склеротиніозу та циліндроспорозу, які за сприятливих погодних умов можуть істотно погіршувати фітосанітарний стан агроценозу та негативно впливати на формування врожаю.

Таблиця 2 – Фунгіцидні діючі речовини для захисту ріпаку від хвороб* [8, 24]

Діюча речовина	Використання	
	Україна	ЄС
Адепідин	+	–
Азоксистробін	+	+
Димоксистробін	+	–
Боскалід	+	+
Дифеноконазол	+	+
Карбендазим	+	–
Крезоксим-метил	+	+
Манкоцеб	+	–
Метконазол	+	+
Міклобутаніл	+	–
Пікоксистробін	+	–
Піраклостробін	+	+
Пропіконазол	+	–
Протіоконазол	+	+
Тіофанат-метил	+	–
Тебуконазол	+	+
Трифлоксістробін	+	+
Флуопірам	+	+
Ципроконазол	+	–
Цифлуфенамід	+	+

Примітка: «+» – дозволено до використання; «–» – заборонено до використання.

Вибір фунгіцидів для захисту ріпаку ускладнюється відмінностями в регуляторних підходах України та Європейського Союзу. Окремі діючі речовини, які нині дозволені до використання у вітчизняному сільськогосподарському виробництві, мають обмеження або не дозволені для застосування в країнах ЄС. За умов експортної орієнтації виробництва це необхідно враховувати вже на етапі формування системи захисту культури, оскільки використання таких речовин може створювати ризики щодо відповідності продукції вимогам ринку країни-імпортера.

Серед комплексу шкідливих організмів, що формують фітосанітарний стан агроценозів ріпаку, особливе значення мають фітофаги. Найбільшої шкоди посівам можуть завдавати хрестоцвіті блішки, прихованохоботники, ріпаковий квіткоїд та ріпакова міль. За високої чисельності шкідників і відсутності своєчасного контролю їх популяцій втрати врожаю можуть бути значними, що зумовлює необхідність постійного фітосанітарного моніторингу та обґрунтованого застосування інсектицидів.

Тому формування сучасної системи інсектицидного захисту ріпаку потребує одночасного врахування кількох взаємопов'язаних критеріїв: ефективності діючої речовини проти цільового шкідника, безпечності для запилювачів і корисної ентомофауни, можливості виникнення резистентності, а також відповідності регуляторним вимогам країн Європейського Союзу. Порівняльні характеристики основних інсектицидних діючих речовин, які використовуються або можуть використовуватися для захисту ріпаку, наведено в таблиці 3. Серед існуючих діючих

Таблиця 3 – Інсектицидні діючі речовини для захисту ріпаку від шкідників*[8, 24]

Діюча речовина	Використання	
	Україна	ЄС
Альфа-циперметрин	+	–
Ацетаміприд	+	+
Бета-цифлутрин	+	–
Біфентрин	+	–
Гамма-цигалотрин	+	–
Дельтаметрин	+	+
Диметоат	+	–
Імідаклоприд	+	–
Лямбда-цигалотрин	+	+
Пліназолін	+	–
Сульфоксафлор	+	+
Тау-флювалінат	+	+
Тіаклоприд	+	–
Хлорантраніліпрол	+	+
Хлорпірифос	+	–
Циперметрин	+	+

Примітка: «+» – дозволено до використання; «–» – заборонено до використання.

речовин в ЄС дозволені до використання лише ацетаміприд, дельтаметрин, лямбда-цигалотрин, сульфоксафлор, тау-флювалінат, хлорантраніліпрол та циперметрин.

Забур'яненість є одним із вагомих чинників, що обмежують реалізацію потенціалу насіннєвої продуктивності ріпаку. Сегетальна рослинність конкурує з культурними рослинами за основні фактори життєзабезпечення – вологу, поживні речовини, світло та простір, особливо на ранніх етапах органогенезу. За відсутності належного контролю чисельності бур'янів втрати врожаю насіння ріпаку, за даними наукових джерел, можуть сягати 30%. За сучасного рівня цін на насіння така величина недобору продукції має істотне економічне значення та обґрунтовує необхідність ефективного регулювання чисельності сегетальної рослинності в посівах.

У технології вирощування ріпаку для контролювання бур'янів застосовують гербіциди різного способу та строків дії (табл. 4).

Таблиця 4 – Гербіцидні діючі речовини для захисту посівів ріпаку*[8, 24]

Діюча речовина	Використання	
	Україна	ЄС
Амінопіралід	+	+
Галауксифен-метил	+	+
Диметенамід-П	+	+
Етаметсульфурон-метил	+	–
Імазамокс	+	+
Квінмерак	+	+
Кломазон	+	+
Клопіралід	+	+
Клетодим	+	+
Метазахлор	+	+
Піклорам	+	+
Пропізохлор	+	–
Флуазифоп-п-бутил	+	+
Флуроксипір-пемтил	+	+
Хізалофоп-П-етил	+	+
Хізалофоп-п-тефурил	+	+

Примітка: «+» – дозволено до використання; «–» – заборонено до використання.

Залежно від особливостей препарату, його вносять до появи сходів культури як ґрунтовий гербіцид або після появи рослин як страховий препарат. Поєднання цих підходів дає можливість впливати на бур'яновий компонент агроценозу в різні періоди вегетації та зменшувати його конкурентний вплив на рослини ріпаку.

Водночас вибір гербіцидів за сучасних умов не може обмежуватися оцінюванням їх ефективності проти бур'янів. Для продукції, орієнтованої на зовнішні ринки, важливе значення має регуляторний статус діючих речовин та встановлені допустимі рівні їх залишків у насінні. Відмінності між нормативними вимогами України та Європейського Союзу необхідно враховувати під час розроблення системи хімічного захисту, оскільки вони безпосередньо пов'язані з можливістю подальшої реалізації отриманої продукції на європейському ринку.

Невід'ємною складовою частиною технології вирощування ріпаку є застосування ретардантів або так званих морфорегуляторів. Частина із зазначених діючих речовин володіють фунгіцидними властивостями, а інші виключно призупиняють ріст надземної частини рослин. Оптимальною фазою проведення рістрегуляції даної культури є восени ВВСН 13-18, весною ВВСН 31-32. У табл. 5 наведена порівняльна характеристика найбільш поширених рістрегулюючих діючих речовин, щодо дозволеності використання в Україні та Європейському Союзі. Зазначені активні інгредієнти, як правило, не використовуються у форматі однокомпонентних обробок через обмежену спектральну ефективність.

Таблиця 5 – Рістрегулюючі діючі речовини*[8, 24]

Діюча речовина	Використання	
	Україна	ЄС
Мепікват хлорид	+	+
Паклобутразол	+	+
Тринексапак-етил	+	+

Для досягнення синергетичного ефекту та максимального захисту посівів ріпаку їх комбінують із високоактивними триазольними фунгіцидами – зокрема тебуконазолом, метконазолом або дифеноконазолом. Впровадження таких багатокомпонентних сумішей дозволяє не лише розширити діапазон контрольованих патогенів, а й значно підвищити біологічну та господарську ефективність захисних заходів.

Висновки. Підсумовуючи викладений матеріал, варто підкреслити, що ключовим бар'єром для українського аграрного сектору на шляху до імплементації європейських нормативних стандартів є гармонізація систем інсектицидного захисту посівів ріпаку. Саме фітофаги становлять домінуючу загрозу для потенціалу врожайності цієї культури, тоді як значна частина традиційних хімічних сполук, що забезпечували їхній ефективний контроль, наразі підпадає під суворі регуляторні заборони або обмеження в країнах ЄС.

Водночас контроль фітопатогенного фонду, забур'яненості та керування морфофізіологічними процесами рослин за допомогою рістрегуляторів не становлять критичних ризиків. Дозволений на сьогодні асортимент пестицидів дає змогу сформувати повноцінні, біологічно та економічно обґрунтовані технологічні схеми захисту без втрати їхньої результативності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Експорт продукції АПК: *UCAB Survey.* веб-сайт. URL: https://ucab.ua/ucab-survey/eksport-produkcziyi-apk-z-ukrayiny-u-2025-roczi-sklav-2253-mlrd-shho-na-2-mlrd-menshe-pokaznyka-2024-roku/. (Дата звернення 10.09.2026).

2. Експорт ріпаку з України у 2025/26 МР скоротився до девятирічного мінімуму: *АПК-інформ.* веб-сайт. URL: https://www.apk-inform.com/uk/news/1555245. (Дата звернення 10.09.2026).

3. Зовнішня торгівля України товарами. *Державна служба статистики України.* веб-сайт. URL:

https://stat.gov.ua/uk/publications/zovnishnya-torhivlya-ukrayiny-tovaramy-za-sichen-lypen-2025-roku-ekspres-vypusk. (Дата звернення 11.09.2026).

4. From Farm to Fork (F2F): *United Nations Development Programme.*. веб-сайт. URL: https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-08/3%20Tree%20From%20Farm%20to%20Fork%20Strategy%203%20final_297x210mm_4%2B4_web_180822.pdf. (Дата звернення 11.09.2026).

5. The European Green Deal. *European Commission*. веб-сайт. URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en. (Дата звернення 11.09.2026).

6. Фітофармакологія: Підручник / М.Д. Євтушенко та ін. Київ, Вища освіта, 2004. 432 с.: іл.

7. Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В. Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур : підруч. Львів : НВФ "Українські технології", 2020. 806 с

8. Agronomio. *База знань для аграріїв*. веб-сайт. URL: https://agronomio.com. (Дата звернення 12.09.2026).

9. Макуха О. В. Система фітосанітарного моніторингу шкідників ріпаку озимого в умовах півдня України. Таврійський науковий вісник. 2020. № 114. С. 69–77. DOI https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.114.10

10. Kazda J., Baranyk P., Nerad D. The implication of seed treatment of winter oilseed rape. Plant, Soil and Environment. 2005. №51. P. 403-409. DOI: 10.17221/3604-PSE

11. Загальна фітопатологія / Пінчук Н. В., Вергелес П. М., Коваленко Т. М., Окрушко С. Є. Вінниця: ВНАУ. 2019. 276 с.

12. Сергієнко В., Шита О., Михайленко С. Фунгіцидний захист посівів озимого ріпаку від найпоширеніших хвороб. *Міжвідомчий тематичний науковий збірник фітосанітарної безпеки* 2009. №68. С. 137–147. https://doi.org/10.36495/1606-9773.2022.68.137-147

13. Tufail A., Muhammad I., Safdar A., Raza M., Zubair A. Effect of Alternaria sp on seed germination in rapeseed, and its control with seed treatment. *Journal of Cereals and Oilseeds*. 2020. № 11. P. 1-6. https://doi.org/10.5897/JCO2017.0178.

14. Пінчук Н. В., Вергелес П. М., Коваленко П. М. Ефективність захисту посівів озимого ріпаку від шкодочинних організмів. Сільське господарство та лісівництво. 2021. №3 (22). С. 119–134. DOI:10.37128/2707-5826-2021-3-10

15. Томчук О. М. Вплив використання фунгіцидів з ріст регулюючим ефектом на стан перезимівлі гібридів ріпаку озимого. Аграрні інновації. 2025. №32. С. 215–227. DOI: https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.32.31

16. Berry P. M., Spink J. H. Understanding the effect of a triazole with anti-gibberellin activity on the growth and yield of oilseed rape (Brassica napus). *The Journal of Agricultural Science*. 2009. Vol. 147. P. 273–285.

17. Забарний О. С., Забарна Т. А. Особливості догляду за посівами ріпаку озимого у весняний період. Сільське господарство та лісівництво. 2024. №32. С. 50–61. DOI:10.37128/2707-5826-2024-1-5

18. Сільськогосподарська ентомологія / М.Б. Рубан, та інші. Київ. Арістей. 2007. 520 с.

19. Глива В. В., Случак О. М., Волощук О. П. Підвищення врожайності й посівних якостей насіння ріпаку озимого залежно від застосування інсектицидів в умовах Західного Лісостепу України. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2021. №*69*(2). С. 22–40. https://doi.org/10.32636/01308521.2021-(69)-2-2

20. Сніжок О. Ефективний контроль чисельності основних шкідників ріпаку озимого. *Пропозиція*. 2017. № 3. С. 156–160. веб-сайт. URL: https://propozitsiya.com/articles/ahrokhimiya-insektytsydy/yak-kon-trolyuvaty-shkidnykiv-ripa-ku (Дата звернення 12.09.2026).

21. Веселовський І. В., Манько І. В., Танчик С. П. Бур'яни та заходи боротьби з ними. Київ: НМЦ Мін. АПК України. 1998. 240 с.

22. Сніжок О. В., Ювчик Н. О. Видовий склад шкідливих організмів в посівах ріпаку озимого залежно від обробітку ґрунту та системи захисту. *Зернові культури*. 2021. Том 5. № 1. С. 145–152. DOI: https://doi.org/10.31867/2523-4544/0171

23. Атлас бур`янів. Навчальний посібник / Косолап М. П. та ін.: Київ. НУБіП України. 2022. 136 с.

24. Pesticide Properties Database. *University of Hertfordshire*. веб-сайт. URL: https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/. (Дата звернення 13.09.2026).

25. Державний реєстр пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні. *Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України.* веб-сайт. URL: https://mepr.gov.ua/upravlinnya-vidhodamy/derzhavnyj-reyestr-pestytsydiv-i-agrohimikativ-dozvolenyh-do-vykorystannya-v-ukrayini/. (Дата звернення 13.09.2026).

REFERENCES:

1. Eksport produktsii APK. (2026). [Exports of agricultural and food products]. *UCAB Survey*. URL: https://ucab.ua/ucab-survey/eksport-produkcziyi-apk-z-ukrayiny-u-2025-roczi-sklav-2253-mlrd-shho-na-2-mlrd-menshe-pokaznyka-2024-roku/. [in Ukrainian].

2. Eksport ripaku z Ukrainy u 2025/26 MR skorotyvsia do deviatyrichnoho minimumu. (2026). [Ukraine's rapeseed exports in the 2025/26 marketing year fell to a nine-year low.] *APK-inform*. URL: https://www.apk-inform.com/uk/news/1555245. [in Ukrainian].

3. Zovnishnia torhivlia Ukrainy tovaramy. (2025). [Ukraine's foreign trade in goods]. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy.* URL: https://stat.gov.ua/uk/publications/zovnishnya-torhivlya-ukrayiny-tovaramy-za-sichen-lypen-2025-roku-ekspres-vypusk. [in Ukrainian].

4. From Farm to Fork (F2F). (2022). *United Nations Development Programme.* URL: https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-08/3%20Tree%20From%20Farm%20to%20Fork%20Strategy%203%20final_297x210mm_4%2B4_web_180822.pdf.

5. The European Green Deal. (2024). *European Commission.* URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

6. Ievtushenko, M. D., Mariutin, F. M., Turenko, V. P., Zherebko, V. M. & Sekun, M. P. (2004). Fitofarmakolohiia: Pidruchnyk. [Phytopharmacology: A Textbook]. Kyiv: Vyshcha osvita. 432 s. [in Ukrainian].

7. Petrychenko, V. F. & Lykhochvor, V. V. (2020) Roslynnytstvo. Novi tekhnolohii vyroshchuvannia polovykh

kultur: pidruch. [Crop Production. New Technologies for Growing Field Crops A Textbook]. Lviv: NVF "Ukrainski tekhnolohii". 806 s. [in Ukrainian].

8. Agronomio. (2026). [Agronomio]. *Baza znan dlia ahrariiv*. URL: https://agronomio.com[in Ukrainian].

9. Makukha, O. V. (2020). Systema fitosanitarnoho monitorynhu shkidnykiv ripaku ozymoho v umovakh pivdnia Ukrainy. [Phytosanitary monitoring system for winter rapeseed pests in southern Ukraine] *Tavriiskyi naukovyi visnyk*. № 114. S. 69–77. DOI https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.114.10. [in Ukrainian].

10. Kazda, J., Baranyk P. & Nerad D. (2005). The implication of seed treatment of winter oilseed rape. *Plant, Soil and Environment*. №51. 403–409. DOI: 10.17221/3604-PSE.

11. Pinchuk, N. V., Verheles, P. M., Kovalenko, T. M. & Okrushko, S. Ie. (2019). Zahalna fitopatolohiia. [General Phytopathology]. Vinnytsia: VNAU. 276 s. [in Ukrainian].

12. Serhiienko, V., Shyta, O., Mykhailenko, S. (2023). Funhitsydnyi zakhyst posiviv ozymoho ripaku vid naiposhyrenishykh khvorob. [Fungicide protection of winter rapeseed crops against the most common diseases]. *Mizhvidomchyi tematychnyi naukovyi zbirnyk fitosanitarnoi bezpeky*. №68. S. 137–147. DOI: https://doi.org/10.36495/1606-9773.2022.68.137-147. [in Ukrainian].

13. Tufail, A., Muhammad, I., Safdar, A., Raza, M. & Zubair, A. (2020). Effect of Alternaria sp on seed germination in rapeseed, and its control with seed treatment. *Journal of Cereals and Oilseeds*. №11. S. 1–6. DOI: https://doi.org/10.5897/JCO2017.0178.

14. Pinchuk, N. V., Verheles, P. M. & Kovalenko, P. M. (2021). Efektyvnist zakhystu posiviv ozymoho ripaku vid shkodochynnykh orhanizmiv. [Efficacy of protecting winter rapeseed crops against harmful organisms]. *Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo.* №3 (22). S. 119–134. DOI: 10.37128/2707-5826-2021-3-10. [in Ukrainian].

