

ISSN 2410-1281

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР І ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

**НАУКОВІ ПРАЦІ ІНСТИТУТУ
БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР
І ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Випуск 33

КИЇВ – 2025

УДК 633.63:631.52

Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків :
зб. наук. праць / НААН, Ін-т біоенергет. культ. і цукр. буряків. Київ, 2025. Вип. 33.
169 с. ISSN 2410-1281

У збірнику висвітлено результати наукових досліджень, проведених ученими науково-дослідних та навчальних установ аграрного профілю України, з актуальних питань селекції, насінництва та технологій вирощування, перероблення та зберігання продукції рослинництва, а також пов'язаних із ними галузей сільськогосподарського виробництва.

Для наукових працівників, викладачів, аспірантів та студентів ЗВО аграрного профілю, спеціалістів сільського господарства.

Збірник заснований у 1998 році.

До 2012 р. видання виходило під назвою «Наукові праці Інституту цукрових буряків»

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

М. В. Роїк (*головний редактор*), **О. І. Присяжнюк** (*відповідальний секретар*),
М. Я. Гументик, **В. А. Доронін**, **W. Elbersen**, **В. М. Квак**, **D. Lazdiņa**,
В. М. Сінченко, **Л. І. Сторожик**, **Я. Д. Фучило**

Адреса редакційної колегії:

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН,
вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, тел. (044) 275-50-00
e-mail: naukovi_praci_ibkcb@ukr.net

Сайт збірника: <http://np.bio.gov.ua>

Рекомендовано до друку вченою радою
Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН
(протокол № 22 від 24.12.2025)

*Збірник включено до Переліку наукових фахових видань України
наказ МОН України № 157 від 09.02.2021 (с.-г. науки)
Спеціальності: 201 – Агронія, 202 – Захист і карантин рослин*

Свідоцтво про державну реєстрацію серія КВ № 12270-9070ПР від 13.07.2012,
видане Державною реєстраційною службою України

© Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, 2025

ISSN 2410-1281

**NATIONAL ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES OF UKRAINE
INSTITUTE OF BIOENERGY CROPS AND SUGAR BEET**

**SCIENTIFIC PAPERS OF THE INSTITUTE
OF BIOENERGY CROPS
AND SUGAR BEET**

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS

Issue 33

KYIV – 2025

З М І С Т

РОСЛИННИЦТВО

Злиденний І. І.

Вплив обробки насіння біологічними препаратами на продуктивність рослин *Sorghum bicolor* (L.) Moench. в умовах Правобережного Лісостепу України 8

Карпук Л. М., Федорченко Я. О.

Формування якісних показників гречки за органічного виробництва 19

Конопольський О. П.

Урожайність та якість сої за різних систем захисту від бур'янів в умовах Лісостепу України 29

Макух Я. П., Козаченко Д. М.

Низьковуглецева система захисту кукурудзи від бур'янів: ефективність гербіцидів, продуктивність та оцінка викидів CO₂eq 41

Мокрієнко В. А.

Економічна ефективність вирощування кукурудзи в моно- та бінарних посівах 49

Парубок М. І., Притула О. В., Данюк М. С., Ковтунюк З. І.

Особливості росту й розвитку саджанців рододендронів залежно від довжини та морфотипу живців 61

Писаренко Н. В., Фурдига М. М., Захарчук Н. А., Гордієнко В. В.

Адаптивні механізми водного режиму в сортів картоплі різних груп стиглості в умовах абіотичного стресу Житомирського Полісся (Україна) 73

Присяжнюк О. І., Кононюк Н. О., Маляренко О. А., Мусіч В. В., Половинчук О. Ю., Гончарук О. М., Волошин П. Ю., Шевченко О. П.

Викиди парникових газів та вуглецевий баланс сортів пшениці озимої за вирощування в умовах Лісостепу України 95

Присяжнюк О. І., Копитов О. В.

Закономірності зміни фотосинтетичних параметрів кукурудзи залежно від елементів технології вирощування 108

АГРОХІМІЯ ТА ҐРУНТОЗНАВСТВО

Бойко Я. І.

Особливості реакції сірих опідзолених ґрунтів на диференційоване вапнування 120

БІОТЕХНОЛОГІЯ

Гораш О. С., Климишена Р. І.

Отримання поліплоїдних форм буряків залежно від тривалості обробки насіння оризалином 137

ЗАХИСТ РОСЛИН

Качинська І. В., Григор'єв В. М.

Динаміка розвитку хвороб соняшнику в південній частині Лісостепу Західного 146

Макух Я. П., Ременюк С. О., Різник В. М., Мошківська С. В.,

Литвин Ю. О., Марченко Т. М.

Оптимізація гербіцидного захисту буряків цукрових з урахуванням продуктивності та вуглецевого навантаження 154

СЕЛЕКЦІЯ ТА НАСІННИЦТВО

Дубчак О. В., Присяжнюк О. І.

Вивчення селекційно-цінних ознак рекомбінантних ЦЧС-форм буряків цукрових 162



CONTENTS

CROP PRODUCTION

Zlydennyi I. I. Effect of seed treatment with bioreparation on the <i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench productivity in the Right-Bank Forest Steppe of Ukraine	8
Karpuk L. M., Fedorchenko Ya. O. Formation of qualitative indicators of buckwheat in organic production	19
Konopolskyi O. P. Yield and seed quality of soybean under different weed control systems in the Forest Steppe of Ukraine	29
Makukh Ya. P., Kozachenko D. M. Low-carbon system for maize weed control: herbicide efficiency, productivity, and CO ₂ eq emissions assessment	41
Mokriienko V. A. Economic efficiency of maize cultivation in monocropping and mixed cropping with maize	49
Parubok M. I., Prytula O. V., Daniuk M. S., Kotuniuk Z. I. Peculiarities of growth and development of rhododendron seedlings depending on cutting length and morphotype	61
Pysarenko N. V., Furdyha M. M., Zakharchuk N. A., Hordiienko V. V. Adaptive mechanisms of water regime in potato varieties of different maturity groups under abiotic stress in the Zhytomyr Polissia (Ukraine)	73
Prysiashniuk O. I., Kononiuk N. O., Maliarenko O. A., Musich V. V., Polovynchuk O. Yu., Honcharuk O. M., Voloshyn P. Yu., Shevchenko O. P. Greenhouse gas emissions and carbon balance of winter wheat varieties cultivated in the Forest Steppe of Ukraine	95
Prysiashniuk O. I., Kopytov O. V. Patterns of photosynthetic parameters in maize depending on cultivation technology	108

AGROCULTURAL CHEMISTRY AND SOIL SCIENCE

Boiko Ya. I. Peculiarities of grey podzolic soils' response to differential liming	120
--	-----

PLANT BIOTECHNOLOGY

Horash O. S., Klymyshena R. I. Induction of polyploid beet forms depending on the duration of seed treatment with oryzalin	137
--	-----

PLANT PROTECTION

Kachynska I. V., Hryhoriev V. M.

Dynamics of sunflower disease development in the southern part of the western Forest Steppe 146

Makukh Ya. P., Remeniuk S. O., Riznyk V. M., Moshkivska S. V., Lytvyn Yu. O., Marchenko T. M.

Optimisation of herbicide application in sugar beet based on productivity and carbon load 154

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION

Dubchak O. V., Prysiazhniuk O. I.

Inheritance of breeding-valuable traits of recombinant CMS forms of sugar beet 162



РОСЛИННИЦТВО

УДК 633.174: 631.86

DOI: <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.346088>

Вплив обробки насіння біологічними препаратами на продуктивність рослин *Sorghum bicolor* (L.) Moench. в умовах Правобережного Лісостепу України

 **І. І. Злиденний**

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, e-mail: lpv197528@gmail.com

Мета. Установити оптимальні норми витрати біочару та мікоризоутворювального біопрепарату за передпосівної обробки насіння сорго звичайного (двокольорового), які забезпечують підвищення продуктивності й виходу біопалива з біомаси культури в умовах нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України. **Методи.** Польові дослідження проводили у 2023–2024 рр. на базі Білоцерківської дослідно-селекційної станції ІБКіЦБ НААН (Київська обл.) на чорноземах типових. Використано схему двофакторного дослідження: фактор А – Біочар (0, 4 та 8 г/кг), фактор В – біопрепарат Мікофренд (0, 4 та 8 г/кг насіння). Висівали ранньостиглий гібрид сорго ‘СВАТ’. Оцінювали польову схожість насіння, біометричні параметри рослин (висоту, діаметр стебла, кількість листків), урожайність зеленої та сухої біомаси, вихід насіння. Розрахунковим методом визначали вихід твердого біопалива, біоетанолу та загальний вихід енергії. Статистичну обробку даних здійснювали методами дисперсійного аналізу. **Результати.** Передпосівна обробка насіння мала виражений вплив на ріст і продуктивність рослин. Мікофренд у нормі 4 г/кг забезпечував інтенсивніше куштиння, збільшуючи кількість стебел на 27,5 % (до 3,25 шт.), а також сприяв потовщенню стебла на 11,9 %. Біочар у нормі 8 г/кг забезпечив максимальну висоту рослин (111,2 см), що на 16,9 % перевищувало контроль. Водночас найвищі показники продуктивності одержано у варіанті комплексної передпосівної обробки насіння Мікофрендом та біочаром (по 4 г/кг). Середня за два роки врожайність сухої біомаси становила 7,9 т/га, що на 31,7 % перевищувало контроль (6,0 т/га). Цей самий варіант забезпечив максимальний урожай насіння – 7,3 т/га (+23,7 %). Збільшення норми біочару до 8 г/кг без мікоризації не підвищувало продуктивність культури. Енергетичний аналіз підтвердив перевагу комплексного варіанта: вихід твердого біопалива становив 8,65 т/га (+32,0 %), потенційний вихід біоетанолу – 2,82 т/га (+23,7 %), загальний вихід енергії – 209,0 ГДж/га, що істотно перевищує показники не лише контролю (161,3 ГДж/га), а й варіантів із роздільною дією препаратів (171–183 ГДж/га). **Висновки.** Комплексна передпосівна обробка насіння сорго звичайного біочаром і Мікофрендом,

Як цитувати: Злиденний І.І. Вплив обробки насіння біологічними препаратами на продуктивність рослин *Sorghum bicolor* (L.) Moench. в умовах Правобережного Лісостепу України. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2025. Вип. 33. С. 8–18. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.346088>



© The Author(s) 2025. Published by Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

передусім за норми їх витрати 4 г/кг, забезпечує істотне підвищення врожайності біомаси, насіння та енергетичної продуктивності культури. Застосування біопрепаратів оптимізує реалізацію біоенергетичного потенціалу рослин і може бути рекомендоване як ефективний елемент технології вирощування сорго в умовах нестійкого зволоження.

Ключові слова: продуктивність; біочар; біопаливо; біомаса; мікоризоутворювальні препарати; норма витрати.

Вступ

У сучасних умовах рослинництво розглядається як провідний напрям у переході на зелену енергетику за рахунок формування великої кількості біомаси, що переробляється для виробництва біопалива [1]. Україна має природні можливості для нарощування виробництва до 49 млн тонн умовного палива (ум. п.) на рік [2]. Це дасть змогу частково забезпечити потреби країни в паливі та підтримати курс на екологізацію виробництва і зменшення викидів в атмосферу.

Екологізація рослинництва дає змогу досягнути підвищення якості продукції, стабільності, зменшення ресурсовитрат в агровиробництві і глобальних процесах кругообігу основних біогенних елементів в агроценозах [3]. За впровадження екологізації, зменшується деградація ґрунтів і покращується родючість.

Рациональне природокористування покращується екологічне становище в світі і країні, при цьому зменшує енергоємність виробленої продукції за рахунок науково обґрунтованих застосувань біопрепаратів і методів на покращення екології [4, 5].

В Україні протягом років спостерігається позитивна динаміка по збільшенню обсягів виробництва біомаси для отримання енергії, що свідчить про важливість ролі біоенергетики в енергетичній безпеці, стабільності і розвитку країни [6–8].

Біопрепарати дають можливість покращити стійкість рослин до умов навколишнього середовища, що в умовах клімату є суттєвою перевагою [9, 10]. Застосування біологічних препаратів, що в своїй основі складаються з мікроорганізмів, покращує показники якості насіння і зменшує вміст в них концерагенних речовин і хімікатів, які накопичуються шляхом внесення хімічних препаратів [11, 12]. Окрім покращення якості самого насіння, також спостерігається збільшення активності біоти в навколишньому середовищі [12].

Мікоризувальні біопрепарати, які застосовуються в сільському господарстві позитивно впливають на стійкість до умов навколишнього середовища і знижує ураження хворобами, покращує якісні показники насіння завдяки утворенню симбіозу між рослиною і мікроорганізмами [13, 14]. Біопрепарати також покращують розвиток кореневої системи в рослині, що покращує поглинання поживних речовин [15, 16]. У зоні Правобережного Лісостепу України проведена обмежена кількість досліджень впливу мікоризувальних біопрепаратів на розвиток кореневої системи рослин, тому необхідно збільшувати кількість таких дослідів.

У цьому досліді застосувався мікоризоутворювальний біопрепарат «Мікофренд». Цей біопрепарат в основі своїй несе мікоризоутворювальні гриби *Glomus* VS та *Trichoderma harzianum* та мікроорганізми *Streptomyces* sp., *Pseudomonas*, *Fluorescens*. Після застосування даного препарату на поверхню ґрунту чи насіння, починається активний розвиток і заселення мікроорганізмами навколишнього середовища. Цей препарат покращує розвиток кореневої системи, пригнічує кореневі гнилі. І за покращення стану кореневої системи йде краще поглинання поживних речовин та води з ґрунту, забезпечення амінокислотам та фітогормонами.

Біочар – це речовина, отримана в спеціальних умовах з низьким вмістом кисню і високими температурами, з вмістом чистого вуглецю близько 99 % [17, 18]. Порівняно з деревним вугіллям, велика пористість та сорбційні властивості біочару дають змогу краще утримувати вологу, сприяють фіксації поживних речовин та гумусоутворенню [19]. Крупніші фракції краще затримуються у ґрунті і значно довше справляють ефект удобрення [20]. У порах активно заселяються мікроорганізми, що утворюють симбіотичний зв'язок з корінням рослин, що робить біочар більш ефективним у використанні його з мікоризоутворювальними

препаратами. Тому на даний момент є доцільним проведення досліджень для виявлення впливу комплексу мікоризоутворювальних біопрепаратів та біочару.

Мета досліджень – установити оптимальні норми витрати біочару та мікоризоутворювального біопрепарату за передпосівної обробки насіння сорго звичайного (двокольорового), які забезпечують підвищення продуктивності й виходу біопалива з біомаси культури в умовах нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України

Матеріали та методика дослідження

Полеві дослідження у 2023–2024 рр. проводили в зоні нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України на землях Білоцерківської дослідно-селекційної станції (БЦДСС) Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН за схемою двофакторного досліді (табл. 1).

Таблиця 1

Схема досліді

Фактор А – норма обробки насіння препаратом Біочар	Фактор В – норма обробки насіння препаратом Мікофренд
А1 – контроль; А2 – 4 г/кг; А3 – 8 г/кг	В1 – контроль; В2 – 4 г/кг; В3 – 8 г/кг

Площа посівної ділянки – 50 м², облікової – 25 м². Повторність досліді – чотириразова. Загальна площа досліді – 0,18 га. Досліді закладається за методом систематичних повторювань: в кожному повторенні варіанти досліді розміщуються на ділянках послідовно. Сівбу проводили на глибину 4–6 см із шириною міжрядь 45 см та нормою висіву насіння 150 тис. шт./га (6–7 схожих насінин на 1 м рядка).

У ході досліджень польову схожість насіння визначали після повних сходів, обчислюючи відсоткове відношення кількості пророслого насіння до висіяного. Висоту рослин вимірювали від поверхні ґрунту до верхівки головного стебла у відповідні фази росту і розвитку за допомогою мірної лінійки. Діаметр стебла визначали штангенциркулем на висоті скошування рослин під час збирання. Урожайність з облікових ділянок визначали шляхом зважування зерна та біомаси з кожної ділянки з подальшим перерахунком на гектар.

У досліді використовували насіння сорго звичайного (двокольорового) ранньостиглого гібрида 'СВАТ' селекції Інституту зернових культур НААН. Маса 1000 насінин становила 28,2 ± 0,4 г за вологості насіння 14,1 ± 0,3 %.

Мікоризоутворювальний біопрепарат Мікофренд (ТУ У 24.1-30165603-020:2010), виготовлений на основі грибів *Glomus* sp. з додаванням мікроорганізмів, що підтримують утворення мікоризи та ризосфери рослин, а також фосфатмобілізувальних бактерій і біологічно активних речовини. Біопрепарат БМ-нанобіочар (ТУ У 20.1-2571100774-001:2021) отриманий термохімічним перетворенням біомаси з розміром часточок менше 5 мкм, загальною площею поверхні 864 м²/г та вмістом вуглецю 95 %.

Отримані експериментальні дані обробляли методами описової статистики та дисперсійним аналізом з використанням програмного середовища Statistica 6.0.

Дослідне поле БЦДСС розміщене на чорноземах типових крупнопилуватого середньо-суглинкового механічного складу, з глибиною гумусового шару від 100 до 120 см з вмістом гумусу в орному шарі (0–30 см) – 3,05 %, що характерно для малогумусних чорноземів

Кількість опадів за вегетаційний період 2023 року склала 303,8 мм, що нижче середньої багаторічної норми на 10,6 %. Причому їх розподіл був вкрай нерівномірним як за місяцями, так і за декадами – від 253,3–127,0 % місячної норми у квітні, липні і жовтні до 9,8–33,0 % місячної норми у травні – червні та 20,8–34,7 % – у серпні – вересні. Кількість опадів за рік – 538 мм. Температура повітря за місяцями, окрім квітня і травня, була вищою за середньобогаторічні показники і, в середньому, перевищувала їх на 2,1 °С.

РОСЛИНИЦТВО

Погодні умови 2023 р. в цілому був сприятливим для росту та розвитку буряків цукрових. Зокрема, за даними метеорологічних спостережень 2023 року Білоцерківської ДСС. За даними метеорологічних спостережень кількість опадів, що випала в цілому за вегетаційний період 2023 року була на 36,2 мм менша (рис. 1) за середні багаторічні значення, проте температура повітря була більшою на 14,9 °С (рис. 2).

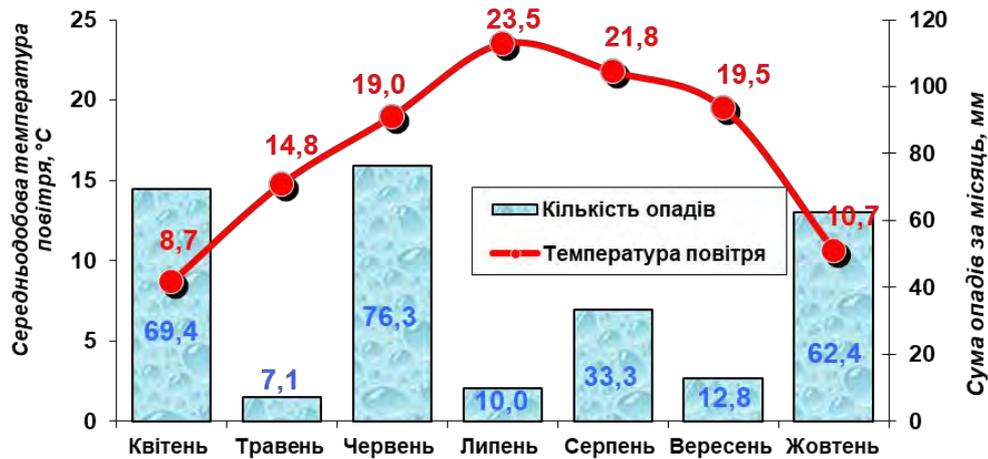


Рис. 1. Середньодобова температура повітря та кількість опадів за вегетаційний період (БЦДСС, 2023 р.)

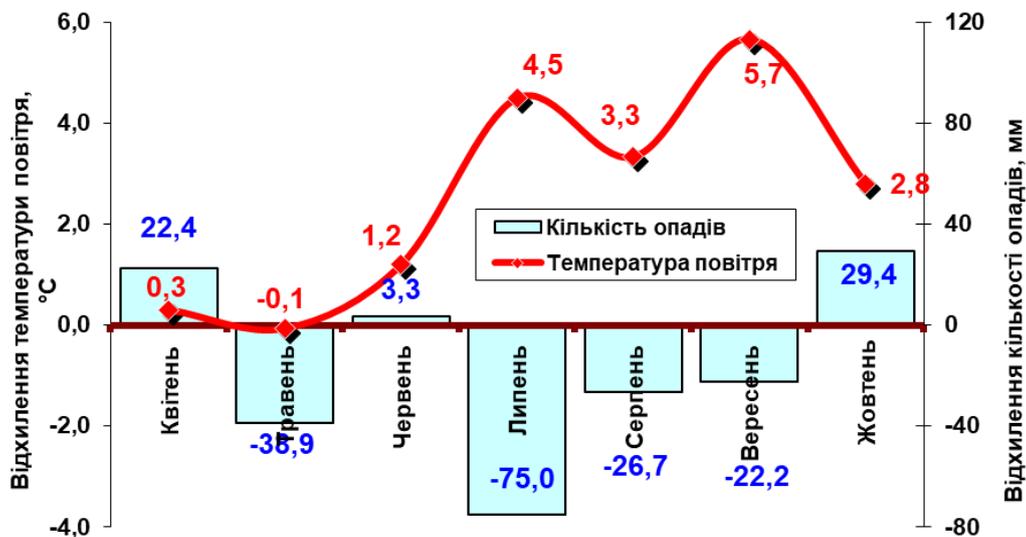


Рис. 2. Коливання середніх кліматичних значень за вегетаційний період (БЦДСС, 2023 р.)

Метеорологічні умови, що склалися впродовж вегетаційного періоду 2024 року на Білоцерківській дослідно-селекційній станції відмічались підвищеним температурним режимом (рис. 3) та дефіцитом вологи (рис. 4). Квітень місяць відмічався підвищеною температурою повітря, яка становила 12,4 °С, що на 4,0 °С вище ніж середні багаторічні значення. Це сприяло швидкому прогріванню ґрунту. У травні місяці температура повітря була більш близькою до багаторічних значень склала у середньому за місяць 15,7 °С. Літні місяці характеризувались значним підвищенням температури повітря на 3,0; 4,5 та 3,3 °С відповідно у червні, липні та серпні. Найбільше відхилення температури повітря від середніх багаторічних значень (+5,7 °С) відмічалось у вересні місяці, коли середньомісячна

РОСЛИНИЦТВО

температура становила 19,5 °С. У кінці вегетації (жовтень) температура повітря склала 10,7 °С, що на 2,8 °С перевищує багаторічні значення. Отже, впродовж усього вегетаційного періоду спостерігалось перевищення температури повітря на 3,5 °С у порівнянні з середніми багаторічними значеннями.

Опади впродовж вегетаційного періоду надходили не регулярно. Найбільша кількість опадів випала в квітні (69,4 мм), червні (76,3 мм) та жовтня (62,4 мм), водночас найбільший дефіцит вологи відмічався в травні (7,1 мм), липні (10,0 мм) та вересні (12,8 мм). Найбільше перевищення кількості опадів порівняно з середніми багаторічними значеннями спостерігали у квітні (+22,4 мм) та жовтні (+29,4 мм), водночас у липні випало на 75 мм менше опадів порівняно з середнім багаторічним значенням (рис. 4). В цілому за період вегетації рослин випало на 107,7 мм менше опадів порівняно з середніми багаторічними значеннями.

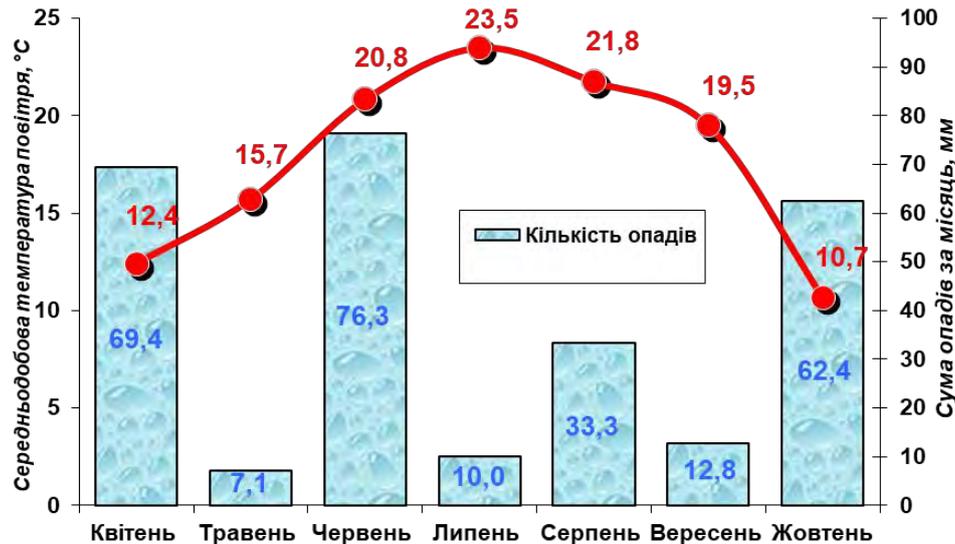


Рис. 3. Середньодобова температура повітря та кількість опадів за вегетаційний період (БЦДСС, 2024 р.)

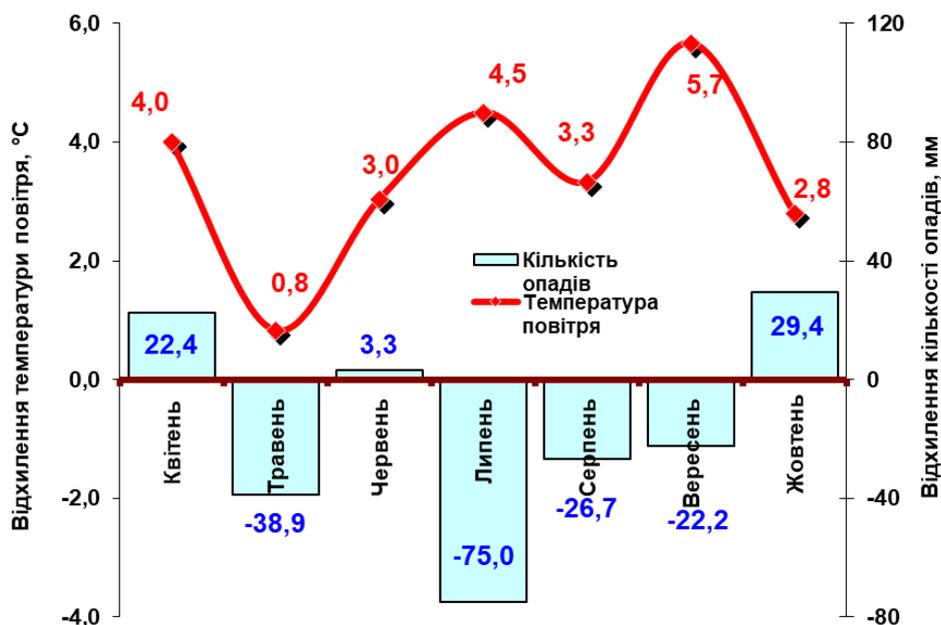


Рис. 4. Коливання середніх кліматичних значень за вегетаційний період (БЦДСС, 2024 р.)

Опади, що випали у квітні місяці за нормою більше ніж у 2,5 раза більше від середньо-багаторічних, дало змогу створити значний запас вологи в посівному шарі ґрунту та отримати дружні сходи сорго звичайного (двокольорового).

Результати досліджень

За результатами досліджень, проведених у зоні нестійкого зволоження на дослідних ділянках Білоцерківської ДСС встановлено, що обробка насіння сорго звичайного (двокольорового) препаратами біологічного походження не суттєво впливала на біометричні показники сорго звичайного (двокольорового) (табл. 2.).

Таблиця 2

Середні біометричні показники рослин сорго звичайного (двокольорового) залежно від обробки насіння біопрепаратами (2023–2024 рр.)

Варіант	Норма, г/кг		Кількість стебел, шт.	Висота рослин, см	Діаметр стебел, мм	Кількість листя, шт.
	Мікофренд	біочар				
1	0	0	2,55	95,80	15,55	7,75
2	0	4	2,75	90,95	15,40	7,45
3	0	8	3,05	111,20	14,35	8,00
4	4	0	3,25	102,40	17,40	7,20
5	4	4	2,75	94,30	15,95	7,05
6	4	8	2,95	103,90	17,15	7,30
7	8	0	2,92	91,70	16,55	6,75
8	8	4	3,05	87,40	16,65	7,35
9	8	8	3,05	98,50	15,80	6,85
НІР _{0,05}			0,16	5,73	0,73	0,31

Найвищий показник кількості стебел за два роки (3,25 шт.) спостерігався у варіанті, де насіння оброблялося біопрепаратом Мікофренд у нормі 4 г/кг насіння. Цей показник був більший за контрольний варіант на 27,5 %. Це свідчить про те, що Мікофренд може стимулювати ріст додаткових стебел, що може бути корисним для збільшення врожайності. Найменша кількість стебел спостерігалася у контрольному варіанті, де насіння не оброблялося, що підкреслює важливість обробки насіння для покращення біометричних показників.

Висота рослин є важливим показником, який впливає на загальну врожайність та стійкість рослин до вилягання. Найвищий показник висоти рослин за два роки досліджень (111,2 см) був отриманий у варіанті, де насіння оброблялося біочаром у нормі 8 г/кг насіння. Це на 16,9 % більше за контрольний варіант (95,8 см). Такий результат може свідчити про те, що біочар сприяє покращенню росту рослин, можливо, завдяки покращенню структури ґрунту та збільшенню доступності поживних речовин.

Діаметр стебла є важливим показником міцності рослин. Найкращий результат за показником діаметра стебла (17,4 мм) був отриманий у варіанті, де насіння оброблялося біопрепаратом Мікофренд у нормі 4 г/кг насіння. Це на 11,9 % більше за контрольний варіант. Такий результат може свідчити про те, що Мікофренд сприяє зміцненню стебел, що може бути важливим для стійкості рослин до вилягання та інших стресових факторів.

Кількість листя є важливим показником, який впливає на фотосинтетичну активність рослин. Кількість листя коливалася від 6,75 до 8,0 шт. Найкращий результат (8,0 шт.) був отриманий у варіанті, де насіння оброблялося біочаром у нормі 8 г/кг насіння, що на 3,2 % більше за контрольний варіант. Це може свідчити про те, що біочар сприяє збільшенню кількості листя, що може позитивно впливати на загальну продуктивність рослин.

За результатами досліджень, проведених у зоні нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України встановлено, що обробка насіння сорго звичайного (двокольорового) препаратами біологічного походження впливала на показники продуктивності (табл. 3).

**Показники продуктивності сорго звичайного (двокольорового)
залежно від обробки насіння біопрепаратами**

Вар.	Норма витрати, г/кг		Урожайність, т/га								
			сирої біомаси			сухої біомаси			насіння		
	Міко- френд	біо- чар	2023	2024	сер.	2023	2024	сер.	2023	2024	сер.
1	0	0	12,9	10,2	11,6	6,6	5,3	6,0	6,3	5,4	5,9
2	0	4	13,5	12,4	13,0	6,8	6,4	6,6	5,6	5,8	5,7
3	0	8	13,6	12,1	12,9	6,5	6,2	6,4	6,1	5,5	5,8
4	4	0	13,1	12,2	12,7	7,2	6,1	6,7	5,9	6,0	6,0
5	4	4	15,5	13,9	14,7	8,2	7,5	7,9	7,7	6,8	7,3
6	4	8	16,3	12,7	14,5	8,1	6,8	7,5	7,5	6,1	6,8
7	8	0	14,3	13,0	13,7	7,1	6,7	6,9	6,4	6,3	6,4
8	8	4	16,0	14,3	15,2	7,7	7,4	7,6	6,1	6,0	6,1
9	8	8	14,5	12,7	13,6	7,5	6,5	7,0	6,4	6,3	6,4
НІР _{0,05}			0,92	0,89	0,91	0,68	0,59	0,64	0,60	0,5	0,6

За показником урожайності сухої біомаси вираженої в одиницях виміри т/га, найкращий результат отримано у варіанті, в якому насіння було оброблене біопрепаратами Мікофренд і біочар з нормою 4 г/кг – у 2024 становив 7,5 т/га, що більший за контроль на 41,5 %, у 2023 році 8,2 т/га, що більший за контроль на 24,2 %, а в середньому за два роки цей варіант більший за контроль на 31,7 %. За показником урожайності сухої біомаси, вираженої в одиницях виміру т/га, найгірший результат серед варіантів з обробкою насіння біопрепаратами був отриманий у варіанті, де насіння оброблялося біочаром у нормі 8 г/кг. У 2024 році цей варіант становив 6,2 т/га, що на 1,1 т/га менше за контроль, а у 2023 році – 6,5 т/га, що на 0,1 т/га менше за контроль. У середньому за два роки цей варіант менший за контроль на 0,4 т/га.

Урожайність вологої біомаси найвища у 2023 була отримана у варіанті, де насіння сорго звичайного (двокольорового) оброблялося біопрепаратами нормою по 4 г/кг біочаром та 8 г/кг Мікофрендом і становила 16,3 т/га, що на 26,4 % більше за контроль. У 2024 році найбільшу врожайність вологої біомаси отримано у варіанті, в якому насіння оброблялось Мікофрендом 8 г/кг та біочаром 4 г/кг і становила 14,3 т/га, що більший за контроль 40,1 %. За показником урожайності вологої біомаси, вираженої в одиницях виміру т/га, найгірший результат серед варіантів з обробкою насіння біопрепаратами був отриманий у варіанті, де насіння оброблялося біочаром у нормі 8 г/кг. У 2024 році цей варіант становив 12,1 т/га, що на 1,9 т/га менше за контроль, а у 2023 році – 13,6 т/га, що на 0,7 т/га більше за контроль. У середньому за два роки цей варіант менший за контроль на 0,2 т/га.

Урожайність насіння у 2024 та 2023 роках було отримано у варіанті де насіння оброблялось нормою біопрепаратів 4 г на кілограм та становила 6,8 т/га, що на 25,9 % більше контролю, та 7,7 т/га, що на 22,2 % більше за контроль. У середньому за два роки цей варіант більший за контроль на 23,7 %. Найгірший показник спостерігався в варіантах де насіння оброблено біочаром нормою 4 г/кг, що в середньому за два роки становило 5,7 т/га, що менший за контроль на 3,4 %.

Установлено, що обробка насіння сорго звичайного (двокольорового) препаратами біологічного походження суттєво впливала на кількість отриманого біопалива та вихід енергії (табл. 4).

За показником вихід твердого біопалива найвищий результат за два роки було отримано 8,65 т/га, що порівняно з контролем вищий на 32,0 %. Насіння сорго звичайного (двокольорового) у цьому варіанті було оброблено двома біопрепаратами з такими нормами –

Мікофренд 4 г/кг, біочар 4 г/га. Найгірший результат 6,55 т/га спостерігався у варіанті, де насіння не було оброблено біопрепаратами.

Таблиця 4

**Середній вихід біопалива та енергії з біомаси
сорго звичайного (двокольорового) за два роки**

Вар.	Норма витрати, г/кг		Вихід біопалива, т/га		Вихід енергії, ГДж/га		
	Мікофренд	біочар	тверде біопаливо	біоетанол	тверде біопаливо	біоетанол	разом
1	0	0	6,55	2,28	104,50	56,80	161,30
2	0	4	7,25	2,22	115,85	55,45	171,30
3	0	8	7,00	2,26	111,60	56,35	170,45
4	4	0	7,30	2,32	116,95	57,90	174,85
5	4	4	8,65	2,82	123,55	70,45	209,00
6	4	8	8,20	2,65	131,30	66,10	197,35
7	8	0	7,60	2,47	121,70	61,65	183,35
8	8	4	8,30	2,36	132,55	58,85	191,40
9	8	8	7,70	2,47	122,80	61,70	184,50

За вмістом біоетанолу найвищий результат (2,82 т/га), що на 23,7 % більший за контроль насіння сорго звичайного (двокольорового) яке було оброблено двома біопрепаратами з нормою 4 г/га насіння. У варіанті 2, у якому насіння оброблялось Мікофрендом нормою 4 г/кг, було отримано меншу кількість біоетанолу на 2,7 % порівняно з контролем.

За показником загальний вихід енергії за два роки найвищий показник (209,00 ГДж/га), що на 29,6 % більший за контроль було отримано у варіанті, насіння якого було оброблено двома біопрепаратами з нормами 4 г/кг.

Висновки

Найкращі показники біометричних характеристик рослин, зокрема кількість стебел (3,25 шт.), висота (111,2 см), діаметр стебла (17,4 мм) та кількість листків (8,0 шт.), були досягнуті у варіантах у яких обробка була при нормах 4–8 г/кг.

Урожайність насіння у варіантах із одночасним внесенням Мікофренду та біочару в нормі 4 г/кг досягала 8,2 т/га у 2023 році та 7,5 т/га у 2024 році, що в середньому на 31,7 % вище за контроль.

Найбільший вихід біомаси для твердого біопалива (8,65 т/га), біоетанолу (2,82 т/га) та загальної енергії (209,0 ГДж/га) також отримано у варіантах з комбінованим застосуванням біопрепаратів у нормі 4 г/кг, що відповідно на 32,0; 23,7 та 29,6 % перевищувало контрольні значення.

Загалом обробка насіння сорго біопрепаратами, особливо у варіантах з поєднанням Мікофренду та біочару, сприяє поліпшенню росту й розвитку рослин, підвищенню врожайності, а також збільшенню енергетичного потенціалу культури. Це дозволяє рекомендувати їх використання як ефективний елемент біотехнологічного підходу до вирощування сорго в умовах нестійкого зволоження.

Використана література

1. Пашенко Ю. Перспектива вирощування сорго. *Агронерспектива*. 2009. № 12. С. 57–60. URL: <http://agro.web-archive.in.ua/archive/2009/12/57-60.pdf>

2. Роїк М. В., Сінченко В. М., Бондар В. С. та ін. Концепція розвитку біоенергетики в Україні на період до 2035 року. *Біоенергетика*. 2019. № 2. С. 4–9. <https://doi.org/10.47414/be.2.2019.229304>

3. Горщар О. А., Горщар В. І., Окселенко О. М. Вплив біопрепарату Альбіт на розвиток хвороб в період вегетації ячменю ярого та його врожайність. *Таврійський науковий вісник*. 2015. № 92. С. 9–14. <https://doi.org/10.32857/2663-0870.2015.92.2>
4. Виробництво енергії з біомаси в Україні: технології, розвиток, перспективи / за ред. Г. Гелетухи. Київ : Академперіодика, 2022. 373 с. <https://doi.org/10.15407/akademperiodyka.464.373>
5. Гончарук Т. Розвиток та ефективність виробництва сільськогосподарської продукції – сировини для переробки на біопаливо. *Економіка АПК*. 2013. № 8. С. 128–133. URL: <https://eapk.com.ua/uk/journals/tom-20-8-2013/rozvitok-ta-efektivnist-virobnitstva-silskogospodarskoji-produktsiyi-sirovini-dlya-pererobki-na-biopalivo>
6. Іванюк О. Перспективи енергетичного використання біомаси. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2009. Вип. 1 : Економіка. С. 83–88. URL: <http://ir.nuwm.edu.ua/jspui/handle/123456789/10842>
7. Фізіологія рослин / за ред. М. М. Макрушина. Вінниця : Нова Книга, 2006. 416 с.
8. Калетник Г. М. Біопаливна галузь і енергетична та продовольча безпека України. *Вісник аграрної науки*. 2009. № 8. С. 62–64. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Van_2009_8_18
9. Дубровін В. О. Розвиток технологій використання рослинницької продукції на енергетичні потреби в Україні. *Аграрна наука і освіта*. 2004. Т. 5, № 1–2. С. 86–91. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ano_2004_5_1-2_19
10. Відновлювані джерела енергії / за заг. ред. С. О. Кудрі. 2-ге вид., допов. Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2024. 492 с.
11. Застосування біопрепаратів в технології вирощування зернових культур за умов природного зволоження та зрошення зони Південного Степу України : наук.-практ. рек. / О. А. Коваленко та ін. Миколаїв : МНАУ, 2019. 48 с. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/7266>
12. Вирощування біоенергетичних культур / за ред. М. Я. Гументика. Київ : Компринт, 2018. 179 с.
13. Lewis D. H. Symbiosis and mutualism: crisp concepts and soggy semantics. *The Biology of Mutualism, Ecology and Evolution* / edited by D. H. Boucher. London, UK : Croom Helm, 1985. P. 29–38. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0740-0_2
14. Копилов Є. П. Ґрунтові гриби як біотичний чинник впливу на рослини. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2012. № 15–16. С. 7–28. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/smik_2012_15-16_3
15. Гуральчук Ж. З. Дія арбускулярних мікориз на надходження елементів живлення і стійкість рослин до несприятливих чинників довкілля. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2011. Т. 12. С. 7–26. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.12.7-26>
16. Екологія мікроорганізмів / за ред. В. П. Патики. Київ : Основа, 2007. 192 с.
17. Нурмухаммедов А. К., Ганженко О. М. Застосування біочару в сільському господарстві (огляд літератури). *Біоенергетика*. 2022. № 1–2. С. 19–21. <https://doi.org/10.47414/be.1-2.2022.271345>
18. Palviainen M., Berninger F., Bruckman V. J. et al. Effects of biochar on carbon and nitrogen fluxes in boreal forest soil. *Plant Soil*. 2018. Vol. 424, Iss. 1–2. P. 71–85. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3568-y>
19. Sagrilo E., Jeffery S., Hoffland E., Kuypers T. W. Emission of CO₂ from biochar-amended soils and implications for soil organic carbon. *GCB Bioenergy*. 2014. Vol. 7, Iss. 6. P. 1294–1304. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12234>
20. Мандро Ю. Н., Давидова І. В. Перспективи застосування деревного вугілля (біочару) як ефективного контрзаходу для радіоактивно забруднених і деградованих лісових екосистем. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2020. Т. 30, № 4. С. 92–98. <https://doi.org/10.36930/40300416>

Referenses

1. Pashchenko, Yu. (2009). Prospect of sorghum cultivation. *Agroperspectiva*, 12, 57–60. <http://agro.web-archive.in.ua/archive/2009/12/57-60.pdf> [In Ukrainian]
2. Roik, M. V., Sinchenko, V. M., Bondar, V. S., Fursa, A. V., & Humentyk, M. Ya. (2019). Concept of bioenergy development in Ukraine for the period up to 2035. *Bioenergy*, 2, 4–9. <https://doi.org/10.47414/be.2.2019.229304> [In Ukrainian]
3. Horshchar, O. A., Horshchar, V. I., & Okselenko, O. M. (2015). The influence of biopreparation Albit on the development of diseases during the vegetation period of spring barley and its yield. *Tavrian Scientific Herald*, 92, 9–14. [In Ukrainian]
4. Geletukha, H. (Ed.). (2022). *Energy production from biomass in Ukraine: technologies, development and prospects*. Akadempriodyka. <https://doi.org/10.15407/akadempriodyka.464.373> [In Ukrainian]
5. Honcharuk, T. (2013). Development and effectiveness of agricultural products production – raw materials for biofuel processing. *The Economy of Agro-Industrial Complex*, 20(8), 128–133. <https://eapk.com.ua/uk/journals/tom-20-8-2013/rozvitok-ta-efektivnist-virobnitstva-silskogospodarskoyi-produktsiyi-sirovini-dlya-pererobki-na-biopalivo> [In Ukrainian]
6. Ivaniuk, O. (2009). Prospects for energy use of biomass. *Bulletin of the National University of Water and Environmental Engineering*, 1, 83–88. [In Ukrainian]
7. Makrushyn, M. M. (Ed.). (2006). *Plant physiology*. Nova Knyha. [In Ukrainian]
8. Kaletnik, H. M. (2009). Biofuel industry and energy and food security of Ukraine. *Bulletin of Agricultural Science*, 8, 62–64. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Van_2009_8_18 [In Ukrainian]
9. Dubrovin, V. O. (2004). Development of technologies for using crop production for energy needs in Ukraine. *Agrarian Science and Education*, 5(1–2), 86–91. [In Ukrainian]
10. Kudria, S. O. (Ed.). (2024). *Renewable energy sources* (2nd ed., rev.). Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine. [In Ukrainian]
11. Kovalenko, O. A., et al. (2019). *Application of biological preparations in the technology of growing grain crops under natural moisture and irrigation conditions in the Southern Steppe zone of Ukraine*. MNAU. <https://dSPACE.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/7266> [In Ukrainian]
12. Humentyk, M. Ya. (Ed.). (2018). *Cultivation of bioenergy crops*. Komprint. [In Ukrainian]
13. Lewis, D. H. (1985). Symbiosis and mutualism: Crisp concepts and soggy semantics. In D. H. Boucher (Ed.), *The Biology of Mutualism, Ecology and Evolution* (pp. 29–38). Croom Helm. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0740-0_2
14. Kopilov, E. (2012). Soil fungi as biotic factor of influence on plants. *Agricultural Microbiology*, 15, 7–28. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.15.7-28> [In Ukrainian]
15. Guralchuk, Z. (2011). Effect of arbuscular mycorrhiza on the uptake of nutrients and plant tolerance to unfavorable environmental factors. *Agricultural Microbiology*, 12, 7–26. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.12.7-26> [In Ukrainian]
16. Patyka, V. P. (Ed.). (2007). *Ecology of microorganisms*. Osnova. [In Ukrainian]
17. Nurmuhammedov, A. K., & Hanzhenko, O. M. (2022). Application of biochar in agriculture (literature review). *Bioenergy*, 1–2, 19–21. <https://doi.org/10.47414/be.1-2.2022.271345> [In Ukrainian]
18. Palviainen, M., Berninger, F., Bruckman, V. J., Vesterlund, N., & Rautio, P. (2018). Effects of biochar on carbon and nitrogen fluxes in boreal forest soil. *Plant and Soil*, 424(1–2), 71–85. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3568-y>
19. Sagrilo, E., Jeffery, S., Hoffland, E., & Kuypers, T. W. (2014). Emission of CO₂ from biochar-amended soils and implications for soil organic carbon. *GCB Bioenergy*, 7(6), 1294–1304. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12234>
20. Mandro, Y. N., & Davydova, I. V. (2020). Some prospects for the use of charcoal (biochar) as an effective countermeasure for radioactively contaminated and degraded forest ecosystems. *Scientific Bulletin of UNFU*, 30(4), 92–98. <https://doi.org/10.36930/40300416> [In Ukrainian]

UDC 633.174: 631.86

Zlydennyi, I. I. (2025). Effect of Seed Treatment with Bioreparation on the Sorghum bicolor (L.) Moench Productivity in the Right-Bank Forest Steppe of Ukraine. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 33, 8–18. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.346088> [In Ukrainian]

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, e-mail: lpv197528@gmail.com

Aim. To establish the optimal application rates of biochar and a mycorrhiza-forming biopreparation for seed treatment of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], ensuring increased productivity and biofuel yield from crop biomass under unstable moisture conditions of the Right-Bank Forest Steppe of Ukraine. **Methods.** Field experiments were carried out in 2023–2024 at the Bila Tserkva Experimental Breeding Station of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS (Kyiv region) on typical chernozem soils. A two-factor experimental design was used: factor A – biochar (0, 4, and 8 g/kg) and factor B – biopreparation Mycofriend (0, 4, and 8 g/kg of seed). An early-maturing sorghum hybrid ‘Svat’ was used in the study. Field germination of seeds, biometric parameters of plants (height, stem diameter, number of leaves), yield of green and dry biomass, and seed yield were evaluated. The yield of solid biofuel, bioethanol, and total energy output was determined by calculation. Statistical data processing was performed using analysis of variance methods. **Results.** Seed treatment positively affected plant growth and productivity. Mycofriend at a rate of 4 g/kg ensured more intensive tillering, increasing the number of stems by 27.5% (up to 3.25 per plant), and contributed to stem thickening by 11.9%. Biochar at an application rate of 8 g/kg provided the maximum plant height (111.2 cm), which exceeded the control by 16.9%. At the same time, the highest productivity indicators were obtained in the seed treatment with Mycofriend combined with the application of biochar (4 g/kg each). The average dry biomass yield over two years was 7.9 t/ha, which exceeded the control (6.0 t/ha) by 31.7%. This treatment also ensured the maximum seed yield of 7.3 t/ha (+23.7%). Increasing the biochar rate to 8 g/kg without mycorrhisation did not improve crop productivity. Energy analysis confirmed the advantage of the combined treatment: solid biofuel yield was 8.65 t/ha (+32.0%), potential bioethanol yield was 2.82 t/ha (+23.7%), and total energy output was 209.0 GJ/ha, which significantly exceeded not only the control (161.3 GJ/ha) but also the treatments with separate application of the biopreparation (171–183 GJ/ha). **Conclusions.** Seed treatment of sorghum seeds combined with the application of biochar and Mycofriend, especially at an application rate of 4 g/kg, ensures a significant increase in biomass yield, seed yield, and energy productivity of the crop. The application of biopreparation optimises the realisation of the bioenergy potential of plants and can be recommended as an effective practice for sorghum cultivation under unstable moisture conditions.

Keywords: *productivity; biochar; biofuel; biomass; mycorrhiza-forming preparations; application rate.*

Надійшла / Received 18.09.2025

Погоджено до друку / Accepted 11.10.2025

Опубліковано онлайн / Published online 29.12.2025

Формування якісних показників гречки за органічного виробництва

 Л. М. Карпук*,  Я. О. Федорченко

Білоцерківський національний аграрний університет, вул. Соборна 8/1, м. Біла Церква, Київська обл., 09100, Україна, *e-mail: lesya_karpuk@ukr.net

Мета. Оцінити зміни якісних показників гречки за органічного виробництва залежно від застосування допоміжних продуктів та сортових особливостей. **Методи.** Дослідження проводили упродовж 2023–2025 рр. на базі ПСП ім. Т. Г. Шевченка (Київська обл.). Польовий дослід закладали за двофакторною схемою: фактор А – сорти гречки: ‘Антарія’ (середньоранній), ‘Син-3/02’ (середньостиглий), ‘Ярославна’ (ранньостиглий); фактор В – біопрепарати: без застосування допоміжних продуктів (контроль), Біокомплекс–БТУ, Гумат калію, Гумісол. Усі досліджувані допоміжні продукти відповідали вимогам органічного виробництва та включені до переліку дозволених для застосування. **Результати.** Установлено суттєвий позитивний вплив біопрепаратів на продуктивність гречки за органічного виробництва. Найвищу ефективність забезпечило поєднання передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення Гуматом калію, що дало змогу отримати врожайність на рівні 1,90–2,30 т/га (залежно від сорту) проти 1,56–1,89 т/га на контролі. Застосування біопрепаратів сприяє поліпшенню показників якості зерна та зеленої маси. Максимальний уміст сирого білка в насінні (13,68–13,88 %) та перетравність зеленої маси у фазі цвітіння (49,48–50,58 %) зафіксовано за комплексної схеми застосування Гумату калію. Активізація ростових процесів гуміновими речовинами інтенсифікує накопичення макроелементів. Найвищий уміст P₂O₅ та K₂O відмічено у сорту ‘Син-3/02’ за використання Гумату калію (приріст вмісту калію у зерні становив 19–21 % проти контролю). Уміст фосфору та калію у фазі цвітіння був значно вищим порівняно з дозрілим насінням, що пояснюється активним метаболізмом у період бутонізації. Результати лабораторних досліджень підтвердили повну відповідність отриманої продукції стандартам ЄС щодо органічного виробництва. У зерні та зеленій масі не виявлено залишків пестицидів (гліфосату, фосфіну, хлормеквату тощо). **Висновки.** Застосування дозволених в органічному землеробстві біопрепаратів суттєво підвищує врожайність та якісні показники гречки. Найефективнішою виявилася комплексна схема застосування Гумату калію (передпосівна обробка + позакоренево підживлення), що забезпечила максимальну врожайність (до 2,30 т/га), найвищий уміст сирого білка в насінні (до 13,88 %) та інтенсивне накопичення макроелементів (P₂O₅ та K₂O), особливо у сорту ‘Син-3/02’. Лабораторний контроль підтвердив повну відсутність залишків пестицидів у продукції, що доводить ефективність розробленої системи для отримання безпечного та біологічно цінного врожаю гречки згідно зі стандартами ЄС.

Ключові слова: органічне виробництво; якість гречки; біопрепарати.

Вступ

Гречка (*Fagopyrum esculentum* Moench) є цінною круп'яною культурою, яка відіграє важливу роль у системі здорового харчування завдяки високому вмісту білка, незамінних

Як цитувати: Карпук Л. М., Федорченко Я. О. Формування якісних показників гречки за органічного виробництва. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2025. Вип. 33. С. 19–28. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.350952>



© The Author(s) 2025. Published by Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

амінокислот, харчових волокон, вітамінів групи В та антиоксидантів, зокрема рутину. В умовах зростаючої уваги світової спільноти до екологічної безпеки продуктів харчування та сталого розвитку сільського господарства, органічне виробництво набуває особливої актуальності. Ця система землеробства виключає використання синтетичних добрив, пестицидів та генетично модифікованих організмів, що потенційно впливає на якісні характеристики кінцевого продукту. Відповідно, дослідження, спрямовані на оцінку та оптимізацію якісних показників гречки, вирощеної за органічною технологією, є своєчасними та мають значну науково-практичну цінність [1, 8].

Формування якісних показників зерна, включаючи вміст основних поживних речовин, біологічно активних сполук та показників безпечності, є складним процесом, що залежить від взаємодії генотипу, агротехнічних прийомів та ґрунтово-кліматичних умов [2, 4]. У традиційному сільському господарстві ці показники часто оптимізуються за рахунок інтенсивного застосування агрохімікатів. Перехід до органічних методів вимагає перегляду стандартних підходів, оскільки вони покладаються на природні процеси – сівозміну, використання органічних добрив та біологічних методів захисту [5–7]. Хоча загальні принципи органічного землеробства добре вивчені, прямі порівняльні дослідження щодо того, як саме органічні системи, впливають на накопичення білка, жиру, мінеральних речовин, а особливо поліфенольних сполук у зерні гречки, залишаються недостатніми. Необхідно також оцінити вплив таких систем на показники безпечності, таких як вміст важких металів чи мікотоксинів.

Проблема виявлення залишків несанкціонованих речовин в органічній продукції є критичною, оскільки вона прямо впливає на довіру споживачів та комерційну чистоту сектора. Особливо гостро ця проблема стоїть навколо фосфонової кислоти (H_2PO_3) та її солей (фосфітів). Незважаючи на те, що ці сполуки мають низьку токсичність, вони заборонені в органічному землеробстві, оскільки функціонують як фунгіциди або активатори захисту рослин. Виявлення фосфонової кислоти в органічній продукції, включаючи гречку, часто інтерпретується як свідчення несанкціонованого використання забороненого пестициду фосетил-алюмінію (який розкладається до фосфонової кислоти), що ставить під загрозу органічний статус врожаю.

Складність полягає у багатовекторності походження цієї речовини. Фосфенова кислота може потрапляти в органічні продукти не лише через навмисне порушення (використання фунгіцидів), але й через ненавмисне забруднення. Це може бути пов'язано із забрудненням дозволених органічних добрив або позакореневих підживлень, тривалою стійкістю залишків у ґрунті (особливо у багаторічних культурах, які перейшли на органіку), або ж перехресним забрудненням з конвенційних полів. Ця невизначеність створює значні регуляторні та аналітичні труднощі, оскільки лабораторіям часто складно достовірно диференціювати, чи є залишок наслідком забороненого використання чи випадкового забруднення, що призводить до комерційних втрат і репутаційних ризиків для добросовісних органічних виробників [9, 10].

Мета досліджень – оцінити зміни якісних показників гречки за органічного виробництва, залежно від застосування допоміжних продуктів та сортових особливостей.

Матеріали та методика досліджень

Польові дослідження проводили протягом 2023–2025 рр. на базі ПСП ім. Т. Г. Шевченка (с. Тростинка, Васильківський р-н, Київська обл.).

Польовий дослід закладали за двофакторною схемою: *фактор А – сорти*: ‘Антарія’ (середньоранній), ‘Син-3/02’ (середньостиглий), ‘Ярославна’ (ранньостиглий); *фактор В – біопрепарати*: без застосування допоміжних продуктів (контроль), Біокомплекс–БТУ, Гумат калію, Гумісол.

Усі досліджувані допоміжні продукти відповідали вимогам органічного виробництва та включені до переліку дозволених для використання [11].

Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем типовий вилугуваний, середньої глибини, маловологий, грубопилувато-легкосуглинковий, сформований на карбонатному лесі. За агрохімічними показниками ґрунт характеризувався вмістом органічної речовини 3,3 %,

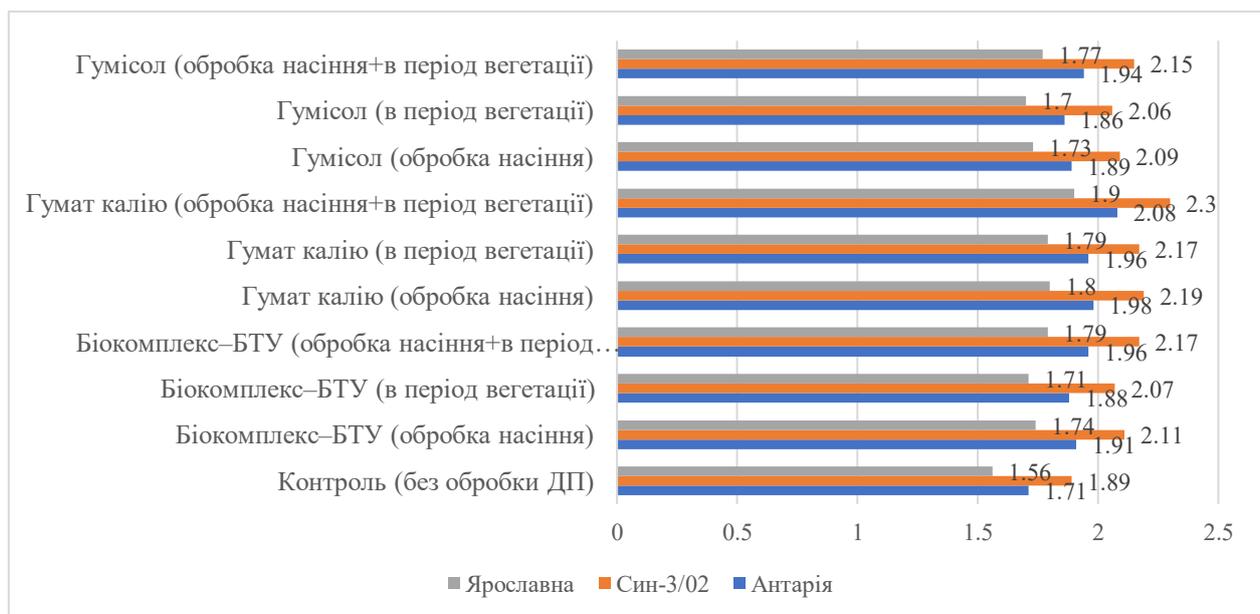
легкогідролізованого азоту – 90–120 мг/кг, нітратного азоту (NO_3^-) – 22,6–41,3 мг/кг. Уміст рухомих форм фосфору становив 46–85 мг/кг, сірки – 14–17 мг/кг, калію – 99–104 мг/кг. Реакція ґрунтового розчину (рН 1:1) – 6,0–6,2. Забезпеченість мікроелементами становила: цинк (Zn) – 0,30–0,42 мг/кг, залізо (Fe) – 55,5 мг/кг, марганець (Mn) – 19,7 мг/кг, мідь (Cu) – 0,75 мг/кг. Сума ввібраних катіонів – 17,1–21,7 мг-екв/100 г ґрунту. Зразки відбирали автоматичним пробовідбірником AgriSoilSampler з використанням GPS. Шар ґрунту (0–30 см). Вимірювання проведено: WARD, Laboratories, Inc., США.

Аналіз рослинних зразків (зеленої маси та зерна) на залишки пестицидів проводили в GALAB Laboratories GmbH, Am Schleusengraben 7. D - 21029 Hamburg Germany. Pesticides. Method: DIN EN 15662:2018-07. Modular QuEChERS-method Scope of substances and methods: GALAB Pestizides 500Plus® BNN and phenoxy carboxylic acids (alkaline hydrolysis) (GC-MS/MS, GC-NCI & LC-MS/MS).

Результати досліджень

За результатами проведених досліджень (2023–2025 рр.) встановлено позитивний вплив досліджуваних препаратів на формування врожайності зерна гречки. На контрольних ділянках урожайність культури залежно від сорту становила 1,56–1,89 т/га.

Найефективнішим технологічним прийомом виявилось поєднання передпосівної обробки насіння з позакореневим підживленням Гуматом калію, за якого врожайність насіння гречки досягала 1,90–2,30 т/га (рис. 1).



$\text{HP}_{0,05} - 0,12 - 0,10 - 0,14$

Рис. 1. Урожайність насіння гречки залежно від сорту та біопрепаратів, т/га (середнє за 2023–2025 рр.)

У всіх варіантах дослідження зафіксовано вищий уміст сирого протеїну та сирого білка у фазі цвітіння порівняно зі стиглим насінням, що свідчить про високу кормову цінність зеленої маси гречки як джерела легкодоступного білка. Показники сирого жиру також були стабільно вищими у зеленій масі (фаза цвітіння), що позитивно корелює з рівнем загальної енергетичної цінності рослин у цей період.

Застосування досліджуваних препаратів чинить виражений позитивний вплив на показники харчової цінності гречки. Максимальну ефективність за всіма сортами забезпечила комплексна схема (обробка насіння + обробка у вегетації) з використанням гумату калію, що дало змогу підвищити вміст сирого білка в насінні до 13,68–13,88 %, а перетравність зеленої маси у фазі цвітіння – до 49,48–50,58 % залежно від сорту (табл. 1).

Серед досліджуваних сортів найвищу реакцію на біостимуляцію продемонстрував 'Син-3/02', який характеризувався максимальними показниками накопичення протеїну (14,68 %) та жиру (3,04 %).

Таблиця 1

**Показники харчової цінності насіння гречки, % на суху речовину
(середнє за 2023–2025 рр.)**

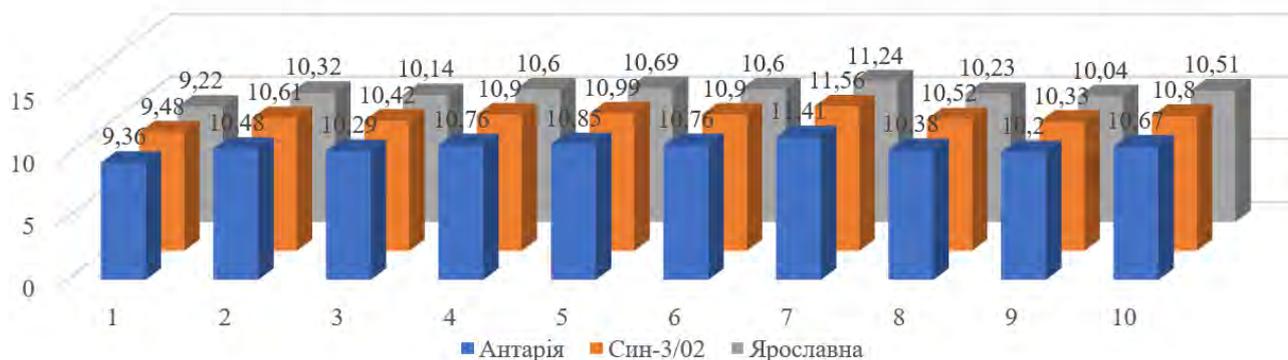
Сорт	Засоби та період застосування	Сирий протеїн		Сирий білок		Сирий жир		Сира клітковина	Перетравність
		цвітіння	зерно	цвітіння	зерно	цвітіння	зерно	цвітіння	цвітіння
'Антарія'	Контроль (без обробки ДП)	15,6	13,9	12,7	13	2,45	2,32	32	48,8
	Біокомплекс–БТУ (обробка насіння)	16	14,6	13	13,5	2,78	2,41	32,4	49,9
	Біокомплекс–БТУ (у період вегетації)	15,9	13,93	12,73	13,03	2,48	2,35	32,03	48,83
	Біокомплекс–БТУ (обробка насіння + у період вегетації)	15,81	13,92	12,721	13,02	2,471	2,341	32,021	48,821
	Гумат калію (обробка насіння)	16,05	14,35	13,15	13,45	2,9	2,77	32,45	49,25
	Гумат калію (у період вегетації)	16	14,3	13,1	13,4	2,85	2,72	32,4	49,2
	Гумат калію (обробка насіння + у період вегетації)	16,28	14,58	13,38	13,68	3,13	3	32,68	49,48
	Гумісол (обробка насіння)	15,85	14,15	12,95	13,25	2,7	2,57	32,25	49,05
	Гумісол (у період вегетації)	15,86	14,16	12,96	13,26	2,71	2,58	32,26	49,06
	Гумісол (обробка насіння + у період вегетації)	15,96	14,26	13,06	13,36	2,81	2,68	32,36	49,16
'Син-3/02'	Контроль (без обробки ДП)	15,8	14	12,8	13,2	2,48	2,36	32,9	49,9
	Біокомплекс–БТУ (обробка насіння)	16,02	14,22	13,02	13,42	2,7	2,58	33,12	50,12
	Біокомплекс–БТУ (у період вегетації)	16,0	14,2	13	13,4	2,68	2,56	33,1	50,1
	Біокомплекс–БТУ (обробка насіння + у період вегетації)	16,1	14,3	13,1	13,5	2,78	2,66	33,2	50,2
	Гумат калію (обробка насіння)	16,12	14,32	13,12	13,52	2,8	2,68	33,22	50,22
	Гумат калію (у період вегетації)	16,21	14,41	13,21	13,61	2,89	2,77	33,31	50,31
	Гумат калію (обробка насіння + у період вегетації)	16,48	14,68	13,48	13,88	3,16	3,04	33,58	50,58
	Гумісол (обробка насіння)	16,05	14,25	13,05	13,45	2,73	2,61	33,15	50,15
	Гумісол (у період вегетації)	16,08	14,28	13,08	13,48	2,76	2,64	33,18	50,18
	Гумісол (обробка насіння + у період вегетації)	16,12	14,32	13,12	13,52	2,8	2,68	33,22	50,22

РОСЛИНИЦТВО

Сорт	Засоби та період застосування	Сирий протеїн		Сирий білок		Сирий жир		Сира клітковина	Перетравність
		цвітіння	зерно	цвітіння	зерно	цвітіння	зерно	цвітіння	цвітіння
‘Ярославна’	Контроль (без обробки ДП)	15,7	14	12,6	13,1	2,4	2,3	32,4	49,8
	Біокомплекс–БТУ (обробка насіння)	15,92	14,22	12,82	13,32	2,62	2,52	32,62	50,02
	Біокомплекс–БТУ (у період вегетації)	16,03	14,33	12,93	13,43	2,73	2,63	32,73	50,13
	Біокомплекс–БТУ (обробка насіння + у період вегетації)	16,06	14,36	12,96	13,46	2,76	2,66	32,76	50,16
	Гумат калію (обробка насіння)	16,05	14,35	12,95	13,45	2,75	2,65	32,75	50,15
	Гумат калію (у період вегетації)	16,12	14,42	13,02	13,52	2,82	2,72	32,82	50,22
	Гумат калію (обробка насіння + у період вегетації)	16,38	14,68	13,28	13,78	3,08	2,98	33,08	50,48
	Гумісол (обробка насіння)	15,95	14,25	12,85	13,35	2,65	2,55	32,65	50,05
	Гумісол (у період вегетації)	16,08	14,38	12,98	13,48	2,78	2,68	32,78	50,18
	Гумісол (обробка насіння + у період вегетації)	16,12	14,42	13,02	13,52	2,82	2,72	32,82	50,22
HP _{0,05}		0,06	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03	0,02	0,04

У поєднанні з відсутністю залишків пестицидів у кінцевій продукції (зокрема гліфосату та фосфіну) це підтверджує високу технологічну й біологічну цінність розробленої системи органічного вирощування.

Отримані результати підтверджують, що активізація ростових процесів під впливом гумінових речовин сприяє інтенсивнішому поглинанню мінеральних сполук із ґрунту, що корелює із загальним підвищенням харчової цінності зеленої маси. Аналіз мінерального складу рослин гречки засвідчив, що застосування біостимуляторів істотно інтенсифікує накопичення сирової золи у фазі цвітіння порівняно з контрольними варіантами, де її вміст становив 9,22–9,48 % (рис. 2).



HP_{0,05}: 0,023 0,021 0,032

Примітка. 1. Контроль (без обробки ДП); 2. Біокомплекс–БТУ (обробка насіння); 3. Біокомплекс–БТУ (у період вегетації); 4. Біокомплекс–БТУ (обробка насіння + у період вегетації); 5. Гумат калію (обробка насіння); 6. Гумат калію (у період вегетації); 7. Гумат калію (обробка насіння + у період вегетації); 8. Гумісол (обробка насіння); 9. Гумісол (у період вегетації); 10. Гумісол (обробка насіння + у період вегетації)

Рис. 2. Накопичення сирової золи гречки (фаза цвітіння) залежно від сорту та біопрепаратів, % на суху речовину (середнє за 2023–2025 рр.)

Найбільш виражений вплив на процеси мінералізації тканин забезпечила комбінована схема обробки (насіння + у вегетації) з використанням Гумату калію, що дало змогу досягти максимальних значень показника: 'Антарія' – 11,42 %, 'Ярославна' – 11,25 %, 'Син-3/02' – 11,57 %. Застосування препаратів Біокомплекс–БТУ та Гумісол також сприяло зростанню вмісту зольних елементів, однак їхня ефективність була дещо нижчою порівняно з гуматами.

Дослідження мінерального складу виявило істотну кореляцію між застосуванням досліджуваних препаратів та інтенсивністю накопичення макроелементів (P_2O_5 та K_2O) у тканинах рослин гречки. З огляду на те, що результати лабораторних аналізів підтвердили екологічну чистоту продукції та її відповідність вимогам регламентів ЄС, підвищення вмісту мінеральних речовин доцільно трактувати як індикатор покращення фізіологічного стану рослин (табл. 2).

Таблиця 2

**Мінеральний склад зерна гречки та у фазі цвітіння, % на суху речовину
(середнє за 2023–2025 рр.)**

Засоби та період застосування	P_2O_5		K_2O	
	цвітіння	зерно	цвітіння	зерно
'Антарія'				
Контроль (без обробки ДП)	0,82	0,79	2,49	0,58
Біокомплекс–БТУ (обробка насіння)	0,91	0,88	2,78	0,64
Біокомплекс–БТУ (е період вегетації)	0,90	0,86	2,73	0,63
Біокомплекс–БТУ (обробка насіння + у період вегетації)	0,94	0,90	2,86	0,66
Гумат калію (обробка насіння)	0,95	0,91	2,88	0,67
Гумат калію (у період вегетації)	0,94	0,90	2,86	0,66
Гумат калію (обробка насіння + у період вегетації)	1,00	0,96	3,03	0,70
Гумісол (обробка насіння)	0,91	0,87	2,76	0,64
Гумісол (в період вегетації)	0,89	0,86	2,71	0,63
Гумісол (обробка насіння + у період вегетації)	0,93	0,90	2,83	0,66
'Син-3/02'				
Контроль (без обробки ДП)	0,92	0,82	2,51	0,62
Біокомплекс–БТУ (обробка насіння)	1,03	0,91	2,81	0,69
Біокомплекс–БТУ (е період вегетації)	1,01	0,90	2,76	0,68
Біокомплекс–БТУ (обробка насіння + у період вегетації)	1,05	0,94	2,88	0,71
Гумат калію (обробка насіння)	1,06	0,95	2,91	0,71
Гумат калію (у період вегетації)	1,05	0,94	2,88	0,71
Гумат калію (обробка насіння + у період вегетації)	1,12	1,00	3,06	0,75
Гумісол (обробка насіння)	1,02	0,91	2,78	0,68
Гумісол (в період вегетації)	1,00	0,89	2,73	0,67
Гумісол (обробка насіння + у період вегетації)	1,04	0,93	2,86	0,70
'Ярославна'				
Контроль (без обробки ДП)	0,79	0,75	2,42	0,52
Біокомплекс–БТУ (обробка насіння)	0,88	0,84	2,71	0,58
Біокомплекс–БТУ (е період вегетації)	0,86	0,82	2,66	0,57
Біокомплекс–БТУ (обробка насіння + у період вегетації)	0,90	0,86	2,78	0,59
Гумат калію (обробка насіння)	0,91	0,87	2,80	0,60
Гумат калію (у період вегетації)	0,90	0,86	2,78	0,59
Гумат калію (обробка насіння + у період вегетації)	0,96	0,91	2,95	0,63
Гумісол (обробка насіння)	0,87	0,83	2,68	0,57
Гумісол (в період вегетації)	0,86	0,81	2,63	0,56
Гумісол (обробка насіння + у період вегетації)	0,90	0,85	2,75	0,59
НІР _{0,05}	0,02	0,03	0,01	0,02

Уміст фосфору у фазі цвітіння був стабільно вищим, ніж у дозрілому насінні, що зумовлено інтенсифікацією метаболічних процесів у період бутонізації. Найвищі показники зафіксовано у сорту 'Син-3/02' за комплексної схеми застосування Гумату калію, де вміст фосфору становив 1,12 % у зеленій масі та 1,00 % у насінні, що достовірно перевищувало контроль.

Гречка виявила високу чутливість до калійного живлення, насамперед у вегетативній масі. У фазі цвітіння вміст K_2O коливався в межах 2,42–3,06 %, тоді як у насінні цей показник істотно знижувався до 0,52–0,75 %. Це свідчить про ключову роль калію у підтриманні водного балансу та транспортуванні речовин під час вегетації. Максимальна акумуляція мінеральних елементів у всіх досліджуваних сортів відзначена у варіанті із застосуванням Гумату калію за схемою «обробка насіння + у період вегетації», що забезпечило приріст умісту калію в насінні на 19–21 % порівняно з контролем. 'Син-3/02' продемонстрував найвищий потенціал накопичення мінеральних елементів, перевищуючи сорт 'Ярославна' за вмістом P_2O_5 у насінні в середньому на 8–10 %.

Контроль органічної продукції на вміст залишків пестицидів є не формальною процедурою, а фундаментальною умовою забезпечення довіри між виробником і споживачем. Хоча органічні стандарти забороняють використання синтетичних пестицидів, ризик їхньої появи в продукції все одно існує. Потенційними джерелами забруднення можуть бути транскордонне перенесення пестицидів повітряними потоками або водою з прилеглих традиційних угідь, наявність стійких залишків у ґрунті (наприклад, ДДТ). Також забруднення продукції може супроводжуватись людським фактором, тобто випадкове використання забрудненого обприскувача або помилка при закупівлі насіння чи добрив. Оператор за ведення органічного виробництва проводить обов'язково оцінку ризиків своєї діяльності, проте згадані вище фактори можуть бути присутні у діяльності.

Задля розуміння повної картини динаміки накопичення та міграції пестицидів ми визначали їх залишки у зеленій масі та у зерні. Так, зазвичай, проводиться перевірка органами сертифікації. Перевірка рослин (стебел, листя) ще до збирання врожаю має стратегічне значення. Якщо забруднення сталося через знесення препаратів вітром від сусіда, оператор дізнається про це до того, як змішає цей врожай із чистим зерном на елеваторі. Це дає змогу вчасно виділити «проблемну» ділянку поля і не маркувати продукцію з неї як «органічну», зберігаючи репутацію бренду.

Насіння – це кінцевий продукт, який потрапляє на переробку або до споживача. Перевірка зерна є обов'язковою для сертифікації. Передусім за умов експорту, більшість країн ЄС та США вимагають протоколи лабораторних випробувань на сотні діючих речовин (зазвичай понад 500–700 видів пестицидів). Іноді пестициди (фуміганти) можуть потрапити в насіння вже на складі під час боротьби зі шкідниками, якщо приміщення не було належним чином підготовлене.

За результатами проведених досліджень встановлено, що у зеленій масі та зерні всіх досліджуваних сортів гречки, незалежно від застосування допоміжних продуктів, залишки пестицидів, фосфонової кислоти та фосетилу алюмінію не виявлено.

Згідно зі звітом лабораторії GALAB Laboratories GmbH (Гамбург, Німеччина), органічна гречка відповідала вимогам регламентів ЄС і законодавства України щодо максимально допустимих рівнів залишків пестицидів.

Аналіз проведено на широкий спектр речовин (понад 500 найменувань), при цьому більшість показників знаходилися нижче межі визначення (n.d. – not detectable). Зокрема, гліфосат (нижче 0,010 мг/кг), фосфін, хлормекват і мепікват не виявлені.

Отримані результати підтверджують придатність продукції для реалізації як органічної за дослідженими показниками. Водночас випадки забруднення фосфоновою кислотою в умовах виробництва залишаються відкритим питанням і потребують подальших цільових досліджень.

Основні результати аналізу зерна гречки на забруднення пестицидами**Pesticides**

Method: DIN EN 15662:2018-07 Modular QuEChERS-method Scope of substances and methods: GALAB Pestizides 500Plus® BNN and phenoxy carboxylic acids (alkaline hydrolysis) (GC-MS/MS, GC-NCI & LC-MS/MS) dated 10.11.2025.

<i>Method: SOP-0559:2019-05</i>				
Parameter	Content	Unit	RL	MRL acc. to Reg. (EC) No. 396/2005
Phosphane	n.d.	mg/kg	0,001	0,70
<i>Method: SOP-0657; 2022-12</i>				
Parameter	Content	Unit	RL	MRL acc. to Reg. (EC) No. 396/2005
AMPA	n.d.	mg/kg	0,010	
Glyphosate	n.d.	mg/kg	0,010	0,10
Glufosinate	n.d.	mg/kg	0,010	
<i>Method: SOP-Nr. 495:2016-10; EU-SRM QuPPE 2019-05</i>				
Parameter	Content	Unit	RL	MRL acc. to Reg. (EC) No. 396/2005
Chlormequat (Sum)	n.d.	mg/kg	0,010	0,010
Chlormequat	n.d.	mg/kg	0,010	
Мерікуат (Sum)	n.d.	mg/kg	0,010	0,020
Мерікуат	n.d.	mg/kg	0,010	

Висновки

За результатами досліджень 2023–2025 рр. встановлено, що застосування дозволених в органічному землеробстві біопрепаратів суттєво підвищує врожайність та поліпшує якісні показники гречки.

Найвищу ефективність забезпечує поєднання передпосівної обробки насіння та позакореневого підживлення Гуматом калію, що дає змогу підвищити врожайність до 1,90–2,30 т/га та вміст сирого білка в насінні до 13,68–13,88 %.