15. Tomchuk, O. M. (2025) Vplyv vykorystannia funhitsydiv z rist rehuliuiuchym efektom na stan perezymivli hibrydiv ripaku ozymoho. [The influence of the use of fungicides with a growth-regulating effect on the state of overwintering of winter rapeseed hybrids.]. *Ahrarni innovatsii*. №32. S. 215–227. DOI: https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.32.31. [in Ukrainian].

16. Berry P. M. & Spink J. H. (2009). Understanding the effect of a triazole with anti-gibberellin activity on the growth and yield of oilseed rape (Brassica napus). *The Journal of Agricultural Science*. №. 147. S. 273–285.

17. Zabarnyi, O. S. & Zabarna, T. A. (2024). Osoblyvosti dohliadu za posivamy ripaku ozymoho u vesnianyi period. [Specifics of winter rapeseed crop care during the spring period]. *Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo*. №32. S. 50-61. DOI:10.37128/2707-5826-2024-1-5. [in Ukrainian].

18. Ruban, M. B., Likar, Ya.M., Hadzalo, Ya. M. & Bobos, I. M. (2007). Silskohospodarska entomolohiia. [Agricultural Entomology]. Kyiv: Aristei. 520 s. [in Ukrainian].

19. Hlyva, V. V., Sluchak, O. M. & Voloshchuk, O. P. (2021). Pidvyshchennia vrozhainosti y posivnykh yakostei nasinnia ripaku ozymoho zalezhno vid zastosuvannia insektytsydiv v umovakh Zakhidnoho Lisostepu Ukrainy [Increasing the yield and sowing qualities of winter rapeseed seeds depending on insecticide application in the Western Forest-Steppe zone of Ukraine.]. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnytstvo*. №69(2). S. 22–40. https://doi.org/10.32636/01308521.2021-(69)-2-2 [in Ukrainian].

20. Snizhok, O. (2017). Efektyvnyi kontrol chyselnosti osnovnykh shkidnykiv ripaku ozymoho. [Effective control of key winter rapeseed pest populations]. *Propozytsiia*. № 3. S. 156-160. URL: https://propozitsiya.com/articles/ahrokhimiya-insektytsydy/yak-kon-tro-lyuvaty-shkidnykiv-ripa-ku [in Ukrainian].

21. Veselovskyi, I. V., Manko, I. V. & Tanchyk, S. P. (1998). Buriany ta zakhody borotby z nymy [Weeds and measures to combat them]. Kyiv: NMTs Min. APK Ukrainy. 240 s. [in Ukrainian].

22. Snizhok, O. V., Yuvchyk, N. O. (2021). Vydovyi sklad shkidlyvykh orhanizmiv v posivakh ripaku ozymoho zalezhno vid obrobitku gruntu ta systemy zakhystu. [Species composition of harmful organisms in winter rapeseed crops depending on tillage and crop protection systems]. *Zernovi kultury*. 2021. Tom 5. № 1. S. 145–152. DOI: https://doi.org/10.31867/2523-4544/0171

23. Kosolap, M. P., Ivaniuk, M. F., Prymak, I. D, Anisymova, A. A., Babenko, A. I. (2022) Atlas bur`ianiv. Navchalnyi posibnyk. [Atlas of weeds. Textbook]. Kyiv. NUBiP 136 s. [in Ukrainian].

24. Pesticide Properties Database. (2026). *University of Hertfordshire.* URL: https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/.

25. Derzhavnyi reiestr pestytsydiv i ahrokhimikativ, dozvolenykh do vykorystannia v Ukraini. (2025) [State Register of Pesticides and Agrochemicals Allowed for Use in Ukraine]. *Ministerstvo zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy.* URL: https://mepr.gov.ua/upravlinnya-vidhodamy/derzhavnyj-reyestr-pestytsydiv-i-agrohimikativ-dozvolenyh-do-vykorystannya-v-ukrayini/. [in Ukrainian].

Сеник І.І., Грам'як Р.П. Адаптація хімічного захисту ріпаку (*Brassica napus L. Oleifera)* в Україні до Європейських вимог

Мета. Проведення порівняльної оцінки діючих речовин, що входять до складу агрофармакологічних препаратів різного цільового спрямування, та визначити можливості їх використання для формування ефективних систем захисту ріпаку озимого та ярого від комплексу шкідливих організмів з урахуванням чинних вимог європейського ринку.

Методологічна база роботи ґрунтується на систематизації та аналізі спеціалізованих інформаційних джерел, зокрема наукових публікацій, реферативних баз даних, нормативно-правових актів та європейських регуляторних директив у сфері захисту рослин. **Результати**. Серед фітофагів ріпаку озимого та ярого особливо шкідливими є попелиці, блішки, прихованохоботник, квіткоїд, молі. Хвороби ріпаку в основному представлені фомозом, альтернаріозом, склеротиніозом, а сегетальна рослинність – комплексом однорічних і багаторічних видів та падалицею зернових колосових культур, як виступають попередником для даної культури. Перехід України до європейської системи регулювання застосування засобів захисту рослин зумовлює необхідність перегляду підходів до вибору діючих речовин, що використовуються у технологіях вирощування сільськогосподарських культур. Особливої актуальності зазначена проблематика набуває для інсектицидного захисту ріпаку, оскільки переважна більшість діючих речовина заборонена

до використання в ЄС, зокрема це стосується таких неонікотиноїдів, як імідаклоприд, тіаклоприд, тіаметоксам та клотіанідин, а також синтетичних піретроїдів – альфа-циперметрину, бета-цифлутрину, біфентрину та гамма-цигалотрину. Контроль фітофагів може здійснюватися препаратами на основі ацетаміприду та тау-флювалінату.

Висновки. Ключовим бар'єром для українського аграрного сектору на шляху до імплементації європейських нормативних стандартів є гармонізація систем інсектицидного захисту посівів ріпаку. В той же час, контроль фітопатогенного фонду, забур'яненості та керування морфофізіологічними процесами рослин за допомогою рістрегуляторів не становлять критичних ризиків. Дозволений на сьогодні асортимент пестицидів дає змогу сформувати повноцінні, біологічно та економічно обґрунтовані технологічні схеми захисту без втрати їхньої результативності.

Ключові слова: ріпак, урожайність, гербіциди, інсектициди, протруйники, фунгіциди, шкідливі об'єкти.

Senyk I.I., Gramiak R.P. Adapting chemical protection for rapeseed (*Brassica napus L. Oleifera*) in Ukraine to European requirements

Objective. To conduct a comparative assessment of active substances contained in agrochemical products with various intended uses and to determine their potential for creating effective protection systems against pest complexes affecting winter and spring rapeseed, while taking into account current European market requirements. **Methodology**. The study is based on the systematization and analysis of specialized information sources, including scientific publications, abstract databases, legal acts, and European regulatory directives regarding plant protection. **Results**. Aphids, flea beetles, weevils, blossom beetles, and moths are among the most harmful pests affecting winter and spring rapeseed. Rapeseed diseases are primarily represented by phoma stem canker, alternaria blight, and sclerotinia stem rot, while weed vegetation consists of a complex of annual and perennial species, as well as volunteer cereal crops (which often serve as the preceding crop). Ukraine's transition to the European regulatory system for plant protection products necessitates a review of approaches to selecting the active substances used in crop cultivation technologies. This issue is particularly relevant to insecticide protection for rapeseed, as the vast majority of active substances are banned in the EU; this applies specifically to neonicotinoids such as imidacloprid, thiacloprid, thiamethoxam, and clothianidin, as well as synthetic pyrethroids – alpha-cypermethrin, beta-cyfluthrin, bifenthrin, and gamma-cyhalothrin. Pest control can be achieved using products based on acetamiprid and tau-fluvalinate.

Conclusions. A key barrier for the Ukrainian agricultural sector in implementing European regulatory standards is the harmonization of insecticide protection systems for rapeseed crops. At the same time, controlling phytopathogens and weeds, as well as managing plant morphophysiological processes through growth regulators, does not pose critical risks. The currently permitted range of pesticides allows for the creation of comprehensive, biologically and economically sound crop protection schemes without compromising their effectiveness.

Key words: rapeseed, yield, herbicides, insecticides, seed treatments, fungicides, harmful organisms.

Дата першого надходження статті до видання: 17.09.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 26.10.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.11.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

УДК 633.854.78(477)
DOI DOI https://doi.org/10.32848/0135-2369.2026.86.8

ДИНАМІКА ВИРОБНИЦТВА СОНЯШНИКУ В УКРАЇНІ

СІМЧУК А.П. – доктор сільськогосподарських наук, професор
orcid.org/0000-0002-1762-144X
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника
ЗАЇКА В.К. – доктор сільськогосподарських наук, професор
orcid.org/0000-0002-2206-772X
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника
ГРИГОРІВ Я.Я. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент
orcid.org/0000-0002-5892-9483
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника
ДМИТРИК П.М. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент
orcid.org/0000-0003-1973-391X
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника
ДУШКО П.М. – кандидат сільськогосподарських наук, с.н.с.
orcid.org/0000-0002-1408-0342
Інститут агроекології і природокористування
Національної академії аграрних наук України

Постановка проблеми. Соняшник є однією з ключових олійних культур світового сільськогосподарського виробництва і має стратегічне значення для України. Насіння соняшнику є основною сировиною для виробництва харчової олії, шроту та інших продуктів переробки [11–13].

У 2021–2025 роках розвиток світового соняшникарства відбувався під впливом кліматичних ризиків, коливання цін на олійні культури, змін логістичних маршрутів і воєнних подій. Для України повномасштабне вторгнення у 2022 році стало одним із основних факторів скорочення виробництва: відбулися тимчасова окупація частини територій, мінування земель, руйнування аграрної інфраструктури, ускладнення доступу до ресурсів та порушення експорту [1].

Матеріали та методи досліджень. У процесі дослідження використано методи аналізу, узагальнення та систематизації наукової інформації. Інформаційною основою слугували офіційні статистичні матеріали, а також наукові та довідкові літературні джерела.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Соняшник залишається однією з провідних олійних культур України, а його виробництво має важливе значення як для формування внутрішньої сировинної бази олійно-жирового комплексу, так і для експортного потенціалу держави. Водночас упродовж останніх років виробництво соняшнику в Україні характеризувалося значною мінливістю посівних площ, урожайності та валових зборів, що зумовлено поєднанням погодних умов, воєнних ризиків, зміни структури посівних площ, технологічних підходів та рівня ресурсного забезпечення господарств [1, 3].

За даними Державної служби статистики України, у 2021 р. посівна площа соняшнику становила близько 6,62 млн га (рис. 1), а валовий збір насіння – 16,39 млн т за середньої урожайності 2,46 т/га. У 2022 р. внаслідок повномасштабної війни площа посіву скоротилася до 5,29 млн га, валове виробництво – до 11,33 млн т, а урожайність – до 2,16 т/га. 2023 року відбулося часткове відновлення виробничих показників: валовий збір зріс до 12,76 млн т, а урожайність – до 2,45 т/га. Проте у 2024 р. за площі близько 5,02 млн га урожайність знизилася до 2,18 т/га, що зумовило скорочення валового виробництва до 10,96 млн т [4,14].

За результатами аналізу офіційних статистичних даних встановлено, що у 2025 р. площа збирання соняшнику в Україні становила близько 4,87 млн га, за середньої урожайності 2,18 т/га валовий збір культури досяг 10,63 млн т. Порівняно з 2021 р. площа збирання зменшилася приблизно на 27%, тоді як обсяги виробництва скоротилися на 35%, що свідчить про суттєве зниження масштабів вирощування соняшнику в країні.

Виробництво соняшнику в Україні характеризується вираженою територіальною диференціацією, що зумовлена особливостями природно-кліматичних умов, спеціалізацією регіонів та рівнем продуктивності культури [2]. Основні обсяги виробництва традиційно зосереджені у центральних, південних та південно-східних областях України. І.В. Чехова зазначає, що концентрація виробництва олійних культур в Україні значною мірою визначається природно-кліматичними умовами, виробничою спеціалізацією регіонів та рівнем урожайності. За її даними у 2021 р. найбільші обсяги валового збору соняшнику було отримано в Кіровоградській, Дніпропетровській та Харківській областях, де виробництво становило відповідно 1,60; 1,40 та 1,42 млн т [17]. До групи областей із високими обсягами виробництва також належали Миколаївська та Запорізька області.

У 2022–2024 рр. територіальна структура виробництва соняшнику в Україні зазнала помітної трансформації. Найсуттєвіше скорочення валового збору спостерігалося в областях, виробничі ресурси яких були значною мірою обмежені внаслідок воєнних дій та тимчасової окупації окремих територій

[1, 18]. Зокрема, у Запорізькій області валовий збір соняшнику зменшився з 1,07 млн т у 2021 р. до 0,23 млн т у 2022 р., у Харківській – з 1,42 до 0,70 млн т, у Донецькій – з 0,78 до 0,23 млн т, а в Луганській – з 0,81 до 0,12 млн т. Особливо значним було скорочення виробництва в Херсонській області.

Водночас у 2023–2024 рр. в окремих центральних та західних областях спостерігалися ознаки адаптації та часткового відновлення виробництва. У 2024 р. найбільші обсяги валового збору соняшнику сформували Кіровоградська область – 1,37 млн т, Дніпропетровська – 1,29 млн т, Харківська – 1,06 млн т, Полтавська – 0,95 млн т, Вінницька – 0,81 млн т та Миколаївська – 0,78 млн т. Таким чином, попри суттєві територіальні зміни, центральні області зберегли провідні позиції у виробництві соняшнику, тоді як роль окремих західних регіонів поступово зростала [18].

Важливою характеристикою результативності вирощування соняшнику є його урожайність, рівень якої суттєво відрізняється залежно від регіону. У 2024 р. середня урожайність культури по Україні становила 2,18 т/га, водночас у Вінницькій області цей показник досягав 2,69 т/га, а в Івано-Франківській – 2,96 т/га (рис. 2). Натомість у Дніпропетровській та Запорізькій областях урожайність була нижчою за середньодержавний рівень і становила відповідно 1,82 та 1,67 т/га.

Така диференціація свідчить про значний вплив регіональних умов на формування продуктивності

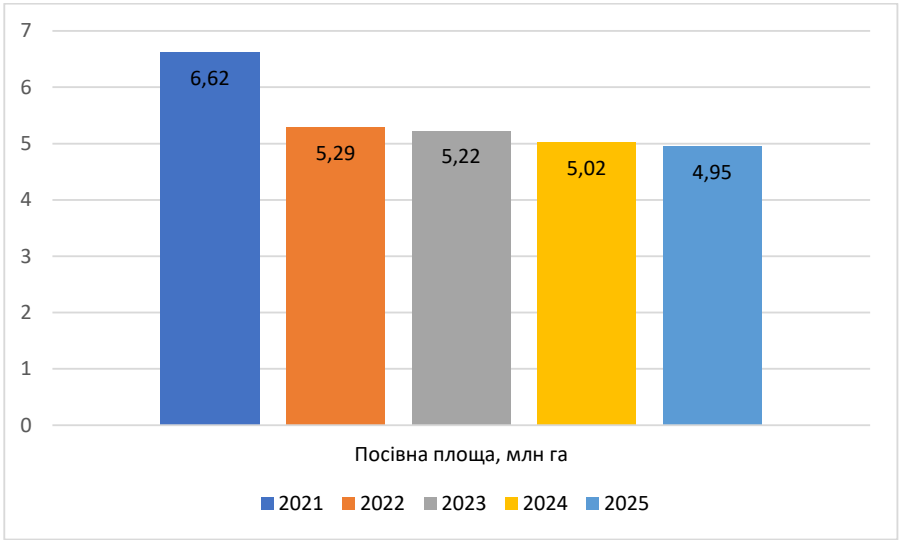


Рис. 1. Динаміка посівних площ соняшнику в Україні, 2021–2025 рр.

Джерела: Держстат України; для 2021–2024 рр. – статистичні дані, узагальнені за даними Держстату; 2025 р. – дані статистичної звітності та аналітичні матеріали ННЦ «Інститут аграрної економіки».

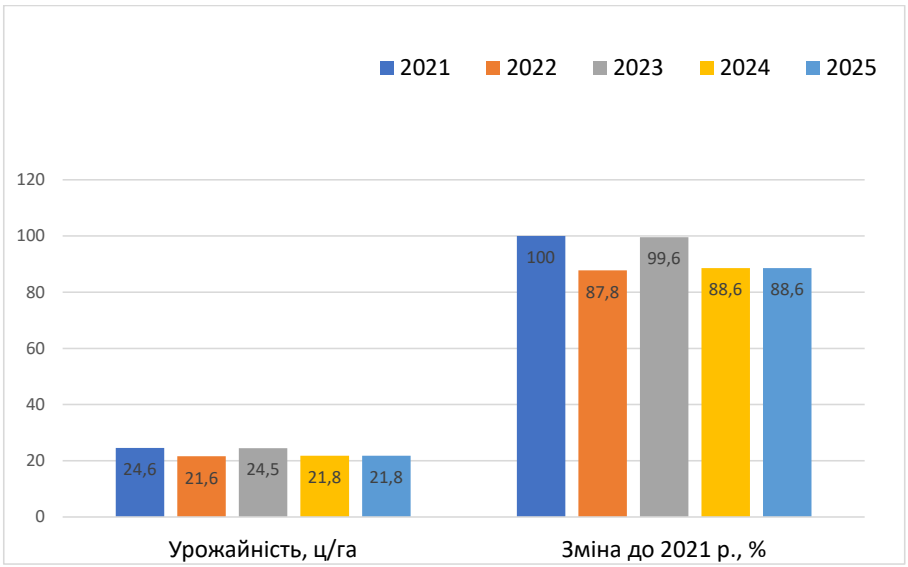


Рис. 2. Динаміка урожайності соняшнику в Україні, 2021–2025 рр.