Доведено, що використання гумінових речовин інтенсифікує накопичення макроелементів (P₂O₅ та K₂O) і мінералізацію тканин, особливо в сорту 'Син-3/02', який виявився найбільш технологічним серед досліджуваних культиварів.

Лабораторний контроль підтвердив повну відсутність залишків пестицидів, фосфонові кислоти та гліфосату в продукції, що засвідчує високу біологічну цінність та екологічну безпеку розробленої системи органічного вирощування відповідно до стандартів ЄС.

Використана література

1. Шевчук В. М. Гречка як стратегічна культура в умовах зміни клімату, агроекологічної сталості та продовольчої безпеки. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. № 28(2). С. 112–119. <https://doi.org/10.31210/spi2025.28.02.17>
2. Малинка Л. В., Шишкіна К. І., Дідур І. М. та ін. Стан та виробництво органічної продукції в Україні. Вирощування гречки за застосування біопрепаратів. *Агробіологія*. 2020. № 2. С. 90–97. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2020-161-2-90-97>
3. Карпук Л. М., Єзерковська Л. В., Караульна В. М., Павліченко А. А. Економічна ефективність вирощування гречки органічного землеробства. *Актуальні проблеми інноваційного розвитку аграрного сектору економіки* : матеріали XI Міжнародної науково-практичної молодіжної інтернет-конференції (м. Київ, 10 квітня 2020 р.). Київ, 2020. С. 60–61.
4. Коноваленко Л. І., Моргун В. В., Петренко К. В. Ефективність різних регуляторів росту рослин та біопрепаратів в умовах Степу. *Агроекологічний журнал*. 2013. № 3. С. 51–56.
5. Наукові основи виробництва органічної продукції в Україні / за ред. Я. М. Гадзала, В. Ф. Камінського. Київ : Аграрна наука, 2016. 592 с.

6. Волкогон В. В. Біологічні аспекти адаптивних систем землеробства. *Адаптивні системи землеробства і сучасних агротехнологій як основа раціонального землекористування, збереження і відтворення родючості ґрунтів*. Київ : Едельвейс, 2013. С. 95–107.
7. Терновий Ю. В., Тернова С. В. Вплив агротехнічних заходів на біотичні чинники в органічних агрофітоценозах. *Інноваційні екологічнобезпечні технології рослинництва в умовах воєнного стану* : матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Київ, 31 серпня 2023 р.). Київ, 2023. С. 168–170.
8. Степишин П. О., Рекуненко В. В., Пиндус В. В. Основи органічного виробництва. Вінниця : Нова книга, 2008. 528 с.
9. EFSA (European Food Safety Authority). Anastassiadou M., Akhter T. M. et al. Findings of not authorised substances in organic production. *EFSA Supporting Publication*. 2025. EN-9524. 579 p. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2025.EN-9524>
10. Unpacking phosphonic acid. *PRIMORIS your reliability in food analysis*. April 2025. Available at: <https://primoris-lab.com/langchoice>
11. Галашевський С. О., Гавран І. І., Єзерковська Л. В. та ін. Перелік допоміжних продуктів та методів, дозволених для використання в органічному виробництві з врахуванням вимог органічних стандартів Європейського Союзу. 10-те вид. Київ, 2024. 180 с.

References

1. Shevchuk, V. M. (2025). Buckwheat as a strategic crop in the context of climate change, agroecological sustainability, and food security. *Scientific Progress & Innovations*, 28(2), 112–119. <https://doi.org/10.31210/spi2025.28.02.17>
2. Malinka, L., Shyshkina, K., Didur, I., Ezerkovska, L., Karaulna, V., Karpuk, L., Pavlichenko, A., & Kozak, L. (2020). Status and production of organic products in Ukraine. Buckwheat cultivation using biological products. *Agrobiology*, 2, 90–97. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2020-161-2-90-97>
3. Karpuk, L. M., Yezerkovska, L. V., Karaulna, V. M., & Pavlichenko, A. A. (2020). Economic efficiency of growing buckwheat in organic farming. In *Current problems of innovative development of the agricultural sector of the economy* (pp. 60–61). Kyiv. [In Ukrainian]
4. Konovalenko, L. I., Morhun, V. V., & Petrenko, K. V. (2013). Efficiency of various plant growth regulators and biological products in the conditions of the Steppe. *Agroecological Journal*, 3, 51–56. [In Ukrainian]
5. Hadzalo, Ya. M., & Kaminskyi, V. F. (Eds.). (2016). *Scientific foundations of organic production in Ukraine*. Ahrarna nauka. [In Ukrainian]
6. Volkohon, V. V. (2013). Biological aspects of adaptive farming systems. In *Adaptive systems of agriculture and modern agrotechnologies as a basis for rational land use, preservation and reproduction of soil fertility* (pp. 95–107). Edelweis. [In Ukrainian]
7. Ternovyi, Yu. V., & Ternova, Ye. V. (2023). Influence of agrotechnical measures on biotic factors in organic agrophytocenoses. In *Innovative eco-friendly crop production technologies under martial law* (pp. 168–170). Kyiv. [In Ukrainian]
8. Stepysyn, P. O., Rekunenko, V. V., & Pyndus, V. V. (2008). *Fundamentals of organic production*. Nova Knyha. [In Ukrainian]
9. European Food Safety Authority (EFSA), Anastassiadou, M., Akhter, M. T., Brocca, D., Greco, L., Josheski, M., Romano, M. L., Magrans, J. O., Romac, A., Santos, M., & Tauriainen, T. (2025). Findings of not authorised substances in food and feed certified as organic [JB]. *EFSA Supporting Publications*, 22(7). <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2025.EN-9524>
10. PRIMORIS. (2025, April). *Unpacking phosphonic acid. Your reliability in food analysis*. <https://primoris-lab.com/langchoice>
11. Halashevskiy, S. O., Havran, I. I., & Yezerkovska, L. V. (2024). *List of auxiliary products and methods allowed for use in organic production taking into account the requirements of organic standards of the European Union* (10th ed.). Kyiv. [In Ukrainian]

UDC 632: 633.16: 581.5

Karpuk, L. M.*, & Fedorchenko, Ya. O. (2025). Formation of qualitative indicators of buckwheat in organic production. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 33, 19–28. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.350952>

*Bila Tserkva National Agrarian University, 8/1 Soborna square, Bila Tserkva, Kyiv region, 09100, Ukraine, *e-mail: lesya_karpuk@ukr.net*

Aim. To assess changes in qualitative indicators of buckwheat in organic production, depending on the use of auxiliary products and varietal characteristics. **Methods.** The study was conducted in 2023–2025 at the Shevchenko Agricultural Enterprise (Kyiv region). The field experiment was established according to a two-factor scheme: factor A – buckwheat varieties: ‘Antariia’ (medium-early), ‘Syn-3/02’ (medium-ripening), ‘Yaroslavna’ (early-ripening); factor B – bioproducts: without bioproducts (control), Biocomplex–BTU, Potassium Humate, Humisol. All tested bioproducts complied with the requirements of organic production and were included in the list of permitted inputs. **Results.** A significant positive effect of biological products on the productivity of buckwheat in organic production was established. The highest efficiency was provided by the combination of pre-sowing seed treatment and foliar feeding with potassium humate, which allowed to obtain a yield of 1.90–2.30 t/ha (depending on the variety) against 1.56–1.89 t/ha in the control. The use of biological products contributes to the improvement of grain and green mass quality indicators. The maximum content of crude protein in grain (13.68–13.88%) and digestibility of green mass in the flowering phase (49.48–50.58%) were recorded with a comprehensive scheme for the use of potassium humate. Activation of growth processes by humic substances intensifies the accumulation of macroelements. The highest content of P₂O₅ and K₂O was observed in the ‘Syn-3/02’ variety using potassium humate (the increase in potassium content in the grain was 19–21% compared to the control). The content of phosphorus and potassium in the flowering phase was significantly higher compared to mature grain, which is explained by active metabolism during the budding period. The results of laboratory studies confirmed the full compliance of the obtained products with EU standards for organic production. No pesticide residues (glyphosate, phosphine, chlormequat, etc.) were detected in the grain and green mass. This proves the effectiveness of the developed organic cultivation system for obtaining safe and biologically valuable products. **Conclusions.** It was established that the use of biological products permitted in organic farming significantly increases the yield and quality indicators of buckwheat. The most effective was the complex scheme of application of Potassium Humate (pre-sowing treatment + foliar feeding), which ensured maximum yield (up to 2.30 t/ha), the highest content of crude protein in grain (up to 13.88%) and intensive accumulation of macronutrients (P₂O₅ and K₂O), especially in the ‘Syn-3/02’ variety. Laboratory control confirmed the complete absence of pesticide residues in the products, which proves the effectiveness of the developed system for obtaining a safe and biologically valuable buckwheat crop in accordance with EU standards.

Keywords: *organic production; buckwheat quality; biological products.*

Надійшла / Received 23.11.2025

Погоджено до друку / Accepted 19.12.2025

Опубліковано онлайн / Published online 29.12.2025

Урожайність та якість насіння сої за різних систем захисту від бур'янів в умовах Лісостепу України

 О. П. Конопольський

Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна, e-mail: konop@ukr.net

Мета. Установити особливості формування врожайності та якості насіння сої за різних систем захисту від бур'янів в умовах Правобережного Лісостепу України. **Методи.** Дослідження проводили впродовж 2023–2025 рр. на базі «ВП Агрономічна дослідна станція» (Київська обл.) за схемою, що включала двокомпонентні (Базагран + Селект; Хармоні + Селект; Пас + Селект) та трикомпонентну (Базагран + Хармоні + Селект) системи у варіантах: 100 % норма гербіцидів без ПАР; 100 % + ПАР Скаба КЕ, 0,2 л/га; 75 % норма + ПАР, 0,3 л/га; оптимізована норма (–33...40 %) + ПАР, 0,4 л/га. Продуктивність культури оцінювали за врожайністю насіння, вмістом білка та олії в ньому, а також за збором цих компонентів з одиниці площі. **Результати.** Урожайність без ПАР у середньому за три роки становила 2,34–2,46 т/га, тоді як додавання ПАР (0,2 л/га) підвищувало її до 2,53–2,66 т/га; максимальні значення отримано у трикомпонентній системі Базагран + Хармоні + Селект + ПАР. Найвищі врожаї формувалися у 2024 р. (2,48–2,62 т/га), а в посушливіших умовах 2025 р. спостерігалось зниження до 2,20–2,30 т/га (на фоні без ПАР). Зменшення норм гербіцидів до 75 % у поєднанні з ПАР забезпечувало стабільно високий рівень урожайності (2,50–2,60 т/га), а оптимізовані норми (–33...40 %) з підвищеною нормою ПАР (0,4 л/га) – 2,51–2,61 т/га; різниця між варіантами із ПАР не перевищувала 0,02–0,05 т/га, що підтверджує можливість зниження гербіцидного навантаження без втрати продуктивності. Паралельно відмічено тенденцію до підвищення вмісту білка за використання ПАР (у середньому до 40,0–40,6 %) порівняно з фоном без ПАР (39,2–39,7 %), а також формування збору білка на рівні 1,00–1,08 т/га залежно від системи захисту. Уміст олії в насінні варіював у межах 21,8–22,5 % (середнє за три роки), а збір олії – 0,53–0,58 т/га з максимумом у варіантах із ПАР. **Висновки.** Система захисту сої від бур'янів істотно впливає на формування врожайності та якісних показників насіння, зокрема вміст білка та олії. Використання ПАР Скаба КЕ у поєднанні з оптимізованими нормами гербіцидів забезпечує стабільно високий урожай і збір білка та олії, даючи змогу знизити гербіцидне навантаження без істотної втрати продуктивності. Найвищу ефективність показала трикомпонентна система Базагран + Хармоні + Селект з додаванням ПАР.

Ключові слова: сорт 'Муза'; забур'яненість; гербіцидні композиції; мультисайтовий механізм дії; ПАР Скаба КЕ; оптимізовані норми; урожайність; вміст білка; вміст олії; збір білка; збір олії.

Вступ

Соя [*Glycine max* (L.) Merr.] є однією з ключових зернобобових культур сучасного землеробства завдяки високій білково-олійній цінності насіння та широкому використанню в харчовій, кормовій і переробній промисловості. Водночас реалізація продукційного потенціалу сої істотно лімітується абіотичними стресами та біотичними чинниками, серед яких

Як цитувати: Конопольський О. П. Урожайність та якість насіння сої за різних систем захисту від бур'янів в умовах Лісостепу України. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових бур'яків*. 2025. Вип. 33. С. 29–40. <https://doi.org/10.47414/nr.33.2025.349299>



© The Author(s) 2025. Published by Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

забур'яненість посівів залишається одним із найагресивніших. Узагальнення світових даних свідчить, що конкуренція бур'янів здатна спричинити значні втрати врожаю сої навіть за достатнього рівня ресурсного забезпечення, а ступінь її шкодочинності визначається передусім тривалістю та інтенсивністю інтерференції у критичні фази онтогенезу [1, 2].

Особливо небезпечним для сої є ранній період формування стеблостою та листового апарату: затримка контролю бур'янів у цей час призводить до необоротного недобору врожаю, а «критичний період» часто припадає на інтервал від появи перших справжніх або трійчастих листків до формування достатньої конкурентоспроможності культури. Для практики це означає, що ефективність системи захисту визначається не лише вибором препарату, а й точністю строків застосування та здатністю оперативного зняти конкурентний тиск у ранні фази розвитку рослин [3, 4].

У сучасних технологіях вирощування сої домінує підхід інтегрованого гербіцидного захисту, який передбачає поєднання різних механізмів дії (зокрема проти однорічних дводольних і злакових видів) та використання бакових сумішей з метою розширення спектра контрольованих бур'янів і зниження ризиків формування резистентних біотипів. З позицій управління резистентністю принциповим є застосування у програмі контролю двох і більше ефективних «сайтів дії», оскільки системи з одноманітним механізмом дії прискорюють адаптацію бур'янового компонента агрофітоценозу [5–7].

Важливим складником підвищення надійності післясходових обробок є використання ад'ювантів (ПАР), які покращують змочування, утримання робочого розчину та проникнення діючих речовин у тканини бур'янів, тим самим підвищуючи біологічну ефективність гербіцидів у широкому діапазоні умов середовища. Дослідження свідчать, що ад'юванти, зокрема олійні компоненти у складі бакових сумішей, здатні посилювати дію окремих післясходових діючих речовин і покращувати контроль проблемних видів бур'янів, що має безпосередній вплив на стабільність урожайності та якісні показники насіння [8–10].

Окремої уваги заслуговує аспект ресурсоощадності. Оптимізація норм витрати гербіцидів у поєднанні з ПАР потенційно дає змогу зменшити гербіцидне навантаження та собівартість захисту без втрати ефективності, однак така стратегія потребує експериментального обґрунтування з урахуванням конкретних ґрунтово-кліматичних умов і структури забур'яненості посівів [11, 12]. Для Правобережного Лісостепу України додатковим ускладнювальним чинником є міжрічна мінливість гідротермічного режиму, яка впливає як на конкурентні взаємовідносини в системі «культура – бур'яни», так і на реалізацію гербіцидної дії та компенсаторні можливості сої.

У зв'язку з цим актуальним є наукове обґрунтування таких систем захисту, які одночасно забезпечують ефективний контроль бур'янів, стабілізацію врожайності та показників якості насіння, а також зберігають можливість оптимізації норм препаратів. Саме в цьому контексті проведено польові дослідження впродовж 2023–2025 рр. у зоні Лісостепу України (Київська обл.), де погодні умови характеризувалися значною контрастністю з вираженими періодами дефіциту вологи у критичні фази росту й розвитку сої, що створювало репрезентативне тло для оцінювання ефективності різних систем захисту та ролі ПАР.

Мета досліджень – установити особливості формування врожайності та якості насіння сої за різних систем захисту від бур'янів в умовах Правобережного Лісостепу України.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили впродовж 2023–2025 рр. в умовах ВП «Агрономічна дослідна станція» (с. Пшеничне, Васильківський р-н, Київська обл.), у зоні Лісостепу України.

Погодні умови вегетаційного періоду 2023 р. характеризувалися контрастним поєднанням факторів: надмірно вологий квітень сприяв накопиченню запасів ґрунтової вологи, водночас екстремально посушливі травень і серпень лімітували відповідно початкові етапи росту рослин і процес наливу. Серед років досліджень 2024 р. був найбільш стресовим у генеративні фази розвитку через аномально сухий і спекотний липень (10 мм опадів; середня температура 23,5 °С), що безпосередньо пояснює потенційне зниження реалізації елементів структури

врожаю. У 2025 р. погодні умови характеризувалися відносною стабільністю за типом «тепло + дефіцит опадів» починаючи з травня та особливо в липні – серпні, внаслідок чого водний фактор послідовно виступав лімітуючим упродовж ключових фаз онтогенезу (формування листкового апарату → зав'язування → налив).

Схема досліду наведена в таблиці 1.

Таблиця 1

Визначення ефективності хімічного захисту посівів сої від бур'янів

Базова комбінація	Базова комбінація + ПАР Скаба КЕ, 0,2 л/га	Зменшена до 75 % норма + ПАР Скаба КЕ, 0,3 л/га	Опримізована норма + ПАР Скаба КЕ, 0,4 л/га
Базагран (бентазон, 480 г/л), 1,5 л/га + Селект (клетодим, 120 г/л), 0,6 л/га	Базагран (бентазон, 480 г/л), 1,5 л/га + Селект (клетодим, 120 г/л), 0,6 л/га	Базагран (бентазон, 480 г/л), 1,1 л/га + Селект (клетодим, 120 г/л), 0,45 л/га	Базагран (бентазон, 480 г/л), 1,0 л/га (–33 %) + Селект (клетодим, 120 г/л), 0,4 л/га (–33 %)
Хармоні (тифенсульфурон-метил, 750 г/кг), 10 г/га + Селект (клетодим, 120 г/л), 0,6 л/га	Хармоні (тифенсульфурон-метил, 750 г/кг), 10 г/га + Селект (клетодим, 120 г/л), 0,6 л/га	Хармоні (тифенсульфурон-метил, 750 г/кг), 7,5 г/га + Селект (клетодим, 120 г/л), 0,45 л/га	Хармоні (тифенсульфурон-метил, 750 г/кг), 6 г/га (–40 %) + Селект (клетодим 120 г/л), 0,4 л/га (–33 %)
Пас (імазетапір, 100 г/л), 0,6 л/га + Селект (клетодим, 120 г/л), 0,6 л/га	Пас (імазетапір, 100 г/л), 0,6 л/га + Селект (клетодим, 120 г/л), 0,6 л/га	Пас (імазетапір, 100 г/л), 0,45 л/га + Селект (клетодим, 120 г/л), 0,45 л/га	Пас (імазетапір, 100 г/л), 0,4 л/га (–33 %) + Селект (клетодим, 120 г/л), 0,4 л/га (–33 %)
Базагран (бентазон, 480 г/л), 1,2 л/га + Хармоні (тифенсульфурон-метил, 750 г/кг), 6 г/га + Селект (Клетодим, 120 г/л), 0,5 л/га	Базагран (бентазон, 480 г/л), 1,2 л/га + Хармоні (тифенсульфурон-метил, 750 г/кг), 6 г/га + Селект (клетодим, 120 г/л), 0,5 л/га	Базагран (бентазон, 480 г/л), 0,9 л/га + Хармоні (тифенсульфурон-метил, 750 г/кг), 4,5 г/га + Селект (клетодим, 120 г/л), 0,4 л/га	Базагран (бентазон, 480 г/л), 0,8 л/га (–33 %) + Хармоні (тифенсульфурон-метил, 750 г/кг), 4 г/га (–33 %) + Селект (клетодим, 120 г/л), 0,3 л/га (–40 %)

Загальна площа ділянок у дослідах із гербіцидами становила 32 м², облікових – 25 м². Дослід закладали за триразового повторення з послідовним розміщенням варіантів.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем типовий малогумусний, середньосуглинковий за механічним складом, сформований на лесі. Уміст гумусу в орному шарі становив 3,5 % (за Тюрнімом), забезпеченість елементами мінерального живлення – середня. Потужність гумусового горизонту – 25–30 см.

Урожайність, т/га, визначали шляхом збирання та обмолоту облікової площі в кожному повторенні з подальшим перерахунком показників на гектар і приведенням до стандартної вологості насіння.

Уміст білка, %, встановлювали за загальноприйнятими лабораторними методами: класичним способом – за вмістом загального азоту з перерахунком на протеїн або інструментально – методом інфрачервоного аналізу (за його застосування).

Уміст олії, %, визначали екстракційним методом або інструментально (ІЧ-аналізом) відповідно до прийнятої лабораторної методики.

Польові дослідні з оцінювання впливу гербіцидів на забур'яненість посівів, ефективність їх застосування та продуктивність сої проводили за загальноприйнятими й спеціальними методиками [13–15].

Результати досліджень

Урожайність є інтегральним показником ефективності системи захисту сої від бур'янів, який акумулює вплив конкурентних взаємодій у посівах, розвитку асиміляційного апарату, рівня реалізації фотосинтетичного потенціалу та умов року вирощування. Аналіз даних таблиці 2 свідчить про чітку диференціацію врожайності залежно від складу гербіцидної композиції, застосування ПАР Скаба КЕ та рівня норм препаратів.

Не менш важливими є і якісні характеристики врожаю, зокрема вміст білка й олії в насінні, а також їх збір з одиниці площі. Саме ці показники визначають господарську та кормову цінність сої та значною мірою залежать від рівня конкуренції з бур'янами, інтенсивності фотосинтезу й фізіологічного стану рослин у період наливу насіння.

Урожайність сої 'Муза' за різних варіантів захисту від бур'янів

Варіант захисту	2023	2024	2025	Середнє
Без ПАР (100 % норма)				
Базагран + Селект	2,35	2,48	2,20	2,34
Хармоні + Селект	2,38	2,52	2,23	2,38
Пас + Селект	2,42	2,58	2,27	2,42
Базагран + Хармоні + Селект	2,45	2,62	2,30	2,46
100 % норма + ПАР Скаба КЕ (0,2 л/га)				
Базагран + Селект	2,52	2,68	2,40	2,53
Хармоні + Селект	2,55	2,72	2,43	2,57
Пас + Селект	2,60	2,78	2,48	2,62
Базагран + Хармоні + Селект	2,64	2,82	2,52	2,66
75 % норма + ПАР Скаба КЕ (0,3 л/га)				
Базагран + Селект	2,48	2,63	2,38	2,50
Хармоні + Селект	2,50	2,66	2,40	2,52
Пас + Селект	2,54	2,70	2,44	2,56
Базагран + Хармоні + Селект	2,58	2,74	2,47	2,60
Оптимізована норма (-33...40 %) + ПАР Скаба КЕ (0,4 л/га)				
Базагран + Селект	2,50	2,65	2,39	2,51
Хармоні + Селект	2,53	2,68	2,42	2,54
Пас + Селект	2,56	2,72	2,45	2,58
Базагран + Хармоні + Селект	2,60	2,76	2,48	2,61
НІР _{0,05}	0,14	0,15	0,13	0,10

За відсутності ПАР урожайність сої сорту 'Муза' була найнижчою серед усіх досліджуваних фонів і в середньому за три роки коливалася в межах 2,34–2,46 т/га. Мінімальне значення зафіксовано у варіанті Базагран + Селект (2,34 т/га), що узгоджується з найвищим рівнем конкурентного тиску бур'янів і нижчими показниками реалізації фотосинтетичного потенціалу культури.

У системі Хармоні + Селект середня врожайність становила 2,38 т/га, тоді як за застосування Пас + Селект вона зростала до 2,42 т/га. Максимальний показник на цьому фоні забезпечувала трикомпонентна система Базагран + Хармоні + Селект – 2,46 т/га, що на 0,12 т/га (5,1 %) перевищувало врожайність у базовому двокомпонентному варіанті.

У міжрічному аспекті найвищі врожаї формувалися у 2024 році (2,48–2,62 т/га), що зумовлено сприятливішими погодними умовами вегетаційного періоду. Натомість у 2025 році внаслідок посушливих умов відмічено зниження врожайності до 2,20–2,30 т/га.

Додавання ПАР Скаба КЕ забезпечувало істотне підвищення врожайності у всіх досліджуваних системах захисту. Зокрема, у варіанті Базагран + Селект + ПАР середня врожайність зростала до 2,53 т/га, що на 0,19 т/га (8,1 %) перевищувало показники варіанта без застосування ПАР.

У системі Хармоні + Селект + ПАР урожайність становила 2,57 т/га, тоді як у варіанті Пас + Селект + ПАР вона зростала до 2,62 т/га. Максимальний показник на цьому фоні зафіксовано у трикомпонентній системі Базагран + Хармоні + Селект + ПАР, де врожайність досягала 2,66 т/га, що на 0,32 т/га (13,7 %) перевищувало мінімальні значення у варіантах без застосування ПАР. За зменшення норми гербіцидів до 75 % у поєднанні з ПАР урожайність сої залишалася стабільно високою і становила 2,50–2,60 т/га. Зокрема, у двокомпонентному варіанті Базагран + Селект урожайність становила 2,50 т/га, що практично відповідало рівню варіанта з повною нормою гербіцидів у поєднанні з ПАР.

У системах Хармоні + Селект та Пас + Селект урожайність зростала відповідно до 2,52 і 2,56 т/га, тоді як у трикомпонентному варіанті Базагран + Хармоні + Селект вона досягала

2,60 т/га. Зазначений показник був лише на 0,06 т/га меншим від максимальних значень фону з повною нормою гербіцидів у поєднанні з ПАР і перебував у межах похибки досліду.

Застосування оптимізованих норм гербіцидів у поєднанні з підвищеною нормою ПАР забезпечувало врожайність на рівні 2,51–2,61 т/га. У двокомпонентних системах вона становила 2,51–2,54 т/га, у варіанті Пас + Селект – 2,58 т/га, а у трикомпонентній системі Базагран + Хармоні + Селект (усі компоненти –33...40 %) – 2,61 т/га.

Різниця між оптимізованими, зменшеними та повними нормами гербіцидів за умови застосування ПАР не перевищувала 0,02–0,06 т/га, що свідчить про можливість зниження гербіцидного навантаження без істотної втрати врожайності.

Уміст білка в насінні сої є одним із ключових показників якості врожаю, формування якого відбувається під впливом умов азотного живлення, інтенсивності фотосинтетичних процесів, рівня стресового навантаження та характеру конкурентних взаємодій у посівах. Ефективність системи захисту від бур'янів опосередковано впливає на цей показник через оптимізацію ростових умов, збереження листового апарату та подовження періоду активного накопичення азотовмісних сполук у насінні (табл. 3).

Таблиця 3

Уміст білка в насінні сої 'Муза' за різних варіантів захисту від бур'янів, %

Варіант захисту	2023	2024	2025	Середнє
Без ПАР (100 % норма)				
Базагран + Селект	39,2	38,7	39,6	39,2
Хармоні + Селект	39,4	38,9	39,8	39,4
Пас + Селект	39,6	39,1	40,0	39,6
Базагран + Хармоні + Селект	39,7	39,2	40,1	39,7
100 % норма + ПАР Скаба КЕ (0,2 л/га)				
Базагран + Селект	40,0	39,5	40,5	40,0
Хармоні + Селект	40,2	39,7	40,7	40,2
Пас + Селект	40,4	39,9	40,9	40,4
Базагран + Хармоні + Селект	40,6	40,1	41,1	40,6
75 % норма + ПАР Скаба КЕ (0,3 л/га)				
Базагран + Селект	39,8	39,4	40,3	39,8
Хармоні + Селект	40,0	39,6	40,5	40,0
Пас + Селект	40,2	39,8	40,7	40,2
Базагран + Хармоні + Селект	40,4	40,0	40,9	40,4
Оптимізована норма (–33...40 %) + ПАР Скаба КЕ (0,4 л/га)				
Базагран + Селект	40,1	39,7	40,6	40,1
Хармоні + Селект	40,3	39,9	40,8	40,3
Пас + Селект	40,5	40,1	41,0	40,5
Базагран + Хармоні + Селект	40,7	40,3	41,2	40,7
НІР _{0,05}	0,5	0,4	0,5	0,3

За відсутності ПАР уміст білка в насінні був найнижчим серед досліджуваних фонів і в середньому становив 39,2–39,7 %. Мінімальне значення зафіксовано у варіанті Базагран + Селект (39,2 %), що узгоджується з найнижчими показниками фотосинтетичного потенціалу та найвищим конкурентним тиском бур'янів упродовж вегетації.

У системі Хармоні + Селект уміст білка підвищувався до 39,4 %, а за застосування Пас + Селект – до 39,6 %. Найвищий показник без ПАР відзначено у трикомпонентній системі Базагран + Хармоні + Селект (39,7 %), що свідчить про позитивний вплив мультисайтового контролю бур'янів на білковий обмін рослин.

Застосування ПАР Скаба КЕ забезпечувало помірно, але достовірно підвищення вмісту білка у насінні у всіх системах захисту. Зокрема, у варіанті Базагран + Селект + ПАР цей показник зростав до 40,0 %, що на 1,4 % перевищувало значення варіанта без ПАР.

У системі Хармоні + Селект + ПАР уміст білка становив 39,7 %, а у варіанті Пас + Селект + ПАР – 39,9 %. Максимальне значення на цьому фоні зафіксовано у трикомпонентній системі Базагран + Хармоні + Селект + ПАР, де вміст білка досягав 40,1 %, що на 1,9 % ($\approx 5,0$ %) перевищувало мінімальні показники варіантів без ПАР.

За зменшення норми гербіцидів до 75 % у поєднанні з ПАР уміст білка в насінні залишався стабільно високим і коливався в межах 39,2–40,0 %. У двокомпонентному варіанті Базагран + Селект він становив 39,2 %, практично відповідаючи рівню повної норми з ПАР.

У системах Хармоні + Селект та Пас + Селект уміст білка зростав відповідно до 40,0 та 40,2 %, а у трикомпонентному варіанті Базагран + Хармоні + Селект досягав 40,4 %, що лише на 0,2 % менше, ніж за повної норми гербіцидів з ПАР, і перебувало в межах похибки досліду.

Застосування оптимізованих норм гербіцидів у поєднанні з підвищеною нормою ПАР забезпечувало формування 40,1–40,7 % білка в насінні. У двокомпонентних системах цей показник становив 40,1–40,3 %, у варіанті Пас + Селект – 40,5 %, а у трикомпонентній системі Базагран + Хармоні + Селект (оптимізована норма + ПАР) досягав 40,7 %.

Різниця між оптимізованими, зменшеними та повними нормами гербіцидів за умови використання ПАР не перевищувала 0,2–0,3 %, що свідчить про відсутність негативного впливу зниження гербіцидного навантаження на білкову якість насіння.

Уміст олії в насінні сої є важливим показником якості врожаю, формування якого визначається генетичними особливостями сорту, рівнем фотосинтетичної активності в період наливу насіння, забезпеченістю асимілятами та впливом стресових факторів в агроценозі. Ефективність контролю бур'янів опосередковано впливає на накопичення олії через збереження листкового апарату та оптимізацію фізіологічних процесів у генеративний період (табл. 4).

Таблиця 4

Уміст олії в насінні сої 'Муза' за різних варіантів захисту від бур'янів, %

Варіант захисту	2023	2024	2025	Середнє
Без ПАР (100 % норма)				
Базагран + Селект	22,8	23,2	21,6	22,5
Хармоні + Селект	22,6	23,0	21,4	22,3
Пас + Селект	22,4	22,8	21,2	22,1
Базагран + Хармоні + Селект	22,3	22,7	21,1	22,0
100 % норма + ПАР Скаба КЕ (0,2 л/га)				
Базагран + Селект	22,6	23,0	21,3	22,3
Хармоні + Селект	22,4	22,8	21,1	22,1
Пас + Селект	22,2	22,6	20,9	21,9
Базагран + Хармоні + Селект	22,1	22,5	20,8	21,8
75 % норма + ПАР Скаба КЕ (0,3 л/га)				
Базагран + Селект	22,7	23,1	21,4	22,4
Хармоні + Селект	22,5	22,9	21,2	22,2
Пас + Селект	22,3	22,7	21,0	22,0
Базагран + Хармоні + Селект	22,2	22,6	20,9	21,9
Оптимізована норма (–33...40 %) + ПАР Скаба КЕ (0,4 л/га)				
Базагран + Селект	22,6	23,0	21,3	22,3
Хармоні + Селект	22,4	22,8	21,1	22,1
Пас + Селект	22,2	22,6	20,9	21,9
Базагран + Хармоні + Селект	22,1	22,5	20,8	21,8
НІР _{0,05}	0,3	0,4	0,4	0,3

За відсутності ПАР уміст олії в насінні культури був найнижчим і в середньому становив 22,0–22,5 %. Мінімальні значення зафіксовано у варіанті Базагран + Селект (22,5 %), що

узгоджується з підвищеним конкурентним тиском бур'янів і скороченою тривалістю активного функціонування листкового апарату.

У системі Хармоні + Селект вміст олії підвищувався до 22,3 %, а за застосування Пас + Селект – до 22,1 %. Найвищий показник без ПАР відзначено у трикомпонентній системі Базагран + Хармоні + Селект (22,0 %), що свідчить про позитивний вплив мультисайтового контролю бур'янів на накопичення ліпідів у насінні.

Застосування ПАР Скаба КЕ сприяло помірному, але стабільному зростанню вмісту олії за всіх систем захисту. У варіанті Базагран + Селект + ПАР цей показник становив 22,3 %, що на 0,2 % перевищувало варіант без ПАР.

У системі Хармоні + Селект + ПАР вміст олії зростав до 22,1 %, а у варіанті Пас + Селект + ПАР – до 21,9 %. Максимальне значення на цьому фоні зафіксовано у трикомпонентній системі Базагран + Хармоні + Селект + ПАР, де вміст олії досягав 21,8 %, що на 0,7 % ($\approx 3,2$ %) перевищувало мінімальні показники варіантів без ПАР.

За зменшення норми гербіцидів до 75 % у поєднанні з ПАР вміст олії залишався стабільно високим і коливався в межах 21,9–22,4 %. У двокомпонентному варіанті Базагран + Селект він становив 22,4 %, практично відповідаючи рівню повної норми з ПАР.

У системах Хармоні + Селект та Пас + Селект вміст олії зростав відповідно до 22,2 і 22,0 %, а у трикомпонентному варіанті Базагран + Хармоні + Селект досягав 21,9 %, що лише на 0,4 % менше, ніж максимальні значення фону з повною нормою гербіцидів і ПАР, і перебувало в межах похибки досліду.

Застосування оптимізованих норм гербіцидів у поєднанні з підвищеною нормою ПАР забезпечувало формування 21,8–22,3 % олії в насінні. У двокомпонентних системах цей показник становив 22,1–22,3 %, у варіанті Пас + Селект – 21,9 %, а у трикомпонентній системі Базагран + Хармоні + Селект (оптимізована норма + ПАР) досягав 21,8 %.

Різниця між оптимізованими, зменшеними та повними нормами гербіцидів за умови використання ПАР не перевищувала 0,2–0,3 %, що свідчить про відсутність негативного впливу зниження гербіцидного навантаження на олійність насіння.

Збір білка є інтегральним показником, який одночасно відображає рівень урожайності та білкову якість насіння, і тому найбільш повно характеризує ефективність агротехнологічних заходів з позицій кормової та харчової цінності продукції. Формування цього показника значною мірою залежить від ефективності контролювання бур'янів, тривалості функціонування асиміляційного апарату та умов азотного метаболізму рослин у період наливу насіння (табл. 5).

За відсутності ПАР збір білка був найнижчим серед усіх досліджуваних фонів і в середньому за роки становив 0,92–0,97 т/га. Мінімальне значення зафіксовано у варіанті Базагран + Селект (0,92 т/га), що зумовлено поєднанням відносно низької врожайності та зниженого вмісту білка в насінні.

У системі Хармоні + Селект збір білка зростав до 0,94 т/га, а за застосування Пас + Селект – до 0,96 т/га. Максимальний показник на цьому фоні забезпечувала трикомпонентна система Базагран + Хармоні + Селект (0,97 т/га), що на 0,05 т/га ($\approx 5,4$ %) перевищувало базовий двокомпонентний варіант.

Застосування ПАР Скаба КЕ забезпечувало істотне підвищення збору білка в усіх системах захисту. У варіанті Базагран + Селект + ПАР цей показник зростав до 1,01 т/га, що на 0,09 т/га (10,0 %) перевищувало значення без ПАР.

У системі Хармоні + Селект + ПАР збір білка становив 1,03 т/га, а у варіанті Пас + Селект + ПАР – 1,06 т/га. Максимальні значення на цьому фоні зафіксовано у трикомпонентній системі Базагран + Хармоні + Селект + ПАР, де збір білка досягав 1,08 т/га, що на 0,16 т/га ($\approx 17,4$ %) перевищувало мінімальні показники варіантів без ПАР.

За зменшення норми гербіцидів до 75 % у поєднанні з ПАР збір білка залишався стабільно високим і коливався в межах 1,00–1,05 т/га. У двокомпонентному варіанті Базагран + Селект він становив 1,00 т/га, практично відповідаючи рівню повної норми з ПАР.

У системах Хармоні + Селект та Пас + Селект збір білка зростав відповідно до 1,00 та 1,03 т/га, а у трикомпонентному варіанті Базагран + Хармоні + Селект досягав 1,05 т/га, що

лише на 0,03 т/га менше, ніж за повної норми гербіцидів з ПАР, і перебувало в межах похибки досліду.

Таблиця 5

Збір білка в насінні сої 'Муза' за різних варіантів захисту від бур'янів, т/га

Варіант захисту	2023	2024	2025	Середнє
Без ПАР (100 % норма)				
Базагран + Селект	0,92	0,96	0,87	0,92
Хармоні + Селект	0,94	0,98	0,89	0,94
Пас + Селект	0,96	1,01	0,91	0,96
Базагран + Хармоні + Селект	0,97	1,03	0,92	0,97
100 % норма + ПАР Скаба КЕ (0,2 л/га)				
Базагран + Селект	1,01	1,06	0,97	1,01
Хармоні + Селект	1,03	1,08	0,99	1,03
Пас + Селект	1,05	1,11	1,01	1,06
Базагран + Хармоні + Селект	1,07	1,13	1,04	1,08
75 % норма + ПАР Скаба КЕ (0,3 л/га)				
Базагран + Селект	0,99	1,04	0,96	1,00
Хармоні + Селект	1,00	1,06	0,97	1,01
Пас + Селект	1,02	1,07	0,99	1,03
Базагран + Хармоні + Селект	1,04	1,10	1,01	1,05
Оптимізована норма (-33...40 %) + ПАР Скаба КЕ (0,4 л/га)				
Базагран + Селект	1,00	1,05	0,97	1,01
Хармоні + Селект	1,02	1,07	0,99	1,03
Пас + Селект	1,04	1,09	1,00	1,04
Базагран + Хармоні + Селект	1,06	1,11	1,02	1,06
НІР _{0,05}	0,10	0,12	0,10	0,08

Застосування оптимізованих норм гербіцидів у поєднанні з підвищеною нормою ПАР забезпечувало формування 1,01–1,06 т/га збору білка. У двокомпонентних системах цей показник становив 1,01–1,03 т/га, у варіанті Пас + Селект – 1,04 т/га, а у трикомпонентній системі Базагран + Хармоні + Селект (оптимізована норма + ПАР) досягав 1,06 т/га.

Різниця між оптимізованими, зменшеними та повними нормами гербіцидів за умови використання ПАР не перевищувала 0,01–0,03 т/га, що свідчить про можливість істотного зниження гербіцидного навантаження без втрати білкової продуктивності посівів.