соняшнику. Високі показники урожайності визначаються комплексною взаємодією ґрунтово-кліматичних умов, генетичного потенціалу гібридів та рівня технологічного забезпечення виробництва, зокрема оптимізацією строків сівби, системи удобрення та інших агротехнічних заходів [15, 16].

У 2021–2024 рр. виробництво соняшнику в Україні характеризувалося значними коливаннями, що відбувалися на тлі воєнних дій та пов'язаних із ними змін у структурі сільськогосподарського виробництва. Після досягнення у 2021 р. валового збору на рівні 16,39 млн т його обсяг у 2022 р. зменшився до 11,33 млн т, у 2023 р. частково відновився до 12,76 млн т, а у 2024 р. знову скоротився до 10,96 млн т.

Водночас виробництво соняшнику в областях західного регіону характеризувалося відносно меншою амплітудою коливань. Сукупний валовий збір культури у Волинській, Рівненській, Львівській, Тернопільській, Івано-Франківській, Закарпатській, Хмельницькій та Чернівецькій областях становив 1,26 млн т у 2021 р., зріс до близько 1,40 млн т у 2022–2023 рр., а у 2024 р. знизився до 0,91 млн т. У таких умовах окремі області регіону продемонстрували високий виробничий потенціал. Зокрема, Хмельницька область у 2023 р. забезпечила валовий збір соняшнику на рівні близько 599 тис. т.

Важливою особливістю західного регіону є також відносно високий рівень урожайності культури. У 2024 р. найвищі її значення серед областей регіону зафіксовано в Тернопільській (3,35 т/га), Хмельницькій (3,07 т/га) та Івано-Франківській (2,96 т/га) областях, що перевищувало середній показник по Україні (2,18 т/га). Отже, поряд із розширенням виробництва соняшнику в західних областях формується тенденція до підвищення його продуктивності, що свідчить про перспективність регіону для подальшого розвитку товарного виробництва культури.

Аналіз динаміки виробництва соняшнику засвідчує значні міжрічні коливання основних виробничих показників у 2021–2024 рр. Найвищий рівень валового збору за досліджуваний період зафіксовано у 2021 р., коли було отримано 16,39 млн т продукції за середньої урожайності 2,46 т/га. У 2022 р. обсяги виробництва істотно знизилися до 11,33 млн т, а середня урожайність – до 2,16 т/га. Наступного року спостерігалося часткове відновлення продуктивності культури: валовий збір збільшився до 12,76 млн т, а урожайність підвищилася до 2,45 т/га. Водночас у 2024 р. позитивна тенденція не збереглася, і валовий збір знову скоротився до 10,95 млн т за середньої урожайності 2,18 т/га.

На фоні України помітною була роль західних областей у формуванні обсягів виробництва соняшнику. Сукупний валовий збір культури у восьми областях західного регіону становив 1,26 млн т у 2021 р., 1,40 млн т у 2022 р., 1,40 млн т у 2023 р. та 0,91 млн т у 2024 р. При цьому частка цих областей у загальному виробництві соняшнику в Україні зросла з 7,7% у 2021 р. до 12,4% у 2022 р. Така динаміка свідчить про певну зміну територіальної структури виробництва культури в умовах воєнних ризиків та посилення ролі західних областей [9, 10].

Порівняно високий рівень урожайності соняшнику зафіксовано у 2024 році і становив 2,18 т/га. Найбільшу продуктивність культури отримано в Тернопільській області – 3,35 т/га, Хмельницькій – 3,07 т/га та Івано-Франківській – 2,96 т/га [5-8]. Високі показники урожайності підтверджують сприятливі можливості для розвитку виробництва соняшнику в західному регіоні та актуальність подальшого дослідження чинників, що визначають рівень його продуктивності. Особливого значення набуває оптимізація технологічних елементів вирощування, зокрема добір гібридів, визначення оптимальних строків сівби та удосконалення системи удобрення.

Висновки. Проведений аналіз статистичних показників засвідчив істотні зміни у виробництві соняшнику в Україні протягом 2021–2025 рр. Зокрема, площі вирощування культури скоротилися з 6,62 млн га у 2021 р. до близько 4,87 млн га у 2025 р., що відповідає зменшенню приблизно на 26%. Водночас рівень урожайності упродовж досліджуваного періоду залишався нестабільним і змінювався в межах 2,16–2,46 т/га, без чітко вираженої тенденції до її послідовного підвищення.

За таких умов підвищення ефективності виробництва соняшнику доцільно пов'язувати не стільки з розширенням посівних площ, скільки з реалізацією потенціалу продуктивності культури шляхом удосконалення технології вирощування. Особливого значення набуває комплексна оптимізація технологічних заходів з урахуванням біологічних особливостей сучасних гібридів, ґрунтово-кліматичних умов, оптимальних строків сівби та системи удобрення. Перспективним напрямом також є ефективніше використання побічної продукції попередника та біологічних препаратів як складових ресурсозберігаючої технології вирощування соняшнику.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Kysylchuk A., Zakharchenko E., Rudska N., Bolshakov Y., Kriuchko L., Berdin S., Hlupak Z., Burko L., Tkachenko R., Hnitetskyi M., Zubko O. The share of sunflower in the structure of cultivated areas of Ukraine in pre-war and wartime. Modern Phytomorphology. 2 024. Vol. 18. P. 18–22. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.14598031.

2. Борисенко В.В. Вплив елементів технології вирощування на продуктивність різностиглих гібридів соняшника. Таврійський науковий вісник. 2022. Вип. 123. С. 15–21. DOI: https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.123.3.

3. Високоолеїновий соняшник – вигідна ніша. AgroTimes. 2022. 11 лютого. URL: https://agrotimes.ua/article/vysokooleyinovyj-sonyashnyk-vygidna-nisha/ (дата звернення: 28.09.2022).

4. Державна служба статистики України. Площі, валові збори та урожайність сільськогосподарських культур (річна) (2025) : статистична інформація. Київ : Держстат України, 2026. URL: https://stat.gov.ua/uk/releases/ploshchi-valovi-zbory-ta-urozhaynist-silskohospodarskykh-kultur-richna-2025-0 (дата звернення: 14.09.2026).

5. Карбівська У. М., Турак Р. О. Вплив строків посіву на продуктивність соняшнику в умовах Прикарпаття. Український журнал природничих наук. 2024. № 7. С. 141–147. DOI: https://doi.org/10.32782/naturaljournal.7.2024.15.

6. Коляда В. П., Халін С. Ф., Назарян А. А. Урожайність насіння гібридів соняшнику за вирощування в умовах Північного Степу. Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. 2025. № 46. DOI: https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-1.7.

7. Лихочвор В., Гусак М. Урожайність гібридів соняшнику (Helianthus annuus) залежно від строків сівби в умовах Західного Лісостепу. Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія «Агрономія». 2022. № 26. С. 57–62. DOI: https://doi.org/10.31734/agronomy2022.26.057.

8. Лябах С. В. Вплив способу обробітку ґрунту та системи удобрення на врожайність соняшнику (Helianthus L.) за вирощування в умовах Центрального Полісся України. Агроекологічний журнал. 2022. № 4. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2022.273259.

9. Оптимізація посівних площ соняшнику. Журнал Агроном. 2022. URL: https://www.agronom.com.ua/optymizatsiya-posivnyh-ploshh-sonyashnyku/ (дата звернення: 28.10.2022).

10. Паламарчук В. Д., Кричковський В. Ю. Продуктивність гібридів соняшнику залежно від позакореневих підживлень. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2025. Вип. 78, № 1. С. 98–111. DOI: https://doi.org/10.32636/01308521.2025-(78)-1-9.

11. Пелех Л. В., Онуфрійчук О. М. Основні технологічні заходи при вирощуванні соняшнику. Аграрні інновації. 2024. № 25. С. 43–49. DOI: https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.25.7.

12. Піньковський Г. В., Танчик С. П. Вплив строків сівби та густоти стояння на урожайність рослин соняшника у Правобережному Степу України. Науковий вісник НУБіП України. Серія «Агрономія». 2018. № 294. С. 75–82. DOI: https://doi.org/10.31548/agr2018.294.075.

13. Ткачук О. П., Бондарук Н. В. Фактори інтенсифікації та екологізації вирощування соняшнику. *Аграрні інновації.* 2023. № 18. С. 120–127. DOI: https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.18.17.

14. Тоцький В. В., Поляков І. А. Урожайність та якість насіння гібридів соняшнику (Helianthus annuus L.) залежно від системи удобрення. Scientific Progress & Innovations. 2024. № 27(3). С. 5–11. DOI: https://doi.org/10.31210/spi2024.27.03.01.

15. Трембіцька О.І., Столяр С.Г., Кропивницький Р.Б. Продуктивність сучасних гібридів соняшнику залежно від строків сівби в Лісостепу України. *Аграрні інновації*. 2025. № 29. С. 168–172. DOI: https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.29.27.

16. Цехмейструк М. Г. Ефективність застосування системи удобрення при вирощуванні сучасних гібридів соняшнику. *Селекція і насінництво*. 2008. Вип. 95. С. 283–292. DOI: https://doi.org/10.30835/2413-7510.2008.84819.

17. Чехова І.В. Регіональний аспект виробництва олійних культур в Україні. *Економіка України*. 2022. № 8. С. 83–94. DOI: https://doi.org/10.15407/economyukr.2022.08.083.

18. Як війна змінила географію вирощування соняшнику в Україні. AgroTimes. 2022. 15 червня. URL: https://agrotimes.ua/agronomiya/yak-vijna-zminyla-geografiyu-vyroshhuvannya-sonyashnyku-v-ukrayini/ (дата звернення: 12.10.2022).

REFERENCES:

1. Kysylchuk, A., Zakharchenko, E., Rudska, N., Bolshakov, Y., Kriuchko, L., Berdin, S., Hlupak, Z., Burko, L., Tkachenko, R., Hnitetskyi, M., & Zubko, O. (2024). The share of sunflower in the structure of cultivated areas of Ukraine in pre-war and wartime. Modern Phytomorphology, 18, 18–22. https://doi.org/10.5281/zenodo.14598031

2. Borysenko, V. V. (2022). Vplyv elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia na produktyvnist riznostyhlykh hibrydiv soniashnyka [Influence of cultivation technology elements on the productivity of sunflower hybrids of different maturity]. Tavriiskyi Naukovyi Visnyk, 123, 15–21. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.123.3 [in Ukrainian]

3. Vysokooleiynovyi soniashnyk – vyhidna nisha [High-oleic sunflower is a profitable niche]. (2022, February 11). AgroTimes. https://agrotimes.ua/article/vysokooleyinovyj-sonyashnyk-vygidna-nisha/ [in Ukrainian]

4. State Statistics Service of Ukraine. (2026). Ploshchi, valovi zbory ta urozhainist silskohospodarskykh kultur (richna) (2025) [Areas, gross harvests and yields of agricultural crops (annual) (2025)]. Kyiv: State Statistics Service of Ukraine. https://stat.gov.ua/uk/releases/ploshchi-valovi-zbory-ta-urozhaynist-silskohospodarskykh-kultur-richna-2025-0 [in Ukrainian]

5. Karbivska, U. M., & Turak, R. O. (2024). Vplyv strokiv posivu na produktyvnist soniashnyku v umovakh Prykarpattia [Influence of sowing dates on sunflower productivity under the conditions of the Precarpathian region]. Ukrainian Journal of Natural Sciences, 7, 141–147. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.7.2024.15 [in Ukrainian]

6. Koliada, V. P., Khalin, S. F., & Nazarian, A. A. (2025). Urozhainist nasinnia hibrydiv soniashnyku za vyroshchuvannia v umovakh Pivnichnoho Stepu [Seed yield of sunflower hybrids grown under the conditions of the Northern Steppe]. Podilskyi Visnyk: Silske Hospodarstvo, Tekhnika, Ekonomika, 46. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-1.7 [in Ukrainian]

7. Lykhochvor, V., & Husak, M. (2022). Urozhainist hibrydiv soniashnyku (Helianthus annuus) zalezhno vid strokiv sivby v umovakh Zakhidnoho Lisostepu [Yield of sunflower hybrids (Helianthus annuus) depending on sowing dates under the conditions of the Western Forest-Steppe]. Visnyk Lvivskoho Natsionalnoho Universytetu Pyrodokorystuvannia. Seriia Ahonomiia, 26, 57–62. https://doi.org/10.31734/agronomy2022.26.057 [in Ukrainian]

8. Liabakh, S. V. (2022). Vplyv sposobu obrobitku gruntu ta systemy udobrennia na vrozhainist soniashnyku (Helianthus L.) za vyroshchuvannia v umovakh Tsentralnoho Polissia Ukrainy [Influence of soil tillage method and fertilization system on sunflower (Helianthus L.) yield under the conditions of the Central Polissia of Ukraine]. Ahroekolohichnyi Zhurnal, 4. https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2022.273259 [in Ukrainian]

9. Optymizatsiia posivnykh ploshch soniashnyku [Optimization of sunflower sown areas]. (2022). Zhurnal

Ahronom. https://www.agronom.com.ua/optymizatsiya-posivnyh-ploshh-sonyashnyku/ [in Ukrainian]

10. Palamarchuk, V. D., & Krychkovskyi, V. Yu. (2025). Produktyvnist hibrydiv soniashnyku zalezhno vid pozakorenevykh pidzhyvlen [Productivity of sunflower hybrids depending on foliar fertilization]. Peredhirne ta Hirske Zemlerobstvo i Tvarynnytstvo, 78(1), 98–111. https://doi.org/10.32636/01308521.2025-(78)-1-9 [in Ukrainian]

11. Pelekh, L. V., & Onufriichuk, O. M. (2024). Osnovni tekhnolohichni zakhody pry vyroshchuvanni soniashnyku [Main technological measures in sunflower cultivation]. Ahrarni Innovatsii, 25, 43–49. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.25.7 [in Ukrainian]

12. Pinkovskyi, H. V., & Tanchyk, S. P. (2018). Vplyv strokiv sivby ta hustoty stoiannia na urozhainist roslyn soniashnyka u Pravoberezhnomu Stepu Ukrainy [Influence of sowing dates and plant density on sunflower yield in the Right-Bank Steppe of Ukraine]. Naukovyi Visnyk NUBiP Ukrainy. Seriia “Ahronomiia”, 294, 75–82. https://doi.org/10.31548/agr2018.294.075 [in Ukrainian]

13. Tkachuk, O. P., & Bondaruk, N. V. (2023). Faktory intensyfikatsii ta ekolohizatsii vyroshchuvannia soniashnyku [Factors of intensification and ecologization of sunflower cultivation]. Ahrarni Innovatsii, 18, 120–127. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.18.17 [in Ukrainian]

14. Totskyi, V. M., Hanhur, V. V., & Poliakov, I. A. (2024). Urozhainist ta yakist nasinnia hibrydiv soniashnyku (Helianthus annuus L.) zalezhno vid systemy udobrennia [Yield and seed quality of sunflower hybrids (Helianthus annuus L.) depending on the fertilization system]. Scientific Progress & Innovations, 27(3), 5–11. https://doi.org/10.31210/spi2024.27.03.01 [in Ukrainian]

15. Trembitska, O. I., Stoliar, S. H., & Kropyvnytskyi, R. B. (2025). Produktyvnist suchasnykh hibrydiv soniashnyku zalezhno vid strokiv sivby v Lisostepu Ukrainy [Productivity of modern sunflower hybrids depending on sowing dates in the Forest-Steppe of Ukraine]. Ahrarni Innovatsii, 29, 168–172. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.29.27 [in Ukrainian]

16. Tsekhmeistruk, M. H. (2008). Efektyvnist zastosuvannia systemy udobrennia pry vyroshchuvanni suchasnykh hibrydiv soniashnyku [Efficiency of applying a fertilization system in the cultivation of modern sunflower hybrids]. Selektsiia i Nasinnytstvo, 95, 283–292. https://doi.org/10.30835/2413-7510.2008.84819 [in Ukrainian]

17. Chekhova, I. V. (2022). Rehionalnyi aspekt vyrobnytstva oliinykh kultur v Ukraini [Regional aspect of oilseed crop production in Ukraine]. Ekonomika Ukrainy, 8, 83–94. https://doi.org/10.15407/economyukr.2022.08.083 [in Ukrainian]

18. Yak viina zminyla heohrafiiu vyroshchuvannia soniashnyku v Ukraini [How the war changed the geography of sunflower cultivation in Ukraine]. (2022, June 15). AgroTimes. https://agrotimes.ua/agronomiya/yak-vijna-zminyla-geografiyu-vyroshhuvannya-sonyashnyku-v-ukrayini/ [in Ukrainian]

Сімчук А.П., Заїка В.К., Григорів Я.Я., Дмитрик П.М., Душко П.М. Динаміка виробництва соняшнику в Україні

Мета. Оцінювання сучасного стану та основних тенденцій розвитку виробництва соняшнику в Україні в умовах трансформації аграрного сектору, зумовленої економічними, природно-кліматичними та воєнними чинниками.

Методи. Дослідження проведено із застосуванням загальнонаукових та статистичних методів. Для опрацювання інформації використано методи аналізу, порівняння, узагальнення та систематизації, а також статистичний і графічний методи.