Збір олії є інтегральним показником, який поєднує рівень урожайності насіння та його олійність і, таким чином, найбільш повно характеризує ефективність технології вирощування сої з позицій переробної та економічної цінності продукції. Формування цього показника значною мірою визначається інтенсивністю фотосинтетичних процесів у генеративний період, тривалістю функціонування листового апарату та ступенем конкурентного тиску бур'янів у посівах (табл. 6).

За відсутності ПАР збір олії був найнижчим серед усіх досліджуваних фонів і в середньому за роки становив 0,53–0,55 т/га. Мінімальне значення зафіксовано у варіанті Базагран + Селект (0,53 т/га), що зумовлено поєднанням відносно низької врожайності та зниженого вмісту олії в насінні.

У системі Хармоні + Селект збір олії зростав до 0,53 т/га, а за застосування Пас + Селект – до 0,54 т/га. Найвищі значення на цьому фоні забезпечувала трикомпонентна система Базагран + Хармоні + Селект – 0,55 т/га, що на 0,02 т/га ($\approx 3,8\%$) перевищувало показник двокомпонентного варіанту. Застосування ПАР Скаба КЕ забезпечувало істотне підвищення збору олії у всіх системах захисту. У варіанті Базагран + Селект + ПАР цей показник зростав до 0,57 т/га, що на 0,04 т/га ($\approx 7,5\%$) перевищувало значення без ПАР.

Збір олії в насінні сої 'Муза' за різних варіантів захисту від бур'янів, т/га

Варіант захисту	2023	2024	2025	Середнє
Без ПАР (100 % норма)				
Базагран + Селект	0,54	0,58	0,48	0,53
Хармоні + Селект	0,54	0,58	0,48	0,53
Пас + Селект	0,54	0,59	0,48	0,54
Базагран + Хармоні + Селект	0,55	0,60	0,49	0,55
100 % норма + ПАР Скаба КЕ (0,2 л/га)				
Базагран + Селект	0,57	0,62	0,51	0,57
Хармоні + Селект	0,57	0,62	0,51	0,57
Пас + Селект	0,58	0,63	0,52	0,58
Базагран + Хармоні + Селект	0,58	0,64	0,52	0,58
75 % норма + ПАР Скаба КЕ (0,3 л/га)				
Базагран + Селект	0,56	0,61	0,51	0,56
Хармоні + Селект	0,56	0,61	0,51	0,56
Пас + Селект	0,57	0,61	0,51	0,56
Базагран + Хармоні + Селект	0,57	0,62	0,52	0,57
Оптимізована норма (-33...40 %) + ПАР Скаба КЕ (0,4 л/га)				
Базагран + Селект	0,56	0,61	0,51	0,56
Хармоні + Селект	0,57	0,61	0,51	0,56
Пас + Селект	0,57	0,61	0,51	0,56
Базагран + Хармоні + Селект	0,57	0,62	0,52	0,57
НІР _{0,05}	0,04	0,08	0,06	0,05

У системі Хармоні + Селект + ПАР збір олії становив 0,57 т/га, а у варіанті Пас + Селект + ПАР – 0,58 т/га. Максимальні значення цього фону було зафіксовано у трикомпонентній системі Базагран + Хармоні + Селект + ПАР, де збір олії досягав 0,58 т/га, що на 0,05 т/га ($\approx 9,4\%$) перевищувало мінімальні значення варіантів без ПАР.

За зменшення норми гербіцидів до 75 % у поєднанні з ПАР збір олії залишався стабільно високим і коливався в межах 0,56–0,57 т/га. У двокомпонентному варіанті Базагран + Селект він становив 0,56 т/га, практично відповідаючи рівню повної норми з ПАР.

У системах Хармоні + Селект та Пас + Селект збір олії зростав відповідно до 0,56 та 0,56 т/га, а у трикомпонентному варіанті Базагран + Хармоні + Селект досягав 0,57 т/га, що лише на 0,01 т/га менше, ніж за повної норми + ПАР, і перебувало в межах похибки дослідів.

Застосування оптимізованих норм гербіцидів у поєднанні з підвищеною нормою ПАР забезпечувало формування 0,56–0,57 т/га збору олії. У двокомпонентних системах цей показник становив 0,56 т/га, у варіанті Пас + Селект – 0,56 т/га, а у трикомпонентній системі Базагран + Хармоні + Селект (оптимізована норма + ПАР) досягав 0,57 т/га.

Різниця між оптимізованими, зменшеними та повними нормами гербіцидів за умови використання ПАР не перевищувала 0,01–0,03 т/га, що свідчить про можливість зниження гербіцидного навантаження без втрати олійної продуктивності посівів.

Висновки

Установлено, що система захисту сої від бур'янів є визначальним чинником формування врожайності та якості насіння, оскільки інтегрує вплив конкурентного тиску бур'янів, розвитку асиміляційного апарату, реалізації фотосинтетичного потенціалу та погодних умов років вирощування.

За відсутності ПАР урожайність сої сорту 'Муза' була найнижчою (2,34–2,46 т/га), що зумовлено підвищеною забур'яненістю посівів та зниженими показниками фотосинтетичної

активності. Навіть у цьому фоні трикомпонентні системи захисту забезпечували приріст урожайності на 5,0–5,5 % порівняно з двокомпонентними.

Застосування ПАР Скаба КЕ у поєднанні з гербіцидами забезпечувало стабільне підвищення врожайності на 8–14 %, а максимальні середні значення (2,60–2,66 т/га) формувалися у мультисайтових трикомпонентних системах захисту. Зменшення норм гербіцидів до 75 % або застосування оптимізованих норм (–33...40 %) у поєднанні з ПАР не призводило до зниження врожайності – різниця з повними нормами не перевищувала 0,02–0,06 т/га, що перебуває в межах похибки досліду.

Уміст білка в насінні сої коливався в межах 39,2–40,7 % і підвищувався за умов ефективного контролю бур'янів. ПАР Скаба КЕ сприяла збільшенню білковості на 1,2–1,9 %, а максимальні значення формувалися у трикомпонентних системах незалежно від рівня норми гербіцидів.

Уміст олії в насінні характеризувався меншою варіабельністю, проте також достовірно реагував на систему захисту. Використання ПАР підвищувало олійність на 0,2–0,4 %, а найвищі значення ($\approx 22,3$ – $22,5$ %) спостерігалися у варіантах із мультисайтовою гербіцидною дією.

Збір білка та олії як інтегральні показники продуктивності та якості достовірно підвищувався за застосування ПАР і трикомпонентних систем захисту. Максимальні значення збору білку (1,05–1,08 т/га) та олії (0,56–0,58 т/га) формувалися як за повних, так і за зменшених та оптимізованих норм гербіцидів.

Використана література

1. Krön M., Bittner U. Danube Soya – Improving European GM-free soya supply for food and feed. *OCL*. 2015. Vol. 22, Iss. 5. Article D509. <https://doi.org/10.1051/ocl/2015050>
2. Pagano M. C., Miransari M. The importance of soybean production worldwide. *Abiotic and Biotic Stresses in Soybean Production* / ed. by M. Miransari. London : Academic Press, 2016. P. 1–24. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801536-0.00001-3>
3. Pike D. R., McGlamery M. D., Knake E. L. A case study of herbicide use. *Weed Technology*. 1991. Vol. 5, Iss. 3. P. 639–646. <https://doi.org/10.1017/S0890037X00027482>
4. Harder D. B., Sprague C. L., Renner K. A. Effect of soybean row width and population on weeds, crop yield, and economic return. *Weed Technology*. 2007. Vol. 21. P. 744–752. <https://doi.org/10.1614/WT-06-122.1>
5. Dalley C. B., Kellis J. J., Renner K. A. Effect of glyphosate application timing and row spacing on weed growth in corn (*Zea mays*) and soybean (*Glycine max*). *Weed Technology*. 2004. Vol. 18, Iss. 1. P. 177–182.
6. Heap I. Global perspective of herbicide-resistant weeds. *Pest Management Science*. 2014. Vol. 70, Iss. 9. P. 1306–1315. <https://doi.org/10.1002/ps.3696>
7. Bertheau Y., Davison J. Soybean in the European Union, status and perspective. *Recent Trends for Enhancing the Diversity and Quality of Soybean Products*. London : IntechOpen, 2020. P. 1–46. <https://doi.org/10.5772/18896>
8. Štefanić E., Kovačević V., Dimić D. et al. Changes in weed species composition in Northeastern Croatian row crops from 1977 to 2015. *Herbologia*. 2017. Vol. 16. P. 57–62. <https://doi.org/10.5644/herb.16.2.05>
9. Krstić J., Malidža G., Rajković M., Krstić M. Influence of different methods for breaking seed dormancy of *Ambrosia artemisiifolia*, *Abutilon theophrasti* and *Xanthium strumarium* on emergence in field conditions. *Acta Herbológica*. 2021. Vol. 30, No. 1. P. 29–37. <https://doi.org/10.5937/actaherb2101029K>
10. Knezevic S. Z., Evans S. P., Mainz M. Row spacings influences the critical timing for weed removal in soybean (*Glycine max*). *Weed Technology*. 2003. Vol. 17. P. 666–673. <https://doi.org/10.1614/WT02-49>
11. Blackshaw R. E., Larney F. J., Lindwall C. W. et al. Tillage intensity and crop rotation affect weed community dynamics in a winter wheat cropping system. *Canadian Journal of Plant Science*. 2001. Vol. 81, Iss. 4. P. 805–813. <https://doi.org/10.4141/P01-023>

12. Landau C. A., Hager A. G., Williams M. M. Deteriorating weed control and variable weather portends greater soybean yield losses in the future. *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 830. Article 154764. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154764>
13. Присяжнюк О. І., Климович Н. М., Полуніна О. В. та ін. Методологія і організація наукових досліджень в сільському господарстві та харчових технологіях. Київ : Нілан-ЛТД, 2021. 300 с. <https://doi.org/10.47414/978-966-924-927-2>
14. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0 : метод. вказівки. Київ : Поліграф Консалтинг, 2007. 56 с.
15. Методики випробування і застосування пестицидів / за ред. С. О. Трибеля. Київ : Світ, 2001. 448 с.

References

1. Krön, M., & Bittner, U. (2015). Danube Soya – Improving European GM-free soya supply for food and feed. *OCL*, 22(5), Article D509. <https://doi.org/10.1051/ocl/2015050>
2. Pagano, M. C., & Miransari, M. (2016). The importance of soybean production worldwide. In M. Miransari (Ed.), *Abiotic and biotic stresses in soybean production* (pp. 1–24). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801536-0.00001-3>
3. Pike, D. R., McGlamery, M. D., & Knake, E. L. (1991). A case study of herbicide use. *Weed Technology*, 5(3), 639–646. <https://doi.org/10.1017/S0890037X00027482>
4. Harder, D. B., Sprague, C. L., & Renner, K. A. (2007). Effect of soybean row width and population on weeds, crop yield, and economic return. *Weed Technology*, 21, 744–752. <https://doi.org/10.1614/WT-06-122.1>
5. Dalley, C. B., Kellis, J. J., & Renner, K. A. (2004). Effect of glyphosate application timing and row spacing on weed growth in corn (*Zea mays*) and soybean (*Glycine max*). *Weed Technology*, 18(1), 177–182.
6. Heap, I. (2014). Global perspective of herbicide-resistant weeds. *Pest Management Science*, 70(9), 1306–1315. <https://doi.org/10.1002/ps.3696>
7. Bertheau, Y., & Davison, J. (2020). Soybean in the European Union, status and perspective. In *Recent trends for enhancing the diversity and quality of soybean products* (pp. 1–46). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/18896>
8. Štefanić, E., Kovačević, V., Dimić, D., Štefanić, I., & Antunović, S. (2017). Changes in weed species composition in Northeastern Croatian row crops from 1977 to 2015. *Herbologia*, 16, 57–62. <https://doi.org/10.5644/herb.16.2.05>
9. Krstić, J., Malidža, G., Rajković, M., & Krstić, M. (2021). Influence of different methods for breaking seed dormancy of *Ambrosia artemisiifolia*, *Abutilon theophrasti* and *Xanthium strumarium* on emergence in field conditions. *Acta Herbológica*, 30(1), 29–37. <https://doi.org/10.5937/actaherb2101029K>
10. Knezevic, S. Z., Evans, S. P., & Mainz, M. (2003). Row spacings influences the critical timing for weed removal in soybean (*Glycine max*). *Weed Technology*, 17, 666–673. <https://doi.org/10.1614/WT02-49>
11. Blackshaw, R. E., Larney, F. J., Lindwall, C. W., Watson, P. R., & Derksen, D. A. (2001). Tillage intensity and crop rotation affect weed community dynamics in a winter wheat cropping system. *Canadian Journal of Plant Science*, 81(4), 805–813. <https://doi.org/10.4141/P01-023>
12. Landau, C. A., Hager, A. G., & Williams, M. M. (2022). Deteriorating weed control and variable weather portends greater soybean yield losses in the future. *Science of the Total Environment*, 830, Article 154764. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154764>
13. Prysiazniuk, O. I., Klymovych, N. M., Polunina, O. V., Yevchuk, Ya. V., Tretiakova, S. O., Kononenko, L. M., Voitovska, V. I., & Mykhailovyn, Yu. M. (2021). *Methodology and organization of scientific research in agriculture and food technologies*. Nilan-LTD. <https://doi.org/10.47414/978-966-924-927-2> [In Ukrainian]
14. Ermantraut, E. R., Prysiazniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic research data in the Statistica 6.0 package: guidelines*. PolihrafKonsaltnyh. [In Ukrainian]

15. Trybel, S. O. (Ed.). (2001). *Methods of testing and application of pesticides*. Svit. [In Ukrainian]

UDC 632.5:632.934/935

Konopolskyi, O. P. (2025). Yield and seed quality of soybean under different weed control systems in the Forest Steppe of Ukraine. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 33, 29–40. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.349299> [In Ukrainian]

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine, e-mail: konop@ukr.net

Aim. To determine the peculiarities of yield and seed quality formation in soybean under different weed control systems in the Right-Bank Forest Steppe of Ukraine. **Methods.** The study was conducted 2023–2025 at the Agronomic Research Station (Kyiv region) according to a scheme that included two-component (Basagran + Select; Harmony + Select; Pas + Select) and three-component (Basagran + Harmony + Select) systems in the following treatments: 100% herbicide rate without surfactant; 100% + Scaba EC surfactant, 0.2 l/ha; 75% rate + surfactant, 0.3 l/ha; optimised rate (–33...40%) + surfactant, 0.4 l/ha. Crop productivity was evaluated by seed yield, protein and oil content, and the accumulation of these components per unit area. **Results.** Average seed yield without surfactant over three years was 2.34–2.46 t/ha, whereas addition of surfactant (0.2 l/ha) increased yield to 2.53–2.66 t/ha; maximum values were obtained in the three-component system Basagran + Harmony + Select + surfactant. The highest yields were formed in 2024 (2.48–2.62 t/ha), while in the drier conditions of 2025 yields decreased to 2.20–2.30 t/ha (without surfactant). Reduction of herbicide rates to 75% combined with surfactant ensured consistently high yields (2.50–2.60 t/ha), while optimised rates (–33...40%) with increased surfactant rate (0.4 l/ha) resulted in 2.51–2.61 t/ha; differences between surfactant treatments did not exceed 0.02–0.05 t/ha, confirming the possibility of reducing herbicide load without loss of productivity. A parallel trend was noted towards increased protein content with surfactant use (on average 40.0–40.6%) compared with the background without surfactant (39.2–39.7%), as well as protein accumulation at 1.00–1.08 t/ha depending on the protection system. Oil content in seeds varied in the range from 21.8 to 22.5% (average over three years), while oil accumulation was 0.53–0.58 t/ha, with maximum values in surfactant treatments. **Conclusions.** The weed control system in soybean significantly influences yield formation and seed quality indicators, particularly protein and oil content. The use of Scaba EC surfactant in combination with optimised herbicide rates ensures consistently high yield and protein and oil accumulation, allowing reduction of herbicide load without significant productivity loss. The highest efficiency was demonstrated by the three-component system Basagran + Harmony + Select with surfactant addition.

Keywords: variety 'Muza'; weed infestation; herbicide compositions; multisite mechanism of action; Scaba EC surfactant; optimised rates; yield; protein content; oil content; protein accumulation; oil accumulation.

Надійшла / Received 18.11.2025

Погоджено до друку / Accepted 15.12.2025

Опубліковано онлайн / Published online 29.12.2025

УДК 631.5:632.51:631.872:631.95:631.95(477) DOI: <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.347480>

Низьковуглецева система захисту кукурудзи від бур'янів: ефективність гербіцидів, продуктивність та оцінка викидів CO₂e_q

 Я. П. Макух*,  Д. М. Козаченко

*Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, *e-mail: herbolohiya@ukr.net*

Мета. Установити ефективність традиційних і низьковуглецевих систем хімічного захисту кукурудзи від бур'янів за різних агротехнологічних фонів та норм застосування гербіцидів, визначити їхній вплив на формування забур'яненості та продуктивність рослин, а також оцінити сумарні викиди CO₂e_q для обґрунтування оптимальної малоємисійної технології вирощування культури в умовах Правобережного Лісостепу України. **Методи.** Дослідження виконували впродовж 2023–2025 рр. у ТОВ «Світанок Плюс» (Київська обл.) за схемою трифакторного польового досліду. Фактор А передбачав системи захисту кукурудзи: без гербіцидів (природна забур'яненість), чисті посіви та застосування гербіцидів Лаудіс або Стеллар Плюс; фактор В – норми внесення гербіцидів (100 і 80 %), фактор С – агротехнологічний фон (традиційний і мінімальний обробіток ґрунту, Strip-till). **Результати.** Рівень забур'яненості істотно залежав від системи захисту: у забур'яненому контролі він становив 85–105 шт./м², тоді як застосування гербіцидів забезпечувало очищення посівів на 82–89 %. Мінімальний обробіток ґрунту сприяв природному зниженню сегетальної рослинності та підвищував ефективність хімічного контролю. Оцінка норм гербіцидів показала, що зменшення дози до 80 % супроводжувалося лише помірним зниженням ефективності (на 6–7 %) та не призводило до істотного зменшення врожайності. Урожайність у гербіцидних варіантах коливалася від 9,22 до 9,92 т/га, тоді як різниця між повною та зниженою нормами не перевищувала НІР_{0.05} (0,32 т/га). Використання Strip-till забезпечувало стабільне підвищення врожайності кукурудзи на 0,25–0,45 т/га порівняно з традиційним фоном, що пов'язано з кращими умовами збереження вологи та зменшенням механічного впливу на ґрунт. Розрахунки викидів CO₂e_q підтвердили істотні переваги мінімального обробітку: рівень емісії становив 120–151 кг/га проти 300–331 кг/га за традиційної технології. Найнижчі показники вуглецевого сліду отримано у варіантах із 80 % нормою гербіцидів на фоні Strip-till, де викиди зменшувалися у 2–2,5 рази. **Висновки.** Найбільш збалансованими низьковуглецевими системами захисту кукурудзи є варіанти Лаудіс (80 % норми витрати) + Strip-till та Стеллар Плюс (80 %) + Strip-till. Вони поєднують високу гербіцидну ефективність, стабільну врожайність (9,50–9,65 т/га) та мінімальний рівень викидів CO₂e_q, що дає змогу рекомендувати їх для впровадження в адаптивні технології вирощування кукурудзи в умовах Правобережного Лісостепу України.

Ключові слова: кукурудза; урожайність; сегетальна рослинність; викиди CO₂e_q.

Як цитувати: Макух Я. П., Козаченко Д. М. Низьковуглецева система захисту кукурудзи від бур'янів: ефективність гербіцидів, продуктивність та оцінка викидів CO₂e_q. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2025. Вип. 33. С. 41–48. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.347480>



© The Author(s) 2025. Published by Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Вступ

Сучасне сільське господарство має розв'язувати два важливі взаємопов'язані завдання – гарантувати стабільне виробництво продовольства та одночасно зменшувати вплив аграрного сектору на клімат. Згідно з літературними даними, агровиробництво залишається одним із ключових джерел викидів парникових газів, зокрема метану та оксиду азоту, частка яких у глобальному балансі сягає 43 та 25 % відповідно. Зростання попиту на продовольство в найближчі десятиліття, пов'язане зі збільшенням чисельності населення, потребує підвищення продуктивності культур за умов обмежених площ орних земель. Традиційні технології, що ґрунтуються на інтенсивному обробітку ґрунту та надмірному застосуванні мінеральних добрив, спричиняють деградацію ґрунтів, втрати органічного вуглецю та зростання викидів N_2O , поглиблюючи екологічну вразливість агросистем [1–3].

Проблеми зміни клімату додатково ускладнюються через збільшення концентрацій CO_2 та підвищення температури, що трансформує структуру агроєкосистем і суттєво впливає на біологію та екологію бур'янів. Негативні ефекти проявляються через посилений ріст бур'янів, розширення їхніх ареалів, пришвидшення розвитку та зростання резистентності до гербіцидів. Під впливом комплексної взаємодії CO_2 , температури та інших екологічних факторів змінюється динаміка конкуренції між культурами та сегетальною рослинністю, що ускладнює ефективне застосування традиційних гербіцидних програм. Цей стан речей підкреслює необхідність упровадження інноваційних, адаптивних та екологічно безпечних систем контролювання бур'янів, зокрема агротехнічних, механічних та біологічних методів [4].

У світлі цих викликів особливої актуальності набувають дослідження, спрямовані на оцінювання екологічної ефективності технологій вирощування культур. Зниження вуглецевого сліду можливе завдяки оптимізації агротехнологічних операцій, управління ресурсами та впровадження низьковуглецевих методів. Ключовими чинниками формування CO_2eq у виробництві кукурудзи є структура обробітку, система живлення та енергетичні витрати, а зменшення їхнього навантаження дозволяє зберегти органічний вуглець у ґрунті й обмежити викиди N_2O . Ці висновки повністю узгоджуються з глобальною тенденцією переходу до менш енергоємних технологій, що поєднують високу продуктивність із мінімальним екологічним навантаженням [5–7].

Зростання концентрації CO_2 в атмосфері та підвищення глобальних температур суттєво змінюють біологію й екологію бур'янів, створюючи нові складні виклики для аграрних систем, особливо в галузі контролювання бур'янів. Посилений ріст бур'янів, зміна ареалів їх поширення та зростання стійкості до гербіцидів вимагають упровадження інноваційних та адаптивних стратегій управління. Взаємодія підвищеного рівня CO_2 , температури та інших екологічних стресорів формує непередбачувану динаміку розвитку бур'янів, що ускладнює застосування ефективних методів контролю. Традиційні гербіцидні підходи можуть ставати менш дієвими, що підкреслює необхідність ширшого застосування альтернативних практик, зокрема агротехнічних, механічних та біологічних методів контролю. Серед різних груп шкідливих організмів саме бур'яни спричиняють найбільші втрати врожаю – 34 %, тоді як комахи-шкідники – 18 %, а хвороби – 16 %. Бур'яни з фотосинтетичними шляхами C_3 та C_4 можуть по-різному реагувати на підвищений рівень CO_2 і температуру, змінюючи динаміку конкуренції між культурами та сегетальною рослинністю [8–12].

У цьому контексті актуальним є пошук елементів технологій, здатних одночасно забезпечити високі врожаї та знизити вуглецевий слід агровиробництва. Одним із таких напрямів є впровадження мінімального обробітку ґрунту та раціонального застосування гербіцидів у системі захисту кукурудзи від бур'янів, що й стало предметом наших досліджень.

Мета досліджень – встановити ефективність традиційних і низьковуглецевих систем хімічного захисту кукурудзи від бур'янів за різних агротехнологічних фонів та норм застосування гербіцидів, визначити їхній вплив на формування забур'яненості, ріст і продуктивність рослин, а також оцінити сумарні викиди CO_2eq для обґрунтування оптимальної малоємісної технології вирощування культури в умовах Правобережного Лісостепу України.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження виконували впродовж 2023–2025 рр. в умовах ТОВ «Світанок Плюс» (с. Григорівка, Обухівський р-н, Київська обл.). За режимом і кількістю опадів територія господарства належить до зони нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу. Попри певні відхилення фактичних погодних умов від середньобогаторічних норм, вони загалом забезпечували сприятливі умови для росту й розвитку рослин кукурудзи.

Ґрунти дослідної ділянки, де проводили дослідження, – сірі лісові опідзолені, середньо суглинкові на лесі з вмістом гумусу в орному шарі 1,6–1,9 % (за Тюриним), рН сольової витяжки 5,1–6,0, гідролітична кислотність – 200–250 мг-екв/кг ґрунту, сума ввібраних основ – 120–160 мг-екв/кг ґрунту. В 1 кг ґрунту міститься 100–120 г легкогідролізованого азоту, 100–140 г обмінного калію та 100–150 г рухомого фосфору.

Схема дослідю:

Фактор А – система захисту: Контроль 1 – без гербіцидів (природна забур'яненість). Контроль 2 – чисті посіви (без бур'янів). 3. Лаудіс, в. г. [Ізоксадіфен (антидот), 100 г/кг, + Темботріон, 200 г/кг], 0,4–0,5 кг/га + Мєро (прилипач), 1,0–2,0 л/га; 4. Стеллар Плюс (топрамезон, 50 г/л + дикамба, 160 г/л), 1,25 л/га.

Фактор В – норма застосування гербіцидів: 1. 100 % норми; 2. 80 % норми;

Фактор С – агротехнологічний фон: 1. Традиційний фон; 2. Мінімальний обробіток ґрунту (Strip-till).

Облікова площа ділянки становила 50 м², повторність – чотириразова, розміщення ділянок – рендомізоване.

Лаудіс, в. г. – гербіцид системної дії для контролювання однорічних дводольних та злакових бур'янів у посівах кукурудзи. Стеллар Плюс – гербіцид системної дії для контролювання однорічних та багаторічних злакових і дводольних бур'янів.

Польові дослідження проводили в умовах застосування сучасної технології прямої сівби. Сівбу виконували сівалкою прямої сівби Massey Ferguson MF 555, агрегатованою з трактором Challenger 8122, що забезпечувало мінімальне механічне втручання в ґрунт та сприяло збереженню органічного вуглецю в ґрунтовому профілі. Глибина загортання насіння становила 4–5 см, що є оптимальним для формування рівномірних сходів за умов дефіциту вологи, характерного для Правобережного Лісостепу України. Оптимальна густина сівби – 75–80 тис. шт./га – забезпечувала раціональне використання світлової енергії та запобігала надмірній конкуренції між рослинами, що є важливим для стабільного фотосинтезу та зниження непродуктивних втрат вологи.

Система удобрення складалася з двох етапів. Під передпосівну культивуацію рівномірно по поверхні ґрунту вносили мінеральні добрива в дозі N₁₀₀P₇₀K₇₀, що створювало оптимальний фон живлення на початку вегетації. Додатково, під час сівби, у прикореневу зону вносили N₂₀P₂₀K₂₀, що посилювало стартовий ріст рослин, сприяло формуванню потужної кореневої системи та підвищувало коефіцієнт використання азоту (NUE). Такий підхід давав змогу мінімізувати ризики ранньої конкуренції бур'янів за доступні форми N, а отже – зменшував потенційну емісію N₂O.

Поєднання системи прямої сівби, оптимізованої густоти стояння та збалансованого мінерального живлення створювало сприятливі передумови для впровадження низько-вуглецевої системи захисту, оскільки рослини формували більш рівномірний ріст, менше реагували на стресові чинники та ефективніше використовували доступний азот.

Експериментальні дослідження проводили згідно з методикою польового дослідю та спеціальних методик [13–15].

Результати досліджень

У результаті проведених досліджень встановлено, що у варіанті забур'яненого контролю на традиційному фоні обробітку ґрунту загальна кількість бур'янів становила 105 шт./м², з яких найбільшу частку формували однорічні дводольні (68 шт./м²) та однорічні злакові (32 шт./м²). Наявність 5 шт./м² багаторічних бур'янів свідчить про відсутність ефективного

контролю в попередніх роках і є типовою рисою традиційної технології, де механічний обробіток сприяє проростанню багаторічних коренепаросткових видів. Перехід до системи Strip-till у забур'яне-ному контролі зменшив загальну кількість бур'янів до 85 шт./м², що відповідає природному зниженню забур'яненості на 19 %. Це пояснюється зменшенням інтенсивності механічного втручання у ґрунт, що обмежує проростання насіння бур'янів із глибших шарів, особливо видів *Setaria*, *Echinochloa*, *Amaranthus* та *Chenopodium*. У варіантах чистого контролю (ручне або механічне видалення бур'янів) незалежно від агрофону бур'яни були повністю відсутні, що забезпечило 100 %-ве очищення площі. Такі варіанти виступають еталонними для визначення максимальної можливої врожайності культури за повної відсутності конкуренції (табл. 1).

Таблиця 1

Рівень забур'яненості посівів кукурудзи за різних систем захисту та агротехнологічних фонів

Система захисту	Агротехнологічний фон	Бур'яни, шт./м ²				Зниження до контролю, %
		однорічні дводольні	однорічні злакові	багаторічні	Разом	
Забур'янений контроль	Традиційний	68	32	5	105	–
	Strip-till	54	27	4	85	19
Чистий контроль (без бур'янів)	Традиційний	0	0	0	0	100
	Strip-till	0	0	0	0	100
Лаудіс, в. г. (100 %)	Традиційний	12	6	1	19	82
	Strip-till	10	5	1	16	86
Стеллар Плюс (100 %)	Традиційний	9	6	1	16	85
	Strip-till	7	4	1	12	89

У варіантах застосування гербіциду Лаудіс, в. г. (100 % норми) загальна кількість бур'янів на традиційному фоні становила 19 шт./м², що відповідає 82 % зниження забур'яненості порівняно з забур'яненим контролем. На Strip-till залишкове забур'янення становило 16 шт./м², а рівень очищення підвищувався до 86 %, що свідчить про позитивний вплив мінімального обробітку на гербіцидну ефективність завдяки рівномірнішому проростанню бур'янів і стабільнішим умовам зволоження верхнього шару ґрунту. Застосування гербіциду Стеллар Плюс (100 % норми) забезпечило подібний рівень очищення поля. На традиційному фоні залишкове забур'янення становило 16 шт./м² (85 % ефективності), тоді як на Strip-till – 12 шт./м², що відповідає 89 % очищення, тобто найвищому показнику серед досліджених систем. Це підтверджує високу ефективність топрамезону в комбінації з дикамбою щодо широкого спектра однорічних та окремих багаторічних видів бур'янів.

У таблиці 2 подано результати оцінювання ефективності гербіцидів Лаудіс, в. г. та Стеллар Плюс за повних (100 %) та оптимізованих (80 %) норм витрати.

Таблиця 2

Ефективність різних норм гербіцидів у контролюванні бур'янів

Гербіцид	Норма, %	Ефективність (%) проти ... бур'янів			Середня ефективність, %
		однорічних дводольних	однорічних злакових	багаторічних дводольних	
Лаудіс, в. г.	100	94	92	88	913
Лаудіс, в. г.	80	88	85	80	84,3
Стеллар Плюс	100	96	94	90	93,3
Стеллар Плюс	80	90	88	84	87,3
НІР _{0,05}					4,8

Результати свідчать, що обидва препарати забезпечують високий рівень контролю бур'янів. Зниження норми до 80 % призводить до помірного зменшення ефективності, але її

рівень залишається достатнім для практичного застосування. Стеллар Плюс виявляє дещо вищу середню ефективність щодо всіх груп бур'янів, оптимізовані норми можуть бути рекомендовані для низьковуглецевих систем за умови помірної забур'яненості та використання мінімальної обробки ґрунту (Strip-till).

У таблиці 3 наведено результати оцінювання врожайності кукурудзи та рівня викидів CO₂eq за різних систем захисту, норм застосування гербіцидів і агротехнологічних фонів, що дає змогу комплексно охарактеризувати ефективність традиційних та низьковуглецевих технологій вирощування. У варіантах забур'яненого контролю врожайність була найнижчою, становлячи лише 0,68 т/га на традиційному фоні та 1,10 т/га за Strip-till, що зумовлено сильною конкуренцією з боку бур'янів і відсутністю будь-яких заходів захисту. Використання чистого контролю, де бур'яни повністю усувалися, забезпечило максимальні показники врожайності – 10,42 та 10,87 т/га відповідно, що відображає потенційні можливості культури за повної відсутності стресу від сегетальної рослинності.

Таблиця 3

Урожайність кукурудзи та викиди CO₂eq за різних систем захисту, норм гербіцидів і агротехнологічних фонів

№	Фактор А – система захисту	Фактор В – норма витрати	Фактор С – агрофон	Урожайність зерна, т/га	Викиди CO ₂ eq, кг/га
1	Контроль без гербіцидів	–	Традиційний	0,68	300,1
2		–	Strip-till	1,1	120,1
3	Чистий контроль (без бур'янів)	–	Традиційний	10,42	300,1
4		–	Strip-till	10,87	120,1
5	Лаудіс, в.г.	100 %	Традиційний	9,68	331,3
6		80 %	Традиційний	9,41	324,5
7		100 %	Strip-till	9,92	151,3
8		80 %	Strip-till	9,65	144,5
9	Стеллар Плюс	100 %	Традиційний	9,51	309,4
10		80 %	Традиційний	9,22	307,5
11		100 %	Strip-till	9,78	129,4
12		80 %	Strip-till	9,50	127,5
НІР _{0,05}				0,32	–

Застосування гербіциду Лаудіс показало високу результативність: за повної норми препарату врожайність становила 9,68 т/га на традиційному фоні та 9,92 т/га за Strip-till. Зменшення норми до 80 % супроводжувалося незначним зниженням урожайності – до 9,41 та 9,65 т/га відповідно, при цьому різниця між нормами не перевищувала НІР_{0,05} (0,32 т/га), тобто була статистично неістотною. Подібну закономірність відзначено і для гербіциду Стеллар Плюс: урожайність за повної норми становила 9,51 т/га на традиційному фоні та 9,78 т/га за Strip-till, а в разі застосування 80 %-ї норми – 9,22 і 9,50 т/га відповідно, що також не виходить за межі статистичної достовірності.

Загалом у всіх варіантах використання Strip-till забезпечувало перевагу щодо врожайності на 0,25–0,45 т/га порівняно з традиційним обробітком ґрунту, що пов'язано з кращим збереженням вологи, рівномірнішим прогріванням орного шару та стабільнішими умовами формування сходів. Поряд із цим, традиційний обробіток характеризувався вищими викидами CO₂eq – 300,1–331,3 кг/га, тоді як у системі Strip-till їх рівень знижувався більш ніж удвічі, до 120,1–151,3 кг/га. Найнижчі значення CO₂eq – 127,5 та 129,4 кг/га – зафіксовано у варіантах із застосуванням гербіциду Стеллар Плюс у 80 та 100 % норми за Strip-till, що свідчить про високу екологічну ефективність цих технологічних рішень. Варіанти Лаудіс, 80 % + Strip-till та Стеллар Плюс, 80 % + Strip-till демонструють найкращий баланс між високою продуктивністю (9,50–9,65 т/га) та мінімальними викидами CO₂eq, що дає підстави вважати їх найбільш збалансованими низьковуглецевими системами захисту кукурудзи в умовах Правобережного Лісостепу України.

Висновки

Система захисту та агротехнологічний фон істотно впливали на рівень забур'яненості та продуктивність кукурудзи. Найвищу конкуренцію бур'янів спостерігали у забур'яненому контролі, тоді як повне очищення посівів забезпечувало максимальний урожай. Мінімальний обробіток ґрунту (Strip-till) стабільно зменшував початкову забур'яненість та підвищував урожайність кукурудзи на 0,25–0,45 т/га порівняно з традиційною технологією. Гербіциди, що використовували у дослідженнях забезпечили високий рівень контролю бур'янів. Ефективність за повних норм становила 91–93 %, а в разі зниження норми на 20 % – 84–87 %, що підтверджує можливість їх застосування у зменшених нормах без істотної втрати дії. Найбільш збалансованими низьковуглецевими системами захисту є варіанти Лаудіс, 80 % норми витрати + Strip-till та Стеллар Плюс, 80 % н. в. + Strip-till, які поєднують високу врожайність зерна (9,50–9,65 т/га), достатню гербіцидну ефективність і мінімальний рівень викидів CO₂eq.

Використана література

1. Wei H., Zhang K., Chai N. et al. Exploring low-carbon mulching strategies for maize and wheat on-farm: Spatial responses, factors and mitigation potential. *Science of the Total Environment*. 2023. Vol. 906. Article 167441. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167441>
2. Qin W., Hu C., Oenema O. Soil mulching significantly enhances yields and water and nitrogen use efficiencies of maize and wheat: a meta-analysis. *Scientific Reports*. 2015. Vol. 5. Article 16210. <https://doi.org/10.1038/srep16210>
3. Wang H. M., Zheng J., Fan J. L. et al. Grain yield and greenhouse gas emissions from maize and wheat fields under plastic film and straw mulching: A meta-analysis. *Field Crops Research*. 2021. Vol. 270. Article 108210. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108210>
4. Sharma T., Roy A., Saha P. et al. Agronomical and technological advances for carbon-negative agriculture and carbon credit. *Carbon-Negative Agriculture* / edited by R. S. Meena et al. Singapore : Springer, 2025. P. 97–146. https://doi.org/10.1007/978-981-95-1483-0_4
5. Zhang W., He X., Zhang Z. et al. Carbon footprint assessment for irrigated and rainfed maize (*Zea mays* L.) production on the Loess Plateau of China. *Biosystems Engineering*. 2018. Vol. 167. P. 75–86. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.12.008>
6. Nolte C. G., Dolwick P. D., Fann N. L. et al. Air quality. *Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment*. Vol. II / edited by D. R. Reidmiller et al. Washington, DC : Global Change Research Program, 2018. P. 512–538.
7. Naidu V. S. G. R., Madhav M. S., Mishra J. S., Sreekanth D. Effect of increasing atmospheric CO₂ and temperature on weeds and their management – mitigation strategies. *Indian Journal of Weed Science*. 2024. Vol. 56, Iss. 4. P. 381–390. <https://doi.org/10.5958/0974-8164.2024.00060.8>
8. Kaur R., Kumar S., Ali S. A. et al. Impacts of climate change on crop–weed dynamics: challenges and strategies for weed management in a changing climate. *Open Journal of Environmental Biology*. 2024. Vol. 9, Iss. 1. P. 15–21. <https://doi.org/10.17352/ojeb.000042>
9. Hu F., Chai Q., Yu A. et al. Less carbon emissions of wheat–maize intercropping under reduced tillage in arid areas. *Agronomy for Sustainable Development*. 2015. Vol. 35, Iss. 2. P. 701–711. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0257-y>
10. Alletto L., Coquet Y., Benoit P. et al. Tillage management effects on pesticide fate in soils. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2010. Vol. 30, Iss. 2. P. 367–400. <https://doi.org/10.1051/agro/2009018>
11. Boeckx P., Van Nieuland K., Van Cleemput O. Short-term effect of tillage intensity on N₂O and CO₂ emissions. *Agronomy for Sustainable Development*. 2011. Vol. 31, Iss. 3. P. 453–461. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0001-9>
12. Zamir S. I., Elahi M., Ullah M. S., Mehmood F. Carbon footprint and life-cycle cost of maize (*Zea mays* L.) production at conventional and regenerative agricultural practices. *Journal of Quality Assurance in Agricultural Sciences*. 2023. Vol. 3, Iss. 1. P. 33–37. <https://doi.org/10.38211/jqaas.2023.3.16>

13. Присяжнюк О. І., Климович Н. М., Полуніна О. В. та ін. Методологія і організація наукових досліджень у сільському господарстві та харчових технологіях. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2021. 300 с. <https://doi.org/10.47414/978-966-924-927-2>
14. Методики проведення досліджень у буряківництві / за ред. М. В. Роїка, Н. Г. Гізбулліна. Київ : ФООП Корзун Д. Ю., 2014. 374 с.
15. Методика випробування і застосування пестицидів / за ред. С. О. Трибеля. Київ : Світ, 2001. С. 174–175.