Результати. Встановлено, що упродовж 2021–2025 рр. розвиток галузі характеризувався істотними змінами масштабів вирощування та територіальної концентрації посівів. Найбільш суттєвий вплив на показники 2022–2023 рр. мали наслідки повномасштабної війни, зокрема тимчасова окупація частини сільськогосподарських територій, порушення виробничої та логістичної інфраструктури, зміни структури посівних площ і ускладнення реалізації вирощеної продукції. Водночас у наступні роки спостерігалося пристосування товаровиробників до нових виробничо-економічних умов та поступове відновлення окремих показників. Аналіз урожайності засвідчив, що її динаміка визначалася не лише змінами технології вирощування, а й погодними умовами впродовж вегетаційного періоду, забезпеченістю рослин вологою та температурним режимом. Виявлено також помітну територіальну диференціацію вирощування культури: основні обсяги виробництва традиційно зосереджені в регіонах із сприятливими ґрунтово-кліматичними умовами, тоді як у західних областях, незважаючи на менші абсолютні площі, культура поступово набуває більшого значення у структурі рослинництва. Узагальнення отриманих результатів дає підстави розглядати соняшник як одну з ключових олійних культур, що забезпечує значну частину товарної продукції рослинництва та має вагоме значення для формування експортного потенціалу аграрного сектору.

Висновки. Проведений аналіз підтверджує, що сучасний розвиток галузі відбувається під впливом комплексу взаємопов’язаних природних, технологічних та соціально-економічних чинників. У 2021–2025 рр. відбулися істотні зміни у площах вирощування, обсягах отриманої продукції та її територіальному розміщенні. Водночас адаптаційні можливості аграрних підприємств сприяли збереженню високої ролі культури у структурі вітчизняного рослинництва. Подальше підвищення ефективності її вирощування потребує раціонального розміщення посівів з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов, оптимізації технологічних заходів, використання високопродуктивних гібридів, дотримання науково обґрунтованих сівозмін та підвищення стійкості виробництва до несприятливих погодних і економічних факторів.

Ключові слова: посівні площі, валовий збір, урожайність, олійні культури, територіальна структура, аграрне виробництво.

Simchuk A.P., Zaika, V.K., Hryhoriv Ya.Ya., Dmytryk P.M., Dushko P.M. Trends in sunflower cultivation in Ukraine

Objective. An assessment of the current state and key trends in sunflower production in Ukraine against the backdrop of the transformation of the agricultural sector driven by economic, natural, climatic, and military factors.

Methods. The study was conducted using general scientific and statistical methods. Methods of analysis, comparison, generalisation and systematisation, as well as statistical and graphical methods, were used to process the information.

Results. It has been established that, during the period 2021–2025, the sector's development was characterised by significant changes in the scale of cultivation and the geographical concentration of crops. The most significant impact on the figures for 2022–2023 was caused by the consequences of full-scale war, in particular the temporary occupation of part of the agricultural land, disruption to production and logistics infrastructure, changes in the structure of cropland, and difficulties in marketing the produce. At the same time, in subsequent years, producers adapted to the new production and economic conditions, and certain indicators gradually recovered. An analysis of crop yields showed that their trends were determined not only by changes in cultivation techniques but also by weather conditions throughout the growing season, the availability of moisture to the plants, and temperature patterns. A marked regional differentiation in sunflower cultivation was also identified: the bulk of production is traditionally concentrated in regions with favourable soil and climatic conditions, whilst in the western regions, despite smaller absolute areas under cultivation, the crop is gradually gaining greater significance within the structure of crop production. A synthesis of the results obtained provides grounds for considering sunflower as one of the key oilseed crops, accounting for a significant proportion of marketable crop production and playing a vital role in shaping the export potential of the agricultural sector.

Conclusions. The analysis carried out confirms that the current development of the sector is influenced by a complex of interrelated natural, technological and socio-economic factors. Between 2021 and 2025, there were significant changes in the areas under cultivation, the volumes of produce harvested and its geographical distribution. At the same time, the adaptability of agricultural enterprises helped to maintain the crop's prominent role in the structure of domestic crop production. Further improvements in the efficiency of its cultivation require the rational allocation of cropland, taking into account soil and climatic conditions; the optimisation of agricultural practices; the use of high-yielding hybrids; adherence to scientifically sound crop rotations; and enhancing the resilience of production to adverse weather and economic factors.

Key words: sown areas, gross yield, yield, oilseed crops, territorial structure, agricultural production.

Дата першого надходження статті до видання: 15.09.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 26.10.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.11.2026



Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

УДК 633.15:631.543.2:631.8(477.63)
DOI DOI https://doi.org/10.32848/0135-2369.2026.86.9

АГРОБІОЛОГІЧНА АДАПТИВНІСТЬ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ ЗА РІЗНОЇ ГУСТОТИ СТОЯННЯ ТА МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ В ПІВНІЧНОМУ СТЕПУ УКРАЇНИ

ЦИЛЮРИК О.І. – доктор сільськогосподарських наук, професор
orcid.org/0000-0002-7479-8401
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
ТИЩЕНКО В.О. – доктор філософії
orcid.org/0009-0006-6872-3223
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Постановка проблеми. У системі агротехнічних заходів, спрямованих на підвищення врожайності зерна кукурудзи в Північному Степу України, важливе місце належить добору гібридів, формуванню густоти стояння рослин та застосуванню мінеральних добрив. Ефективність зазначених заходів значною мірою залежить від забезпеченості посівів вологою, поживного режиму ґрунту і біологічних особливостей гібрида. Збільшення кількості рослин на одиниці площі до певної межі сприяє зростанню зернової продуктивності, однак подальше загущення посилює конкуренцію за воду, світло та елементи живлення. За незрошуваного вирощування це потребує диференційованого підходу до вибору густоти та фону удобрення.

Вибираючи технологію вирощування кукурудзи, необхідно враховувати не лише рівень одержаного врожаю, а й характер його зміни під впливом окремих агротехнічних заходів. У цьому відношенні агробіологічна адаптивність характеризує здатність гібрида реалізувати продуктивний потенціал за досліджуваних поєднань густоти стояння рослин і мінерального живлення. Водночас висока середня врожайність сама по собі не визначає екологічної стабільності або посухостійкості. Для встановлення цих властивостей потрібне окреме зіставлення реакції генотипів у різних середовищах, зокрема за підходом S. A. Eberhart і W. A. Russell [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання формування оптимальної густоти посівів кукурудзи широко висвітлено у працях вітчизняних і зарубіжних учених. За узагальненнями L. Sangoi, I. S. Tokatlidis та S. D. Koutroubas, реакція культури на загущення залежить від забезпеченості ресурсами та здатності рослин зберігати продуктивність качана за посилення внутрішньовидової конкуренції [6; 7]. Неоднакова чутливість гібридів до зміни площі живлення пов'язана з особливостями накопичення біомаси та розподілу асимілятів між вегетативними і генеративними органами [8; 9].

Підвищення врожайності сучасних гібридів дослідники пов'язують, зокрема, зі зростанням їхньої стійкості до стресових умов та здатністю формувати зерно за більшої густоти посіву [12; 19]. При цьому строк сівби і кількість рослин на одиниці площі змінюють умови використання ресурсів протягом вегетації [10; 11]. Отже, однакова густота стояння може забезпечувати сприятливі умови для одного гібрида і бути надмірною для іншого, що зумовлює необхідність їх випробування в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах.

Щодо впливу мінерального живлення, то важливе значення мають не лише дози внесених добрив, а й строки поглинання елементів та їх подальший перерозподіл у рослинах. У працях R. R. Bender зі співавторами та I. A. Ciampitti і T. J. Vyn показано залежність продуктивності кукурудзи від динаміки засвоєння поживних речовин [13; 14]. Надходження азоту протягом вегетації та його ремобілізація з вегетативних органів спільно визначають забезпечення зерна цим елементом [15; 16]. Тому оцінювання віддачі добрив урожаєм слід відрізняти від фізіологічної ефективності поглинання й використання окремих елементів живлення [17; 18].

За результатами міжнародних узагальнень, ефективність підвищення густоти посівів змінюється залежно від генотипу та умов вирощування [2; 3]. Метааналізи 2024–2025 рр. також засвідчують доцільність узгодження кількості рослин з азотним живленням, водозабезпеченням та іншими елементами технології [21; 22]. Разом з тим наведені в цих роботах оптимальні рівні густоти потребують перевірки для незрошуваних умов Північного Степу України, де інше співвідношення запасів вологи, ґрунтової родючості та норм удобрення може змінювати реакцію посівів.

В Україні вплив густоти та фону живлення на водоспоживання і продуктивність кукурудзи досліджували, зокрема, в умовах зрошення; встановлено також значення поживного режиму та гумусного стану ґрунту для формування врожаю [23; 24]. У попередніх публікаціях авторів висвітлено зміну врожайності зерна та вмісту хлорофілу в листках під впливом зазначених чинників [4; 5]. Окремо розглянуто якісні показники зерна [25]. Подальше узагальнення одержаних результатів доцільно спрямувати на зіставлення реакції гібридів і визначення прийнятних поєднань густоти та удобрення. Такий підхід узгоджується з висновками K. A. King та співавторів щодо використання діапазону агротехнічних рішень з урахуванням умов вирощування [20].

Мета статті. Встановити особливості формування зернової продуктивності гібридів кукурудзи за різної густоти стояння рослин і мінерального живлення в незрошуваних умовах Північного Степу України та на цій основі визначити агротехнічні умови найбільш повної реалізації їхнього продуктивного потенціалу.

Матеріали та методика досліджень. Польові дослідження проводили протягом 2022–2024 рр. у фермерському господарстві «Юлія і К», розташованому в с. Мар'ївка Самарівського району Дніпропетровської області, у зоні Північного Степу України. Ґрунт дослідної ділянки представлений чорноземом звичайним малогумусним із вмістом гумусу 3,3%. Уміст нітратного азоту ($N\text{-}NO_3$) становив 2,5, рухомих сполук фосфору (P_2O_5) 10,0 та калію (K_2O) 8,9 мг/100 г ґрунту; pH дорівнював 6,9, щільність складення ґрунту 1,2 г/см³. Попередником кукурудзи була пшениця озима. Дослід закладали в умовах природного зволоження, без застосування зрошення.

У досліді вивчали гібриди ДМС Лорд, ДМС Прайм, ДМС 3015 і ДМС Шатл на трьох фонах мінерального живлення: без добрив, $N_{30}P_{30}K_{30}$ та $N_{60}P_{60}K_{60}$, за густоти стояння 30, 40, 50 і 60 тис. рослин/га. Загальна кількість досліджуваних комбінацій становила 48. Мінеральні добрива у вигляді нітроамофоски вносили навесні під передпосівну культивацію. Сівбу проводили з шириною міжрядь 70 см та глибиною загортання насіння 5–6 см. Урожайність визначали шляхом ручного збирання і зважування зерна з подальшим перерахунком на стандартну вологість 14%.

Реакцію гібридів на досліджувані агротехнічні чинники оцінювали за середньою врожайністю зерна, приростами до контролю без добрив та зміною продуктивності в разі загущення посівів. Дію добрив зіставляли за однакових гібрида і густоти, а вплив густоти за однакового фону живлення. Для узагальнення результатів обчислювали рівнозважені середні за відповідними варіантами. Наведені порогові значення найменшої істотної різниці (НІР) для чинників А (гібрид), В (мінеральне живлення), С (густота стояння рослин) та комбінацій АВС становили відповідно 0,8; 0,6; 0,5 і 1,4 т/га. Нових р-значень, довірчих інтервалів і параметрів екологічної стабільності не визначали; оцінювання адаптивності обмежували реакцією врожайності на випробувані агротехнічні умови.

Абсолютний приріст урожайності розраховували як різницю між порівнюваними варіантами: $\Delta Y = Y_2 - Y_1$; відносну зміну визначали за співвідношенням $\Delta Y / Y_1 \times 100\%$. Для зіставлення густот 30 і 50 тис. рослин/га базовим був перший рівень, а для оцінювання подальшого загущення до 60 тис. рослин/га базовим слугував рівень 50 тис. рослин/га. Реакцію на удобрення на відповідній діаграмі визначали щодо варіанта без добрив за густоти 50 тис. рослин/га. На графіках лініями з'єднано експериментальні середні, а концептуальна схема відображає послідовність добору технологічних рішень.

Результати досліджень. Рівень урожайності зерна кукурудзи змінювався залежно від гібрида, густоти стояння рослин та фону мінерального живлення в межах 3,82–6,02 т/га (табл. 1). Найвищі середні показники для кожного гібрида одержано за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ та густоти 50 тис. рослин/га. На зазначеному агрофоні ДМС Лорд сформував 4,60 т/га, ДМС Прайм 5,97, ДМС 3015 6,02 і ДМС Шатл 6,01 т/га зерна. Таким чином, за однакових умов вирощування гібриди помітно відрізнялися за рівнем реалізації зернової продуктивності.

Зі збільшенням густоти стояння рослин від 30 до 50 тис./га врожайність переважно зростала, тоді як подальше загущення до 60 тис./га супроводжувалося її вирівнюванням або зниженням (рис. 1). При цьому характер змін залежав від гібрида та фону удобрення. Так, у ДМС Лорд на неудобрених ділянках за густоти 50 і 60 тис./га одержано практично однакову врожайність, відповідно 4,37 та 4,38 т/га. Подібне вирівнювання відзначено у ДМС Прайм за $N_{30}P_{30}K_{30}$, де зазначені показники становили 5,85 і 5,82 т/га. Отже, межа подальшого зростання продуктивності за загущення не була однаковою для всіх досліджуваних комбінацій.

У середньому за всіма густотами і фонами живлення врожайність ДМС Лорд становила 4,21 т/га, ДМС Прайм 5,26, ДМС 3015 5,24 та ДМС Шатл 5,46 т/га. Порівняно з ДМС Лорд три останні гібриди забезпечували додатково відповідно 1,05; 1,04 і 1,25 т/га зерна, або 24,9; 24,6 і 29,7%. Ці відмінності перевищували наведену НІР для чинника А (0,8 т/га). Водночас різниця між ДМС Прайм, ДМС 3015 та ДМС Шатл залишалася невеликою, у межах 0,02–0,22 т/га, і не досягала зазначеного порогу. Тому за середньою врожайністю їх слід розглядати як групу продуктивніших гібридів без виділення статистично доведеного лідера.

Щодо впливу густоти стояння рослин, то в середньому за дослідом за 30, 40, 50 і 60 тис./га одержано відповідно 4,45; 5,02; 5,48 і 5,23 т/га зерна. Збільшення густоти від 30 до 50 тис./га забезпечувало приріст урожайності 1,03 т/га (23,1%), який перевищував НІР чинника С (0,5 т/га). За подальшого загущення середня врожайність знижувалася на 0,25 т/га (4,5%), однак ця різниця була меншою за

Таблиця 1 – Урожайність зерна кукурудзи залежно від густоти й удобрення, середнє за 2022–2024 рр., т/га

Гібрид	Удобрення	30 тис./га	40 тис./га	50 тис./га	60 тис./га
ДМС Лорд	Без добрив	3,89	4,15	4,37	4,38
	$N_{30}P_{30}K_{30}$	3,95	4,03	4,46	4,28
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	3,82	4,17	4,60	4,39
ДМС Прайм	Без добрив	4,52	5,16	5,68	5,16
	$N_{30}P_{30}K_{30}$	4,39	5,34	5,85	5,82
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	4,53	5,19	5,97	5,48
ДМС 3015	Без добрив	3,86	4,92	5,20	5,15
	$N_{30}P_{30}K_{30}$	4,73	5,48	5,82	5,62
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	4,99	5,32	6,02	5,81
ДМС Шатл	Без добрив	4,41	5,25	5,80	5,43
	$N_{30}P_{30}K_{30}$	4,78	5,32	5,95	5,56
	$N_{60}P_{60}K_{60}$	5,51	5,86	6,01	5,67

Примітка. Середні за 2022-2024 рр. Порогові значення НІР: А: 0,8; В: 0,6; С: 0,5; АВС: 1,4 т/га.

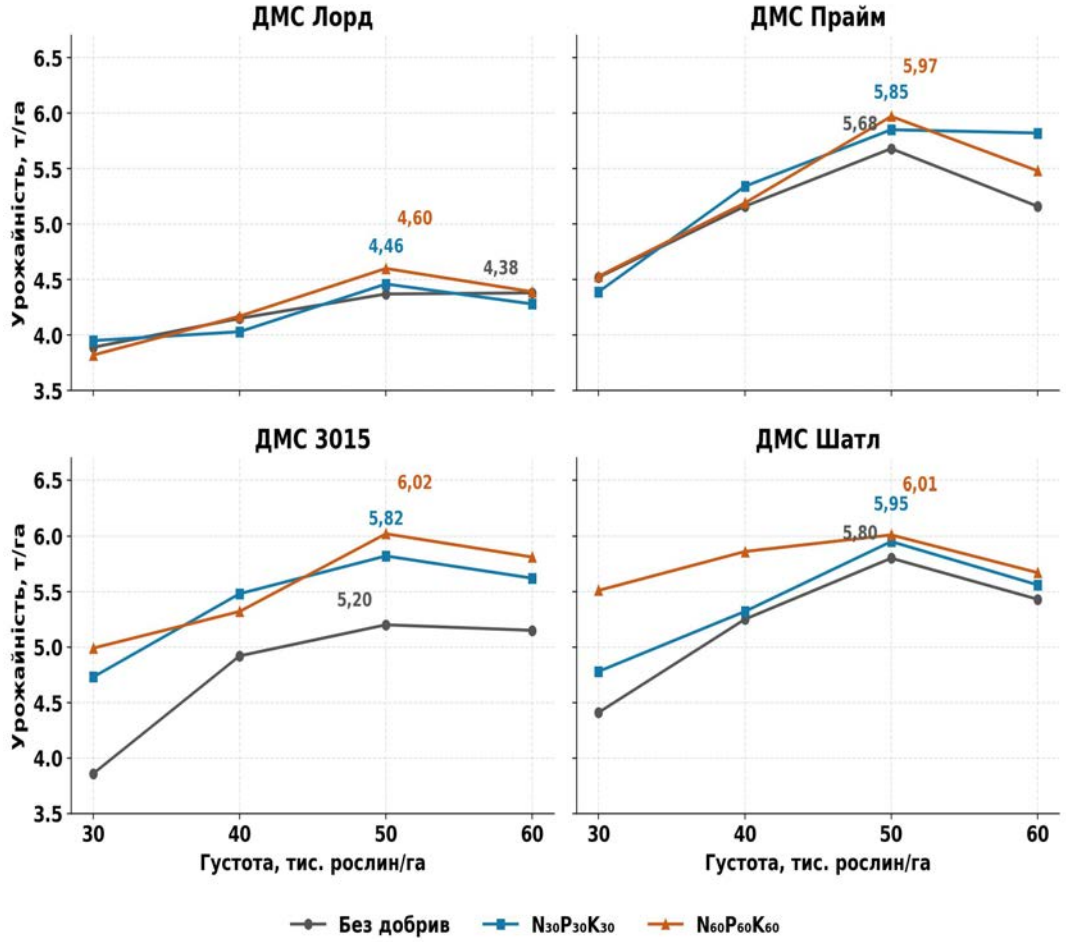


Рис. 1. Урожайність гібридів залежно від густоти та фону живлення

Примітка. Середні за 2022–2024 рр. Підписано чисельні максимуми кривих. Лінії з'єднують випробувані рівні густоти.

наведений поріг. З одержаних даних випливає, що густота 50 тис. рослин/га забезпечувала найбільшу середню продуктивність серед випробуваних рівнів, проте статистично підтвердженої переваги над густотою 60 тис./га не встановлено.

Застосування мінеральних добрив у середньому за всіма гібридами і густотами давало порівняно невисокі прирости врожаю. На фоні без добрив урожайність становила 4,83 т/га, за $N_{30}P_{30}K_{30}$ 5,09, за $N_{60}P_{60}K_{60}$ 5,21 т/га. Прирости щодо неудобреного контролю дорівнювали 0,25 т/га (5,2%) і 0,38 т/га (7,8%) та не досягали НІР чинника В (0,6 т/га). Разом з тим усереднення результатів приховує неоднакову реакцію окремих гібридів, тому віддачу добрив доцільно розглядати з урахуванням конкретної густоти посіву.

Відзначимо також залежність рівня врожаю від умов року. У середньому за всіма варіантами досліду врожайність зерна становила 6,08 т/га у 2022 р., 5,36 т/га у 2023 р. і лише 3,69 т/га у посушливому 2024 р. Порівняно з 2022 р. зниження досягало 2,39 т/га, або 39,3%. Такий розмах показників підкреслює значення умов зволоження для реалізації продуктивного потенціалу кукурудзи. Однак загальне середнє досліду характеризує реакцію посівів у цілому; для визначення посухостійкості окремих гібридів необхідно зіставити їхні річні показники та оцінити взаємодію генотипу із середовищем [1; 8].

Неоднаковий характер реакції гібридів на густоту простежується і за усереднення врожайності за трьома фонами живлення (табл. 2). Збільшення кількості рослин від 30 до 50 тис./га супроводжувалося приростом 0,59 т/га (15,2%) у ДМС Лорд, 1,35 т/га (30,2%) у ДМС Прайм, 1,15 т/га (25,5%) у ДМС 3015 та 1,02 т/га (20,8%) у ДМС Шатл. Подальше загущення до 60 тис./га знижувало середні показники всіх чотирьох гібридів. Наведені абсолютні й відносні зміни уточнюють агрономічну реакцію, а статистичну значущість взаємодії гібрида з густотою за цими описовими показниками не визначали.

Найбільшу віддачу мінерального живлення за густоти 50 тис. рослин/га за чисельними показниками одержано у ДМС 3015 (рис. 2). Внесення $N_{30}P_{30}K_{30}$ забезпечувало тут додатково 0,62 т/га (11,9%), а $N_{60}P_{60}K_{60}$ 0,82 т/га (15,8%) зерна порівняно з неудобреним контролем. У ДМС Лорд прирости від зазначених доз становили відповідно 0,09 і 0,23 т/га (2,1 і 5,3%), ДМС Прайм 0,17 і 0,29 т/га (3,0 і 5,1%),

ДМС Шатл 0,15 і 0,21 т/га (2,6 і 3,6%). Отже, реакція ДМС 3015 на поліпшення поживного режиму була виразнішою за величиною приростів. Водночас відмінності окремих комбінацій залишалися нижчими за HIP ABC (1,4 т/га), що обмежує висновок про статистичну перевагу цієї реакції.

Підвищення дози повного мінерального добрива від $N_{30}P_{30}K_{30}$ до $N_{60}P_{60}K_{60}$ за густоти 50 тис. рослин/га давало значно менший додатковий урожай, ніж перехід від неудобреного фону до першої дози. Різниця між двома удобреними варіантами становила 0,14 т/га у ДМС Лорд, 0,12 т/га у ДМС Прайм, 0,20 т/га у ДМС 3015 та 0,06 т/га у ДМС Шатл. Таким чином, подвоєння кількості внесених елементів живлення не супроводжувалося пропорційним зростанням зернової продуктивності. Це свідчить про необхідність узгодження рівня удобрення з ресурсним забезпеченням посівів, насамперед умовами використання поживних речовин за конкретної густоти [14; 21].

Порівнюючи реакцію ДМС Шатл і ДМС 3015, слід відзначити різне співвідношення врожайності на неудобреному фоні та приросту від добрив. За густоти 50 тис. рослин/га ДМС Шатл без удобрення формував 5,80 т/га зерна, а ДМС 3015 5,20 т/га. На фоні $N_{60}P_{60}K_{60}$ урожайність цих гібридів майже вирівнювалася і становила відповідно 6,01 та 6,02 т/га. Отже, близький кінцевий рівень продуктивності досягався за неоднакової реакції на мінеральне живлення: у ДМС Шатл він поєднувався з вищим урожаєм на контролі, а у ДМС 3015 з більшим приростом від добрив. Ця особливість має значення для диференціації технології, однак не визначає ефективності засвоєння окремих елементів живлення.

З агробіологічного погляду зростання врожайності до певного рівня густоти та її подальше вирівнювання узгоджуються зі зміною індивідуальної продуктивності рослин за посилення конкуренції і здатністю зберігати формування качана [6; 12]. Неоднакова віддача добрив може бути пов'язана з особливостями поглинання й перерозподілу елементів живлення [13; 18]. У наших дослідженнях ці процеси оцінено за їх кінцевим результатом, урожайністю зерна. Тому зазначене пояснення розглядається як агробіологічне обґрунтування виявлених закономірностей; внесок окремих фізіологічних механізмів безпосередньо не визначали.

З проведених досліджень випливає, що добір гібрида, густоти стояння рослин і фону удобрення необхідно здійснювати з урахуванням ресурсів конкретного поля. Для умов господарства густота 50 тис. рослин/га може слугувати вихідним орієнтиром, оскільки забезпечувала найбільшу середню врожайність у випробуваному діапазоні. Остаточне рішення слід узгоджувати із запасами продуктивної вологи, агрохімічним станом ґрунту та реакцією обраного гібрида. Невеликі прирости від добрив в окремих варіантах не усувають необхідності підтримувати баланс поживних речовин у сівозміні [17; 24]. При цьому результати незрошуваного

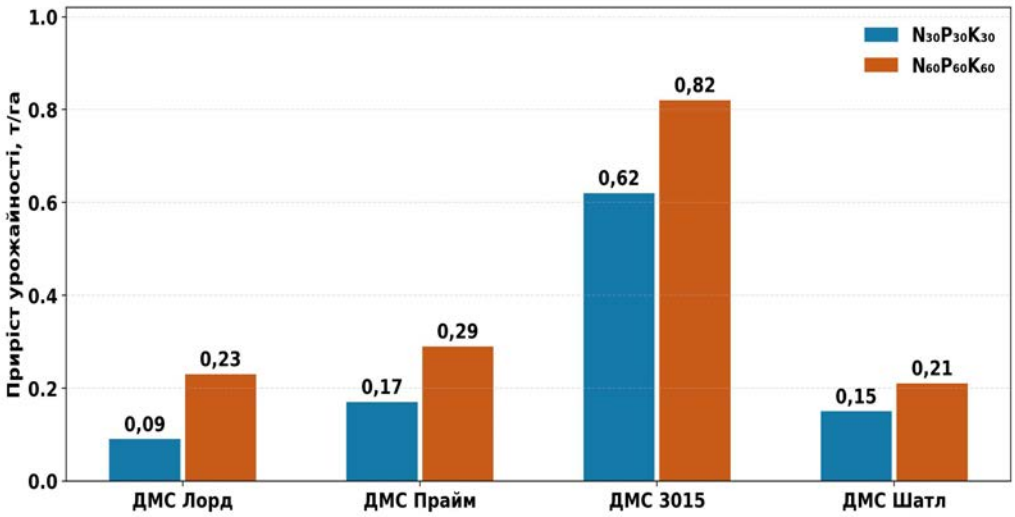


Рис. 2. Приріст урожайності від мінерального живлення щодо контролю за густоти 50 тис. рослин/га

Примітка. Контролем є варіант без добрив за однакових гібрида і густоти стояння рослин.

Таблиця 2 – Порівняльна реакція гібридів на густоту стояння рослин, середнє за 2022–2024 рр.

Гібрид	30 тис./га, т/га	50 тис./га, т/га	60 тис./га, т/га	Приріст від 30 до 50, т/га (%)	Зміна від 50 до 60, т/га (%)
ДМС Лорд	3,89	4,48	4,35	+0,59 (+15,2)	-0,13 (-2,8)
ДМС Прайм	4,48	5,83	5,49	+1,35 (+30,2)	-0,35 (-5,9)
ДМС 3015	4,53	5,68	5,53	+1,15 (+25,5)	-0,15 (-2,7)
ДМС Шатл	4,90	5,92	5,55	+1,02 (+20,8)	-0,37 (-6,2)

Примітка. Середні за трьома фонами живлення. Приріст за збільшення густоти від 30 до 50 тис. рослин/га розраховано щодо 30 тис./га, зміну від 50 до 60 тис./га щодо 50 тис./га. Показники характеризують описову реакцію гібридів.

досліду потребують додаткової перевірки в умовах зрошення [23].

Висновки. У незрошуваних умовах ФГ «Юлія і К» у Північному Степу України зернова продуктивність кукурудзи залежала від гібрида та поєднання густоти стояння рослин з мінеральним живленням. У середньому за 2022-2024 рр. ДМС Прайм, ДМС 3015 і ДМС Шатл перевищували ДМС Лорд на 1,05; 1,04 та 1,25 т/га (24,9; 24,6 і 29,7%) відповідно. Відмінності між трьома продуктивнішими гібридами не досягали наведеного порогу НІР для чинника А. Найвищі середні показники для кожного гібрида одержано за $N_{60}P_{60}K_{60}$ та густоти 50 тис. рослин/га: 4,60 т/га у ДМС Лорд, 5,97 у ДМС Прайм, 6,02 у ДМС 3015 і 6,01 т/га у ДМС Шатл.

Збільшення густоти від 30 до 50 тис. рослин/га забезпечувало в середньому приріст урожайності 1,03 т/га (23,1%) та підвищення її рівня до 5,48 т/га. Подальше загущення до 60 тис./га знижувало середній показник на 0,25 т/га (4,5%), однак статистично підтвердженої різниці між цими двома густотами не встановлено. За 50 тис. рослин/га найбільші чисельні прирости від $N_{30}P_{30}K_{30}$ і $N_{60}P_{60}K_{60}$ відзначено у ДМС 3015, відповідно 0,62 та 0,82 т/га (11,9 і 15,8%). ДМС Шатл вирізнявся вищою врожайністю на неудобреному контролі за цієї густоти та невеликою віддачею добрив. Для виробничих умов доцільний диференційований добір агротехнічних заходів з урахуванням запасів вологи, поживного режиму ґрунту та реакції гібрида. Одержані результати характеризують адаптивність у межах досліджуваних умов; екологічну стабільність і посухостійкість генотипів окремо не встановлено.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science. 1966. Vol. 6(1). P. 36-40. DOI: https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x.

2. Assefa Y., Vara Prasad P. V., Carter P., Hinds M., Bhalla G., Schon R., Jeschke M., Paszkiewicz S., Ciampitti I. A. Yield responses to planting density for US modern corn hybrids: a synthesis-analysis. Crop Science. 2016. Vol. 56, no. 5. P. 2802-2817. DOI: https://doi.org/10.2135/cropsci2016.04.0215.

3. Qian C., Yu Y., Gong X., Jiang Y., Zhao Y., Yang Z., Hao Y., Li L., Song Z., Zhang W. Response of grain yield to plant density and nitrogen rate in spring maize hybrids released from 1970 to 2010 in Northeast China. The Crop Journal. 2016. Vol. 4, no. 6. P. 459-467. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.04.004.

4. Цилюрик О. І., Тищенко В. О. Вплив густоти стояння рослин та рівня мінерального живлення на урожайність зерна кукурудзи в умовах Північного Степу України. Таврійський науковий вісник. 2024. № 137. С. 319-327. DOI: https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.38.

5. Цилюрик О. І., Тищенко В. О. Вплив густоти стояння рослин та рівня мінерального живлення на уміст хлорофілу в листках кукурудзи. Аграрні інновації. 2024. № 27. С. 133-139. DOI: https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.27.20.

6. Sangoi L. UNDERSTANDING PLANT DENSITY EFFECTS ON MAIZE GROWTH AND DEVELOPMENT: AN IMPORTANT ISSUE TO MAXIMIZE GRAIN YIELD. Ciência Rural. 2001. Vol. 31(1). P. 159-168. DOI: https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000100027.

7. Tokatlidis I. S., Koutroubas S. D. A review of maize hybrids' dependence on high plant populations and its implications for crop yield stability. Field Crops Research. 2004. Vol. 88(2-3). P. 103-114. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.11.013.

8. Tokatlidis I. S. Adapting maize crop to climate change. Agronomy for Sustainable Development. 2013. Vol. 33(1). P. 63-79. DOI: https://doi.org/10.1007/s13593-012-0108-7.

9. Sarlangue T., Andrade F. H., Calviño P. A., Purcell L. C. Why Do Maize Hybrids Respond Differently to Variations in Plant Density?. Agronomy Journal. 2007. Vol. 99(4). P. 984-991. DOI: https://doi.org/10.2134/agronj2006.0205.

10. Van Roekel R. J., Coulter J. A. Agronomic Responses of Corn to Planting Date and Plant Density. Agronomy Journal. 2011. Vol. 103(5). P. 1414-1422. DOI: https://doi.org/10.2134/agronj2011.0071.

11. Stanger T. F., Lauer J. G. Optimum Plant Population of Bt and Non-Bt Corn in Wisconsin. Agronomy Journal. 2006. Vol. 98(4). P. 914-921. DOI: https://doi.org/10.2134/agronj2005.0144.

12. Tollenaar M., Wu J. Yield Improvement in Temperate Maize is Attributable to Greater Stress Tolerance. Crop Science. 1999. Vol. 39(6). P. 1597-1604. DOI: https://doi.org/10.2135/cropsci1999.3961597x.

13. Bender R. R., Haegele 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(1). P. 161-170. DOI: https://doi.org/10.2134/agronj2012.0352.

14. Ciampitti I. A., Vyn T. J. A comprehensive study of plant density consequences on nitrogen uptake dynamics of maize plants from vegetative to reproductive stages. Field Crops Research. 2011. Vol. 121(1). P. 2-18. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.10.009.

15. Ciampitti I. A., Vyn T. J. Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: A review. Field Crops Research. 2012. Vol. 133. P. 48-67. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.03.008.

16. Ciampitti I. A., Vyn T. J. Grain Nitrogen Source Changes over Time in Maize: A Review. Crop Science. 2013. Vol. 53(2). P. 366-377. DOI: https://doi.org/10.2135/cropsci2012.07.0439.

17. Ciampitti I. A., Camberato J. J., Murrell S. T., Vyn T. J. Maize Nutrient Accumulation and Partitioning in Response to Plant Density and Nitrogen Rate: I. Macronutrients. Agronomy Journal. 2013. Vol. 105(3). P. 783-795. DOI: https://doi.org/10.2134/agronj2012.0467.

18. Ciampitti I. A., Murrell S. T., Camberato J. J., Tuinstra M., Xia Y., Friedemann P., Vyn T. J. Physiological Dynamics of Maize Nitrogen Uptake and Partitioning in Response to Plant Density and Nitrogen Stress Factors: II. Reproductive Phase. Crop Science. 2013. Vol. 53(6). P. 2588-2602. DOI: https://doi.org/10.2135/cropsci2013.01.0041.

19. Assefa Y., Carter P., Hinds M., Bhalla G., Schon R., Jeschke M., Paszkiewicz S., Smith S., Ciampitti I. A. Analysis of Long Term Study Indicates Both Agronomic

Optimal Plant Density and Increase Maize Yield per Plant Contributed to Yield Gain. Scientific Reports. 2018. Vol. 8(1). P. 4937. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-018-23362-x.

20. King K. A., Archontoulis S. V., Baum M. E., Edwards J. W. From a point to a range of optimum estimates for maize plant density and nitrogen rate recommendations. Agronomy Journal. 2024. Vol. 116(2). P. 598-611. DOI: https://doi.org/10.1002/agj2.21516.

21. Shao H., Wu X., Chi H., Zhu F., Liu J., Duan J., Shi W., Xu Y., Mi G. How does increasing planting density affect nitrogen use efficiency of maize: A global meta-analysis. Field Crops Research. 2024. Vol. 311. P. 109369. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109369.