References

1. Wei, H., Zhang, K., Chai, N., Wang, Y., Li, Y., Yang, J., & Zhang, F. (2023). Exploring low-carbon mulching strategies for maize and wheat on-farm: Spatial responses, factors and mitigation potential. *Science of the Total Environment*, 906, Article 167441. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167441>
2. Qin, W., Hu, C., & Oenema, O. (2015). Soil mulching significantly enhances yields and water and nitrogen use efficiencies of maize and wheat: A meta-analysis. *Scientific Reports*, 5, Article 16210. <https://doi.org/10.1038/srep16210>
3. Wang, H. M., Zheng, J., Fan, J. L., Zhang, F. C., & Huang, C. H. (2021). Grain yield and greenhouse gas emissions from maize and wheat fields under plastic film and straw mulching: A meta-analysis. *Field Crops Research*, 270, Article 108210. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108210>
4. Sharma, T., Roy, A., Saha, P., Gunturi, A., Prajapati, S. K., Saikia, N., & Sinha, A. (2025). Agronomical and technological advances for carbon-negative agriculture and carbon credit. In *Carbon-negative agriculture* (pp. 97–146). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-95-1483-0_4
5. Zhang, W., He, X., Zhang, Z., Gong, S., Zhang, Q., Zhang, W., & Chen, X. (2018). Carbon footprint assessment for irrigated and rainfed maize (*Zea mays* L.) production on the Loess Plateau of China. *Biosystems Engineering*, 167, 75–86. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.12.008>
6. Nolte, C. G., Dolwick, P. D., Fann, N. L., Horowitz, L. W., Naik, V., & Pinder, R. W. (2018). Air quality. In D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, & B. C. Stewart (Eds.), *Impacts, risks, and adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment* (Vol. II, pp. 512–538). U.S. Global Change Research Program.
7. Naidu, V. S. G. R., Madhav, M. S., Mishra, J. S., & Sreekanth, D. (2024). Effect of increasing atmospheric CO₂ and temperature on weeds and their management – mitigation strategies. *Indian Journal of Weed Science*, 56(4), 381–390. <https://doi.org/10.5958/0974-8164.2024.00060.8>
8. Kaur, R., Kumar, S., Ali, S. A., Kumar, S., & Ezing, U. M. (2024). Impacts of climate change on crop–weed dynamics: Challenges and strategies for weed management in a changing climate. *Open Journal of Environmental Biology*, 9(1), 15–21. <https://doi.org/10.17352/ojeb.000042>
9. Hu, F., Chai, Q., Yu, A., Yin, W., & Cui, H. (2015). Less carbon emissions of wheat–maize intercropping under reduced tillage in arid areas. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2), 701–711. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0257-y>
10. Alletto, L., Coquet, Y., Benoit, P., Heddadaj, D., & Barriuso, E. (2010). Tillage management effects on pesticide fate in soils: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(2), 367–400. <https://doi.org/10.1051/agro/2009018>
11. Boeckx, P., Van Nieuland, K., & Van Cleemput, O. (2011). Short-term effect of tillage intensity on N₂O and CO₂ emissions. *Agronomy for Sustainable Development*, 31(3), 453–461. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0001-9>
12. Zamir, S. I., Elahi, M., Ullah, M. S., & Mehmood, F. (2023). Carbon footprint and life-cycle cost of maize (*Zea mays* L.) production at conventional and regenerative agricultural practices. *Journal of Quality Assurance in Agricultural Sciences*, 3(1), 33–37. <https://doi.org/10.38211/jqaas.2023.3.16>
13. Pryszyazhniuk, O. I., Klymowych, N. M., Polunina, O. V., Yevchuk, Ya. V., Tretiakova, S. O., Kononenko, L. M., Voitovska, V. I., & Mykhailovyn, Yu. M. (2021). *Methodology and organization of scientific research in agriculture and food technologies*. Nilan-LTD. <https://doi.org/10.47414/978-966-924-927-2>

14. Roik, M. V., & Hizbullin, N. H. (Eds.). (2014). *Methods of conducting research in sugar beet production*. FOP Korzun D. Yu. [In Ukrainian]
15. Trybel, S. O. (Ed.). (2001). *Methods of testing and application of pesticides*. Svit. [In Ukrainian]

UDC 631.5:632.51:631.872:631.95:631.95(477)

Makukh, Ya. P.*, & **Kozachenko, D. M.** (2025). Low-carbon system for maize weed control: herbicide efficiency, productivity, and CO₂eq emissions assessment. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 33, 41–48. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.347480> [In Ukrainian]

*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, *e-mail: herbolohiya@ukr.net*

Aim. To determine the efficiency of conventional and low-carbon chemical weed control systems in maize under different agrotechnological backgrounds and herbicide application rates; to assess their impact on weed infestation and crop productivity; and to evaluate total CO₂eq emissions in order to substantiate the optimal low-emission cultivation technology for the Right-Bank Forest Steppe of Ukraine. **Methods.** The study was conducted in 2023–2025 at Svitnok Plus LLC (Kyiv region) as a three-factor field experiment. Factor A included weed control systems: without herbicides (natural weed infestation), clean control, and the application of Laudis or Stellar Plus herbicides. Factor B included herbicide application rates (100% and 80%), while Factor C represented the agrotechnological background (conventional tillage, minimum tillage, and strip-till). **Results.** Weed infestation levels depended significantly on the protection system: in the weedy control, infestation reached 85–105 plants/m², whereas herbicide application reduced weed density by 82–89%. Minimum tillage contributed to a natural decline in segetal vegetation and enhanced chemical control efficiency. Reducing herbicide rates to 80% neither significantly decreased the efficiency (6–7%) nor caused a significant reduction in yield. Crop yield ranged from 9.22 to 9.92 t/ha under herbicide treatments, with differences between full and reduced application rates not exceeding LSD_{0.05} (0.32 t/ha). Strip-till consistently increased maize yield by 0.25–0.45 t/ha compared with conventional tillage, due to improved moisture conservation and reduced mechanical soil disturbance. CO₂eq emission calculations confirmed the substantial advantages of minimum tillage: emission was 120–151 kg/ha compared to 300–331 kg/ha under conventional technology. The lowest carbon footprint was recorded at 80% herbicide application rates under strip-till, with a 2–2.5 times emission decrease. **Conclusions.** The most balanced low-carbon weed control systems for maize include Laudis (80% of the recommended rate) + strip-till and Stellar Plus (80%) + strip-till. These combinations ensure high herbicidal efficiency, stable yields (9.50–9.65 t/ha), and minimal CO₂eq emissions, making them suitable for implementation in adaptive maize cultivation technologies in the Right-Bank Forest Steppe of Ukraine.

Keywords: Maize; yield; segetal vegetation; CO₂eq emissions.

Надійшла / Received 22.11.2025

Погоджено до друку / Accepted 05.12.2025

Опубліковано онлайн / Published online 29.12.2025

Економічна ефективність вирощування кукурудзи в моно- та бінарних посівах

 В. А. Мокрієнко

Національний університет біоресурсів і природокоористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна, *e-mail: mokrienko@ukr.net

Мета. Оцінити економічну ефективність вирощування кукурудзи в моно- та бінарних посівах із соєю за різних рівнів мінерального удобрення в умовах Лісостепу України. **Методи.** Дослідження проводили протягом 2021–2024 рр. у стаціонарному досліді кафедри рослинництва ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» (Київська обл.) на чорноземі типовому малогумусному. Порівнювали монокультурні та бінарні посіви кукурудзи і сої за трьох систем удобрення: без добрив, $N_{60}P_{45}K_{45}$ та $N_{90}P_{60}K_{60}$. Розрахунок економічної ефективності здійснювали за основними показниками, як-от виробничі витрати, вартість валової продукції, собівартість продукції, прибуток та рентабельність, у цінах 2025 року. **Результати.** Сумісне вирощування кукурудзи та сої забезпечує суттєвий синергетичний ефект: собівартість продукції знижується на 15–20 %, рентабельність зростає в 1,9–2,2 раза, а прибутковість підвищується на 127–216 % порівняно з монокультурою кукурудзи. Оптимальним варіантом визнано бінарні посіви гібрида кукурудзи 'РЖТ Занетікс' та сорту сої 'РЖТ Сакуза' без добрив або за помірного удобрення $N_{60}P_{45}K_{45}$, що забезпечує рентабельність 93,5–100,8 % та прибутковість 43,37–57,66 тис. грн/га. Підвищення норм добрив до $N_{90}P_{60}K_{60}$ економічно недоцільне через відсутність значного приросту врожайності. Аналіз структури витрат показав, що ключовим фактором собівартості є енергоємність виробництва. Найбільш збалансоване співвідношення витрат досягається у бінарних посівах: пальне – 43,2–50,5 %, добрива – 0–15,8 %, насіння – 7,3–11,6 %. Стабільність постійних витрат (20,0 %) та низька варіабельність витрат на оплату праці свідчать про технологічну сталість процесів. **Висновки.** Отримані дані свідчать, що бінарні посіви кукурудзи та сої є економічно вигідними та ресурсоефективними. Впровадження таких технологій дає змогу оптимізувати структуру витрат, підвищити рентабельність та прибутковість виробництва. Результати мають практичне значення для планування посівних площ, удосконалення технологічних карт та прийняття управлінських рішень.

Ключові слова: кукурудза; соя; бінарні посіви; економічна ефективність; собівартість; рентабельність; структура витрат.

Вступ

Однією з найважливіших для України зернових культур є кукурудза, потенціал продуктивності якої може сягати 15 т/га. Проте реалізація такого рівня врожайності потребує не лише значного застосування мінеральних добрив, а й комплексної оптимізації всіх без винятку елементів агротехнології вирощування культури. За цих умов закономірно зростає антропогенне навантаження на навколишнє середовище, а інтенсивні технології не завжди забезпечують одержання стабільно високих і якісних урожаїв [1, 2].

Як цитувати: Мокрієнко В. А. Економічна ефективність вирощування кукурудзи в моно- та бінарних посівах. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2025. Вип. 33. С. 49–60. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.347576>



© The Author(s) 2025. Published by Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Загальновідомо, що на формування 1 т зерна з відповідною кількістю побічної продукції кукурудза засвоює та виносить з ґрунту 24–30 кг азоту, 10–12 кг фосфору і 25–30 кг калію, а також значні кількості магнію, кальцію, сірки та мікроелементів – бору, міді, марганцю, молібдену, цинку, заліза [3, 4].

Найкритичнішими за потребою в елементах живлення є фази розвитку від трьох до восьми листків, коли у рослин закладаються генеративні органи, що визначають майбутній рівень урожайності, а коренева система ще недостатньо розвинена для ефективного засвоєння поживних речовин із глибших шарів ґрунту [5, 6].

У зв'язку з цим для активного росту й розвитку рослин надзвичайно важливим є створення умов для високої доступності елементів живлення. Починаючи з фази шести листків, кукурудза інтенсивно нарощує вегетативну масу, що супроводжується різким зростанням потреби в доступних формах поживних речовин. Накладання в цей період посухового стресу або негативного впливу засобів захисту рослин може призводити до суттєвих втрат реалізованого потенціалу продуктивності культури [7, 8].

Економічна ефективність вирощування сільськогосподарських культур є визначальним чинником під час вибору технології виробництва та формуванні стратегії господарювання. Аналіз економічних показників вирощування кукурудзи в монокультурі та в бінарних посівах із соєю дає змогу визначити оптимальні технологічні варіанти, які забезпечують максимальну рентабельність за умов раціонального використання матеріально-енергетичних ресурсів. Оцінювання відмітностей у рівнях виробничих витрат, вартості валової продукції, собівартості, прибутку та рентабельності залежно від структури посівів і системи удобрення є ключовим для обґрунтованого добору найефективніших варіантів досліду з подальшим упровадженням їх у виробництво [9–12].

Мета досліджень – оцінити економічну ефективність вирощування кукурудзи в моно- та бінарних посівах.

Матеріали та методи досліджень

Дослідження проводили протягом 2021–2024 рр. у стаціонарному досліді кафедри рослинництва ВП НУБіП України «Агрономічна дослідна станція» (с. Пшеничне, Васильківський р-н, Київська обл.) у зоні Лісостепу України.

Ґрунт дослідного поля – чорнозем типовий малогумусний, середньосуглинковий за механічним складом, сформований на лесових відкладеннях. Вміст гумусу в орному шарі становив 3,5 % (за Тюрнімом), забезпеченість елементами мінерального живлення – середня. Потужність гумусового горизонту – 25–30 см.

Схема досліду передбачала вивчення факторів, наведених у таблиці 1.

Комплексний аналіз економічної ефективності проведено на основі розрахунку основних економічних показників у цінах 2025 року [13, 14]. У дослідженні використано середньоранній простий гібрид кукурудзи 'РЖТ Занетікс' (ФАО 340), який висівали з нормою 70 тис. насінин/га, а також сорти сої 'Сірелія' (СНУ 2300) та 'РЖТ Сакуза' (СНУ 2600) з нормою висіву 450 тис. насінин/га.

За сумісного вирощування з кукурудзою норму висіву сої зменшували удвічі для обмеження конкурентних взаємодій між компонентами бінарних посівів. Глибина загортання насіння кукурудзи становила 4–5 см, сої – 2–3 см.

Дослідження передбачало три системи мінерального живлення: контроль без внесення добрив, помірне удобрення ($N_{60}P_{45}K_{45}$) та інтенсивне удобрення ($N_{90}P_{60}K_{60}$).

Попередником кукурудзи в досліді була пшениця озима. Система основного обробітку ґрунту включала лущення стерні на глибину 10–12 см з подальшою оранкою на 25–27 см.

Під основний обробіток, відповідно до схеми досліду та з урахуванням мінералізації рослинних решток, вносили комплексне мінеральне добриво FERTIS NPK (10-20-20 + S + ME), а під час передпосівної культивування – решту азотних добрив у формі аміачної селітри (34,4 % N).

Схема дослід з вивчення моно- та бінарних посівів кукурудзи із соєю

Гібрид	Система удобрення
Кукурудза 'РЖТ Занетіккс' (ФАО 340) – норма висіву насіння 70 тис. шт./га	Контроль без добрив
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
Соя 'Сірелія' (СНУ 2300) – норма висіву насіння 450 тис. шт./га	Контроль без добрив
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
Соя 'РЖТ Сакуза' (СНУ 2600) – норма висіву насіння 450 тис. шт./га	Контроль без добрив
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
'РЖТ Занетіккс' + 'Сірелія' – 70 тис. шт./га + 225 тис. шт./га (лише кукурудза)	Контроль без добрив
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
'РЖТ Занетіккс' + 'Сірелія' – 70 тис. шт./га + 225 тис. шт./га (лише соя)	Контроль без добрив
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
'РЖТ Занетіккс' + 'Сірелія' – 70 тис. шт./га + 225 тис. шт./га (сумарно)	Контроль без добрив
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
'РЖТ Занетіккс' + 'РЖТ Сакуза' – 70 тис. шт./га + 225 тис. шт./га (лише кукурудза)	Контроль без добрив
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
'РЖТ Занетіккс' + 'РЖТ Сакуза' – 70 тис. шт./га + 225 тис. шт./га (лише соя)	Контроль без добрив
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
'РЖТ Занетіккс' + 'РЖТ Сакуза' – 70 тис. шт./га + 225 тис. шт./га (сумарно)	Контроль без добрив
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀

Результати досліджень

Витрати на оплату праці варіювали в широкому діапазоні – від 0,34 тис. грн/га у варіанті вирощування сої сорту 'Сірелія' без застосування добрив до 5,29 тис. грн/га у бінарному посіві кукурудзи гібриду 'РЖТ Занетіккс' із соєю сорту 'РЖТ Сакуза' за внесення N₉₀P₆₀K₆₀. Простежувалася чітка закономірність зростання витрат на оплату праці зі збільшенням рівня інтенсифікації технології та врожайності культур, що зумовлено підвищенням обсягу механізованих і допоміжних операцій. Найвищі значення цього показника були характерні для бінарних посівів, у яких формувалася максимальна продуктивність агроценозу (табл. 2).

Витрати на насіння визначалися виключно вартістю посівного матеріалу, яка є сталою в межах одного сорту або гібрида. У зв'язку з цим цей показник залишався стабільним для кожної культури та їх комбінацій, не залежав від рівня удобрення й визначався лише структурою посівів. Мінімальні витрати на насіння (1,15 тис. грн/га) відзначено за вирощування лише сої, тоді як максимальні (4,95 тис. грн/га) – у бінарних посівах, що зумовлено необхідністю придбання насіння двох культур.

Витрати на мінеральні добрива змінювалися від нульових значень у контрольних варіантах до 10,60 тис. грн/га за внесення максимальної дози N₉₀P₆₀K₆₀. Зростання цього показника було пропорційним рівню інтенсифікації удобрення: контроль – 0; помірне удобрення – 7,93 тис. грн/га для кукурудзи та 6,35–6,39 тис. грн/га для сої; інтенсивне удобрення – 10,60 та 8,82–8,90 тис. грн/га відповідно. Це свідчить про пряму залежність

витрат на добрива від обраної системи живлення та підкреслює доцільність їх раціонального використання.

Таблиця 2

**Показники виробничих витрат на вирощування кукурудзи
в моно- та бінарних посівах у цінах 2025 року, тис. грн**

Моно / бінарні посіви	Система удобрення	Показник						
		оплата праці	насіння	добрива	засоби захисту	пальне	інші витрати	всього витрат
‘РЖТ Занетіккс’	Контроль без добрив	3,17	3,80	0,00	3,88	17,31	7,04	35,20
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	3,83	3,80	7,93	3,88	20,69	10,03	50,17
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	4,13	3,80	10,60	3,88	22,20	11,15	55,74
‘Сірелія’	Контроль без добрив	0,34	2,30	0,00	3,88	9,36	3,97	19,84
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	0,42	2,30	7,93	3,88	11,09	6,40	32,02
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0,38	2,30	10,60	3,88	10,22	6,84	34,22
‘РЖТ Сакуза’	Контроль без добрив	0,36	2,30	0,00	3,88	9,86	4,10	20,49
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	0,43	2,30	7,93	3,88	11,33	6,47	32,34
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0,37	2,30	10,60	3,88	10,00	6,79	33,93
‘РЖТ Занетіккс’ + ‘Сірелія’ (лише кукурудза)	Контроль без добрив	2,95	3,80	0,00	3,16	15,61	6,38	31,90
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	3,83	3,80	6,39	3,12	20,08	9,30	46,52
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	4,28	3,80	8,90	3,26	22,40	10,66	53,29
‘РЖТ ‘Занетіккс’ + ‘Сірелія’ (лише соя)	Контроль без добрив	0,85	1,15	0,00	0,72	5,78	2,13	10,63
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	1,02	1,15	1,54	0,75	7,03	2,87	14,37
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0,96	1,15	1,69	0,62	6,60	2,76	13,78
‘РЖТ Занетіккс’ + ‘Сірелія’ (сумарно)	Контроль без добрив	3,80	4,95	0,00	3,88	21,40	8,50	42,52
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	4,84	4,95	7,93	3,88	27,11	12,18	60,89
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	5,24	4,95	10,60	3,88	29,00	13,41	67,07
‘РЖТ Занетіккс’ + ‘РЖТ Сакуза’ (лише кукурудза)	Контроль без добрив	2,97	3,80	0,00	3,12	15,72	6,40	32,02
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	3,88	3,80	6,35	3,10	20,36	9,37	46,87
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	4,30	3,80	8,82	3,23	22,48	10,66	53,28
‘РЖТ Занетіккс’ + ‘РЖТ Сакуза’ (лише соя)	Контроль без добрив	0,88	1,15	0,00	0,76	6,01	2,20	10,99
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	1,05	1,15	1,59	0,78	7,26	2,95	14,77
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0,99	1,15	1,77	0,65	6,82	2,85	14,23
‘РЖТ Занетіккс’ + ‘РЖТ Сакуза’ (сумарно)	Контроль без добрив	3,85	4,95	0,00	3,88	21,73	8,60	43,01
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	4,93	4,95	7,93	3,88	27,62	12,33	61,64
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	5,29	4,95	10,60	3,88	29,30	13,50	67,51

Мінімальні витрати на систему захисту рослин (0,62 тис. грн/га) зафіксовано у варіантах вирощування сої в бінарних посівах за інтенсивного удобрення, тоді як максимальні (3,88 тис. грн/га) – у кукурудзи незалежно від дози добрив. Витрати на захист посівів були відносно стабільними в межах культури та суттєво вищими для кукурудзи, що пояснюється її більшою чутливістю до комплексу шкідливих організмів.

Витрати на пальне варіювали від 5,78 тис. грн/га (соя, контроль) до 29,30 тис. грн/га (бінарні посіви ‘РЖТ Занетіккс’ + ‘РЖТ Сакуза’, N₉₀P₆₀K₆₀). Їх зростання було зумовлене підвищенням урожайності та збільшенням обсягів механізованих робіт, особливо за сумісного вирощування двох культур.

Аналіз структури витрат за вирощування кукурудзи в монокультурі засвідчив значну їх варіабельність залежно від системи удобрення. Для гібрида ‘РЖТ Занетіккс’ загальні витрати коливалися від 35,20 тис. грн/га на контролі до 55,74 тис. грн/га за інтенсивного удобрення. Найбільшу частку в структурі витрат займали витрати на пально-мастильні матеріали – 49,2 %

на контролі та 39,8 % за внесення $N_{90}P_{60}K_{60}$, що свідчить про високу енергоємність технології вирощування.

Витрати на насіння кукурудзи становили фіксовану величину 3,80 тис. грн/га, що дорівнювало 10,8 % загальних витрат на контролі та зменшувалося до 6,8 % за інтенсивного удобрення. Застосування мінеральних добрив істотно змінювало структуру витрат: за системи $N_{60}P_{45}K_{45}$ їх частка становила 15,8 % (7,93 тис. грн/га), а $N_{90}P_{60}K_{60}$ – 19,0 % (10,60 тис. грн/га).

Вирощування сої в чистих посівах характеризувалося значно нижчим рівнем виробничих витрат порівняно з кукурудзою. Для сорту 'Сірелія' загальні витрати змінювалися від 19,84 тис. грн/га на контролі до 34,22 тис. грн/га за максимального удобрення, для сорту 'РЖТ Сакуза' – відповідно від 20,49 до 33,93 тис. грн/га.

Структура витрат за вирощування сої відзначалася меншою часткою витрат на пальне (47,2 % на контролі для 'Сірелія') та нижчими витратами на насіння (2,30 тис. грн/га, або 11,6 % загальних витрат), що зумовлено менш енергоємною технологією та нижчою вартістю посівного матеріалу.

Економічна структура бінарних посівів відображала синергетичний ефект сумісного вирощування культур. Сумарні витрати для комбінації 'РЖТ Занетіккс' + 'Сірелія' становили 42,52 тис. грн/га на контролі та зростали до 67,07 тис. грн/га за інтенсивного удобрення. При цьому на кукурудзу припадало 75,0 % загальних витрат на контролі та 79,5 % – за внесення $N_{90}P_{60}K_{60}$.

Слід зазначити, що сумарні витрати в бінарних посівах були на 20,8 % вищими порівняно з монокультурою кукурудзи на контролі, однак це збільшення повністю компенсувалося значним приростом вартості валової продукції.

Вартість валової продукції у бінарних посівах досягала максимальних значень – 122,66–124,60 тис. грн/га за інтенсивного удобрення, що на 60,5–62,9 % перевищувало показники монокультури кукурудзи.

Аналіз собівартості показав суттєві переваги бінарних посівів: найнижчу собівартість зерна кукурудзи зафіксовано у варіанті 'РЖТ Занетіккс' + 'Сірелія' на контролі – 4,90 тис. грн/т, що на 17,9 % нижче порівняно з її монокультурою. Застосування добрив збільшувало собівартість продукції, проте це компенсувалося зростанням урожайності та вартості валової продукції (табл. 3).

Собівартість сої в бінарних посівах варіювала від 6,70 до 7,39 тис. грн/т, що було суттєво нижче показників монокультури (10,00–15,99 тис. грн/т). Це пояснюється ефективнішим використанням ресурсів у змішаних посівах та розподілом постійних витрат між двома культурами.

Максимальний прибуток у монокультурі кукурудзи отримано за помірного удобрення – 20,68 тис. грн/га, хоча рентабельність при цьому знижувалася з 51,6 % на контролі до 37,1 %. Це вказує на економічну доцільність екстенсивних технологій за обмежених фінансових ресурсів.

Вирощування сої в монокультурі демонструвало найвищу рентабельність на контролі: 73,0 % для сорту 'РЖТ Сакуза' та 57,5 % для 'Сірелія'. Застосування максимальних доз добрив призводило до різкого зниження рентабельності до 8,2–13,7 %, що робить інтенсивну технологію економічно недоцільною для сої.

Найвищі абсолютні показники прибутковості досягнуто в бінарних посівах. Комбінація 'РЖТ Занетіккс' + 'РЖТ Сакуза' забезпечила максимальний сумарний прибуток 57,66 тис. грн/га за помірного удобрення з рентабельністю 93,5 %. На контролі без добрив ця ж комбінація демонструвала найвищу рентабельність – 100,8 %, поєднуючи високу прибутковість із мінімальними витратами.

Компонентний аналіз показав, що соя у бінарних посівах досягала рентабельності 138,8–158,1 %, що у 2,2–2,8 раза перевищувало показники монокультури, підтверджуючи виражений синергетичний ефект міжвидової взаємодії.

Аналіз впливу мінеральних добрив на ефективність виробництва показав неоднозначні результати. Для монокультури кукурудзи оптимальною виявилася система $N_{60}P_{45}K_{45}$, яка

забезпечувала баланс між витратами та приростом урожайності. Подальше збільшення доз добрив не супроводжувалося пропорційним ростом продуктивності, що призводило до зниження рентабельності.

Таблиця 3

Економічна ефективність вирощування кукурудзи в моно- та бінарних посівах у цінах 2025 року, тис. грн

Моно- / бінарні посіви	Система удобрення	Показник			
		вартість валової продукції	собівартість 1 т	прибуток, тис. грн/га	рентабельність, %
‘РЖТ Занетіккс’	Контроль без добрив	53,36	5,97	18,16	51,6
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	68,71	6,61	18,55	37,0
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	76,42	6,60	20,68	37,1
‘Сірелія’	Контроль без добрив	31,25	10,99	11,40	57,5
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	46,79	11,84	14,77	46,1
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	38,90	15,22	4,68	13,7
‘РЖТ Сакуза’	Контроль без добрив	35,45	10,00	14,96	73,0
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	48,66	11,50	16,32	50,5
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	36,71	15,99	2,78	8,2
‘РЖТ Занетіккс’ + ‘Сірелія’ (лише кукурудза)	Контроль без добрив	58,43	4,94	26,53	83,2
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	79,30	5,31	32,78	70,5
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	90,42	5,33	37,13	69,7
‘РЖТ ‘Занетіккс’ + ‘Сірелія’ (лише соя)	Контроль без добрив	25,38	7,24	14,75	138,8
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	36,24	6,86	21,87	152,2
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	32,24	7,39	18,46	134,0
‘РЖТ Занетіккс’ + Сірелія’ (сумарно)	Контроль без добрив	83,81	5,36	41,28	97,1
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	115,54	5,60	54,65	89,7
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	122,66	5,60	55,59	82,9
‘РЖТ Занетіккс’ + ‘РЖТ Сакуза’ (лише кукурудза)	Контроль без добрив	59,15	4,90	27,14	84,8
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	81,18	5,22	34,32	73,2
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	90,16	5,35	36,88	69,2
‘РЖТ Занетіккс’ + ‘РЖТ Сакуза’ (лише соя)	Контроль без добрив	27,23	6,98	16,24	147,7
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	38,12	6,70	23,35	158,1
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	34,44	7,15	20,21	142,0
‘РЖТ Занетіккс’ + ‘РЖТ Сакуза’ (сумарно)	Контроль без добрив	86,38	5,29	43,37	100,8
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	119,30	5,58	57,66	93,5
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	124,60	5,59	57,09	84,6

У бінарних посівах найкращі економічні показники зафіксовано на контролі без добрив та при помірному удобренні. Система N₉₀P₆₀K₆₀ знижувала рентабельність на 15,8–18,0 % порівняно з контролем, незважаючи на збільшення валової продукції.

Отже, комплексний аналіз дає змогу ранжувати досліджувані варіанти за економічною ефективністю:

- найвища рентабельність (100,8 %): бінарні посіви ‘РЖТ Занетіккс’ + ‘РЖТ Сакуза’ без добрив;
- максимальний прибуток (57,66 тис. грн/га): бінарні посіви ‘РЖТ Занетіккс’ + ‘РЖТ Сакуза’ в разі застосування N₆₀P₄₅K₄₅;
- оптимальне співвідношення прибуток / рентабельність: бінарні посіви ‘РЖТ Занетіккс’ + ‘Сірелія’ без добрив (41,28 тис. грн/га, 97,1 %);
- найнижча собівартість кукурудзи (4,90 тис. грн/т): бінарні посіви без добрив.

Монокультура сої економічно виправдана лише за мінімального використання добрив, тоді як кукурудза демонструє стабільні, але помірні показники.

У структурі витрат монокультури кукурудзи домінують пально-мастильні матеріали (49,2 % на контролі), що підкреслює високу енергоємність технології, пов'язану з інтенсивним використанням машинно-тракторного парку протягом усього виробничого циклу (табл. 4).

Таблиця 4

Показники структури виробничих витрат за вирощування кукурудзи в моно- та бінарних посівах, %

Моно- / бінарні посіви	Система удобрення	Показник					
		оплата праці	насіння	добрива	засоби захисту	пальне	інші витрати
'РЖТ Занетіккс'	Контроль без добрив	9,0	10,8	0,0	11,0	49,2	20,0
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	7,6	7,6	15,8	7,7	41,2	20,0
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	7,4	6,8	19,0	7,0	39,8	20,0
'Сірелія'	Контроль без добрив	1,7	11,6	0,0	19,5	47,2	20,0
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	1,3	7,2	24,8	12,1	34,6	20,0
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1,1	6,7	31,0	11,3	29,9	20,0
'РЖТ Сакуза'	Контроль без добрив	1,8	11,2	0,0	18,9	48,1	20,0
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	1,3	7,1	24,5	12,0	35,0	20,0
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	1,1	6,8	31,2	11,4	29,5	20,0
'РЖТ Занетіккс' + 'Сірелія' (лише кукурудза)	Контроль без добрив	9,2	11,9	0,0	9,9	48,9	20,0
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	8,2	8,2	13,7	6,7	43,2	20,0
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	8,0	7,1	16,7	6,1	42,0	20,0
'РЖТ 'Занетіккс' + 'Сірелія' (лише соя)	Контроль без добрив	8,0	10,8	0,0	6,8	54,4	20,0
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	7,1	8,0	10,7	5,2	48,9	20,0
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	7,0	8,3	12,3	4,5	47,9	20,0
'РЖТ Занетіккс' + Сірелія' (сумарно)	Контроль без добрив	8,9	11,6	0,0	9,1	50,3	20,0
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	8,0	8,1	13,0	6,4	44,5	20,0
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	7,8	7,4	15,8	5,8	43,2	20,0
'РЖТ Занетіккс' + 'РЖТ Сакуза' (лише кукурудза)	Контроль без добрив	9,3	11,9	0,0	9,7	49,1	20,0
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	8,3	8,1	13,5	6,6	43,5	20,0
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	8,1	7,1	16,6	6,1	42,2	20,0
'РЖТ Занетіккс' + 'РЖТ Сакуза' (лише соя)	Контроль без добрив	8,0	10,5	0,0	6,9	54,7	20,0
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	7,1	7,8	10,7	5,2	49,1	20,0
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	7,0	8,1	12,5	4,6	48,0	20,0
'РЖТ Занетіккс' + 'РЖТ Сакуза' (сумарно)	Контроль без добрив	9,0	11,5	0,0	9,0	50,5	20,0
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	8,0	8,0	12,9	6,3	44,8	20,0
	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	7,8	7,3	15,7	5,7	43,4	20,0

Застосування мінеральних добрив призводило до перерозподілу структури витрат. Зокрема, частка пального знижувалася до 41,2 % за N₆₀P₄₅K₄₅ та до 39,8 % за N₉₀P₆₀K₆₀, тоді як витрати на добрива зростали відповідно до 15,8 та 19,0 %. Це свідчить про відносне зниження енергоємності виробництва в разі інтенсифікації технології завдяки перерозподілу витрат між основними складниками.

Витрати на насіннєвий матеріал демонстрували протилежну тенденцію: їх частка зменшувалася з 10,8 % на контролі до 6,8 % за максимального удобрення, що пояснюється збільшенням загальної суми витрат за незмінної абсолютної вартості насіння. Подібну динаміку спостерігали для витрат на засоби захисту рослин (зниження з 11,0 до 7,0 %) та оплату праці (з 9,0 до 7,4 %).

Структура витрат за вирощування сої в чистих посівах була подібною до кукурудзи, проте мала деякі відмінності. На контролі без добрив найбільшу частку також займало пальне –

47,2 % для 'Сірелія' та 48,1 % для 'РЖТ Сакуза', що лише незначно поступалося показникам кукурудзи. Принциповою відмінністю була значно вища частка витрат на засоби захисту рослин: 18,9–19,5 % на контролі, що у 1,8 раза перевищувало аналогічний показник для кукурудзи. Це пояснюється підвищеною чутливістю сої до бур'янів на початкових фазах розвитку та необхідністю інтенсивного хімічного захисту.

У разі внесення добрив структурні зміни були більш вираженими, ніж у кукурудзи. Частка витрат на добрива зросла до 24,5–24,8 % за $N_{60}P_{45}K_{45}$ та досягла 31,0–31,2 % за $N_{90}P_{60}K_{60}$, водночас частка пального знизилася до 29,5–29,9 %, що на 10 % нижче порівняно з кукурудзою за аналогічного рівня удобрення.

Бінарні посіви демонстрували унікальну структуру витрат, відмінну від монокультур. Кукурудза в бінарних посівах мала дещо знижену частку пального (48,9 % на контролі) порівняно з монокультурою (49,2 %), але підвищену частку витрат на насіння (11,9 % проти 10,8 %). Соя в бінарних посівах характеризувалася вищою часткою пального: 54,4–54,7 % на контролі, що на 6,3–7,5 % перевищувало показники монокультури, що пояснюється розподілом загальних енергетичних витрат між двома культурами та відносно меншими абсолютними витратами на соєвий компонент.

Інтегральна структура витрат бінарних посівів займала проміжне положення між монокультурами. На контролі без добрив частка пального становила 50,3–50,5 %, що на 1,1–1,3 % перевищувало показники монокультури кукурудзи. Витрати на насіння становили 11,5–11,6 %, трохи перевищуючи показники монокультури кукурудзи через додаткові витрати на насіння сої.

Застосування добрив у бінарних посівах забезпечувало більш збалансований перерозподіл структури витрат. За системи $N_{60}P_{45}K_{45}$ частка добрив становила 12,9–13,0 %, що нижче, ніж у монокультур кукурудзи (15,8 %) та сої (24,5–24,8 %), а частка пального знизилася до 44,5–44,8 %, займаючи проміжне положення між відповідними показниками монокультур.

Перехід від екстенсивної до інтенсивної технології супроводжувався закономірними структурними змінами. Найбільш виражені вони були у монокультурі сої, де частка добрив зросла з 0 до 31,0–31,2 %, а частка пального знизилася на 17,3–18,6 %. Для монокультури кукурудзи ці зміни були менш значними: зростання частки добрив до 19,0 %, зниження частки пального на 9,4 %.

Бінарні посіви демонстрували помірну динаміку змін. За максимального удобрення частка добрив досягала 15,7–15,8 %, що свідчить про ефективніше їх використання у змішаних посівах. Зниження частки пального становило 7,1–7,3 %, що вказує на кращу енергоефективність бінарної системи.

Стабільною залишалася частка «інших витрат», яка незмінно становила 20,0 % для всіх варіантів досліду, що свідчить про фіксований характер накладних витрат, амортизаційних відрахувань та інших постійних витрат, не залежних від технології.

Витрати на оплату праці демонстрували найменшу варіабельність серед змінних статей. Для монокультури кукурудзи коливання становили 1,6 % (від 9,0 до 7,4 %), для сої – 0,6–0,7 %, а в бінарних посівах – не більше ніж 1,5 %, що вказує на низьку еластичність трудових витрат відносно інтенсифікації виробництва.

Аналіз частки витрат на паливо як індикатора енергоємності виявив парадоксальну закономірність: найнижча енергоємність за інтенсивного удобрення спостерігалася у монокультурі сої (29,5–29,9 %), тоді як на контролі її значення були високими (47,2–48,1 %). Це пояснюється відносним ефектом: абсолютні витрати на паливо зростали, але їхня частка знижувалася через випереджаюче зростання витрат на добрива.

Бінарні посіви характеризувалися проміжною енергоємністю на всіх рівнях інтенсифікації, що свідчить про збалансованість технології. Енергоефективність таких посівів (витрати пального на одиницю продукції) була вищою завдяки синергетичному ефекту сумісного вирощування культур.

Структурний аналіз дав змогу визначити резерви оптимізації витрат. У монокультурі сої частка витрат на засоби захисту рослин (11,3–12,1 % за удобрення) може бути знижена завдяки

використанню біологічних методів захисту та оптимізації строків обробок. У монокультурі кукурудзи потенціал економії пов'язаний зі зниженням енергоємності через упровадження енергоощадних технологій обробки ґрунту.

Бінарні посіви вже демонструють оптимізовану структуру витрат: знижена частка засобів захисту (5,7–6,4 % за удобрення) порівняно з монокультурами та збалансоване співвідношення основних статей витрат, що підтверджує економічну доцільність технології сумісного вирощування.

Порівняння структури витрат для різних сортів сої виявило мінімальні відмінності: різниця між 'Сірелія' та 'РЖТ Сакуза' не перевищували 0,9 % за всіма статтями витрат, що свідчить про універсальність технології вирощування культури незалежно від сортових особливостей. У бінарних посівах вибір сорту сої також не впливав суттєво на структуру витрат: максимальні відмінності між комбінаціями з різними сортами становили 0,4 %. Така стабільність спрощує планування виробництва та вибір оптимальних сортів за агрономічними критеріями без необхідності коригування економічних розрахунків.

Виявлена структура витрат відображає типові умови інтенсивного землеробства з високим рівнем механізації. Домінування витрат на паливо (39,8–54,7 %) підкреслює критичну залежність від енергетичних ресурсів. В умовах зростання цін на енергоносії доцільним є впровадження енергоощадних технологій, зокрема мінімального та нульового обробки ґрунту.

Відносно низька частка витрат на оплату праці (1,1–9,3 %) свідчить про високий рівень механізації та низьку трудомісткість технологій, що створює передумови для розширення посівних площ без пропорційного збільшення чисельності працівників.

Висновки

Проведений економічний аналіз переконливо підтверджує перевагу бінарних посівів кукурудзи із соєю над традиційними монокультурами. Сумісне вирощування забезпечує синергетичний ефект, що проявляється у зниженні собівартості продукції на 15–20 %, підвищенні рентабельності у 1,9–2,2 раза та збільшенні прибутковості на 127–216 % порівняно з монокультурою кукурудзи.