22. Lei R., Wang Y., Zhou J., Xiang H. Tap Maize Yield Productivity in China: A Meta-Analysis of Agronomic Measures and Planting Density Optimization. Agronomy. 2025. Vol. 15(4). P. 861. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy15040861.

23. Вожегова Р. А., Бєлов Я. В. Вплив густоти стояння рослин та фону живлення на водоспоживання та продуктивність гібридів кукурудзи в умовах зрошення Півдня України. Зрошуване землеробство. 2019. Вип. 72. С. 4-7. DOI: https://doi.org/10.32848/0135-2369.2019.72.1.

24. Вожегова Р. А., Малярчук М. П., Малярчук А. С., Марковська О. Є. Формування гумусного стану та поживного режиму ґрунту під кукурудзу на зерно в сівозміні на зрошенні. Вісник аграрної науки. 2019. Вип. 97(9). С. 12-20. DOI: https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201909-02.

25. Цилюрик О. І., Тищенко В. О. Якість зерна кукурудзи під впливом густоти стояння рослин та рівня мінерального живлення в Степу України. Таврійський науковий вісник. 2024. Вип. 139(2). С. 136-143. DOI: https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.139.2.17.

REFERENCES:

1. Eberhart, S. A., & Russell, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. Crop Science, 6(1), 36-40. https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x

2. Assefa, Y., Vara Prasad, P. V., Carter, P., Hinds, M., Bhalla, G., Schon, R., Jeschke, M., Paszkiewicz, S., & Ciampitti, I. A. (2016). Yield responses to planting density for US modern corn hybrids: A synthesis-analysis. Crop Science, 56(5), 2802-2817. https://doi.org/10.2135/cropsci2016.04.0215

3. Qian, C., Yu, Y., Gong, X., Jiang, Y., Zhao, Y., Yang, Z., Hao, Y., Li, L., Song, Z., & Zhang, W. (2016). Response of grain yield to plant density and nitrogen rate in spring maize hybrids released from 1970 to 2010 in Northeast China. The Crop Journal, 4(6), 459-467. https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.04.004

4. Tsyliuryk, O. I., & Tyshchenko, V. O. (2024). Vplyv hustoty stoiannia roslyn ta rivnia mineralnoho zhyvlennia na urozhainist zerna kukurudzy v umovakh Pivnichnoho Stepu Ukrainy [Effect of plant density and mineral nutrition on maize grain yield in the Northern Steppe of Ukraine]. Tavriiskyi naukovyi visnyk, 137, 319-327. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.38 [in Ukrainian].

5. Tsyliuryk, O. I., & Tyshchenko, V. O. (2024). Vplyv hustoty stoiannia roslyn ta rivnia mineralnoho zhyvlennia na umist khlorofilu v lystkakh kukurudzy [Effect of plant density and mineral nutrition on chlorophyll content in maize leaves]. Ahrarni innovatsii, 27, 133-139. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.27.20 [in Ukrainian].

6. Sangoi, L. (2001). UNDERSTANDING PLANT DENSITY EFFECTS ON MAIZE GROWTH AND DEVELOPMENT: AN IMPORTANT ISSUE TO MAXIMIZE GRAINYIELD. Ciência Rural, 31(1), 159-168. https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000100027

7. Tokatlidis, I. S., & Koutroubas, S. D. (2004). A review of maize hybrids' dependence on high plant populations and its implications for crop yield stability. Field Crops Research, 88(2-3), 103-114. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.11.013

8. Tokatlidis, I. S. (2013). Adapting maize crop to climate change. Agronomy for Sustainable Development, 33(1), 63-79. https://doi.org/10.1007/s13593-012-0108-7

9. Sarlangue, T., Andrade, F. H., Calviño, P. A., & Purcell, L. C. (2007). Why Do Maize Hybrids Respond Differently to Variations in Plant Density?. Agronomy Journal, 99(4), 984-991. https://doi.org/10.2134/agronj2006.0205

10. Van Roekel, R. J., & Coulter, J. A. (2011). Agronomic Responses of Corn to Planting Date and Plant Density. Agronomy Journal, 103(5), 1414-1422. https://doi.org/10.2134/agronj2011.0071

11. Stanger, T. F., & Lauer, J. G. (2006). Optimum Plant Population of Bt and Non-Bt Corn in Wisconsin. Agronomy Journal, 98(4), 914-921. https://doi.org/10.2134/agronj2005.0144

12. Tollenaar, M., & Wu, J. (1999). Yield Improvement in Temperate Maize is Attributable to Greater Stress Tolerance. Crop Science, 39(6), 1597-1604. https://doi.org/10.2135/cropsci1999.3961597x

13. Bender, R. R., Haegele, J. W., Ruffo, M. L., & Below, F. E. (2013). Nutrient Uptake, Partitioning, and Remobilization in Modern, Transgenic Insect-Protected Maize Hybrids. Agronomy Journal, 105(1), 161-170. https://doi.org/10.2134/agronj2012.0352

14. Ciampitti, I. A., & Vyn, T. J. (2011). A comprehensive study of plant density consequences on nitrogen uptake dynamics of maize plants from vegetative to reproductive stages. Field Crops Research, 121(1), 2-18. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.10.009

15. Ciampitti, I. A., & Vyn, T. J. (2012). Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: A review. Field Crops Research, 133, 48-67. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.03.008

16. Ciampitti, I. A., & Vyn, T. J. (2013). Grain Nitrogen Source Changes over Time in Maize: A Review. Crop Science, 53(2), 366-377. https://doi.org/10.2135/cropsci2012.07.0439

17. Ciampitti, I. A., Camberato, J. J., Murrell, S. T., & Vyn, T. J. (2013). Maize Nutrient Accumulation and Partitioning in Response to Plant Density and Nitrogen Rate: I. Macronutrients. Agronomy Journal, 105(3), 783-795. https://doi.org/10.2134/agronj2012.0467

18. Ciampitti, I. A., Murrell, S. T., Camberato, J. J., Tuinstra, M., Xia, Y., Friedemann, P., & Vyn, T. J. (2013). Physiological Dynamics of Maize Nitrogen Uptake and Partitioning in Response to Plant Density and Nitrogen Stress Factors: II. Reproductive Phase. Crop

Science, 53(6), 2588-2602. https://doi.org/10.2135/cropsci2013.01.0041

19. Assefa, Y., Carter, P., Hinds, M., Bhalla, G., Schon, R., Jeschke, M., Paszkiewicz, S., Smith, S., & Ciampitti, I. A. (2018). Analysis of Long Term Study Indicates Both Agronomic Optimal Plant Density and Increase Maize Yield per Plant Contributed to Yield Gain. Scientific Reports, 8(1), 4937. https://doi.org/10.1038/s41598-018-23362-x

20. King, K. A., Archontoulis, S. V., Baum, M. E., & Edwards, J. W. (2024). From a point to a range of optimum estimates for maize plant density and nitrogen rate recommendations. Agronomy Journal, 116(2), 598-611. https://doi.org/10.1002/agj2.21516

21. Shao, H., Wu, X., Chi, H., Zhu, F., Liu, J., Duan, J., Shi, W., Xu, Y., & Mi, G. (2024). How does increasing planting density affect nitrogen use efficiency of maize: A global meta-analysis. Field Crops Research, 311, 109369. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109369

22. Lei, R., Wang, Y., Zhou, J., & Xiang, H. (2025). Tap Maize Yield Productivity in China: A Meta-Analysis of Agronomic Measures and Planting Density Optimization. Agronomy, 15(4), 861. https://doi.org/10.3390/agronomy15040861

23. Vozhehova, R. A., & Bielov, Ya. V. (2019). Vplyv hustoty stoiannia roslyn ta fonu zhyvlennia na vodospozhyvannia ta produktyvnist hibrydiv kukurudzy v umovakh zroshennia Pivdnia Ukrainy [Influence of plant stand density and nutritional background on water consumption and productivity of maize hybrids in irrigation conditions of Southern Ukraine]. Zroshuvane zemlerobstvo, 72, 4-7. https://doi.org/10.32848/0135-2369.2019.72.1 [in Ukrainian].

24. Vozhehova, R. A., Maliarchuk, M. P., Maliarchuk, A. S., & Markovska, O. Ye. (2019). Formuvannia humusnoho stanu ta pozhyvnoho rezhymu gruntu pid kukurudzu na zerno v sivozmini na zroshenni [Formation of humus state and nutritive regimen of soil for cultivation of corn for grain in crop rotation at irrigation]. Visnyk ahrarnoi nauky, 97(9), 12-20. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201909-02 [in Ukrainian].

25. Tsyliuryk, O. I., & Tyshchenko, V. O. (2024). Yakist zerna kukurudzy pid vplyvom hustoty stoiannia roslyn ta rivnia mineralnoho zhyvlennia v Stepu Ukrainy [Corn grain quality under the influence of plant density and level of mineral nutrition in the Steppe of Ukraine]. Tavriiskyi naukovyi visnyk, 139(2), 136-143. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.139.2.17 [in Ukrainian].

Цилюрик О.І., Тищенко В.О. Агробіологічна адаптивність гібридів кукурудзи за різної густоти стояння та мінерального живлення в Північному Степу України

Мета. Встановити особливості формування зернової продуктивності гібридів кукурудзи за різної густоти стояння рослин і мінерального живлення в незрошуваних умовах Північного Степу України та визначити агротехнічні умови реалізації їхнього продуктивного потенціалу.

Методи. Польові дослідження проводили протягом 2022–2024 рр. у ФГ «Юлія і К», с. Мар'ївка Самарівського району Дніпропетровської області, на чорноземі звичайному малогумусному після пшениці озимої. Вивчали гібриди ДМС Лорд, ДМС Прайм, ДМС 3015 і ДМС Шатл на фонах без добрив, $N_{30}P_{30}K_{30}$ та $N_{60}P_{60}K_{60}$ за густоти 30, 40, 50 і 60 тис. рослин/га. Урожайність зерна визначали за стандартної вологості 14%. Обчислювали середні показники, абсолютні та відносні прирости до відповідного контролю; порівняння здійснювали з урахуванням наведених порогів НІР. Параметри екологічної стабільності та нові дисперсійні моделі не розраховували.

Результати. Найвищу середню врожайність для кожного гібрида одержано за $N_{60}P_{60}K_{60}$ та густоти 50 тис. рослин/га: у ДМС Лорд 4,60 т/га, ДМС Прайм 5,97, ДМС 3015 6,02 і ДМС Шатл 6,01 т/га. У середньому за дослідом три останні гібриди перевищували ДМС Лорд на 1,04-1,25 т/га (24,6-29,7%). Збільшення густоти від 30 до 50 тис. рослин/га підвищувало середню врожайність від 4,45 до 5,48 т/га, або на 1,03 т/га (23,1%). За 60 тис. рослин/га її рівень становив 5,23 т/га, однак зниження на 0,25 т/га (4,5%) не досягало НІР чинника густоти. Найбільші чисельні прирости від мінеральних добрив за 50 тис. рослин/га відзначено у ДМС 3015: 0,62 та 0,82 т/га (11,9 і 15,8%) відповідно для $N_{30}P_{30}K_{30}$ та $N_{60}P_{60}K_{60}$; відмінності окремих комбінацій залишалися нижчими за поріг АВС. У посушливому 2024 р. середня врожайність досліду знижувалася проти 2022 р. на 2,39 т/га (39,3%).

Висновки. Агробіологічна реакція гібридів на густоту та удобрення відрізнялася за співвідношенням урожайності на контролі й приростів від мінерального живлення. Густота 50 тис. рослин/га забезпечувала найбільшу середню продуктивність у випробуваному діапазоні. ДМС 3015 мав найбільші чисельні прирости від добрив за цієї густоти, тоді як ДМС Шатл поєднував високий урожай без добрив з невеликою віддачею удобрення. Для виробництва добір густоти та фону живлення необхідно узгоджувати із запасами вологи, агрохімічним станом поля і реакцією конкретного гібрида. Екологічну стабільність та посухостійкість генотипів окремо не встановлено.

Ключові слова: Zea mays L., зернова продуктивність, конкуренція рослин, площа живлення, нітроамофоска, водозабезпечення, ресурсні обмеження.

Tsyliuryk O.I., Tyshchenko V.O. Agrobiological adaptability of maize hybrids under different stand densities and mineral nutrition in the Northern Steppe of Ukraine

Purpose. To establish the grain yield responses of maize hybrids to stand density and mineral nutrition under rainfed conditions in the Northern Steppe of Ukraine and identify agronomic conditions for realizing their productive potential.

Methods. Field experiments were conducted in 2022–2024 at the Yuliia i K farm in Mariivka, Dnipropetrovsk region, on an ordinary low-humus chernozem following winter wheat. DMS Lord, DMS Praim, DMS 3015 and DMS Shatl were studied without fertilizer and with $N_{30}P_{30}K_{30}$ or $N_{60}P_{60}K_{60}$ at densities of 30,000, 40,000, 50,000 and 60,000 plants per hectare. Grain yields were adjusted to 14% moisture. Treatment means and absolute and relative changes against the respective controls were calculated. Comparisons accounted for the reported least significant difference thresholds. Ecological stability parameters and new analysis of variance models were not estimated.

Results. The highest mean yields for each hybrid were obtained with $N_{60}P_{60}K_{60}$ at 50,000 plants per hect-

are: 4.60 tonnes per hectare for DMS Lord, 5.97 for DMS Praim, 6.02 for DMS 3015 and 6.01 for DMS Shatl. The overall means of the latter three hybrids exceeded DMS Lord by 1.04-1.25 tonnes per hectare, or 24.6–29.7%. Increasing stand density from 30,000 to 50,000 plants per hectare raised the overall mean yield from 4.45 to 5.48 tonnes per hectare, an increase of 1.03 tonnes per hectare (23.1%). At 60,000 plants per hectare, the mean yield was 5.23 tonnes per hectare; the reduction of 0.25 tonnes per hectare (4.5%) remained below the density threshold. At 50,000 plants per hectare, DMS 3015 showed the largest numerical fertilizer responses: 0.62 and 0.82 tonnes per hectare (11.9 and 15.8%) for $N_{30}P_{30}K_{30}$ and $N_{60}P_{60}K_{60}$, respectively. Individual treatment differences remained below the three-factor threshold. In the dry year 2024, the overall mean yield was 2.39 tonnes per hectare (39.3%) lower than in 2022.

Conclusions. Hybrid responses to stand density and fertilization differed in the balance between unfertilized yield and fertilizer-induced increments. A density of 50,000 plants per hectare produced the highest overall mean within the tested range. At this density, DMS 3015 showed the largest numerical fertilizer responses, whereas DMS Shatl combined a high unfertilized yield with small fertilizer increments. For farm practice, stand density and mineral nutrition should be selected according to soil water availability, nutrient status and the response of the individual hybrid. Ecological stability and drought tolerance of the genotypes were not independently established.

Key words: Zea mays L., grain productivity, plant competition, growing area, compound fertilizer, water availability, resource limitations.

Дата першого надходження статті до видання: 05.10.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 26.10.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.11.2026

Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

УДК 633.491:632.482.112:631.524.85
DOI DOI https://doi.org/10.32848/0135-2369.2026.86.10

ОЦІНКА СКЛАДОВИХ ГЕНОФОНДУ КАРТОПЛІ ЗА СТІЙКІСТЮ ДО PHYTOPHTHORA INFESTANS (MONT.) DE BARY

КОВАЛЬ В.С. – завідувач лабораторії генетичних ресурсів
orcid.org/0000-0002-2721-2463
Інститут картоплярства Національної академії аграрних наук України

Постановка проблеми. Картопля (*Solanum tuberosum* L.) є однією з основних продовольчих культур, урожайність якої істотно знижує фітофтороз, спричинений *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. Щорічні глобальні втрати врожаю та витрати на контроль хвороби оцінюють до 10 млрд дол. США [1]. Шкодочинність патогена зумовлена швидким поширенням інфекції, ураженням листків, стебел і бульб та значною залежністю розвитку хвороби від температурно-вологісних умов [2].

Контроль фітофторозу ускладнюється високою мінливістю популяцій *P. infestans*. Їхня структура змінюється під впливом міграції, статевого розмноження, клімату й технологій вирощування, а окремі клональні лінії можуть відрізнятися за вірулентністю та чутливістю до фунгіцидів [3]. Тому селекція на генетичну стійкість залишається одним із основних способів зниження ризику втрат урожаю.

Резистентність картоплі до P. infestans може визначатися окремими R-генами або полігенними механізмами, що обмежують проникнення та поширення патогена в тканинах. Значний резерв таких факторів зосереджений у генофонді роду *Solanum*: у його представників ідентифіковано понад 70 генів стійкості, пов'язаних із 32 видами [4].

Залучення диких видів у селекцію потребує подолання міжвидових бар'єрів, відмінностей плоїдності та усунення небажаних господарських ознак. Тому для перенесення факторів резистентності використовують міжвидову гібридизацію з наступним беккросуванням, що дає змогу поєднувати стійкість із ознаками культурного типу [5]. Результативність такого підходу підтверджена, зокрема, комбінуванням генів RB, Rpi-blb2 і Rpi-vnt1.1, яке забезпечило високий рівень польової стійкості створених форм протягом кількох сезонів [6].

Селекційна цінність такого матеріалу визначається не лише рівнем резистентності, а й її поєднанням з урожайністю, структурою врожаю та вмістом крохмалю. Тому оцінювання беккросів багатовидових гібридів за комплексом фітопатологічних і господарсько-цінних ознак є необхідним для виділення перспективного вихідного матеріалу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Залежність прояву стійкості картоплі до P. infestans від умов середовища встановили Н. В. Писаренко, Н. А. Захарчук, Т. М. Олійник і В. М. Собран під час оцінювання сортів і гібридів у Карпатському регіоні. Автори показали, що інтенсивність розвитку фітофторозу та диференціація генотипів за стійкістю змінювалися залежно від гідротермічних умов років дослідження [7].