Оптимальною з економічного погляду є технологія бінарних посівів 'РЖТ Занетікс' + 'РЖТ Сакуза' без застосування мінеральних добрив або з помірним удобренням N₆₀P₄₅K₄₅. Така система забезпечує рентабельність 93,5–100,8 % за прибутковості 43,37–57,66 тис. грн/га, що робить її привабливою для впровадження за обмежених фінансових ресурсів та високої вартості добрив.

Інтенсифікація виробництва через збільшення норм мінеральних добрив до N₉₀P₆₀K₆₀ виявилася економічно недоцільною для всіх досліджуваних систем, оскільки додаткові витрати не компенсуються приростом продуктивності. Це підкреслює важливість оптимізації агротехнологій з урахуванням як агрономічної, так і економічної ефективності.

Результати дослідження мають практичне значення для оптимізації структури посівних площ та вибору технологій вирощування в умовах високої волатильності цін на ресурси та сільськогосподарську продукцію.

Комплексний аналіз структури витрат за вирощування кукурудзи в моно- та бінарних посівах дає змогу зробити такі узагальнення: енергоємність виробництва залишається визначальним фактором формування собівартості, при цьому частка витрат на паливо коливається від 29,5 % (монокультура сої за інтенсивного удобрення) до 54,7 % (соевий компонент бінарних посівів на контролі).

Структурна оптимізація найкраще реалізована в бінарних посівах, де досягається збалансоване співвідношення основних статей витрат: паливо (43,2–50,5 %), добрива (0–15,8 %), насіння (7,3–11,6 %), що забезпечує високу економічну ефективність. Інтенсифікація виробництва через застосування мінеральних добрив призводить до суттєвого перерозподілу структури витрат, особливо у монокультурі сої, де частка добрив досягає 31,0–31,2 %, що ставить під сумнів економічну доцільність високих норм удобрення для бобових культур.

Стабільність структури постійних витрат (20,0 %) та низька варіабельність витрат на оплату праці (коливання в межах 1,6 %) свідчать про технологічну сталість виробничих процесів незалежно від системи вирощування.

Резерви оптимізації пов'язані насамперед зі зниженням енергоємності через впровадження ресурсоощадних технологій та оптимізацією витрат на засоби захисту рослин завдяки інтегрованим системам захисту.

Отримані результати мають практичне значення для планування виробничої діяльності, оптимізації технологічних карт та обґрунтування управлінських рішень щодо вибору систем вирощування кукурудзи в сучасних економічних умовах. Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробленням економіко-математичних моделей оптимізації структури витрат з урахуванням динаміки цін на ресурси та кон'юнктури ринку сільськогосподарської продукції.

Використана література

1. Баган А. В., Шакалій С. М., Бараболя О. В. Підвищення продуктивного потенціалу гібридів кукурудзи. *Perspectives of science and education* : The 12th International youth conference (September 27, 2019). New York, USA : SLOVO\WORD, 2019. С. 246–250.
2. Коваленко О. А., Дробітько А. В. Вплив мікро- та функціональних добрив на стресостійкість і продуктивність кукурудзи за умов змін клімату. *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 13–14 березня 2018 р.). Київ : Агроосвіта, 2018. С. 727–730. URL: <http://dSPACE.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/3678>
3. Крамарьов С. М., Писаренко П. В., Андрієнко А. Л. Продуктивність і якість зерна гібридів кукурудзи різних груп стиглості за оптимізованої системи удобрення в умовах Північного Степу України. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2005. № 4. С. 5–10.
4. Крестьянінов Є. В., Єрмакова Л. М., Антал Т. В. Формування урожаю та якості зерна кукурудзи залежно від фону та позакореневого підживлення посівів в умовах Лівобережного Лісостепу. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2019. Т. 10, № 1. С. 18–26. <https://doi.org/10.31548/agr2019.01.018>
5. Лавриненко Ю. О., Гож О. А. Ріст і розвиток рослин гібридів кукурудзи ФАО 180–430 за впливу регуляторів росту і мікродобрив в умовах зрошення на Півдні України. *Зрошуване землеробство*. 2016. Вип. 65. С. 128–131.
6. Молдован Ж. А., Собчук С. І. Оцінка показників індивідуальної продуктивності рослин кукурудзи за допосівної обробки насіння та позакореневого підживлення. *Зернові культури*. 2018. Т. 2, № 1. С. 101–108.
7. Пелех Л. В. Формування продуктивності кукурудзи залежно від обробки стимуляторами росту рослин в умовах Правобережного Лісостепу. *Сільське господарство та лісівництво*. 2017. № 5. С. 54–61.
8. Поліщук М. І., Паламарчук О. Д. Вплив позакореневих підживлень на продуктивність гібридів кукурудзи. *Сільське господарство та лісівництво*. 2016. № 4. С. 102–109.
9. Циков В. С., Дудка М. І., Шевченко О. М. Ефективність позакореневого підживлення кукурудзи мікроелементними препаратами сумісно з азотним мінеральним добривом. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2016. № 11. С. 23–27.
10. Циков В. С. Ефективність застосування макро- і мікродобрив при вирощуванні кукурудзи. *Зернові культури*. 2017. Т. 1, № 1. С. 75–79.
11. Польовий А. М., Костюкевич Т. К., Толмачова А. В., Жигайло О. Л. Вплив кліматичних змін на формування продуктивності кукурудзи в Західному Лісостепу України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2021. Вип. 25, № 1. С. 29–36. [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-1\(109\)-4](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-1(109)-4)
12. Влащук А. М., Конащук О. П., Желтова А. Г., Колпакова О. С. Формування врожаю нових гібридів кукурудзи різних груп стиглості залежно від елементів технології в умовах степової зони України на зрошенні. *Зрошуване землеробство*. 2016. Вип. 65. С. 69–73.

13. Камінський В. Ф., Сайко В. Ф., Душко М. В. та ін. Наукові основи ефективності використання виробничих ресурсів у різних моделях технологій вирощування зернових культур. Київ : Вінніченко, 2017. 580 с.

14. Саблук Р. П., Шпикуляк О. Г. Фінансові проблеми розвитку ринку зерна в Україні. *Економіка АПК*. 2008. № 12. С. 69–75.

References

1. Bahan, A. V., Shakalii, S. M., & Barabolia, O. V. (2019). Increasing the productive potential of maize hybrids. *Perspectives of science and education: The 12th International Youth Conference (September 27, 2019)* (pp. 246–250). SLOVO/WORD. [In Ukrainian]

2. Kovalenko, O. A., & Drobitko, A. V. (2018). Influence of micro- and functional fertilizers on stress resistance and productivity of maize under climate change conditions. In *Climate change and agriculture. Challenges for agricultural science and education: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference* (Kyiv, March 13–14, 2018) (pp. 727–730). Agrosvita. <http://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/3678> [In Ukrainian]

3. Kramarov, S. M., Pysarenko, P. V., & Andriienko, A. L. (2005). Productivity and grain quality of maize hybrids of different maturity groups under an optimized fertilization system in the Northern Steppe of Ukraine. *Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, 4, 5–10. [In Ukrainian]

4. Krestianinov, Ye. V., Yermakova, L. M., & Antal, T. V. (2019). Formation of corn grain yield and quality depending on micronutrients topdressing under conditions of Left bank Forest Steppe. *Plant Production and Soil Science*, 10(1), 18–26. <https://doi.org/10.31548/agr2019.01.018> [In Ukrainian]

5. Lavrynenko, Yu. O., & Hozh, O. A. (2016). Growth and development of maize hybrids FAO 180–430 under the influence of growth regulators and micronutrients under irrigation conditions in Southern Ukraine. *Irrigated Agriculture*, 65, 128–131. [In Ukrainian]

6. Moldovan, Zh. A., & Sobchuk, S. I. (2018). An estimation of indexes of the individual productivity of plants of corn is at presowing treatment of seed and outside the roots signup. *Grain Crops*, 2(1), 101–108. [In Ukrainian]

7. Pelekh, L. V. (2017). Formation of maize productivity depending on treatment with plant growth stimulators under the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe. *Agriculture and Forestry*, 5, 54–61. [In Ukrainian]

8. Polishchuk, M. I., & Palamarchuk, O. D. (2016). Influence of foliar fertilization on the productivity of maize hybrids. *Agriculture and Forestry*, 4, 102–109. [In Ukrainian]

9. Tsykov, V. S., Dudka, M. I., & Shevchenko, O. M. (2016). Efficiency of foliar fertilization of maize with micronutrient preparations in combination with nitrogen mineral fertilizer. *Bulletin of the Institute of Agriculture of the Steppe Zone of NAAS of Ukraine*, 11, 23–27. [In Ukrainian]

10. Tsykov, V. S. (2017). Efficiency of application of macro- and micronutrients in maize cultivation. *Grain Crops*, 1(1), 75–79. [In Ukrainian]

11. Polevoy, A., Kostiukievych, T., Tolmachova, A., & Zhygailo, O. (2021). The impact of climatic changes on forming the corn productivity in the western forest-steppe of Ukraine. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*, 25(1), 29–36. [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-1\(109\)-4](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2021-1(109)-4) [In Ukrainian]

12. Vlashchuk, A. M., Konashchuk, O. P., Zheltova, A. H., & Kolpakova, O. S. (2016). Formation of yield of new maize hybrids of different maturity groups depending on technological elements under irrigation in the steppe zone of Ukraine. *Irrigated Agriculture*, 65, 69–73. [In Ukrainian]

13. Kaminskyi, V. F., Saiko, V. F., Dushko, M. V., Asanishvili, N. M., Kaminska, V. V., Kovalenko, H. V., Lupekha, I. M., Romaniuk, P. V., Yula, V. M., & Viriovka, V. M. (2017). *Scientific foundations of efficient use of production resources in different models of grain crop cultivation technologies*. Vinichenko. [In Ukrainian]

14. Sabluk, R. P., & Shpykuliak, O. H. (2008). Financial problems of grain market development in Ukraine. *Economics of Agro-Industrial Complex*, 12, 69–75. [In Ukrainian]

UDC 633.15:631.53.027

Mokriienko, V. A. (2025). Economic efficiency of maize cultivation in monocropping and mixed cropping with maize. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 33, 49–60. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.347576> [In Ukrainian]

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine, *e-mail: mokriienko@ukr.net*

Aim. To evaluate the economic efficiency of maize cultivation as monocrop and mixed crops with soybean under different application rates of mineral fertilisers in the Forest Steppe zone of Ukraine. **Methods.** The study was conducted in 2021–2024 in a stationary field experiment at the Department of Crop Production, Agronomic Research Station of NULES of Ukraine (Kyiv region), on typical low-humus chernozem. Monocropping and maize–soybean mixed cropping systems were compared under three fertilisation regimes: no fertilisers, $N_{60}P_{45}K_{45}$, and $N_{90}P_{60}K_{60}$. Economic efficiency was calculated using key indicators such as production costs, gross product value, production cost per unit, profit, and profitability, expressed in 2025 prices. **Results.** Mixed cropping of maize and soybean provided a significant synergistic effect: production cost decreased by 15–20%, profitability increased 1.9–2.2 times, and profit rose by 127–216% compared with maize monocropping. The optimal option was mixed cropping of maize hybrid ‘RGT Zaneikks’ and soybean variety ‘RGT Sakuza’ without fertilisers or under moderate fertilisation ($N_{60}P_{45}K_{45}$), ensuring profitability of 93.5–100.8% and profit of 43.37–57.66 thousand UAH/ha. Increasing fertiliser rates to $N_{90}P_{60}K_{60}$ proved economically unjustified due to the absence of significant yield gains. Cost structure analysis showed that the key factor in production cost was energy intensity. The most balanced cost distribution was achieved in mixed cropping: fuel 43.2–50.5%, fertilisers 0–15.8%, and seeds 7.3–11.6%. Stability of fixed costs (20.0%) and low variability in labour costs indicated technological sustainability of the processes. **Conclusions.** The findings demonstrate that mixed maize–soybean cropping systems are economically advantageous and resource-efficient. Implementation of such technologies allows optimization of cost structure, increased profitability, and higher production efficiency. The results have practical significance for planning cropping areas, improving technological maps, and supporting management decisions.

Keywords: *Maize; soybean; mixed cropping; economic efficiency; production cost; profitability; cost structure.*

Надійшла / Received 03.10.2025

Погоджено до друку / Accepted 12.12.2025

Опубліковано онлайн / Published online 29.12.2025

Особливості росту й розвитку саджанців рододендронів залежно від довжини та морфотипу живців

 М. І. Парубок^{1*},  О. В. Притула¹,  М. С. Данюк²,  З. І. Ковтунюк¹

¹Уманський національний університет, вул. Інститутська, 1, м. Умань, Черкаська обл., 20305, Україна, *e-mail: m.parubok69@gmail.com

²Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна

Мета. Установити вплив довжини та морфотипу живців на ріст, розвиток і приживлюваність саджанців рододендронів, а також оцінити морфометричні показники наземної частини й кореневої системи на ранніх етапах культивування. **Методи.** Дослідження проведено в умовах розсадника Уманського національного університету на саджанцях рододендронів сортів 'Helsinki University' і 'Azurro'. В експерименті використано зелені та здерев'янілі живці завдовжки 10–15, 20–30, 35–45 і понад 50 см. Живці висаджували в контейнери зі стандартним субстратом (рН 5,5–6,0). Обліки проводили на 30-ту та 90-ту добу після висаджування з оцінюванням приживлюваності (життєздатні з коренями, життєздатні без коренів, нежиттєздатні), морфометричних показників наземної частини та кореневої системи. **Результати.** Найвищу приживлюваність забезпечують здерев'янілі живці завдовжки 35–45 см. На 30-ту добу частка життєздатних саджанців із сформованою кореневою системою у цьому варіанті становила 65 ± 3 % у 'Helsinki University' та 63 ± 3 % в 'Azurro', тоді як у зелених живців аналогічної довжини вона не перевищувала 45 ± 3 % і 43 ± 3 % відповідно. Короткі живці (10–15 см), особливо зелені, характеризувалися найбільшою часткою некротичних рослин (до 50–52 %), що зумовлено обмеженими адаптаційними можливостями та меншою фізіологічною зрілістю. Частка життєздатних безкореневих саджанців із калюсом коливалася в межах 20–25 %, що свідчить про потенціал подальшого коренеутворення. Морфометричні показники наземної частини на 30-ту й 90-ту добу були достовірно вищими у здерев'янілих саджанців: вони формували довші та товстіші пагони і більшу кількість листків. Формування кореневої системи також було інтенсивнішим у здерев'янілих живців, особливо середньої довжини, які мали оптимальне співвідношення між довжиною коренів і їх кількістю. **Висновки.** Морфотип і довжина живців є визначальними чинниками приживлюваності та початкового росту саджанців рододендронів. Для практичного використання у декоративному розсадництві доцільно застосовувати переважно здерев'янілі живці завдовжки 35–45 см, які забезпечують максимальну життєздатність рослин, інтенсивне корене- і пагоноутворення та стабільний подальший розвиток.

Ключові слова: приживлюваність саджанців; вегетативне розмноження; морфотип живців; здерев'янілі живці; зелені живці; довжина живців; ріст і розвиток рослин; морфометричні показники; коренеутворення.

Вступ

Рододендрони (*Rhododendron* spp.) належать до цінних декоративних деревно-чагарникових рослин, які широко використовуються у ландшафтному дизайні та системах озеленення.

Як цитувати: Парубок М. І., Притула О. В., Данюк М. С., Ковтунюк З. І. Особливості росту й розвитку саджанців рододендронів залежно від довжини та морфотипу живців. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2025. Вип. 33. С. 61–72. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.349478>



© The Author(s) 2025. Published by Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Ефективність їх вирощування значною мірою зумовлюється морфологічними й фізіологічними особливостями саджанців, умовами укорінення та здатністю рослин до подальшої адаптації в конкретному середовищі вирощування [1].

Одним із ключових чинників успішного приживлення рододендронів є довжина та морфотип садивного матеріалу, які безпосередньо впливають на інтенсивність коренеутворення, розвиток наземної частини та загальну життєздатність рослин [2]. Сукупність цих показників формує потенціал подальшого росту й декоративної цінності культури.

Приживлюваність саджанців рододендронів істотно варіює залежно від типу садивного матеріалу (здерець, янілі або зелені живці), його довжини та морфологічного стану. Водночас важливу роль відіграє правильний добір субстрату, його фізико-хімічні властивості та застосування технологічних прийомів, які забезпечують оптимальні умови для формування кореневої системи. Оцінювання морфометричних показників саджанців на різних етапах вегетації дає змогу не лише прогнозувати їх приживлюваність, а й оптимізувати технологію вирощування декоративних культур, скоротити період адаптації та зменшити втрати від некротичних і нежиттєздатних рослин [3].

Науковими дослідженнями встановлено, що в природних умовах рододендрони характеризуються повільними темпами росту в перші роки онтогенезу, що ускладнює швидке формування декоративних насаджень і обмежує можливості селекційної роботи [4]. Як зазначають О. Маринін та А. С. Машевська [5], для селекційних цілей доцільно застосовувати насінневе розмноження. Водночас для оперативного отримання садивного матеріалу та практичного використання в озелененні ефективнішим є вегетативне розмноження, оскільки рослини, вирощені з насіння, вступають у фазу цвітіння лише на 4–10-му році життя, тоді як рослини, отримані з живців, можуть зацвісти вже на наступний рік.

Рід *Rhododendron* є найбільшим у родині вересових (*Ericaceae*). У природній флорі України представлені лише два його види – рододендрон жовтий (*Rhododendron luteum* Sweet) і рододендрон миртолистий (*R. myrtifolium* Schott & Kotschy). Водночас більшість вітчизняних наукових досліджень зосереджені переважно на біологічних особливостях та питаннях інтродукції цих рослин, тоді як технологічні аспекти їх розмноження та вирощування залишаються недостатньо опрацьованими [6, 7].

У дослідженнях [8–10] показано можливість отримання якісного садивного матеріалу рододендронів у культурі *in vitro* з використанням різних типів експлантів. Проте зазначено, що цей метод потребує спеціалізованого лабораторного обладнання, а рослини, отримані *in vitro*, вимагають дотримання специфічних умов дорощування, укорінення та адаптації під час перенесення в ґрунт відкритого або закритого типу.

Досвід вегетативного розмноження інших представників родини вересових, зокрема лохини високорослої (*Vaccinium corymbosum* L.), свідчить, що укорінюваність зелених стеблових живців істотно залежить від сортових особливостей і типу пагона. Виділяють легко-вкорінювані сорти ('Блюкроп', 'Дарроу'), середньовкорінювані ('Блюгольд', 'Дюк', 'Торо', 'Спартан') та слабковкорінювані [11].

Аналогічні закономірності простежуються і в інших декоративних культурах. Зокрема, під час вегетативного розмноження лаванди вузьколистої встановлено, що живці завдовжки 8–10 см з не менше ніж трьома бруньками, сформовані так, щоб нижній зріз був під брунькою, забезпечують високий відсоток укорінення [12,13]. Для дерену справжнього (*Cornus mas* L.) оптимальними вважають апікальні одно- та двовузлові живці з дворічною основою довжиною 1,5–2,0 см («п'яткою»), заготовлені у фазі інтенсивного росту пагонів [14, 15].

Більшість іноземних дослідників наголошують, що успішність укорінення живців значною мірою визначається сортовими особливостями, складом і типом субстрату, а також застосуванням регуляторів росту. За відсутності оптимальних умов приживлюваність часто не перевищує 30 % [16–18]. Отже, поєднання раціонально підбраного типу живців, урахування сортових особливостей та оптимізація умов вирощування є ключовими чинниками ефективного вегетативного розмноження рододендронів і отримання високоякісного садивного матеріалу.

Мета досліджень – установити вплив довжини та морфотипу саджанців на ріст, розвиток і приживлюваність рододендронів, а також оцінити морфометричні показники наземної частини та кореневої системи.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили в умовах розсадника Уманського національного університету на саджанцях рододендронів двох гібридів: 'Helsinki University' та 'Azurro'.

Рододендрон 'Helsinki University' належить до групи зимостійких фінських гібридів (*Rhododendron hybridum*). Сорт створений у межах селекційної програми Університету Гельсінкі (Фінляндія) у 1974 р. (автор – Marjatta Uosukainen). Генетичною основою є *Rhododendron brachycarpum* subsp. *tigerstedtii*, що зумовлює високу адаптивність і морозостійкість рослин. Кущ характеризується потужним габітусом і прямостоячою формою росту, досягаючи висоти до 2,0 м. Листки великі, еліптичні, завдовжки 12–15 см, темно-зелені, з глянцевою поверхнею. Суцвіття верхівкові, щільні, складаються з 12–18 воронкоподібних квіток. Сорт вирізняється найвищим рівнем морозостійкості серед вічнозелених рододендронів (витримує зниження температури до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$), інтенсивним наростанням вегетативної маси та високою регенераційною здатністю, що робить його перспективним для вегетативного розмноження.

Рододендрон 'Azurro' належить до групи великоквіткових гібридів (*Rhododendron hybridum*). Це гібрид німецької селекції, створений у 1985 році селекціонером Hans Nachmann за участю *Rhododendron ponticum* та інших великоквіткових форм. Кущ середньорослий (висота 1,2–1,5 м), з компактною, кулястою, густооблистяною кроною. Листки довгасто-еліптичні, темно-зелені, щільні. Квітки мають інтенсивно-фіолетове забарвлення з характерною темно-бордовою (майже чорною) плямою на верхній пелюстці, з гофрованими краями пелюсток. Характеризується помірною зимостійкістю в умовах України (до $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$), тривалим періодом цвітіння та підвищеними вимогами до вологості ґрунту й повітря. У процесі вкорінення живців потребує ретельного контролювання мікроклімату через значну випаровуючу поверхню листових пластинок.

В експерименті використовували два морфотипи живців: здерев'янілі та зелені. Живці відбирали за довжиною: 10–15 см, 20–30 см, 35–45 см та понад 50 см. Заготівлю живців проводили у червні. Контрольним варіантом слугували зелені живці завдовжки 10–15 см гібрида 'Helsinki University'. Досліди закладали відповідно до [19–22]. Повторність досліду – чотириразова, по 25 живців у кожному повторенні.

Живці висаджували в контейнери об'ємом 2 л, заповнені стандартним субстратом для декоративних культур, що складався з торфу, перегною та піску у співвідношенні 3:1:1 з рН 5,5–6,0. Для підтримання оптимальної вологості проводили регулярний полив відстояною водою кімнатної температури. Температуру в розсаднику підтримували на рівні $+18\text{--}22\text{ }^{\circ}\text{C}$, освітлення забезпечували природним світлом, фотоперіод становив 14–16 год.

Спостереження проводили протягом вегетаційного періоду з обліками на 30-ту та 90-ту добу після висаджування. Приживлюваність оцінювали за трьома категоріями: життєздатні саджанці з утвореною кореневою системою; життєздатні саджанці без коренів (з утворенням калюсу або первинного пагона); нежиттєздатні (некротичні) саджанці.

Життєздатні з коренями – саджанці, які після 30 діб мають утворену кореневу систему і розвиваються нормально. Життєздатні без коренів – саджанці, які залишаються живими, зберігають зелений або здерев'янілий стан, але ще не сформували корені. Зазвичай у них на місці зрізу утворюється калюс – нерегулярна тканина, яка є попередником корневих бруньок. Цей калюс через деякий час може дати корені, і саджанець приживеться. Нежиттєздатні (некротичні) – саджанці, які повністю відмерли, почорніли або некротизовані, не здатні до розвитку.

Морфометричні показники наземної частини включали довжину пагона (см), товщину стебла (мм) та кількість листків (шт.), кореневої системи – довжину коренів (см) та їх кількість (шт.). Статистичну обробку результатів проводили з визначенням середнього значення та стандартного відхилення (\pm SD). Достовірність відмінностей оцінювали методом дисперсійного аналізу за рівня значущості $\text{HP}_{0,05}$.

Результати досліджень

Експериментально встановлено, що для здерев'янілих живців найвищі показники життєздатності характерні для саджанців завдовжки 35–45 см. У цього варіанту приживлюваність становила $85 \pm 3\%$ у гібрида 'Helsinki University' та $80 \pm 3\%$ в 'Azurro'. Натомість короткі живці завдовжки 10–15 см характеризувалися істотно нижчим рівнем приживлюваності – відповідно $65 \pm 5\%$ і $60 \pm 4\%$.

Зелені живці загалом виявилися менш ефективними за показниками приживлюваності порівняно зі здерев'янілими. Найвищі значення зафіксовано у варіанті з довжиною саджанців 35–45 см – $68 \pm 4\%$ у 'Helsinki University' та $65 \pm 5\%$ в 'Azurro', що свідчить про позитивний вплив збільшення довжини живця на процес укорінення незалежно від морфотипу.

Водночас встановлено наявність групи життєздатних саджанців без сформованої кореневої системи, які на 30-ту добу після висаджування зберігали життєвий стан, проте ще не утворили коренів. У таких рослин на місці зрізу формувався калюс, який є морфогенетичним попередником кореневих бруньок і свідчить про потенціал подальшого коренеутворення. Частка життєздатних саджанців без коренів коливалася в межах від $22 \pm 3\%$ до $52 \pm 6\%$ залежно від сортових особливостей, типу та довжини саджанців.

Життєздатні безкореневі саджанці, як правило, характеризувалися активним калюсоутворенням у базальній частині пагонів, що вказує на збереження регенераційної здатності й перспективність подальшого укорінення за сприятливих умов. Таким чином, їх наявність дає змогу об'єктивніше оцінити потенціал приживлюваності садивного матеріалу та ефективність застосованих технологічних прийомів (табл. 1).

Таблиця 1

Приживлюваність сортів рододендронів на 30 добу залежно від довжини та типу саджанців

Гібрид	Тип живця	Довжина саджанців, см	Життєздатні з коренями, %	Життєздатні без коренів, %	Нежиттєздатні (некротичні), %	НІР _{0,05}
'Helsinki University'	Здерев'янілі	10–15	42 ± 4	23 ± 3	35 ± 4	3,1
		20–30	55 ± 3	23 ± 2	22 ± 3	2,8
		35–45	65 ± 3	20 ± 2	15 ± 2	2,5
		> 50	62 ± 4	20 ± 3	18 ± 4	2,7
	Зелені	10–15 К	25 ± 4	25 ± 4	50 ± 6	3,3
		20–30	35 ± 4	25 ± 3	40 ± 5	3,0
		35–45	45 ± 3	25 ± 2	30 ± 4	2,6
		> 50	43 ± 3	25 ± 2	32 ± 4	2,8
'Azurro'	Здерев'янілі	10–15	40 ± 4	20 ± 3	40 ± 4	3,2
		20–30	53 ± 3	20 ± 2	27 ± 4	2,9
		35–45	63 ± 3	20 ± 2	17 ± 3	2,5
		> 50	60 ± 4	18 ± 3	22 ± 4	2,7
	Зелені	10–15	23 ± 4	25 ± 3	52 ± 5	3,3
		20–30	33 ± 3	25 ± 3	42 ± 4	3,0
		35–45	43 ± 3	25 ± 2	32 ± 4	2,7
		> 50	41 ± 3	25 ± 2	34 ± 4	2,8

Нежиттєздатні (некротичні) саджанці становили від $15 \pm 2\%$ до $50 \pm 6\%$, причому найвищу їх частку зафіксовано серед коротких зелених живців. Це свідчить про слабе коренеутворення та підвищену чутливість такого садивного матеріалу до абіотичних стресорів.

У контрольному варіанті (зелені живці завдовжки 10–15 см 'Helsinki University') частка життєздатних саджанців з утвореною кореневою системою становила $25 \pm 4\%$, аналогічний відсоток припадав на життєздатні безкореневі саджанці, тоді як частка некротичних і нежиттєздатних рослин сягала $50 \pm 6\%$.

Статистична обробка експериментальних даних підтвердила наявність достовірних відмінностей між варіантами за типом саджанців і довжиною пагонів. Отримані результати дають підстави рекомендувати для вирощування рододендронів переважно здерев'янілі саджанці завдовжки 35–45 см, які забезпечують максимальний рівень приживлюваності та життєздатності рослин (табл. 1).

Аналіз морфометричних показників наземної частини (табл. 2) показав, що здерев'янілі саджанці характеризуються більшою довжиною пагонів і товщиною стебла порівняно із зеленими незалежно від сортової належності. У контрольному варіанті довжина пагона становила $5,0 \pm 0,4$ см, що було одним із найнижчих показників серед усіх досліджуваних варіантів. У 'Helsinki University' здерев'янілі саджанці формували пагони завдовжки від $6,2 \pm 0,4$ до $8,3 \pm 0,4$ см, однак за довжини саджанців понад 50 см спостерігалось зменшення цього показника. Аналогічну тенденцію зафіксовано і в 'Azurro'.

Товщина пагона зелених саджанців у всіх варіантах була дещо меншою порівняно зі здерев'янілими. На 30-ту добу вирощування цей показник істотно залежав як від морфотипу саджанців, так і від їхньої початкової довжини. У всіх досліджуваних варіантах здерев'янілі саджанці формували товстіші пагони, що свідчить про вищий рівень морфофізіологічної зрілості та кращу адаптаційну здатність такого садивного матеріалу.

У гібрида 'Helsinki University' товщина пагона здерев'янілих саджанців зростала зі збільшенням їхньої довжини – від $2,1 \pm 0,2$ мм у варіанті 10–15 см до $2,7 \pm 0,3$ мм у саджанців завдовжки понад 50 см. Найінтенсивніше потовщення пагонів спостерігалось у варіантах 35–45 см та понад 50 см, де показник перевищував 2,6 мм. Зелені саджанці цього гібрида характеризувалися меншими значеннями товщини пагона – від $1,8 \pm 0,2$ мм (10–15 см) до $2,3 \pm 0,2$ мм (понад 50 см).

Подібні закономірності встановлено і в 'Azurro'. У здерев'янілих саджанців товщина пагона зростала від $2,0 \pm 0,2$ мм у варіанті 10–15 см до $2,6 \pm 0,3$ мм у рослин найбільшої довжини. Зелені саджанці цього гібрида формували найтонші пагони, товщина яких коливалася в межах $1,7 \pm 0,2$ – $2,2 \pm 0,2$ мм залежно від довжини живців (табл. 2).

Таблиця 2

Морфометричні показники наземної частини саджанців рододендронів на 30-ту добу

Гібрид	Тип живця	Довжина саджанців, см	Довжина пагона, см	Товщина пагона, мм	Кількість листків, шт.	НІР _{0,05}
'Helsinki University'	Здерев'янілі	10–15	$6,2 \pm 0,4$	$2,1 \pm 0,2$	4 ± 1	2,6
		20–30	$7,5 \pm 0,5$	$2,4 \pm 0,2$	5 ± 1	2,8
		35–45	$8,3 \pm 0,4$	$2,6 \pm 0,2$	6 ± 1	2,5
		> 50	$8,0 \pm 0,5$	$2,7 \pm 0,3$	6 ± 1	2,7
	Зелені	10–15К	$5,0 \pm 0,4$	$1,8 \pm 0,2$	3 ± 1	3,0
		20–30	$6,0 \pm 0,5$	$2,0 \pm 0,2$	4 ± 1	2,9
		35–45	$6,8 \pm 0,4$	$2,2 \pm 0,2$	5 ± 1	2,7
		> 50	$6,5 \pm 0,5$	$2,3 \pm 0,2$	5 ± 1	2,8
'Azurro'	Здерев'янілі	10–15	$6,0 \pm 0,4$	$2,0 \pm 0,2$	4 ± 1	2,7
		20–30	$7,2 \pm 0,5$	$2,3 \pm 0,2$	5 ± 1	2,8
		35–45	$8,0 \pm 0,4$	$2,5 \pm 0,2$	6 ± 1	2,6
		> 50	$7,8 \pm 0,5$	$2,6 \pm 0,3$	6 ± 1	2,7
	Зелені	10–15	$4,8 \pm 0,4$	$1,7 \pm 0,2$	3 ± 1	3,0
		20–30	$5,8 \pm 0,5$	$1,9 \pm 0,2$	4 ± 1	2,9
		35–45	$6,5 \pm 0,4$	$2,1 \pm 0,2$	5 ± 1	2,7
		> 50	$6,2 \pm 0,5$	$2,2 \pm 0,2$	5 ± 1	2,8

Максимальні значення товщини пагона були характерні для здерев'янілих саджанців обох гібридів із початковою довжиною 35–45 см та понад 50 см, що свідчить про оптимальність саме цих груп за рівнем розвитку наземної частини на ранніх етапах вирощування.

Менші значення товщини пагона у зелених саджанців можуть обмежувати їхню механічну стійкість і потенціал подальшого росту.

Показано, що кількість листків зростала зі збільшенням довжини саджанців, що відображає активізацію фотосинтетичної діяльності на початкових етапах розвитку. Зокрема, здерев'янілі саджанці формували 4–6 листків, тоді як зелені – 3–5 (табл. 2).

На 90-ту добу спостережень морфометричні показники надземної частини саджанців рододендронів виявили чітку залежність від типу саджанців та їхньої початкової довжини. Здерев'янілі саджанці обох сортів достовірно переважали зелені аналоги за довжиною пагонів і товщиною стебла, що свідчить про стабільніший старт росту та вищу фізіологічну готовність до укорінення.

Найкоротші саджанці (10–15 см) формували пагони завдовжки 10–12 см і товщиною 2,4–2,8 мм, тоді як саджанці початковою довжиною понад 50 см – пагони завдовжки 20–25 см і товщиною 3,5–4,0 мм. Порівняно з 30-ю добою вирощування на 90-ту добу довжина пагонів істотно зростала в усіх варіантах досліду та чітко залежала від типу саджанців і їхньої початкової довжини. У всіх варіантах здерев'янілі саджанці формували довші пагони, ніж зелені, що вказує на вищу інтенсивність ростових процесів у рослин із більш сформованою наземною структурою.

У 'Helsinki University' довжина пагонів здерев'янілих саджанців збільшувалася від $12,5 \pm 0,8$ см у варіанті 10–15 см до $25,1 \pm 1,3$ см у саджанців початковою довжиною понад 50 см. Найінтенсивніший ріст пагонів відзначено у групах 35–45 см та понад 50 см, де значення показника перевищували 23 см. Зелені саджанці цього гібрида характеризувалися меншими значеннями довжини пагонів – від $10,2 \pm 0,7$ до $21,3 \pm 1,2$ см залежно від довжини живців.

Аналогічна закономірність простежувалася і в 'Azurro'. У здерев'янілих саджанців довжина пагонів зростала від $11,8 \pm 0,9$ см у варіанті 10–15 см до $24,5 \pm 1,4$ см у найбільш розвинених рослин. Зелені саджанці формували коротші пагони, довжина яких коливалася в межах $10,0 \pm 0,8$ – $20,8 \pm 1,2$ см (табл. 3).

Таблиця 3

Морфометричні показники наземної частини саджанців рододендронів на 90-ту добу

Гібрид	Тип живця	Довжина саджанців, см	Довжина пагона, см	Товщина пагона, мм	Кількість листків, шт.	НІР _{0,05}
'Helsinki University'	Здерев'янілі	10–15	$12,5 \pm 0,8$	$2,8 \pm 0,2$	8 ± 1	3,1
		20–30	$18,2 \pm 1,0$	$3,2 \pm 0,3$	12 ± 1	2,9
		35–45	$23,8 \pm 1,2$	$3,8 \pm 0,3$	15 ± 2	2,6
		>50	$25,1 \pm 1,3$	$4,0 \pm 0,4$	16 ± 2	2,7
	Зелені	10–15 К	$10,2 \pm 0,7$	$2,5 \pm 0,2$	7 ± 1	3,2
		20–30	$14,5 \pm 0,9$	$2,9 \pm 0,2$	10 ± 1	3,0
		35–45	$19,7 \pm 1,1$	$3,4 \pm 0,3$	13 ± 2	2,7
		>50	$21,3 \pm 1,2$	$3,6 \pm 0,3$	14 ± 2	2,8
'Azurro'	Здерев'янілі	10–15	$11,8 \pm 0,9$	$2,7 \pm 0,2$	8 ± 1	3,0
		20–30	$17,5 \pm 1,1$	$3,1 \pm 0,3$	11 ± 1	2,8
		35–45	$22,9 \pm 1,3$	$3,7 \pm 0,3$	15 ± 2	2,5
		>50	$24,5 \pm 1,4$	$3,9 \pm 0,4$	16 ± 2	2,6
	Зелені	10–15	$10,0 \pm 0,8$	$2,4 \pm 0,2$	7 ± 1	3,2
		20–30	$14,0 \pm 0,9$	$2,8 \pm 0,3$	10 ± 1	3,0
		35–45	$19,0 \pm 1,1$	$3,3 \pm 0,3$	13 ± 2	2,7
		>50	$20,8 \pm 1,2$	$3,5 \pm 0,3$	14 ± 2	2,8

Загалом максимальні значення довжини пагонів на 90-ту добу були характерні для здерев'янілих саджанців обох гібридів із початковою довжиною 35–45 см та понад 50 см. Кількість листків також істотно зростала зі збільшенням довжини саджанців: у найкоротших

рослин формувалося 7–8 листків, тоді як у найдовших – 14–16 листків. Виявлені відмінності між типами саджанців і довжинами були статистично значущими, що підтверджує важливість оптимального добору садивного матеріалу для забезпечення ефективного укорінення та інтенсивного подальшого росту рододендронів (табл. 3).

На 30-ту добу вирощування формування кореневої системи саджанців рододендронів істотно залежало від типу саджанців та їхньої початкової довжини. Здерев'янілі саджанці обох гібридів формували значно більш розвинену кореневу систему: довжина коренів досягала 6,5–6,8 см за кількості 10–11 коренів, тоді як у зелених саджанців довжина коренів була меншою (3,0–5,0 см), а кількість коренів становила лише 4–8 шт.

Найменш розвинена коренева система спостерігалася у найкоротших саджанців (10–15 см) незалежно від типу. При цьому здерев'янілі саджанці обох гібридів характеризувалися суттєво інтенсивнішим коренеутворенням порівняно із зеленими. Зокрема, у 'Helsinki University' довжина кореневої системи у здерев'янілих саджанців становила $4,2 \pm 0,5$ см за початкової довжини 10–15 см і поступово зростала до $6,8 \pm 0,5$ см у варіанті 35–45 см. Одночасно кількість коренів збільшувалася з 6 ± 1 до 11 ± 2 шт. Максимальні показники формування кореневої системи відмічено саме у саджанців середньої довжини (35–45 см), тоді як подальше збільшення довжини саджанців понад 50 см не супроводжувалося істотним зростанням кореневих параметрів ($6,5 \pm 0,6$ см і 10 ± 2 коренів).

Аналогічна закономірність встановлена і у гібрида 'Azurro'. У здерев'янілих саджанців довжина коренів зростала з $4,0 \pm 0,4$ см у варіанті 10–15 см до $6,5 \pm 0,5$ см у групі 35–45 см, а кількість коренів – з 5 ± 1 до 10 ± 2 шт. Подовження саджанців понад 50 см також не забезпечувало істотної переваги за розвитком кореневої системи, що підтверджує оптимальність середнього розміру саджанців для раннього етапу коренеутворення.

Зелені саджанці незалежно від гібрида формували менш розвинену кореневу систему. У 'Helsinki University' довжина коренів коливалася в межах $3,2 \pm 0,4$ – $5,0 \pm 0,6$ см, а кількість коренів – 5 ± 1 – 8 ± 2 шт. В 'Azurro' ці показники були ще нижчими – $3,0 \pm 0,3$ – $4,8 \pm 0,5$ см за кількості 4 ± 1 – 7 ± 1 корінь. Найменші значення зафіксовано у найкоротших зелених саджанців (10–15 см), що свідчить про недостатній запас пластичних речовин та нижчу фізіологічну готовність до коренеутворення (табл. 4).

Таблиця 4

Показники розвитку кореневої системи саджанців рододендронів на 30-ту добу

Гібрид	Тип живця	Довжина саджанців, см	Довжина кореневої системи, см	Кількість коренів, шт.	HP _{0,05}
'Helsinki University'	Здерев'янілі	10–15	$4,2 \pm 0,5$	6 ± 1	0,8
		20–30	$5,5 \pm 0,6$	8 ± 1	0,9
		35–45	$6,8 \pm 0,5$	11 ± 2	1,0
		> 50	$6,5 \pm 0,6$	10 ± 2	0,9
	Зелені	10–15 К	$3,2 \pm 0,4$	5 ± 1	0,8
		20–30	$4,3 \pm 0,5$	6 ± 1	0,9
		35–45	$5,0 \pm 0,6$	8 ± 2	1,0
		> 50	$4,8 \pm 0,5$	7 ± 1	0,9
'Azurro'	Здерев'янілі	10–15	$4,0 \pm 0,4$	5 ± 1	0,8
		20–30	$5,2 \pm 0,5$	7 ± 1	0,9
		35–45	$6,5 \pm 0,5$	10 ± 2	1,0
		> 50	$6,3 \pm 0,6$	9 ± 2	0,9
	Зелені	10–15	$3,0 \pm 0,3$	4 ± 1	0,8
		20–30	$4,0 \pm 0,4$	5 ± 1	0,9
		35–45	$4,8 \pm 0,5$	7 ± 1	1,0
		> 50	$4,5 \pm 0,5$	6 ± 1	0,9

Отримані результати підтверджують, що тип саджанців є визначальним чинником формування кореневої системи рододендронів на ранніх етапах розвитку. Здерев'янілі саджанці забезпечують кращу ініціацію та інтенсивніший розвиток коренів, тоді як зелені характеризуються уповільненим коренеутворенням і меншою кількістю адвентивних коренів. Значення $HP_{0,05}$ (0,8–1,0) підтверджують статистичну достовірність виявлених відмінностей між варіантами досліду (табл. 4).

Таким чином, на 30-ту добу культивування найбільш сприятливими для формування кореневої системи рододендронів були здерев'янілі саджанці довжиною 35–45 см, які забезпечували оптимальне співвідношення між довжиною коренів і кількістю сформованих кореневих утворень.

Результати подальших спостережень засвідчили, що на 90-ту добу вегетації саджанці характеризувалися загалом добрим розвитком кореневої системи. Найінтенсивніше коренеутворення відмічено у здерев'янілих саджанців середньої та великої довжини (20–45 см), у яких довжина коренів становила 8,5–10,2 см, а кількість коренів – 13–16 шт. (табл. 5).

Таблиця 5

Показники розвитку кореневої системи саджанців рододендронів на 90-ту добу

Гібрид	Тип живця	Довжина саджанців, см	Довжина кореневої системи, см	Кількість коренів, шт.	$HP_{0,05}$
'Helsinki University'	Здерев'янілі	10–15	$6,8 \pm 0,6$	10 ± 2	1,0
		20–30	$8,5 \pm 0,7$	13 ± 2	1,1
		35–45	$10,2 \pm 0,8$	16 ± 3	1,2
		> 50	$9,8 \pm 0,7$	15 ± 3	1,1
	Зелені	10–15 К	$5,2 \pm 0,5$	7 ± 1	0,9
		20–30	$6,8 \pm 0,6$	10 ± 2	1,0
		35–45	$8,0 \pm 0,7$	12 ± 2	1,1
		> 50	$7,5 \pm 0,6$	11 ± 2	1,0
'Azurro'	Здерев'янілі	10–15	$6,5 \pm 0,6$	9 ± 2	1,0
		20–30	$8,2 \pm 0,7$	12 ± 2	1,1
		35–45	$9,8 \pm 0,8$	15 ± 3	1,2
		> 50	$9,5 \pm 0,7$	14 ± 3	1,1
	Зелені	10–15	$5,0 \pm 0,5$	6 ± 1	0,9
		20–30	$6,5 \pm 0,6$	9 ± 2	1,0
		35–45	$7,8 \pm 0,7$	11 ± 2	1,1
		> 50	$7,3 \pm 0,6$	10 ± 2	1,0

Водночас зелені саджанці формували менш розвинену кореневу систему – довжина коренів коливалася в межах 5,0–8,0 см, а кількість коренів становила 6–12 шт., що підтверджує їх нижчу стійкість та вкорінюваність на ранніх етапах розвитку. Загалом результати обліків на 90-ту добу засвідчили позитивну динаміку формування кореневої системи у всіх досліджуваних варіантах незалежно від культивара, проте інтенсивність коренеутворення істотно залежала від типу та довжини саджанців.

Найбільш розвинену кореневу систему сформували здерев'янілі саджанці середньої та значної довжини (20–45 см). Зокрема, у 'Helsinki University' довжина кореневої системи в цих варіантах досягала $8,5 \pm 0,7$ – $10,2 \pm 0,8$ см, а кількість коренів становила 13 ± 2 – 16 ± 3 шт. В 'Azurro' максимальні показники зафіксовано у здерев'янілих саджанців 35–45 см – $9,8 \pm 0,8$ см за кількості коренів 15 ± 3 шт. Подальше збільшення довжини саджанців понад 50 см не супроводжувалося істотним поліпшенням параметрів коренів, що свідчить про відсутність лінійної залежності між довжиною саджанців і розвитком кореневої системи на пізніших етапах укорінення.

Зелені саджанці обох гібридів відзначалися менш інтенсивним коренеутворенням. У 'Helsinki University' довжина кореневої системи становила $5,2 \pm 0,5$ – $8,0 \pm 0,7$ см, а кількість

коренів – 7 ± 1 – 12 ± 2 шт. Для 'Azurro' ці показники були дещо нижчими – $5,0 \pm 0,5$ – $7,8 \pm 0,7$ см та 6 ± 1 – 11 ± 2 шт. відповідно. Найменші значення стабільно відмічали у коротких зелених саджанців (10–15 см), що свідчить про обмежені адаптаційні можливості таких рослин навіть за подовженого періоду вегетації (табл. 5).

Порівняльний аналіз показників, отриманих на 30-ту та 90-ту добу, засвідчив, що здерев'янілі саджанці не лише раніше ініціюють утворення коренів, але й зберігають перевагу за всіма показниками розвитку кореневої системи впродовж подальшого росту. Значення $HP_{0,05}$ (0,9–1,2) підтверджують статистичну достовірність виявлених відмінностей між типами та довжиною саджанців (табл. 5).

Отже, на 90-ту добу культивування найефективніше формування кореневої системи забезпечують здерев'янілі саджанці рододендронів довжиною 20–45 см, що дає підстави вважати їх оптимальними для подальшого дорощування та практичного використання у декоративному розсадництві.

Висновки

Приживлюваність саджанців рододендронів на 30-ту добу істотно залежала від довжини та морфотипу саджанців. Найбільше життєздатних рослин із сформованою кореневою системою відмічено у здерев'янілих саджанців довжиною 35–45 см: у гібрида 'Helsinki University' – 65 ± 3 %, у 'Azurro' – 63 ± 3 %. Зелені саджанці характеризувалися нижчими показниками приживлюваності, що становили відповідно 45 ± 3 % та 43 ± 3 %.

Частка життєздатних саджанців без коренів (із калюсом або початковими ознаками коренеутворення) коливалася в межах 20 ± 2 – 25 ± 3 % у здерев'янілих та 25 ± 2 – 25 ± 4 % у зелених саджанців, що свідчить про збереження потенціалу ростових меристем на ранніх етапах укорінення.

Некротичні та нежиттєздатні саджанці частіше траплялися серед коротких (< 20 см) і зелених варіантів. Максимальну частку некротичних рослин зафіксовано у зелених саджанців завдовжки 10–15 см: 'Helsinki University' – 50 ± 6 %, 'Azurro' – 52 ± 5 %.

Морфометричні показники наземної частини на 30-ту та 90-ту добу підтвердили перевагу здерев'янілих саджанців за інтенсивністю росту та листоутворення. Зокрема, на 30-ту добу довжина пагона у здерев'янілих саджанців становила $8,2 \pm 0,5$ см у 'Helsinki University' і $8,0 \pm 0,6$ см в 'Azurro', а кількість листків – у середньому 5 ± 1 шт. У зелених саджанців ці показники були нижчими. На 90-ту добу довжина пагона зросла до $18,5 \pm 0,8$ см у 'Helsinki University' та $17,9 \pm 0,7$ см в 'Azurro', що свідчить про стабільну динаміку ростових процесів.

Формування кореневої системи на 30-ту добу також було інтенсивнішим у здерев'янілих саджанців: довжина кореневої системи становила $12,5 \pm 0,7$ см у 'Helsinki University' та $12,0 \pm 0,6$ см в 'Azurro', за кількості коренів 8 ± 1 та 7 ± 1 шт. відповідно. Зелені саджанці характеризувалися достовірно нижчими показниками розвитку кореневої системи (довжина $10,2 \pm 0,6$ см, кількість коренів 5 ± 1 шт.), що вказує на їх меншу адаптаційну здатність на початкових етапах укорінення.

Використана література

1. Вегера Л. В. Фенологічні групи квітучих рододендронів, інтродукованих у дендропарку «Софіївка». *Вивчення онтогенезу рослин природних та культурних флор у ботанічних закладах Європи* : матеріали 10 Міжнародної конференції. Умань, 1998. С. 28–30.
2. Кияк В. Г. Онтогенез і структура популяцій *Rhododendron myrtifolium* Schott. et Kotschy в Українських Карпатах. *Наукові записки Державного природознавчого музею*. 2009. Вип. 25. С. 45–52.
3. Wang S., Van Huylbroeck J., Zhang L.-H. Adaptability of *Rhododendron* species to climate and growth conditions at Lushan Botanical Garden. *Acta Horticulturae*. 2020. Vol. 1288. P. 131–138. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2020.1288.20>
4. Вегера Л. В. Насіннєве розмноження рододендронів в умовах Правобережного Лісостепу України. *Бюлетень Нікітського ботанічного саду*. 1999. Вип. 79. С. 26–31.

5. Маринін О., Машевська А. С. Екологічні особливості вирощування Рододендрона Сімса (*Rhododendron SIMSII*) в умовах закритого ґрунту. URL: <https://evnuir.vnu.edu.ua/bitstream/123456789/14699/1/Машевська%20129-131.pdf>
6. Parubok M. I., Osipov M. Yu., Voitovska V. I., Tretiakova S. O. Ecological and biological bases of RHODODENDRON introduction. *European scientific discussions. Abstracts of the 3rd International scientific and practical conference. Potere della ragione Editore*. Rome, Italy. 2021. P. 15–26. URL: <https://sci-conf.com.ua/iii-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-european-scientific-discussions-1-3-fevralya-2021-goda-rim-italiya-arhiv/>
7. Халимон О. В. Етапи формування колекції «Дендрарію Держсортмережі». *Plant Varieties Studying and Protection*. 2014. № 1. С. 58–64. [https://doi.org/10.21498/2518-1017.1\(22\).2014.56615](https://doi.org/10.21498/2518-1017.1(22).2014.56615)
8. Войтовська В. І., Українець О. А., Осіпов М. Ю., Масловата С. А. Особливості стерилізації різних експлантів рододендронів (*Rhododendron L.*) і введення їх в умови *in vitro*. *Новітні агротехнології*. 2020. № 8. <https://doi.org/10.47414/na.8.2020.231231>
9. Войтовська В. І., Парубок М. І., Масловата С. А., Бойко А. І. Життєздатність експлантів різних культиварів рододендрону залежно від виду агента стерилізації. *Новітні агротехнології*. 2021. № 9. <https://doi.org/10.21498/na.9.2021.256133>
10. Войтовська В. І., Парубок М. І., Безлатня Л. О., Зінченко О. А. Клональне мікророзмноження рододендронів залежно від сортових особливостей та типу середовища. *Новітні агротехнології*. 2022. Т. 10, № 1. <https://doi.org/10.47414/na.10.1.2022.265110>
11. Пиж'янова А. А., Балабак А. Ф. Вплив сорту і типу пагона на укорінюваність зелених стеблових живців голубики високорослої (*Vaccinium corymbosum L.*). *Plant Varieties Studying and Protection*. 2013. № 2. С. 42–45. [https://doi.org/10.21498/2518-1017.2\(19\).2013.58546](https://doi.org/10.21498/2518-1017.2(19).2013.58546)
12. Марковська О. Є., Дудченко В. В., Стеценко І. І. Моніторинг хвороб рослин роду *Lavandula L.* *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 122. С. 72–78. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.122.10>
13. Мартієнко Н. С. Вегетативне розмноження сортів лаванди вузьколистої в умовах Одеської області. *Збірник матеріалів науково-практичної конференції «Нетрадиційні плодіві, лікарські та ефіроолійні культури: вирощування та напрямки використання»*. Одеса : ІКОСГ НААН, 2024. С. 14. URL: <https://icsanaas.com.ua/wp-content/uploads/2024/12/Збірник-матеріалів-конференції-27-вересня-2024-року.pdf>
14. Балабак О. А. Біологічні особливості адвентивного коренеутворення у стеблових живців дерену справжнього (*Cornus mas L.*). *Агробіологія*. 2012. № 9. С. 99–102.
15. Клименко С. В. Кизил в Україні: біологія, вирощування, сорти. Київ : Фітосоціо-центр, 2000. 92 с.
16. Nawrocka-Grzeškowiak U. Effect of growth substances on the rooting of cuttings of rhododendron species. *Folia Horticulturae*. 2004. Vol. 16. P. 115–123.
17. Ferus P., Konôpková J., Bošiaková D., Hořka P. Effective rhododendron propagation through stem cuttings. *Journal of Applied Horticulture*. 2017. Vol. 19, Iss. 3. P. 226–229.
18. Jones J. R., LeBude A. V., Ranney T. G. Vegetative propagation of Oconee azalea (*Rhododendron flammeum*) by stem cuttings and mound layering. *Journal of Environmental Horticulture*. 2010. Vol. 28, Iss. 2. P. 69–73. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-28.2.69>
19. Кохановський В. М., Барна М. М., Барна Л. С., Мельник Т. І. Методичні аспекти оцінювання деревних рослин відділу *Magnoliophyta* за сукупністю морфологічних ознак та ознак життєздатності. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Агронія і біологія*. 2020. Вип. 1. С. 45–54.
20. Сидоренко І. О. Методика оцінювання декоративності рослин видів роду *Rhododendron L.* *Наукові доповіді Національного аграрного університету*. 2008. № 3. С. 1–16.
21. Кондратович Р. Я. Рододендрони в Латвійській РСР. Рига : Зінатне, 1981. 332 с.
22. Вітенко В. А., Баюра О. М., Козаченко І. В. Методика комплексного оцінювання стану деревних рослин на прикладі декоративних форм *Morus alba L.* *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Т. 29, № 7. С. 13–16. <https://doi.org/10.15421/40290702>

References

1. Vehera, L. V. (1998). Phenological groups of flowering rhododendrons introduced in the Sofiivka Arboretum. In *Study of the ontogeny of plants of natural and cultivated floras in botanical institutions of Eurasia: proceedings of the 10th International Conference* (pp. 28–30). Uman. [In Ukrainian]
2. Kyiak, V. H. (2009). Ontogenesis and population structure of *Rhododendron myrtifolium* Schott. et Kotschy in the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the State Natural History Museum*, 25, 45–52. [In Ukrainian]
3. Wang, S., Van Huylenbroeck, J., & Zhang, L.-H. (2020). Adaptability of *Rhododendron* species to climate and growth conditions at Lushan Botanical Garden. *Acta Horticulturae*, 1288, 131–138. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2020.1288.20>
4. Vehera, L. V. (1999). Seed reproduction of rhododendrons in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Bulletin of the Nikitsky Botanical Garden*, 79, 26–31. [In Ukrainian]
5. Marynin, O., & Mashevskaya, A. S. (n.d.). Ecological features of growing Sims' Rhododendron (*Rhododendron simsii*) in greenhouse conditions. <https://evnuir.vnu.edu.ua/bitstream/123456789/14699/1/Машевська%20129-131.pdf> [In Ukrainian]
6. Parubok, M. I., Osipov, M. Yu., Voitovska, V. I., & Tretiakova, S. O. (2021). Ecological and biological bases of *Rhododendron* introduction. In *European scientific discussions. Abstracts of the 3rd International scientific and practical conference* (pp. 15–26). Potere della ragione Editore. <https://sci-conf.com.ua/iii-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-european-scientific-discussions-1-3-fevralya-2021-goda-rim-italiya-arhiv/> [In Ukrainian]
7. Khalymon, O. V. (2014). Stages of formation of collection “Arboretum of State variety network”. *Plant Varieties Studying and Protection*, 1, 58–64. [https://doi.org/10.21498/2518-1017.1\(22\).2014.56615](https://doi.org/10.21498/2518-1017.1(22).2014.56615) [In Ukrainian]
8. Voitovska, V. I., Ukrainets, O. A., Osipov, M. Yu., & Maslovata, S. A. (2020). Features of sterilization of various explants of rhododendrons (*Rhododendron* L.) and their introduction *in vitro*. *Advanced Agritechnologies*, 8. <https://doi.org/10.47414/na.8.2020.231231> [In Ukrainian]
9. Voitovska, V. I., Parubok, M. I., Maslovata, S. A., & Boiko, A. I. (2021). Viability of explants of different rhododendron cultivars as affected by the type of sterilizing agent. *Advanced Agritechnologies*, 9. <https://doi.org/10.47414/na.9.2021.256133> [In Ukrainian]
10. Voitovska, V. I., Parubok, M. I., Bezlatnia, L. O., & Zinchenko, O. A. (2022). Clonal micropropagation of rhododendrons as affected by varietal characteristics and nutrient media. *Advanced Agritechnologies*, 10(1). <https://doi.org/10.47414/na.10.1.2022.265110> [In Ukrainian]
11. Pyzhianova, A. A., & Balabak, A. F. (2013). Influence of variety and type of shoot on rooting ability of green stem cuttings of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *Plant Varieties Studying and Protection*, 2, 42–45. [https://doi.org/10.21498/2518-1017.2\(19\).2013.58546](https://doi.org/10.21498/2518-1017.2(19).2013.58546) [In Ukrainian]
12. Markovska, O. Ye., Dudchenko, V. V., & Stetsenko, I. I. (2021). Monitoring of diseases of plants of the genus *Lavandula* L. *Taurida Scientific Herald*, 122, 72–78. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.122.10> [In Ukrainian]
13. Martiienko, N. S. (2024). Vegetative propagation of narrow-leaved lavender cultivars in the conditions of the Odesa region. In *Collection of materials of the scientific and practical conference "Non-traditional fruit, medicinal and essential oil crops: cultivation and areas of use."* (p. 14). Odesa. [In Ukrainian]
14. Balabak, O. A. (2012). Biological features of adventitious root formation in stem cuttings of Cornelian cherry (*Cornus mas* L.). *Agrobiologia*, 9, 99–102. [In Ukrainian]
15. Klymenko, S. V. (2000). *Cornelian cherry in Ukraine: Biology, cultivation, cultivars*. Fitosotsiotsentr. [In Ukrainian]
16. Nawrocka-Grześkowiak, U. (2004). Effect of growth substances on the rooting of cuttings of *Rhododendron* species. *Folia Horticulturae*, 16, 115–123.
17. Ferus, P., Konôpková, J., Bošiaková, D., & Hořka, P. (2017). Effective *Rhododendron* propagation through stem cuttings. *Journal of Applied Horticulture*, 19(3), 226–229.

18. Jones, J. R., LeBude, A. V., & Ranney, T. G. (2010). Vegetative propagation of *Ocotea azalea* (*Rhododendron flammeum*) by stem cuttings and mound layering. *Journal of Environmental Horticulture*, 28(2), 69–73. <https://doi.org/10.24266/0738-2898-28.2.69>

19. Kokhanovskiy, V. M., Barna, M. M., Barna, L. S., & Melnyk, T. I. (2020). Methodological aspects of evaluation of ornamental woody plants of the *Magnoliophyta* division according the complex of morphological signs and signs of vitality. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. Agronomy and Biology*, 1, 45–54. [In Ukrainian]

20. Sydorenko, I. O. (2008). Methodology for evaluating the decorative value of plants of the genus *Rhododendron* L. *Scientific Reports of the National Agrarian University*, 3, 1–16. [In Ukrainian]

21. Kondratovych, R. Ya. (1981). *Rhododendrons in the Latvian SSR*. Zinatne.

22. Vitenko, V. A., Baiura, O. M., & Kozachenko, I. V. (2019). Methodology for the comprehensive assessment of the state of decorative plants on the example of decorative forms of *Morus alba* L. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(7), 13–16. <https://doi.org/10.15421/40290702> [In Ukrainian]

UDC 582.5:635.64

Parubok, M. I.¹, Prytula, O. V.¹, Daniuk, M. S.², & Kotuniuk, Z. I.¹ (2025). Peculiarities of growth and development of rhododendron seedlings depending on cutting length and morphotype. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 33, 61–72. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.349478> [In Ukrainian]

¹*Uman National University, 1 Institutaska St., Uman, Cherkassy region, 20305, Ukraine, *e-mail: m.parubok69@gmail.com*

²*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine*

Aim. To establish the influence of cutting length and morphotype on the growth, development, and survival of rhododendron seedlings, as well as to assess morphometric parameters of the aboveground part and root system at early stages of cultivation. **Methods.** The study was conducted in the nursery garden of the Uman National University using seedlings of rhododendron varieties ‘Helsinki University’ and ‘Azurro’. The experiment used green and lignified cuttings of 10–15, 20–30, 35–45, and over 50 cm in length. Cuttings were planted in containers with standard substrate (pH 5.5–6.0). Records were taken on the 30th and 90th day after planting, assessing survival (viable with roots, viable without roots, non-viable), morphometric parameters of the aerial part, and root system. **Results.** The highest survival was ensured by lignified cuttings 35–45 cm long. On the 30th day, the proportion of viable seedlings with a formed root system in this variant was $65 \pm 3\%$ in ‘Helsinki University’ and $63 \pm 3\%$ in ‘Azurro’, whereas in green cuttings of the same length it did not exceed $45 \pm 3\%$ and $43 \pm 3\%$, respectively. Short cuttings (10–15 cm), especially green ones, were characterised by the highest proportion of necrotic plants (up to 50–52%), due to limited adaptive capacity and lower physiological maturity. The proportion of viable rootless seedlings with callus ranged from 20–25%, indicating potential for further root formation. Morphometric parameters of the aerial part on the 30th and 90th day were significantly higher in lignified seedlings: they formed longer and thicker shoots and a greater number of leaves. Root system formation was also more intensive in lignified cuttings, especially of medium length, which had an optimal ratio between root length and number. **Conclusions.** Cutting morphotype and length are decisive factors for survival and initial growth of rhododendron seedlings. For practical use in ornamental nurseries, it is advisable to use lignified cuttings 35–45 cm long, which ensure maximum plant viability, intensive root and shoot formation, and stable plant development.

Keywords: seedling survival; vegetative propagation; cutting morphotype; lignified cuttings; green cuttings; cutting length; plant growth and development; morphometric parameters; root formation.

Надійшла / Received 17.09.2025

Погоджено до друку / Accepted 11.11.2025

Опубліковано онлайн / Published online 29.12.2025

УДК 633.491:631.526.32:581.132.1(477.41) DOI: <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.349612>

Адаптивні механізми водного режиму в сортів картоплі різних груп стиглості в умовах абіотичного стресу Житомирського Полісся (Україна)

 Н. В. Писаренко¹,  М. М. Фурдига²,  Н. А. Захарчук^{2*},  В. В. Гордієнко²

¹Поліське дослідне відділення Інституту картоплярства НААН, вул. Центральна, 6, с. Федорівка, Коростенський р-н, Житомирська обл., 11699, Україна

²Інститут картоплярства НААН, вул. Ярослава Мудрого, 22, сел. Немішаєве, Бучанський р-н, Київська обл., 07853, Україна, *e-mail: vs_potato@meta.ua

Мета. Встановити особливості динаміки коефіцієнтів водоутримання (Кву) та водовідновлення (Квв) у сортів картоплі різних груп стиглості протягом фенофаз, чутливих до абіотичного стресу, в умовах Житомирського Полісся для ідентифікації сортових реакцій на дефіцит вологи. **Методи.** У 2023–2024 рр. досліджено адаптивний водний режим 43 сортів картоплі різної стиглості в посушливих умовах Житомирського Полісся. Вперше встановлено зв'язок динаміки Кву і Квв із рівнем посухи (ГТК). Виокремлено ефективні адаптаційні стратегії у сортів-лідерів, цінних для селекції на посухостійкість. Облік проводили в чотири фази: бутонізація, початок цвітіння, активне бульбоутворення, інтенсивне накопичення врожаю. **Результати.** Агрокліматичні умови (ГТК = 0,01–0,96) дали змогу оцінити сортові реакції на стрес різної інтенсивності. Адаптивні реакції сортів значною мірою залежали від тривалості вегетації та рівня посухи в період фенофази. У ранньостиглих сортів зафіксовано стрімке зниження Кву і Квв у пізні фази розвитку внаслідок поєднання водного дефіциту та вікових змін листя. Переваги проявлялись на ранніх етапах, де Кву у 2024 р. демонстрував тісну кореляцію з ГТК. Середньоранні сорти підтримували високий рівень Кву до фази активного бульбоутворення і стабільний Квв за дефіциту вологи ($r = 0,749$), що свідчить про ефективну регідrataцію листя. Помірна позитивна кореляція Кву з ГТК ($r = 0,471$) вказує на стабільність водоутримання. Середньостиглі сорти характеризувалися найвищою адаптивною стабільністю, з мінімальним зниженням Кву та максимальними показниками Квв в стресових умовах. Це підтверджується помірно позитивною кореляцією Кву з ГТК ($r = 0,402$) і більшою кореляцією Квв ($r = 0,603$), що вказує на взаємопов'язане функціонування механізмів утримання та відновлення води за умов змінного зволоження. У 2024 р. від'ємна кореляція між Квв і ГТК ($r = -0,859$) свідчить про зростання ролі внутрішніх компенсаторних механізмів. Ідентифіковано сорти-лідери за ефективністю адаптаційних механізмів. Ранні: 'Слаута', 'Радомисль', 'Тирас'. Середньоранні: 'Містерія', 'Фанатка', 'Вигода', 'Меланія'. Середньостиглі: 'Мирослава', 'Родинна', 'Фотинія', 'Житниця', 'Марфуша', 'Сингаївка'. **Висновок.** Ієрархічна кластеризація виявила закономірності формування адаптивних стратегій. Високі значення Кву ($\geq 70,0\%$) встановлено в сортів 'Містерія', 'Щедрик', 'Вигода', 'Родинна', 'Сингаївка', 'Фотинія', 'Марфуша', 'Олександрит', 'Меланія', 'Багряна', 'Джавеліна', 'Мирослава'. З вищим проявом Квв ($\geq 90,0\%$) виокремлено сорти: 'Містерія', 'Арія', 'Скарбниця', 'Вигода', 'Родинна', 'Фотинія', 'Подолія', 'Альянс', 'Гурман', 'Авангард', 'Предслава', 'Олександрит', 'Мирослава' – як джерела ефективної регідrataції листя.

Ключові слова: *Solanum tuberosum*; фенофази розвитку; водний дефіцит; фізіологічні показники; кореляційний аналіз; селекційна цінність.

Як цитувати: Писаренко Н. В., Фурдига М. М., Захарчук Н. А., Гордієнко В. В. Адаптивні механізми водного режиму в сортів картоплі різних груп стиглості в умовах абіотичного стресу Житомирського Полісся (Україна). *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2025. Вип. 33. С. 73–94. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.349612>



© The Author(s) 2025. Published by Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Вступ

Сільське господарство відіграє ключову роль у забезпеченні життєдіяльності людства, проте в умовах глобальних кліматичних змін воно стає все більш вразливим. Глобальне потепління супроводжується зростанням частоти екстремальних погодних явищ, нестабільністю опадів, тривалими посухами та локальними повеннями, що негативно впливає на врожайність сільськогосподарських культур [1–3].

Крім того, ці зміни порушують екологічну рівновагу агроєкосистем і ускладнюють захист рослин від шкідників і хвороб [4, 5]. У контексті кліматичних викликів усе більше уваги приділяється дослідженню адаптивних механізмів культурних рослин до стресових факторів довкілля, зокрема водного дефіциту. За останні роки спостерігається зростання кількості наукових праць, присвячених впливу зміни клімату на галузь картоплярства, що підкреслює актуальність проблеми та потребу у розробці нових селекційних і агротехнічних підходів [6–9].

Особливу увагу у цих дослідженнях приділяють абіотичним стресам – дефіциту вологи, температурним коливанням, засоленню ґрунтів – які чинять істотний вплив на фізіологічний стан рослин і формування врожаю [10–12]. Підвищення температурного фону та зменшення запасів продуктивної вологи у ґрунті сприяють інтенсифікації випаровування, що поглиблює водний дефіцит і ускладнює водозабезпечення культур на критичних етапах розвитку. Впродовж останніх 60 років клімат України зазнав суттєвих змін, серед яких домінує тенденція до прискореного зростання температури. Згідно з даними IPCC [13], темпи цього підвищення становлять 0,4–0,6 °C за десятиліття, що перевищує середньоєвропейські показники й у кілька разів випереджає глобальні. Особливо інтенсивно потепління відбувається в зонах Полісся та Лісостепу, де зимові температури зросли на 1,5–2 °C, а глибина промерзання ґрунту істотно зменшилася [14, 15]. Такі зміни клімату посилюють ризики водного стресу для культурних рослин, зокрема картоплі.

Абіотичний стрес негативно впливає на ріст, розвиток і продуктивність багатьох сільськогосподарських культур, серед яких особливе місце займає картопля (*Solanum tuberosum* L.) – важлива продовольча культура, що забезпечує значну частку раціону населення в багатьох країнах світу, зокрема в Україні [16]. У зв'язку з цим дослідження адаптивних властивостей різних сортів картоплі, зокрема їхнього водного режиму, набувають особливої значущості для регіонів із нестабільними умовами зволоження, таких як Полісся України. Це надзвичайно актуально з огляду на те, що саме в цьому регіоні зосереджено основні посівні площі картоплі – близько 60 %, тоді як ще 30 % припадає на Лісостеп [7].

Вивчення впливу абіотичних чинників на водний режим картоплі є актуальним напрямом сучасної агрофізіології, що має важливе значення для ідентифікації цінних генотипів з ефективними механізмами регуляції водного балансу, які можуть бути використані у селекційних програмах для підвищення посухостійкості нових сортів картоплі [17, 18]. Одним із ефективних шляхів адаптації культури до змін клімату є створення та впровадження у виробництво сортів з підвищеною стійкістю до посухи [19–21]. В умовах нестабільного зволоження, властивого більшості регіонів Полісся України, саме селекція на основі вивчення водного режиму рослин набуває особливої ваги як метод зниження втрат урожайності та підвищення адаптаційного потенціалу сортів.

У ряді досліджень підкреслено, що адаптаційна здатність картоплі до посушливих умов значною мірою залежить від ефективності її водоутримувальної здатності та здатності до водовідновлення [22, 23]. Дослідження Tito та ін. [24] показали, що підвищення температури на 1,3 °C і 2,6 °C від оптимальної для росту й розвитку картоплі (20–25 °C) призводить до зниження її врожайності на 87–97 % через порушення водообміну та припинення накопичення органічної маси. Це свідчить про критичну залежність фізіологічних процесів рослин від доступності вологи та потребу у формуванні сортів з вищим рівнем адаптивної реакції на стресові умови.

Ефективна оцінка водного режиму рослин є важливою умовою для виявлення генотипів, стійких до абіотичного стресу, та проведення цілеспрямованого селекційного добору. У сучасних дослідженнях все ширше застосовуються неінвазивні методи, що дозволяють

оперативно визначати стан водоутримання та водовідновлення рослин в умовах посухи. До таких методів належить інфрачервона термографія, яка базується на аналізі температури листової поверхні як непрямого показника інтенсивності транспірації [25]; ІЧ-спектроскопія (NIR, FTIR), що дозволяє без пошкоджень оцінити вміст води в рослинних тканинах [25]; а також вегетаційні індекси (NDVI, NDWI, MSI тощо), які розраховуються на основі супутникових або аерофотознімків і відображають зміни у водному балансі та загальному стані рослинного покриву [27]. Перспективним інструментом для селекційної практики є також використання фізіологічних показників водного режиму, зокрема коефіцієнтів водоутримання (Кву), водовідновлення (Квв) та посухостійкості (Кпс) [23, 28, 29]. Ці індикатори не дають прямої оцінки врожайності, проте відображають здатність рослин до швидкого відновлення фізіологічних, біохімічних і молекулярних процесів після дії стресу, що опосередковано пов'язане з підвищенням урожайності порівняно з нестійкими сортами. Застосування зазначених методик сприяє більш об'єктивній та масштабній ідентифікації адаптивно цінних генотипів у селекції. Таким чином, сучасні методи оцінки водного режиму відкривають нові можливості для точного фенотипування рослин за критеріями посухостійкості. У цьому контексті особливої актуальності набуває дослідження адаптаційних особливостей сортів картоплі різних груп стиглості до водного стресу в умовах Центрального Полісся України.

Мета дослідження – виявити адаптаційні механізми водного режиму сортів картоплі різних груп стиглості в умовах абіотичного стресу Центрального Полісся України шляхом комплексного аналізу динаміки коефіцієнтів водоутримання (Кву) та водовідновлення (Квв) протягом критичних фаз розвитку рослин та формування врожаю, з метою ідентифікації цінних генотипів для подальшого використання у селекційних програмах на підвищення посухостійкості.

Завдання дослідження: 1 Здійснити детальний фенотипічний аналіз 43 сортів картоплі різних груп стиглості за показниками Кву та Квв у ключові фенологічні фази (бутонізація, цвітіння, активне бульбоутворення, інтенсивне накопичення маси бульб) протягом вегетаційних сезонів 2023–2024 років, що характеризувалися різною інтенсивністю абіотичного стресу. 2. Оцінити реакцію та визначити специфічні адаптаційні відповіді сортів картоплі різних груп стиглості на водний стрес, використовуючи інтегральний підхід через кореляційний аналіз динаміки Кву та Квв із показниками гідротермічного коефіцієнта (ГТК). 3. Ідентифікувати сорти-лідери в межах кожної групи стиглості за стабільністю та високими значеннями Кву і Квв протягом вегетації, що є маркерами ефективних механізмів підтримання водного балансу в умовах дефіциту вологи. 4. Застосувати методи багатовимірного статистичного аналізу (ієрархічна кластеризація) до середніх значень Кву та Квв для виявлення закономірностей у формуванні адаптаційних стратегій водного режиму та виокремлення груп генотипів зі схожими реакціями на абіотичний стрес.

Актуальність проведеного дослідження зумовлена необхідністю виявлення сортів картоплі з високим адаптаційним потенціалом до абіотичного стресу в умовах змін клімату, що особливо важливо для зони Центрального Полісся України, де зростає частота та тривалість посух під час вегетації картоплі. Вивчення механізмів водоутримання та водовідновлення дозволяє обґрунтовано добирати генотипи для селекції картоплі на посухостійкість.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили в 2023–2024 рр. на базі лабораторії селекції та насінництва Поліського дослідного відділення Інституту картоплярства НААН України. Польові дослідження здійснювали в межах селекційної сівозміни (батьківський розсадник) на території Поліської дослідної станції ім. О. М. Засухіна, що географічно розташована поблизу села Федорівка, Коростенського району, Житомирської області, Україна (координати: 51°10'32" пн. ш., 28°39'12" сх. д.; висота над рівнем моря – близько 180 м).

Ґрунтовий покрив ділянки, де проводились польові дослідження, представлений дерново-підзолистими піщаними ґрунтами, характерними для Центрального Полісся України. Вони характеризуються легким гранулометричним складом, із часткою піску, що сягає 93–

96 %, та мінімальним вмістом глинистих фракцій (до 6,4 %). Агрохімічні показники свідчать про низький рівень родючості: вміст гумусу не перевищує 0,8 %, ємність катіонного обміну – 2,0–3,0 мг-екв/100 г ґрунту, рН сольової витяжки коливається в межах 4,0–4,6. Ці ґрунти вирізняються високою водопроникністю при одночасно низькій водоутримувальній здатності, що обумовлено перевагою некапілярних пор і практично повною відсутністю структури. У результаті, після короткочасних дощів волога швидко дренається з кореневмісного шару. Повна вологосемність не перевищує 21 %, що робить такі ґрунти вразливими до навіть короткочасних посушливих періодів. За таких умов у сортів картоплі різних груп стиглості передчасно проявляються ознаки водного стресу, навіть при помірному дефіциті опадів. Такі особливості фізикогідрологічного режиму підкреслюють актуальність вивчення адаптивних механізмів водного режиму в сортів картоплі, пристосованих до екстремальних умов легких дерново-підзолистих піщаних ґрунтів Полісся.

Предметом дослідження використано 43 сорти картоплі вітчизняної селекції, створені в науково-дослідних установах Інституту картоплярства НААН, Поліського дослідного відділення ІК НААН та ПрАТ НВО «Чернігівеліткартопля». Розподіл сортів за групами стиглості здійснювали на основі фактичної тривалості вегетаційного періоду культури, особливостей росту і розвитку, а також динаміки накопичення врожаю в агроекологічних умовах Центрального Полісся. Такий підхід дозволив об'єктивно оцінити адаптивні реакції сортів за механізмами водного режиму в умовах посушливих років досліджень. До ранньої групи (тривалість вегетації до 100 днів) віднесено сорти: 'Бажана', 'Взірець', 'Радомисль', 'Слаута', 'Тирас'. Середньоранню групу (тривалість вегетації 110–115 днів) склали сорти: 'Авангард', 'Арія', 'Вигода', 'Доброчин', 'Межирічка 11', 'Меланія', 'Містерія', 'Нагорода', 'Опілля', 'Партнер', 'Подолія', 'Світана', 'Скарбниця', 'Фанатка', 'Щедрик'. До середньостиглої групи (тривалість вегетації до 125 днів) увійшли сорти: 'Альянс', 'Багряна', 'Базалія', 'Вересівка', 'Володарка', 'Гурман', 'Джавеліна', 'Житниця', 'Іванківська рання', 'Лстана', 'Марфуша', 'Мирослава', 'Олександрит', 'Предслава', 'Родина', 'Роставиця', 'Серпанок', 'Сингаївка', 'Слов'янка', 'Сонцедар', 'Традиція', 'Фотинія', 'Чарунка'. Технологія вирощування сортів картоплі відповідала загальноприйнятій у виробничих умовах для даної ґрунтово-кліматичної зони. Вона передбачала застосування оптимальних норм мінеральних добрив, дотримання агротехнічних строків проведення польових робіт, а також комплекс заходів захисту рослин від основних хвороб і шкідників [30]. Садіння картоплі проводили у другій декаді травня. Для садіння використовували бульби масою 35–50 г. Схема розміщення рослин на дослідній ділянці становила 0,25 × 0,70 м. На кожній обліковій дворядковій ділянці висаджували 60 кущів. Площа облікової ділянки становила 10,5 м². Дослід закладено в триразовій повторності.