Геномні дослідження доповнюють польове фенотипування визначенням локусів, пов'язаних із резистентністю. S. Sood та співавтори при аналізі 222 зразків картоплі виявили сім SNP-асоціацій зі стійкістю до фітофторозу [8]. J. Park та співавтори у популяції зі 190 нащадків встановили шість QTL, окремі з яких пояснювали 56–71% генетичної мінливості ознаки [9]. T. Aalborg та співавтори, дослідивши 1520 генотипованих клонів протягом трьох польових сезонів, ідентифікували п'ять значущих QTL, що підтверджує складний характер успадкування польової стійкості [10].

У селекційному матеріалі важливим є поєднання резистентності з продуктивністю та іншими господарсько-цінними ознаками. Р. В. Ільчук виділив серед гібридного потомства форми з високою польовою стійкістю до фітофторозу та цінними агрономічними характеристиками [11]. A. Rucins та співавтори також показали диференціацію гібридів за стійкістю листків і бульб та залежність прояву цінних поєднань ознак від генетичного походження матеріалу [12].

Попри значний обсяг таких досліджень, недостатньо охарактеризованими залишаються беккроси багатовидових гібридів за одночасним проявом стійкості бульб до проникнення і поширення *P. infestans* та господарсько-цінних ознак. Комплексна оцінка такого матеріалу необхідна для виділення генотипів, які поєднують резистентність із високою продуктивністю, оптимальною структурою врожаю та вмістом крохмалю.

Мета. Оцінити беккроси багатовидових гібридів картоплі за стійкістю до *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary та виділити генотипи, у яких високий рівень резистентності поєднується з комплексом господарсько-цінних ознак.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження проводили у 2025 р. в Інституті картоплярства НААН. Матеріалом слугували беккроси багатовидових гібридів картоплі з розсадника поглибленого

вивчення. Польові й лабораторні дослідження виконували відповідно до загальноприйнятої методики дослідної справи в картоплярстві [13].

Загалом методом штучного інфікування *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary оцінено 90 зразків. Для досліду використовували цілі, неушкоджені, неозеленені бульби без ознак інших хвороб і пошкодження шкідниками. Бульби занурювали на 5 хв у суспензію *P. infestans* із концентрацією інокулюму 25–30 інфекційних одиниць у полі зору мікроскопа за збільшення ×120. Після інокуляції їх розміщували у посуді зі зволоженим фільтрувальним папером та інкубували за температури 18–20 °С і відносної вологості повітря понад 90%. Зволоження проводили через день.

Облік ураження здійснювали через 30 діб після зараження шляхом поздовжнього розрізання бульб. Резистентність визначали за 9-бальною шкалою з використанням стійких і сприйнятливих сортів-стандартів. Окремо враховували стійкість проти проникнення патогена та його поширення у тканинах бульби. Досліджувані форми розподіляли на групи зі стійкістю <5,0; 5,0–6,9; 7,0–7,9 та 8,0–9,0 бала.

Для виділених стійких форм поряд із фітопатологічною характеристикою визначали основні господарсько-цінні показники: урожайність, середню масу товарної бульби, кількість бульб у кущі та вміст крохмалю. Комплексне оцінювання було спрямоване на встановлення можливості поєднання високої резистентності до *P. infestans* із ознаками, що визначають продуктивність та якість селекційного матеріалу.

Статистичне опрацювання даних проводили методами описової статистики з визначенням середнього арифметичного, медіани, стандартного відхилення та коефіцієнта варіації.

Результати досліджень. Результати штучного інфікування засвідчили значну диференціацію беккросів багатовидових гібридів картоплі за реакцією на *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. Серед 90 досліджених зразків були представлені форми з різним рівнем резистентності – від слабкої реакції до високої здатності обмежувати розвиток патогена. Модальним класом при розподілі матеріалу, що вивчався, за групами стійкості був клас менше 5 балів, до якого віднесено 41% зразків (рис. 1).

Отже, понад дві п'ятих досліджуваних беккросів не забезпечували достатнього обмеження розвитку інфекційного процесу за умов штучного зараження. Водночас висока частка низькостійких форм є закономірною для селекційних популяцій складного міжвидового походження, оскільки розщеплення за ознаками резистентності супроводжується формуванням широкого спектра фенотипових реакцій.

Зразки з оцінкою 5,0–6,9 бала становили 29% досліджуваної сукупності. Цю групу можна розглядати як проміжну за характером реакції на патоген: її представники виявляли певну здатність обмежувати розвиток інфекції, однак рівень резистентності був недостатнім для віднесення їх до найбільш цінної групи вихідного матеріалу. Разом низько- та середньостійкі форми становили близько 70% досліджуваної сукупності, що додатково підкреслює селекційну цінність генотипів, які в умовах аналогічного інфекційного навантаження забезпечували високі показники резистентності. До групи з підвищеною стійкістю 7,0–7,9 бала належало 18% зразків, а до високостійких форм з оцінкою 8,0–9,0 бала – 12%. Загалом ці групи становили 30% досліджуваного матеріалу, що дає підстави розглядати їх як особливо перспективний матеріал для подальшого селекційного використання.

Полігенний характер стійкості до Phytophthora infestans ускладнює створення вихідного матеріалу, в якому висока резистентність поєднується з цінними господарськими ознаками. Тому важливим етапом є виділення генотипів із комплексним проявом стійкості та продуктивності. Таке поєднання дає змогу оцінити практичну селекційну цінність стійких форм і визначити найбільш придатні з них для подальшого використання у схрещуваннях.

Саме за цим принципом для поглибленого аналізу було відібрано 19 високо- та підвищеностійких беккросів. Водночас навіть у межах цієї групи встановлено істотну мінливість за продуктивністю. Урожайність варіювала від 400,0 до 745,0 г/кущ, середнє значення становило 560,6 г/кущ, медіана – 540,0 г/кущ, стандартне відхилення – 116,9 г/кущ, а коефіцієнт варіації – 20,85%. Отримані показники свідчать про значну диференціацію стійкого матеріалу за рівнем продуктивності (табл. 1).

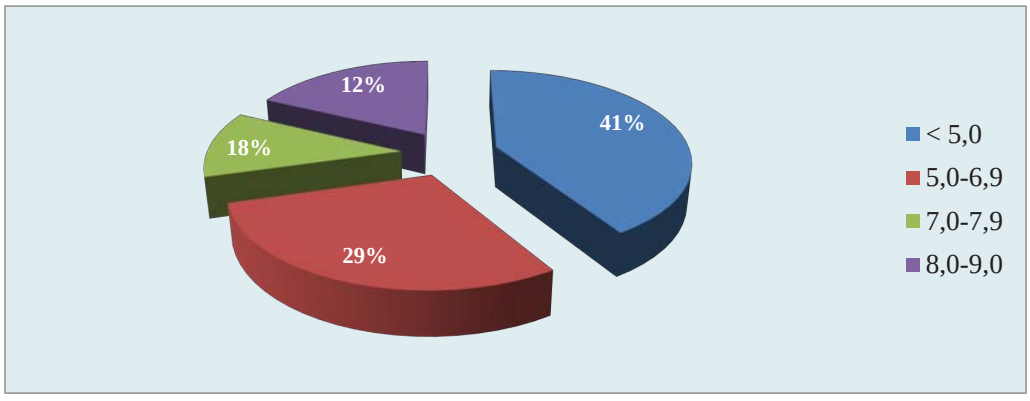


Рис. 1. Розподіл беккросів багатовидових гібридів за стійкістю проти проникнення** Phytophthora infestans **(Mont.) de Bary, 2025 р.

Максимальну урожайність встановлено у беккросу Г16.2с12 (Papa negra / 10.12/1) – 745,0 г/кущ. Практично на такому самому рівні перебував Г18.13/17 (Анті / 11.23с47) – 741,2 г/кущ. Високими значеннями також характеризувалися Г17.22с50 (88.1450С2 / Тирас) – 732,4 г/кущ та Г17.22с12 (88.1450С2 / Тирас) – 726,3 г/кущ. У Г16.1с46 (10.6Г14 / Сантарка) урожайність становила 670,0 г/кущ, а у Г17.28с11 (Сингаївка / 10.5Г68) – 602,5 г/кущ.

Загалом урожайність понад 600 г/кущ мали 6 із 19 досліджених форм, або 31,6% вибірки. Чотири генотипи, що становить 21,1%, перевищували рівень 700 г/кущ. Наявність такої частки високопродуктивних форм у групі з підвищеною резистентністю є важливою для практичної селекції, оскільки свідчить про можливість поєднання стійкості до патогена з високим потенціалом формування врожаю.

Водночас високий бал фітофторостійкості не завжди супроводжувався високою продуктивністю. Наприклад, Г17.17с13 (10.5Г68 / Fausta) за стійкості проти проникнення 8,7 бала і проти поширення 9,0 бала формував лише 407,5 г/кущ, а Г17.28с8 (Сингаївка / 10.5Г68) за аналогічних оцінок стійкості – 400,0 г/кущ, що було мінімальним значенням серед досліджених форм.

Урожайність картоплі формується внаслідок взаємодії двох основних структурних компонентів – кількості бульб, сформованих однією рослиною, та їх середньої маси. Аналіз цих показників у досліджуваних беккросів показав, що близькі рівні загальної продуктивності могли формуватися за різного співвідношення обох складових.

Кількість бульб у кущі серед 19 форм коливалася від 7,5 до 15,9 шт., у середньому становила 9,84 шт./кущ. Стандартне відхилення дорівнювало 2,19 шт., коефіцієнт варіації – 22,24%, що було найвищим показником мінливості серед проаналізованих господарсько-цінних ознак. Це свідчить про суттєву диференціацію генотипів за інтенсивністю бульбоутворення.

Найбільшу кількість бульб формував Г18.13/17 (Анті / 11.23с47) – 15,9 шт./кущ, що на 61,6% перевищувало середнє значення для дослідженої групи. Високим проявом ознаки характеризувався також Г17.11с4 (10.1/7 / Верховина) – 13,8 шт./кущ, а у Г17.22с12 (88.1450С2 / Тирас) кількість бульб становила 12,3 шт./кущ. Понад 10 бульб на рослину формували також Г17.4с96 (91.380с3 / Russian blue), Г17.22с50 (88.1450С2 / Тирас) та Г18.11/41 (12.34с8 / Буян).

Інша ситуація встановлена за середньою масою товарної бульби. Межі прояву ознаки становили 46,0–86,4 г, середнє значення – 69,0 г, стандартне відхилення – 10,9 г, коефіцієнт варіації – 15,82%. Максимальну середню масу товарної бульби встановлено у Г17.28с11 (Сингаївка / 10.5Г68) – 86,4 г. Дещо нижчі, але також високі значення мали

Таблиця 1 – Характеристика господарсько-цінних показників беккросів багатовидових гібридів, стійких проти фітофторозу бульб

Номер згідно каталогу	Походження	Стійкість проти фітофторозу		Урожайність, г/кущ	Середня вага товарної бульби, г.	Кількість бульб на кущ, шт.	Вміст крохмалю в бульбах, %
		проникнення	поширення				
Г17.4с96	91.380с3 / Russian blue	8,5	9,0	526,3	65,0	10,8	18,6
Г17.5с11	08.195/73 / Чернігівська рання	8,0	9,0	452,8	60,6	7,6	16,2
Г17.11с4	10.1/7 / Верховина	8,5	9,0	570,0	73,4	13,8	14,9
Г17.17с11	10.5Г68 / Fausta	8,5	9,0	460,0	46,0	9,2	18,6
Г17.17с12	10.5Г68 / Fausta	9,0	9,0	565,8	78,3	8,9	18,7
Г17.17с13	10.5Г68 / Fausta	8,7	9,0	407,5	64,0	8,1	19,3
Г17.22с12	88.1450С2 / Тирас	7,0	8,0	726,3	76,0	12,3	18,7
Г17.22с50	88.1450С2 / Тирас	9,0	9,0	732,4	83,1	10,9	14,2
Г17.28с8	Сингаївка / 10.5Г68	8,7	9,0	400,0	55,6	9,8	18,5
Г17.28с11	Сингаївка / 10.5Г68	9,0	9,0	602,5	86,4	8,4	17,3
Г16.1с6	10.6Г14 / Сантарка	8,0	8,5	453,6	61,7	9,1	18,0
Г16.1с46	10.6Г14 / Сантарка	9,0	9,0	670,0	72,9	9,0	18,6
Г16.2с12	Papa negra / 10.12/1	8,7	9,0	745,0	72,7	8,8	19,8
Г16.2с17	Papa negra / 10.12/1	9,0	9,0	513,2	79,0	7,5	15,2
Г16.13с32	*S. simplicifolium* / Bellarosa /[2] Лєтана	9,0	9,0	540,0	83,0	7,5	16,2
Г17.8с34	10.1с7 / Криниця	8,3	9,0	419,4	56,8	9,2	15,7
Г18.11/41	12.34с8 / Буян	8,7	9,0	597,0	59,9	10,6	12,2
Г18.13/17	Анті / 11.23с47	8,0	8,7	741,2	62,8	15,9	14,4
Г18.18/12	Балабай / 11.32с56	8,7	9,0	528,9	73,4	9,6	15,5

Г17.22с50(88.1450С2/Тирас)–83,1г,Г16.13с32(*S.simplisifolium*/ Bellarosa /[2] Лєтана) – 83,0 г, Г16.2с17 (Papa negra / 10.12/1) – 79,0 г і Г17.17с12 (10.5Г68 / Fausta) – 78,3 г.

Порівняння обох компонентів виявило різні типи формування продуктивності. Так, висока урожайність Г18.13/17 (Анті / 11.23с47) значною мірою забезпечувалася великою кількістю бульб – 15,9 шт./кущ, тоді як їх середня товарна маса становила лише 62,8 г. У Г17.28с11 (Сингаївка / 10.5Г68) спостерігалася протилежна модель: кількість бульб була відносно невисокою – 8,4 шт./кущ, проте середня маса товарної бульби досягала максимальних для вибірки 86,4 г.

Особливий інтерес становив Г17.22с50 (88.1450С2 / Тирас), у якого достатньо висока кількість бульб – 10,9 шт./кущ – поєднувалася з їх високою середньою масою 83,1 г, що забезпечило урожайність 732,4 г/кущ. Подібно Г17.22с12 (88.1450С2 / Тирас) одночасно формував 12,3 бульби на рослину із середньою товарною масою 76,0 г і урожайністю 726,3 г/кущ. Отже, ці форми відрізнялися більш збалансованою структурою врожаю порівняно з генотипами, продуктивність яких формувалася переважно за рахунок одного компонента.

Оцінювання селекційного матеріалу за продуктивністю було доповнено визначенням вмісту крохмалю, що характеризує одну з важливих складових якості бульб. Серед 19 виділених стійких беккросів вміст крохмалю змінювався від 12,2 до 19,8%, середнє значення становило 16,87%. Максимальний вміст крохмалю встановлено у Г16.2с12 (Papa negra / 10.12/1) – 19,8%. Цінність цього генотипу посилювалася тим, що саме він мав найвищу в дослідженій групі урожайність – 745,0 г/кущ та високу стійкість проти проникнення і поширення *P. infestans* – відповідно 8,7 і 9,0 бала. Високий вміст крохмалю встановлено також у Г17.17с13 (10.5Г68 / Fausta) – 19,3%, однак його урожайність становила лише 407,5 г/кущ.

Вміст крохмалю 18,5–18,7% мали Г17.4с96 (91.380с3 / Russian blue), Г17.17с11 (10.5Г68 / Fausta), Г17.17с12 (10.5Г68 / Fausta), Г17.22с12 (88.1450С2 / Тирас), Г17.28с8 (Сингаївка / 10.5Г68) та Г16.1с46 (10.6Г14 / Сантарка). У Г16.1с6 (10.6Г14 / Сантарка) він становив 18,0%. Загалом не менше 18,0% крохмалю мали 9 із 19 форм, або 47,4%, що свідчить про наявність у групі стійкого матеріалу достатньо широкого резерву генотипів із підвищеним проявом цієї ознаки.

Комплексний аналіз дав змогу виділити форми, у яких підвищена або висока стійкість до *Phytophthora infestans* поєднувалася з продуктивністю, крупністю бульб чи підвищеним вмістом крохмалю.

Г16.2с12 (Papa negra / 10.12/1) характеризувався високою стійкістю: 8,7 бала проти проникнення та 9,0 бала проти поширення патогена. Урожайність становила 745,0 г/кущ, вміст крохмалю – 19,8%, що було максимальними значеннями у вибірці, а середня маса товарної бульби – 72,7 г. Г16.1с46 (10.6Г14 / Сантарка) також мав високу стійкість – 9,0 бала за обома показниками, урожайність 670,0 г/кущ, середню масу товарної бульби 72,9 г і вміст крохмалю 18,6%.

Г17.22с50 (88.1450С2 / Тирас) поєднував високу стійкість – 9,0 бала проти проникнення і поширення – з урожайністю 732,4 г/кущ, середньою масою товарної бульби 83,1 г і кількістю бульб 10,9 шт./кущ. Вміст крохмалю становив 14,2%. Споріднений Г17.22с12 мав підвищену стійкість проти проникнення – 7,0 бала та високу проти поширення – 8,0 бала. Його урожайність становила 726,3 г/кущ, кількість бульб – 12,3 шт./кущ, середня маса товарної бульби – 76,0 г, вміст крохмалю – 18,7%.

Г18.13/17 (Анті / 11.23с47) характеризувався високою стійкістю – 8,0 і 8,7 бала, урожайністю 741,2 г/кущ та найбільшою кількістю бульб – 15,9 шт./кущ. Г17.28с11 (Сингаївка / 10.5Г68) мав високу стійкість – 9,0 бала за обома показниками, урожайність 602,5 г/кущ і найбільшу середню масу товарної бульби – 86,4 г.

За сукупністю ознак виділено Г16.2с12 (Papa negra / 10.12/1), Г16.1с46 (10.6Г14 / Сантарка), Г17.22с50(88.1450С2/Тирас), Г17.22с12(88.1450С2/ Тирас), Г18.13/17 (Анті / 11.23с47) і Г17.28с11 (Сингаївка / 10.5Г68). Вони відрізнялися характером поєднання стійкості з урожайністю, структурою врожаю та вмістом крохмалю.

Висновки. Серед досліджених беккросів багатовидових гібридів картоплі встановлено значну диференціацію за стійкістю до *Phytophthora infestans*. Для поглибленого аналізу виділено 19 форм зі стійкістю 7,0–9,0 бала проти проникнення патогена та 8,0–9,0 бала проти його поширення.

Стійкі форми відрізнялися за продуктивністю, структурою врожаю та вмістом крохмалю. Урожайність становила 400,0–745,0 г/кущ, а крохмалистість – 12,2–19,8%. За сукупністю ознак виділено Г16.2с12 (Papa negra / 10.12/1), Г16.1с46 (10.6Г14 / Сантарка), Г17.22с50 і Г17.22с12 (88.1450С2 / Тирас), Г18.13/17 (Анті / 11.23с47) та Г17.28с11 (Сингаївка / 10.5Г68).

Виділені беккроси доцільно використовувати як вихідний матеріал у селекції на поєднання стійкості до P. infestans із продуктивністю та якістю бульб. Перспективою подальших досліджень є багаторічна перевірка стабільності прояву стійкості за різного інфекційного навантаження та контрастних гідротермічних умов, оцінювання виділених форм на природних інфекційних фонах, їх залучення до системи цілеспрямованих схрещувань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Dong S., Zhou S. Potato late blight caused by *Phytophthora infestans*: From molecular interactions to integrated management strategies. *Journal of Integrative Agriculture*. 2022. Vol. 21, № 12. P. 3456–3466. DOI: 10.1016/j.jia.2022.08.060.

2. Yuen J. Pathogens which threaten food security: *Phytophthora infestans*, the potato late blight pathogen. *Food Security*. 2021. Vol. 13, № 2. P. 247–253. DOI: 10.1007/s12571-021-01141-3

3. Ludwiczewska M., Janiszewska M., Yin Z., Śliwka J. Populations of *Phytophthora infestans* in northern and eastern Europe. *European Journal of Plant Pathology*. 2025. Vol. 171, № 1. P. 81–95. DOI: 10.1007/s10658-024-02933-x.

4. Paluchowska P., Śliwka J., Yin Z. Late blight resistance genes in potato breeding. *Planta*. 2022. Vol. 255, № 6. Article 127. DOI: 10.1007/s00425-022-03910-6.

5. Haverkort A. J., Boonekamp P. M., Hutten R., Jacobsen E., Lotz L. A. P., Kessel G. J. T., Vossen J. H., Visser R. G. F. Durable Late Blight Resistance in Potato Through Dynamic Varieties Obtained by Cisgenesis: Scientific and Societal Advances in the DuRPh Project. *Potato Research*. 2016. Vol. 59, № 1. P. 35–66. DOI: 10.1007/s11540-015-9312-6.

6. Ghislain M., Byarugaba A. A., Magembe E., Njoroge A., Rivera C., Román M. L., Tovar J. C., Gamboa S., Forbes G. A., Kreuze J. F., Barekye A., Kiggundu A. Stacking three late blight resistance genes from wild species directly into African highland potato varieties confers complete field resistance to local blight races. *Plant Biotechnology Journal*. 2019. Vol. 17, № 6. P. 1119–1129. DOI: 10.1111/pbi.13042

7. Писаренко Н. В., Захарчук Н. А., Олійник Т. М., Собран В. М. Диференціація сортів і гібридів картоплі за стійкістю проти Phytophthora infestans на основі гідротермічного коефіцієнта та кореляційного аналізу. Сільське господарство та лісівництво. 2026. Т 1, № 40. С. 141–159. DOI: 10.37128/2707-5826-2026-1-13.

8. Sood S., Bhardwaj V., Bairwa A., Dalamu, Sharma S., Sharma A. K., Kumar V. Genome-wide association mapping and genomic prediction for late blight and potato cyst nematode resistance in potato (Solanum tuberosum L.). Frontiers in Plant Science. 2023. Vol. 14. Article 1211472. DOI: 10.3389/fpls.2023.1211472

9. Park J., Sathuvalli V., Yilma S., Whitworth J., Novy R. G. Identification of QTL associated with plant vine characteristics and infection response to late blight, early blight, and Verticillium wilt in a tetraploid potato population derived from late blight-resistant Palisade Russet. Frontiers in Plant Science. 2023. Vol. 14. Article 1222596. DOI: 10.3389/fpls.2023.1222596.

10. Aalborg T., Christiansen M. T., Romé H., Chawade A., Bagge M., Nielsen K. L. Drone-imaging assisted genome-wide association studies reveal key quantitative trait loci for emergence and late blight resistance in tetraploid potato. Crop Science. 2026. Vol. 66, № 2. Article e70261. DOI: 10.1002/csc2.70261.

11. Ilchuk R., Zaviryukha P., Andrushko O., Kosylovych H., Holiachuk Yu. Creation of potato hybrids (Solanum tuberosum) progeny with high field resistance against phytophotorosis. Scientific Horizons. 2023. Vol. 26, № 6. P. 22–31. DOI: 10.48077/scihor6.2023.22

12. Rucins A., Aboltins A., Furdyha M., Zakharchuk N., Oliynik T., Fedosiy I., Komar O. Breeding Evaluation of Potato Hybrids for Late Blight Resistance. Agronomy. 2025. Vol. 15, № 10. Article 2431. DOI: 10.3390/agronomy15102431

13. Картоплярство: методика дослідної справи / А. А. Бондарчук та ін.; за ред. А. А. Бондарчука, В. А. Колтунова. Вінниця: ТВОРИ, 2019. 651 с.

REFERENCES:

1. Dong, S. M., & Zhou, S. Q. (2022). Potato late blight caused by Phytophthora infestans: From molecular interactions to integrated management strategies. *Journal of Integrative Agriculture*, *21*(12), 3456-3466. DOI: 10.1016/j.jia.2022.08.060.

2. Yuen, J. (2021). Pathogens which threaten food security: Phytophthora infestans, the potato late blight pathogen. *Food Security*, *13*(2), 247-253. DOI: 10.1007/s12571-021-01141-3

3. Ludwiczewska, M., Janiszewska, M., Yin, Z., & Śliwka, J. (2025). Populations of Phytophthora infestans in northern and eastern Europe. *European Journal of Plant Pathology*, *171*(1), 81-95. DOI: 10.1007/s10658-024-02933-x.

4. Paluchowska, P., Śliwka, J., & Yin, Z. (2022). Late blight resistance genes in potato breeding. *Planta*, *255*(6), 127. DOI: 10.1007/s00425-022-03910-6.

5. Haverkort, A. J., Boonekamp, P. M., Hutten, R., Jacobsen, E., Lotz, L. A. P., Kessel, G. J. T., ... & Visser, R. G. F. (2016). Durable late blight resistance in potato through dynamic varieties obtained by cisgenesis: scientific and societal advances in the DuRPh project. *Potato research*, *59*(1), 35-66. DOI: 10.1007/s11540-015-9312-6.

6. Ghislain, M., Byarugaba, A. A., Magembe, E., Njoroge, A., Rivera, C., Román, M. L., ... & Kiggundu, A. (2019). Stacking three late blight resistance genes from wild species directly into African highland potato varieties confers complete field resistance to local blight races. *Plant Biotechnology Journal*, *17*(6), 1119-1129. DOI: 10.1111/pbi.13042

7. Pysarenko, N. V., Zakharchuk, N. A., Oliinyk, T. M., & Sobran, V. M. (2026). Dyferentsiatsiia sortiv i hibrydiv kartopli za stiikistiu proty Phytophthora infestans na osnovi hidrotermichnoho koefitsiienta ta koreliatsiinoho analizu [Differentiation of potato varieties and hybrids by resistance to Phytophthora infestans based on the hydrothermal coefficient and correlation analysis]. Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo, 1(40), 141–159. https://doi.org/10.37128/2707-5826-2026-1-13 [in Ukrainian].

8. Sood, S., Bhardwaj, V., Bairwa, A., Dalamu, Sharma, S., Sharma, A. K., ... & Kumar, V. (2023). Genome-wide association mapping and genomic prediction for late blight and potato cyst nematode resistance in potato (Solanum tuberosum L.). *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1211472. DOI: 10.3389/fpls.2023.1211472

9. Park, J., Sathuvalli, V., Yilma, S., Whitworth, J., & Novy, R. G. (2023). Identification of QTL associated with plant vine characteristics and infection response to late blight, early blight, and Verticillium wilt in a tetraploid potato population derived from late blight-resistant Palisade Russet. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1222596. DOI: 10.3389/fpls.2023.1222596.

10. Aalborg, T., Christiansen, M. T., Romé, H., Chawade, A., Bagge, M., & Nielsen, K. L. (2026). Drone-imaging assisted genome-wide association studies reveal key quantitative trait loci for emergence and late blight resistance in tetraploid potato. *Crop Science*, *66*(2), e70261. DOI: 10.1002/csc2.70261.

11. Ilchuk, R., Zaviryukha, P., Andrushko, O., Kosylovych, H., & Holiachuk, Y. (2023). Creation of potato hybrids (Solanum tuberosum) progeny with high field resistance against phytophotorosis. *Scientific Horizons*, *26*(6), 22-31. DOI: 10.48077/scihor6.2023.22

12. Rucins, A., Aboltins, A., Furdyha, M., Zakharchuk, N., Oliynik, T., Fedosiy, I., & Komar, O. (2025). Breeding Evaluation of Potato Hybrids for Late Blight Resistance. *Agronomy*, *15*(10), 2431. DOI: 10.3390/agronomy15102431

13. Bondarchuk, A. A., & Koltunov, V. A. (Eds.). (2019). Kartopliarstvo: metodyka doslidnoi spravy [Potato growing: Research methodology]. Vinnytsya: TOV «TVORY», 651 [in Ukrainian].

Коваль В.С. Оцінка складових генофонду картоплі за стійкістю до *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary

Мета. Оцінити беккроси багатовидових гібридів картоплі за стійкістю до *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary та виділити генотипи, у яких резистентність поєднується з господарсько-цінними ознаками. **Методи.** Дослідження проводили у 2025 р. в Інституті картоплярства НААН. У лабораторних умовах методом штучного інфікування оцінено 90 беккросів із розсадника поглибленого вивчення. Бульби інокулювали суспензією збудника, інкубували за температури 18–20 °С і відносної вологості понад 90%; облік ураження проводили через 30 діб за 9-бальною шкалою. Для 19 виділених форм визначали стійкість проти проникнення та поширення патогена, урожайність, кількість бульб у кущі, середню масу товарної бульби та вміст крохмалю. **Результати.** У відібраних беккросів стійкість проти проникнення P. infestans становила 7,0–9,0 бала, проти поширення – 8,0–9,0 бала, за середніх значень 8,54 і 8,91 бала відповідно. Урожайність варіювала від 400,0 до 745,0 г/кущ, у середньому – 560,6 г/кущ. Найвищі показники встановлено у Г16.2с12 (Papa negra / 10.12/1) – 745,0 г/кущ, Г18.13/17 (Анті / 11.23с47) – 741,2, Г17.22с50 (88.1450С2 / Тирас) – 732,4 та Г17.22с12 (88.1450С2 / Тирас) – 726,3 г/кущ. Максимальну кількість бульб сформував Г18.13/17 (Анті / 11.23с47) – 15,9 шт./кущ, а найбільшу середню масу товарної бульби мав Г17.28с11 (Сингаївка / 10.5Г68) – 86,4 г. Вміст крохмалю становив 12,2–19,8%; найвищі значення відзначено у Г16.2с12 (Papa negra / 10.12/1) – 19,8% та Г17.17с13 (10.5Г68 / Fausta) – 19,3%. **Висновки.** За сукупністю фітопатологічних і господарсько-цінних ознак виділено Г16.2с12 (Papa negra / 10.12/1), Г16.1с46 (10.6Г14 / Сантарка), Г17.22с50 і Г17.22с12 (88.1450С2 / Тирас), Г18.13/17 (Анті / 11.23с47) та Г17.28с11 (Сингаївка / 10.5Г68). Виділені беккроси становлять цінний вихідний матеріал для селекції картоплі на поєднання стійкості до P. infestans із продуктивністю, структурою врожаю та якістю бульб.

Ключові слова: міжвидова гібридизація, беккроси, фітофтороз, урожайність, крохмалистість, товарна бульба.

Koval V.S. Assessment of potato gene pool components for resistance to *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary

Purpose. To evaluate backcrosses of multispecies potato hybrids for resistance to *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary and to identify genotypes combining resistance with agronomically valuable traits. **Methods.** The study was conducted in 2025 at the Institute for Potato Research of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. Ninety backcrosses from the advanced study nursery were evaluated under laboratory conditions using artificial inoculation. Tubers were inoculated with a pathogen suspension and incubated at 18–20 °C and relative humidity above 90%; disease development was assessed 30 days after inoculation using a 9-point scale. For 19 selected forms, resistance to pathogen penetration and spread, yield, number of tubers per plant, average marketable tuber weight, and starch content were determined. **Results.** Among the selected backcrosses, resistance to P. infestans penetration ranged from 7.0 to 9.0 points and resistance to pathogen spread from 8.0 to 9.0 points, with mean values of 8.54 and 8.91 points, respectively. Yield ranged from 400.0 to 745.0 g/plant, averaging 560.6 g/plant. The highest yields were recorded for G16.2s12 (Papa negra / 10.12/1) – 745.0 g/plant, G18.13/17 (Anti / 11.23s47) – 741.2 g/plant, G17.22s50 (88.1450S2 / Tiras) – 732.4 g/plant, and G17.22s12 (88.1450S2 / Tiras) – 726.3 g/plant. The highest number of tubers was recorded for G18.13/17 (Anti / 11.23s47) – 15.9 tubers/plant, whereas G17.28s11 (Synhaivka / 10.5G68) had the greatest average marketable tuber weight – 86.4 g. Starch content ranged from 12.2 to 19.8%; the highest values were recorded for G16.2s12 (Papa negra / 10.12/1) – 19.8% and G17.17s13 (10.5G68 / Fausta) – 19.3%. **Conclusions.** Based on the combination of phytopathological and agronomically valuable traits, G16.2s12 (Papa negra / 10.12/1), G16.1s46 (10.6G14 / Santarka), G17.22s50 and G17.22s12 (88.1450S2 / Tiras), G18.13/17 (Anti / 11.23s47), and G17.28s11 (Synhaivka / 10.5G68) were selected. These backcrosses represent valuable breeding material for combining resistance to P. infestans with high productivity, favourable yield structure, and tuber quality.

Key words: interspecific hybridization, backcrosses, late blight, yield, starch content, marketable tuber.

Дата першого надходження статті до видання: 15.09.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 26.10.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.11.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

АЛЄКСЄЄВА С.А. 5
АНТОНЕНКО О.О. 5
БОРОДІН І.Д. 5
ВЛАСЕНКО О.В. 5
ГНІТЕЦЬКИЙ М.О. 32
ГРАМ'ЯК Р.П. 51
ГРИГОРІВ Я.Я. 57
ДМИТРИК П.М. 57
ДОВГЕЛЯ О.М. 5
ДУШКО П.М. 57
ЖИГАЙЛО Д.С. 14
ЖУЙКОВ О.Г. 37
ЗАЇКА В.К. 57
КАЗАНОК О.О. 37
КАРАЩУК Г.В. 37
КОВАЛЬ В.С. 71
КРАВЧЕНКО Н.В. 32
ЛАВРИНЕНКО Ю.О. 14
ЛИХОВИД П.В. 37
МАРЧЕНКО В.Д. 14
МАРЧЕНКО Т.Ю. 14
МЕДОНЧАК О.В. 44
МЕЛЬНИЧУК Ф.С. 5
МІЩЕНКО С.В. 14
МОЖАРІВСЬКА І.А. 32
РЕТЬМАН М.С. 37
СЕНИК І.І. 51
СІМЧУК А.П. 57
ТИЩЕНКО В.О. 63
ХОНЕНКО Л.Г. 44
ЦИЛЮРИК О.І. 63
ШАТКОВСЬКИЙ А.П. 5
DANCHUK O.V. 25
GRAFOV A.V. 25
KOZYREV V.V. 25
PILIARSKA O.O. 25
ZHEREBCHUK S.V. 25
ZHYGAILO O.L. 25
ZHYGAILO T.S. 25

Наукове видання

ЗРОШУВАНЕ ЗЕМЛЕРОБСТВО

Збірник наукових праць

Випуск 86

Відповідальний за випуск – Пілярська О.О.

Дата розміщення онлайн – 13.11.2026 р.
Дата друку – 20.11.2026 р.
Формат 60x84 1/8. Папір офсетний. Гарнітура Arial. Цифровий друк.
Умовно друк. арк. 9,06. Наклад 300. Зам. № 1026/876
Віддруковано з готового оригінал-макета.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.