Інтенсивність посухи визначали за гідротермічним коефіцієнтом (ГТК) за формулою (1) Селянінова [31]:

$$ГТК = \frac{\sum r}{0.1 \times \sum t \cdot C}$$

де $\sum t$ – сума середньодобових температур >10 °С за період, $\sum r$ – сума опадів за той самий період (мм). Інтерпретація рівнів зволоження за шкалою ГТК: $< 0,4$ – дуже сильна посуха; від 0,4 до 0,5 – сильна посуха; від 0,6 до 0,7 – середня посуха; від 0,8 до 0,9 – слабка посуха; від 1,0 до 1,5 – достатньо волого; $> 1,5$ – надмірно волого.

Визначення коефіцієнтів водоутримання (Кву) та водовідновлення (Квв) листків картоплі проводили за методикою, наведеною у праці Григорюка та ін [32]. Для аналізу відбирали по 10 листків середнього ярусу на рослинах кожного сорту. Фізіологічні показники оцінювали у чотири строки впродовж вегетації: у фазах бутонізації, цвітіння, активного бульбоутворення та інтенсивного накопичення врожаю, з інтервалом між обліками 14 днів. У лабораторних умовах листки розміщували на стелажах у провітрюваному приміщенні за кімнатної температури на 24 години для часткового зневоднення. Після цього проводили контрольне зважування та занурювали зразки у воду на 24 години для відновлення водного балансу. Після насичення водою листки знову зважували. За отриманими даними обчислювали коефіцієнти Кву і Квв відповідно до формул 2, 3:

РОСЛИНИЦТВО

$$\text{водоутримання } K_{\text{ву}} = \frac{\text{Маса листків після підсихання}}{\text{Маса свіжих листків}} \times 100\%;$$

$$\text{водовідновлення } K_{\text{вв}} = \frac{\text{Маса листків після насичення водою}}{\text{Маса свіжих листків}} \times 100\%$$

Статистичну обробку експериментальних даних проводили за допомогою програмного пакета Microsoft Office®. Для оцінки середніх значень, коефіцієнтів варіації та кореляцій між параметрами використовували стандартні статистичні методи. Для побудови дендрограми, яка відображає результати кластерного аналізу, застосовували програму Python, зокрема бібліотеки matplotlib, seaborn та scipy.cluster.hierarchy.

Результати досліджень

Характеристика гідротермічних умов в період досліджень. У 2023 році травень характеризувався поступовим підвищенням середньої декадної температури від 10,4 °С до 17,5 °С, що супроводжувалося критично низькою кількістю опадів (ГТК ≤ 0,11), вказуючи на дефіцит вологи в ґрунті. У червні спостерігалось зростання середньої декадної температури від 16,9 °С на початку місяця до 20,7 °С наприкінці. Опади розподілилися нерівномірно, з найбільшою кількістю в II декаді (23 мм, ГТК = 1,22), що тимчасово покращило водний режим. Липень відзначався стабільно високими температурами (20,6–21,8 °С) та обмеженою кількістю опадів (4,5–14,0 мм). Гідротермічний коефіцієнт під час першого (I декада липня) та третього (III декада липня) обліків становив 0,64 та 0,68 відповідно, що свідчить про помірну посуху. Серпень розпочався підвищенням температури до 24,2 °С та найбільш сприятливими умовами зволоження (ГТК = 0,91 в I декаді), що позитивно вплинуло на фазу активного бульбоутворення (III облік). Однак до четвертого обліку (II декада серпня) опади практично припинилися (0,2 мм), а ГТК знизився до 0,01, вказуючи на вкрай посушливі умови. Таким чином, 2023 рік характеризувався поступовим підвищенням температури, відносно рівномірним розподілом опадів у червні та помірною посухою в липні – серпні. Найнесприятливіші умови зволоження спостерігалися у період четвертого обліку (серпень, II декада) (табл. 1).

У 2024 році погодні умови були менш стабільними. Весна була прохолоднішою, із середніми декадними температурами у травні 10,0–12,5 °С та критично низькою кількістю опадів (ГТК = 0,01), що призвело до дефіциту вологи. В червні температура коливалася в межах 18,5–21,7 °С, а розподіл опадів був нерівномірним: максимальна кількість опадів випала в II декаді (30 мм, ГТК = 1,62 – надмірне зволоження), проте вже в III декаді зволоження знизилося до ГТК = 0,01, що свідчить про різкий перехід до посушливих умов. Липень 2024 року був значно теплішим за 2023 рік (максимальна середня декадна температура 27,7 °С у II декаді) та характеризувався гострим дефіцитом опадів. Гідротермічний коефіцієнт під час першого (I декада липня) та другого (III декада липня) обліків становив 0,33 та 0,07 відповідно, що вказує на значну посуху. У серпні високі температури зберігалися, а в I декаді (період третього обліку) опади (21 мм, ГТК = 0,96) дещо покращили водний режим. Проте до четвертого обліку (II декада серпня) ГТК знизився до 0,04, спричинивши повернення до посушливих умов. Отже, 2024 рік характеризувався більшою амплітудою температурних коливань, різкими змінами рівня зволоження та вираженим дефіцитом опадів у травні-липні, що зумовило сильнішу посуху в ключові періоди вегетації. Незважаючи на тимчасове поліпшення водного режиму в I декаді серпня, загальний водний баланс був гіршим, ніж в 2023 році, через триваліший посушливий період.

Реакція груп стиглості сортів картоплі на водний стрес. Аналіз коефіцієнтів водоутримання ($K_{\text{ву}}$) та водовідновлення ($K_{\text{вв}}$), визначених у листках сортів картоплі різних груп стиглості, дозволив оцінити їхню реакцію на абіотичний стрес впродовж вегетації. У 2023 році, що характеризувався помірною посухою в липні – серпні (ГТК ≤ 0,68), в ранньостиглих сортів спостерігали поступове зниження коефіцієнта водоутримання ($K_{\text{ву}}$) на 9,2 % – від фази бутонізації – квітування до фази інтенсивного накопичення маси бульб. Це свідчить про зменшення здатності рослин утримувати вологу в умовах водного дефіциту.

Метеорологічні умови в роки досліджень та періоди відбору зразків

Рік	Місяць	Декада	Tavg, °C	Tmax, °C	Tmin, °C	Опади, мм	ГТК
2023	Травень	I	10,4	14,0	7,3	0,1	0,01
		II	14,5	18,3	8,3	0,1	0,01
		III	17,5	19,7	14,0	2,0	0,11
	Червень	I	16,9	20,3	12,7	13,0	0,77
		II	18,8	24,7	13,7	23,0	1,22
		III	20,7	23,3	17,7	15,3	0,74
	Липень	I*	21,8	25,0	17,7	14,0	0,64
		II	21,2	22,7	20,3	4,5	0,21
		III**	20,6	21,7	19,0	14,0	0,68
	Серпень	I***	24,2	29,3	20,3	22,0	0,91
		II****	24,0	27,3	20,7	0,2	0,01
		III	23,7	29,0	19,7	1,5	0,06
2024	Травень	I	12,5	19,0	5,0	0,1	0,01
		II	10,0	18,0	6,7	0,1	0,01
		III	20,1	21,7	18,7	3,0	0,15
	Червень	I	21,1	23,0	20,0	15,5	0,74
		II	18,5	20,7	15,3	30,0	1,62
		III	21,7	25,3	18,3	1,0	0,01
	Липень	I*	22,5	26,0	18,0	7,5	0,33
		II	27,7	31,3	22,0	3,0	0,01
		III**	22,4	25,7	18,7	1,5	0,07
	Серпень	I***	22	23,3	19,7	21,0	0,96
		II****	22,7	27,7	19,3	1,0	0,04
		III	24,6	27,0	20,7	9,0	0,37

Примітки. Tavg (°C) – середня температура декади; Tmax (°C) – середньомаксимальна температура декади; Tmin (°C) – середньомінімальна температура декади; Опади (мм) – кількість опадів за декаду; ГТК – гідротермічний коефіцієнт; * – перший облік (фаза бутонізації); ** – другий облік (фаза цвітіння); *** – третій облік (фаза активного бульбоутворення); **** – четвертий облік (фаза інтенсивного накопичення маси бульб).

Аналогічно, коефіцієнт водовідновлення (Квв) знизився на 11,8 %, що вказує на загальне ослаблення водного балансу рослин впродовж вегетації. У 2024 році, за умов більш інтенсивної посухи (особливо в липні), Кву на початкових фазах розвитку був вищим (68,0 %), однак у фазі інтенсивного накопичення маси бульб знизився на 13,8 %, що свідчить про втрату адаптаційного потенціалу при тривалому водному стресі. Квв залишався стабільно високим до фази активного бульбоутворення (93,4 %), проте на завершальному етапі розвитку знизився на 9,8 %. З огляду на відносно короткий вегетаційний період ранньостиглих сортів (80–100 днів), фаза інтенсивного накопичення маси бульб фактично є завершальним етапом формування врожаю. У цей період відбуваються природні фізіологічні зміни в листковому апараті, зокрема зниження метаболічної активності. Тому зменшення Кву та Квв у кінцевих фазах розвитку може бути зумовлене не лише водним стресом, а й віковими змінами рослин. Водночас посуха у 2023 та 2024 роках, ймовірно, посилила ці процеси, сприяючи більш швидкому зневодненню тканин. Кореляційний аналіз показав, що залежність Кву від ГТК у 2024 році ($r = 0,523$) була вищою, ніж у 2023 році ($r = 0,376$), що свідчить про більшу чутливість водоутримувальної здатності рослин до змін вологості ґрунту за умов сильнішої посухи. Водночас коефіцієнт кореляції між Квв та ГТК у 2023 році становив $r = 0,449$, а у 2024 році – $r = 0,467$. Це вказує на помірну позитивну залежність здатності рослин відновлювати

водний баланс від рівня вологозабезпечення, з незначним посиленням цієї тенденції в більш посушливому 2024 році.

Середньоранні сорти. У 2023 році середньоранні сорти картоплі демонстрували зростання коефіцієнта водоутримання (Кву) до фази квітування, досягаючи максимального значення (65,0 %). Одночасно коефіцієнт водовідновлення (Квв) у цей період становив 102,5 %, що свідчить про інтенсивні процеси відновлення водного балансу. В подальших фазах розвитку, а саме між активним бульбоутворенням та інтенсивним накопиченням маси бульб (між третім і четвертим обліками), зниження Кву було незначним (2,4 %), тоді як Квв зменшився на 9,5 %. Це вказує на відносну стабільність здатності рослин утримувати вологу навіть в умовах водного дефіциту, проте відновлювальна здатність у цей період знижується. У 2024 році, за умов вираженої посухи, середньоранні сорти характеризувалися вищою стабільністю механізмів водоутримання впродовж перших трьох обліків. Значення Кву залишалися високими (70,6–72,9 %), що свідчить про ефективне утримання вологи рослиною. Однак у фазі інтенсивного накопичення маси бульб спостерігали зниження Кву на 10,4 %, що вказує на значний вплив посухи (ГТК = 0,04) на пізніших етапах вегетації. Значення Квв залишалися відносно стабільними (94,0–98,9 %) до четвертого обліку, коли відбулося незначне зниження до 93,2 %, що свідчить про збереження здатності рослин до відновлення водного балансу. Порівняно з ранніми сортами, середньоранні сорти характеризуються тривалішим вегетаційним періодом (110–115 днів), що, ймовірно, забезпечило їм кращу здатність підтримувати водний баланс в умовах тривалого водного стресу. Попри загальне посилення посушливих умов у 2024 році, менш виражені втрати вологи в листках на пізніших стадіях розвитку, коли водний дефіцит досяг максимуму, можуть бути пов'язані з короткочасними змінами погодних умов. Зокрема, за третього обліку відмічено випадання опадів, що зумовили підвищення ГТК до 0,96, а також зниження температури повітря в першій та другій декадах серпня (порівняно з 2023 роком на 2,2 °C та 1,3 °C відповідно). Крім того, четвертий облік було проведено 15 серпня, тобто в середині другої декади, що могло дозволити рослинам частково використовувати запаси ґрунтової вологи, накопичені в першій декаді серпня. Кореляційний аналіз виявив, що зв'язок між Кву та ГТК в 2023 році ($r = 0,467$) був вищим, ніж у 2024 році ($r = 0,381$), що може свідчити про тенденцію до зниження чутливості водоутримувальної здатності рослин до змін вологості ґрунту в умовах інтенсивнішої посухи у 2024 році. Водночас Квв в 2023 році мав високу позитивну кореляцію з ГТК ($r = 0,749$), що вказує на ефективніші механізми відновлення вологи за сприятливіших умов вологозабезпечення.

Середньостиглі сорти картоплі характеризуються тривалим вегетаційним періодом (115–125 днів), що потенційно забезпечує їм кращу здатність підтримувати водний баланс порівняно з сортами інших груп стиглості. Впродовж років досліджень ця група демонструвала відносно стабільні показники водоутримувальної (Кву) та водовідновлювальної (Квв) здатності. У 2023 році середньостиглі сорти демонстрували відносно стабільний рівень Кву до третього обліку (61,4–55,5 %), що вказує на поступове зниження вологозабезпечення без значних коливань. У фазі квітування значення Квв досягало 103,0 %, що свідчить про ефективне відновлення водного балансу в умовах помірної посухи (ГТК = 0,68). У період гострої посухи (ГТК = 0,01, четвертий облік) спостерігали незначне зниження Кву (на 1,4 %) та Квв (на 7,0 %) порівняно з третім обліком, що може вказувати на дієві адаптаційні механізми. У 2024 році, за умов тривалої посухи впродовж вегетації культури, Кву залишався на високому рівні у всіх фазах розвитку (74,1–64,7 %), що свідчить про ефективне утримання вологи. Водночас Квв у четвертій фазі підвищився до 98,7 %, що є нетиповим для посушливого періоду і може бути інтерпретовано як активізація внутрішніх механізмів компенсації втрат вологи. Середньостиглі сорти продемонстрували найвищу стійкість до посухи порівняно з іншими групами стиглості. У 2024 році їхній Кву залишався стабільно високим впродовж усіх фаз розвитку, а підвищення Квв за четвертого обліку може вказувати на наявність ефективних механізмів адаптації. Кореляційний аналіз виявив значний негативний зв'язок між Квв та ГТК у 2024 році ($r = -0,859$), що може свідчити про відносну

незалежність механізмів підтримки водного балансу від безпосередньої вологості ґрунту в умовах сильного стресу. Таким чином, середньостиглі сорти картоплі характеризуються високим рівнем водоутримувальної та водовідновлювальної здатності навіть в умовах тривалої посухи, що підтверджує їхню адаптивну стійкість до стресових умов довкілля.

Таблиця 2

Динаміка коефіцієнтів водоутримання (Кву) та водовідновлення (Квв) сортів картоплі різних груп стиглості протягом вегетації (2023–2024 рр.)

Група стиглості	Рік	I облік		II облік		III облік		IV облік		Кореляція (r) з ГТК	
		Кву	Квв	Кву	Квв	Кву	Квв	Кву	Квв	Кву	Квв
Ранні	2023	58,4	95,4	58,4	94,6	50,2	86	49,2	83,6	0,376	0,449
	2024	68,0	89,8	67,2	94,2	69,4	93,4	54,2	83,6	0,523	0,467
Середньоранні	2023	60,5	98,8	65	102,5	55,5	94,5	53,1	85,0	0,467	0,749
	2024	70,6	94,0	75,1	98,9	72,9	98,1	62,5	93,2	0,381	0,375
Середньостиглі	2023	61,4	92,0	65,4	103,0	55,5	92,3	54,1	85,3	0,402	0,603
	2024	74,1	95,8	75,3	96,9	71,5	94,7	64,7	98,7	0,164	-0,859

Примітки. I облік – фаза бутонізації; II облік – фаза цвітіння; III облік – фаза активного бульбоутворення; IV облік – фаза інтенсивного накопичення маси бульб; Кву – коефіцієнт водоутримання; Квв – коефіцієнт водовідновлення; r – кореляція.

Аналіз реакції лідерів серед ранніх сортів картоплі на водний стрес за динамікою Кву та Квв у 2023–2024 рр. Серед ранніх сортів картоплі найкращу адаптаційну здатність до водного стресу, що відображається у показниках водного режиму, продемонстрували наступні сорти: ‘Слаута’ (G1) характеризується високими значеннями Кву (66,0 %) та Квв (101,5 %) у фазі бутонізації, проте виявляє значне зниження Кву на 24,0 % на час IV обліку. Особливо різке зниження Кву спостерігали між II та IV обліками (на 21,5 %), що свідчить про низьку здатність підтримувати водний баланс на пізніх етапах розвитку. Квв також суттєво зменшується (на 26,5 %), що вказує на неефективність механізмів відновлення вологи в умовах водного стресу. Важливо зазначити, що сорт ‘Слаута’ характеризується інтенсивним початковим ростом та прискореним формуванням врожаю з відносно коротким вегетаційним періодом, який на момент четвертого обліку практично завершується. Відповідно, природні процеси старіння та відмирання надземної маси, ймовірно, є основним фактором різкого зниження Кву та Квв на цьому етапі. Отже, сорт демонструє високу початкову інтенсивність водного обміну у фазі бутонізації, але низьку здатність до збереження вологи на завершальних стадіях розвитку, що обмежує його толерантність до тривалого водного дефіциту.

‘Радомисль’ (G4) проявляє максимальний Кву на період I обліку (72,0 %), що на 8,8 % перевищує середнє значення для ранньої групи. Однак, вже до II обліку Кву знижується на 12,0 %, що може свідчити про чутливість до змін вологозабезпечення. У III періоді обліку спостерігали зростання Кву на 5,0 %, що збігається з покращенням рівня зволоження (ГТК коливався в межах 0,91–0,96). Проте до IV обліку відбувалось його повторне зниження на 11,0 %, що загалом становило 18,0 % від початкового рівня. Показники Квв також демонструють суттєве зниження після I обліку (на 19,0 %), проте за III обліку спостерігали тенденцію до їхнього підвищення до 93,0 %, хоча вони не досягали початкового рівня обліку. Це може вказувати на тимчасову активізацію відновлювальних механізмів у відповідь на покращення водного балансу. Отже, сорт ‘Радомисль’ виявляє здатність адаптуватися до короточасного покращення вологозабезпечення, проте його механізми регуляції водного режиму залишаються нестабільними в умовах тривалого посушливого періоду.

‘Тирас’ (G5) відзначався відносною стабільністю Кву впродовж усього вегетаційного періоду. Початковий рівень Кву на I облік становив 71,0 %, знижувався на 6,0 % до II обліку, проте в III періоді обліку зростав до 68,5 %. До IV обліку фіксували зниження Кву до 59,0 % (загальне зниження на 12,0 %). Динаміка Квв також демонструє певну варіабельність: після зниження від I до II обліку, в III періоді спостерігали його підвищення до максимального

РОСЛИННИЦТВО

значення (95,0 %), що навіть перевищує початкові значення на 4,5 %. Проте на час IV обліку показник Квв знижувався на 7,5 %, що свідчить про послаблення механізмів водозбереження у пізніх фазах розвитку сорту. Загалом, 'Тирас' демонструє відносно стабільну динаміку водного режиму, що може свідчити про його адаптивний потенціал до змінних гідротермічних умов. Здатність тимчасово активізувати механізми поглинання та утримання вологи у відповідь на покращення вологозабезпечення (як це спостерігали за III обліку) дозволяє сорту ефективніше використовувати наявні водні ресурси. Таким чином, тимчасове підвищення Кву та Квв в сорти 'Тирас' та 'Радомисль' за III обліку може бути пов'язане з покращенням гідротермічних умов у цей час (середнє ГТК за 2023–2024 рр. становило 0,94). Це свідчить про потенційну здатність рослин швидко реагувати на сприятливі зміни водного режиму, активізуючи механізми поглинання та утримання вологи. Однак подальше зниження показників у IV періоді обліку вказує на обмежену ефективність цих механізмів в умовах тривалого водного стресу (табл. 3).

Таблиця 3

Водоутримувальна та водовідновлювальна здатність сортів картоплі різних груп стиглості за чотирма обліками (середнє за 2023–2024 рр.)

№	Сорт	I облік		II облік		III облік		IV облік	
		Кву	Квв	Кву	Квв	Кву	Квв	Кву	Квв
Ранні (вегетаційний період ≤ 100 днів)									
G1	'Слаута'	66,0	101,5	63,5	99,0	53,5	84,0	42,0	75,0
G2	'Бажана'	55,5	75,0	64,5	97,0	59,0	87,5	51,0	92,0
G3	'Взірець'	51,5	89,5	61,0	94,0	53,0	89,0	52,5	80,5
G4	'Радомисль'	72,0	106,5	60,0	88,0	65,0	93,0	54,0	87,5
G5	'Тирас'	71,0	90,5	65,0	94,0	68,5	95,0	59,0	83,0
	Середнє	63,2	92,6	62,8	94,4	59,8	89,7	51,7	83,6
	V, %	15,0	13,0	3,0	4,0	12,0	5,0	12,0	8,0
Середньоранні (вегетаційний період 110–115 днів)									
G6	'Партнер'	58,5	90,0	61,0	90,5	58,5	94,0	38,0	68,0
G7	'Авангард'	67,5	95,5	77,0	108,0	66,0	97,0	49,0	93,5
G8	'Межирічка 11'	68,5	98,0	62,5	95,5	68,5	95,5	51,5	77,5
G9	'Світана'	68,0	102,5	64,0	88,5	66,5	97,0	54,0	85,5
G10	'Арія'	67,0	105,5	71,0	108,5	63,5	92,0	54,5	97,0
G11	'Опілля'	70,0	100,5	67,5	96,0	63,5	89,0	55,0	82,5
G12	'Доброчин'	58,5	85,0	67,0	107,0	54,0	90,5	56,5	98,5
G13	'Фанатка'	72,0	106,0	69,5	103,0	66,5	94,5	57,0	87,0
G14	'Нагорода'	71,5	104,5	76,5	90,0	68,0	97,5	58,0	91,5
G15	'Меланія'	63,0	80,0	71,5	101,0	67,5	94,5	61,0	95,0
G16	'Скарбниця'	56,5	101,5	67,5	105,5	63,5	104,5	62,0	95,5
G17	'Подолія'	59,5	90,0	70,0	102,0	59,5	90,0	63,0	98,5
G18	'Щедрик'	69,5	92,5	73,0	105,5	64,0	109,5	68,0	69,5
G19	'Вигода'	66,0	95,5	73,5	97,0	65,5	97,0	69,0	95,5
G20	'Містерія'	67,5	99,0	79,0	112,5	68,5	102,0	71,0	101,5
	Середнє	65,6	96,4	70,0	100,7	64,2	96,3	57,8	89,1
	V, %	8,0	8,0	8,0	7,0	6,0	6,0	15,0	12,0
Середньостиглі (вегетаційний період 115–125 днів)									
G21	'Серпанок'	69,0	93,5	72,5	94,0	66,5	88,5	50,0	72,0
G22	'Сонцедар'	60,5	82,0	71,0	91,5	61,0	85,0	52,0	86,5
G23	'Вересівка'	53,5	84,0	63,5	108,5	49,5	92,0	54,0	103,5
G24	'Роставиця'	67,0	90,0	74,5	106,0	61,5	90,0	54,5	82,0
G25	'Альянс'	62,5	96,5	65,5	100,5	54,0	93,5	54,5	98,0
G26	'Гурман'	66,0	95,5	69,0	100,0	59,0	97,5	54,5	102,5

РОСЛИНИЦТВО

№	Сорт	I облік		II облік		III облік		IV облік	
		Кву	Квв	Кву	Квв	Кву	Квв	Кву	Квв
G27	‘Базалія’	77,0	105,0	69,5	100,0	65,5	94,0	57,5	75,5
G28	‘Летана’	73,5	97,0	75,5	93,0	68,5	96,0	57,5	81,5
G29	‘Предслава’	68,0	90,5	70,0	106,0	61,5	93,5	58,0	93,0
G30	‘Іванк. рання’	62,0	78,0	68,5	95,0	62,5	89,0	58,5	101,0
G31	‘Володарка’	68,5	93,0	69,0	99,5	60,5	89,5	59,0	91,0
G32	‘Фотинія’	67,0	93,5	72,5	99,5	65,0	91,0	60,0	98,5
G33	‘Словянка’	61,5	90,5	67,5	96,0	62,0	93,5	60,5	91,5
G34	‘Чарунка’	73,0	103,5	69,0	99,0	66,0	86,0	60,5	87,0
G35	‘Джавеліна’	78,5	110,5	68,0	89,0	70,5	95,5	60,5	84,5
G36	‘Традиція’	63,5	84,0	66,5	105,0	62,5	103,0	62,0	102,0
G37	‘Сингаївка’	70,5	99,0	71,0	101,0	63,0	97,0	62,0	86,0
G38	‘Житниця’	74,0	105,0	72,5	97,5	67,5	95,0	62,0	88,5
G39	‘Марфуша’	67,0	92,5	73,0	106,5	64,0	99,5	63,5	104,5
G40	‘Олександрит’	68,0	94,0	75,0	104,5	66,0	92,0	64,0	88,0
G41	‘Мирослава’	74,5	95,5	72,5	104,0	73,5	98,5	65,0	94,5
G42	‘Багряна’	62,5	89,5	71,0	104,5	63,0	95,5	67,0	102,0
G43	‘Родинна’	71,5	97,0	71,5	97,5	68,0	95,0	68,5	101,5
	Середнє	67,8	93,9	70,4	99,9	63,5	93,5	59,4	92,0
	V, %	9,0	8,0	4,0	5,0	8,0	5,0	8,0	10,0
НІР _{0,05}	2023	2,35	2,03	2,12	2,10	2,16	2,64	2,32	2,81
НІР _{0,05}	2024	2,87	2,43	2,80	3,18	3,01	2,95	3,41	3,12

Примітки. I облік – фаза бугонізації; II облік – фаза цвітіння; III облік – фаза активного бульбоутворення; IV облік – фаза інтенсивного накопичення маси бульб; Кву – коефіцієнт водоутримання; Квв – коефіцієнт водовідновлення; V – коефіцієнт варіації.

Середньоранні сорти картоплі відзначаються широким спектром адаптаційних механізмів до водного стресу, що простежується у зміні Кву та Квв на різних етапах вегетації. ‘Авангард’ (G7) вирізняється високими значеннями Кву та Квв на ранніх етапах розвитку (значне зростання Кву та Квв за II обліку). Це свідчить про інтенсивне поглинання та утримання вологи в оптимальні періоди росту. ‘Світана’ (G9) характеризується високим Квв на початку вегетації, що вказує на ефективне відновлення водного балансу на ранніх етапах. Зниження Квв за II обліку свідчить про чутливість до дефіциту вологи, але подальше зростання за III обліку вказує на відновлення регуляторних механізмів. ‘Фанатка’ (G13) вирізняється стабільно високими значеннями Кву та Квв впродовж вегетації. Кву за I обліку на 6,4 % перевищує середнє значення у групі стиглості, а незначні коливання обох показників свідчать про стійкість до посухи та ефективну регуляцію водного режиму на всіх етапах розвитку сорту. ‘Нагорода’ (G14). Проявляє пластичність у використанні водних ресурсів, демонструючи зростання Кву за II обліку. Відносна стабільність Квв впродовж вегетації вказує на ефективну регуляцію водного балансу.

Сорт ‘Меланія’ (G15) на період II обліку демонстрував вище значення Кву на 1,5 % до середнього у групі стиглості. Це свідчить про ефективну акумуляцію вологи в період активного росту та квітіння. Паралельно спостерігали високий рівень Квв (101,0 %), що вказує на високу здатність до відновлення водного балансу навіть в умовах абіотично стресу. За III обліку, Кву у сорту ‘Меланія’ знижується до 67,5 %, але залишався вищим за середнє значення групи. Проте, Квв залишався на відносно високому рівні (94,5 %), демонструючи здатність сорту підтримувати водний баланс навіть в період активного росту бульб. Характеризується високим рівнем водозбереження наприкінці вегетації, що відображається у зростанні Кву за IV обліку та високих значеннях Квв у цій фенологічній фазі.

‘Скарбниця’ (G16) проявляє стабільно високий рівень Квв впродовж вегетації, що свідчить про ефективне відновлення водного балансу. Помірне зниження Кву за IV обліку

вказує на раціональне використання вологи. 'Щедрик' (G18) характеризується значною акумуляцією вологи при перших обліках, що відображається у зростанні Кву на 5,0 % за II обліку. Максимальне значення Квв, зафіксовано за III обліку, підтверджує ефективне водозабезпечення впродовж фази активного бульбоутворення. Незважаючи на суттєве зниження Квв на 40,0 % до IV обліку, його значення залишалось вищим за середній показник групи. Це вказує на збереження відносно високого рівня гідrataції тканин та здатності до відновлення водного балансу навіть на завершальних стадіях вегетації, ймовірно, внаслідок перерозподілу ресурсів на формування врожаю.

Сорт 'Вигода' (G19) демонструє стабільний рівень Кву та Квв впродовж вегетації. Поступове зростання Кву до IV обліку вказує на здатність підтримувати водний баланс навіть у пізніх фазах. Стабільно високий Квв свідчить про ефективні механізми відновлення вологи. 'Містерія' (G20) характеризується високою адаптивною стабільністю водного режиму. Значне зростання Кву за II обліку (на 11,5 % порівняно з I обліком) вказує на ефективну акумуляцію вологи в період активного росту. Максимальний Квв за II обліку (112,5 %) свідчить про високу здатність до відновлення водного балансу. Помірне зниження обох показників за наступних обліків вказує на раціональне використання води.

Аналіз динаміки коефіцієнтів водного режиму (Кву та Квв) у середньоранніх сортів картоплі виявив значну різноманітність адаптаційних стратегій до умов водного стресу. Сорти 'Містерія', 'Фанатка' та 'Вигода' характеризуються стабільною динамікою Кву та Квв впродовж вегетації, що свідчить про ефективні механізми регуляції водного балансу та стійкість до посухи. 'Щедрик', 'Скарбниця' та 'Авангард' демонструють високу інтенсивність водного обміну за перших обліків, забезпечуючи швидке поглинання та утримання вологи в критичні періоди росту.

'Світана' та 'Нагорода' проявляють гнучкість у використанні водних ресурсів, демонструючи здатність адаптуватися до змін вологозабезпечення впродовж вегетації. Особливу увагу заслуговує сорт 'Меланія', який, поряд з ефективною акумуляцією вологи у фазі квітання, вирізняється високою водоутримуючою здатністю і за IV обліку, що може бути важливою адаптивною особливістю в умовах тривалого водного дефіциту.

Середньостиглі сорти картоплі демонструють різні стратегії адаптації до водного стресу, що відображається у динаміці Кву та Квв впродовж усього періоду росту. Серед них виділено сорти, які перевищують середній рівень показників за умов дефіциту вологи. Сорт 'Базалія' (G27) вирізняється високими початковими показниками Кву та Квв, що перевищують середнє значення групи на 9,2 та 11,1 % відповідно. Впродовж вегетації значення Кву поступово знижувалось, але цей процес залишався контрольованим, що свідчить про поступову адаптацію сорту до водного стресу. Квв стабільно зменшується, однак його значення залишалось на прийнятному рівні, що вказує на ефективне використання води на ранніх етапах та можливість підтримувати водний баланс у наступні періоди.

'Летана' (G28) демонструє один з найвищих показників Кву у II фазі (75,5 %), що на 5,1 % вище середнього групи стиглості, в період активного росту. Відносна стабільність Квв впродовж вегетації свідчить про здатність сорту підтримувати водний баланс в умовах коливань вологозабезпечення.

Сорт 'Фотинія' (G32) характеризується стабільними показниками Кву та Квв впродовж усіх обліків, що свідчить про високу здатність підтримувати водний баланс у різних умовах вологозабезпечення. Значення Кву та Квв залишалися на рівні або дещо перевищували середні показники групи стиглості, що вказує на ефективні механізми регуляції водоспоживання. Це робить сорт перспективним для вирощування в регіонах із коливаннями рівня опадів, оскільки він демонструє стійку реакцію на водний стрес без суттєвих коливань показників водного режиму. 'Чарунка' (G34). На початку вегетації 'Чарунка' демонструвала підвищені значення Кву та Квв, які перевищували середні групові показники на 5,2 % та 9,6 % відповідно. Упродовж II та III обліків ці показники залишалися на стабільному рівні, що свідчить про збереження водного балансу за умов поступового зниження доступності вологи. За IV обліку Кву залишався на 1,1 % вищим за середній рівень, що вказує на здатність сорту підтримувати

водозабезпечення та ефективно компенсувати втрати вологи після періодів її дефіциту. Така динаміка водного режиму підкреслює потенціал сорту для вирощування в умовах нестабільного зволоження, забезпечуючи швидку регенерацію водного балансу після посушливих періодів.

‘Джавеліна’ (G35) демонструє найбільшу чутливість до водного стресу за раннього обліку. На I облік сорт демонстрував найвищі значення Кву (78,5 %) та Квв (110,5 %), що на 10,7 % та 16,6 % вище середнього рівня групи. Однак, вже до II обліку спостерігали значне зниження Кву (на 10,5 %) і Квв (на 21,5 %), що вказує на суттєві труднощі у підтриманні водного балансу за умов змін вологозабезпечення. Проте за III обліку значення Кву та Квв зростали на 2,5 % та 6,5 % відповідно, що свідчить про компенсаторний механізм сорту для відновлення водного режиму після стресу. За IV обліку показники знову знизились, але залишились на рівні або вищими за середні значення групи, що вказує на збереження продуктивності водовикористання на пізніх етапах вегетації.

‘Традиція’ (G36) характеризується відносно нижчими значеннями Кву (на 4,3 %) та Квв (на 9,9 %) порівняно із середнім показником групи, що може свідчити про помірну водоутримувальну здатність у фазі бутонізації. Проте за II обліку спостерігали виражене відновлення водного режиму, з досягненням Квв 105,0 % (перевищення середнього на 5,1 %) та підвищенням Кву на 2,0 % відносно I обліку. Незважаючи на подальше незначне зниження Кву за III та IV обліків (на 4,0 % та 4,5 % відповідно відносно II обліку), Квв залишався значно вищим за середні значення групи (на 9,5 % та 10,0 %), що вказує на ефективність механізмів підтримки водного балансу в умовах водного дефіциту.

Сорт ‘Сингаївка’ (G37) у фазі бутонізації (I облік) демонстрував підвищені значення Кву (на 2,7 %) та Квв (на 5,1 %) порівняно із середніми показниками групи, що свідчить про високий рівень водоутримання та водовідновлення на ранніх критичних етапах бульбоутворення. В подальшому спостерігали відносну стабільність Кву та незначне зростання Квв (на 2,0 %) за II обліку. Впродовж III та IV обліків відзначили зниження обох коефіцієнтів відносно II обліку (Кву на 8,0 % та 9,0 %; Квв на 4,0 % та 15,0 % відповідно). Однак, Кву на цих етапах залишався вищим за середнє значення групи стиглості (на +0,5 % та +2,6 % відповідно), що вказує на збереження здатності до підтримання водного балансу на пізніх етапах онтогенезу.

‘Житниця’ (G38). Характеризується стабільно високими значеннями Кву та Квв. Особливо за I та III обліків, де Кву перевищує середнє на 6,2 % та 4,0 % відповідно. Високий рівень Квв на початку вегетації (105,0 %) вказує на здатність сорту відновлювати водний баланс після початкових фаз стресу. Така стабільність водоспоживання свідчить про високий адаптаційний потенціал сорту до змінюваних умов вологозабезпечення.

‘Марфуша’ (G39) перевищує середнє значення Кву та Квв на всіх етапах обліку. За I обліку значення Квв лише на 1,4 % нижче середнього, в той час як Кву відповідає середньому рівню. За II обліку Кву зростав на 2,6 %, а Квв – на 6,6 % вище середнього, що свідчить про ефективне використання води під час активного росту. За III обліку Кву залишався на 0,5 % вище середнього, а Квв – на 6,0 % вище. За IV обліку показники Кву та Квв залишались на високому рівні, що підкреслює здатність сорту зберігати стабільність механізму регуляції водного балансу в кінці вегетації. Сорт ‘Олександрит’ (G40) у фазі бутонізації (I облік) демонстрував помірні значення Кву та Квв. Проте за II обліку (фаза квітування) спостерігали їхнє значне зростання – Кву на 7,0 % та Квв на 10,5 % відносно попереднього обліку. Це свідчить про активацію механізмів водоутримання та водовідновлення в період ініціації та активного росту бульб. За III та IV обліків обидва показники поступово знижувались, проте Кву на цих етапах залишався вищим за середнє значення групи, що може вказувати на певну пластичність адаптивної реакції сорту на водний стрес.

‘Мирослава’ (G41). Демонструє стабільно високі значення Кву та Квв на всіх етапах вегетації, що підкреслює її високу адаптивність до водного стресу. За I обліку Кву досягає найвищого рівня, що перевищує середнє на 6,7 %, а Квв – на 1,6 %. Це свідчить про інтенсивне водовідновлення на початкових фазах росту. За II обліку показники залишались стабільно

високими, що вказує на здатність сорту підтримувати інтенсивний водний обмін. За III обліку 'Мирослава' проявляла найвище значення $K_{ву}$ серед лідерів групи, що на 10,0 % перевищує середній рівень. За IV обліку сорт зберігав високі показники, перевищуючи середній рівень на 5,6 % за $K_{ву}$ і на 2,5 % за $K_{вв}$, що вказує на стійкість до абіотичного стресу та здатність ефективно використовувати воду на пізніх етапах розвитку.

'Багряна' (G42). Відзначається високими показниками $K_{вв}$ на завершальних етапах розвитку. За II обліку $K_{ву}$ та $K_{вв}$ підвищувались на 0,6 % та 4,6 % відповідно, що вказує на адаптацію до умов дефіциту вологи. За III обліку показники стабілізувались на рівні середнього, а за IV обліку сорт демонстрував лідерство за $K_{ву}$ (67,0 %) та $K_{вв}$ (102,0 %), що вказує на ефективне використання води на пізніх етапах вегетації. 'Родинна' (G43). Сорт характеризується високим стабільним та рівномірним водним рівнем балансу, що забезпечує йому конкурентну перевагу на всіх етапах розвитку. Так, за I обліку $K_{ву}$ перевищував середнє значення на 3,7 %, а $K_{вв}$ на 3,1 %. Впродовж вегетації показники $K_{ву}$ залишались високими, з перевищенням на 4,5 % за III обліку та на 9,1 % за IV обліку. $K_{вв}$ зберігає стабільність, що свідчить про здатність сорту ефективно регулювати водний баланс навіть за стресових умов.

Аналіз динаміки коефіцієнтів водоутримання ($K_{ву}$) та водовідновлення ($K_{вв}$) у середньостиглих сортів картоплі виявив різноманітні адаптаційні стратегії до водного стресу. Сорти 'Мирослава', 'Родинна', 'Житниця', 'Марфуша' та 'Фотинія' характеризуються високими та відносно стабільними значеннями $K_{ву}$ і $K_{вв}$ впродовж усіх етапів онтогенезу, що свідчить про наявність ефективних механізмів підтримки водного балансу за різних рівнів вологозабезпечення. Натомість, сорти 'Базалія', 'Чарунка', 'Сингаївка', 'Летана', 'Олександрит' та 'Традиція' демонстрували виражені компенсаторні механізми, проявляючи підвищені або зростаючі значення $K_{ву}$ та $K_{вв}$ в окремі фази розвитку. Це вказує на їхню здатність адаптивно регулювати водний обмін залежно від фази вегетації та умов вологозабезпечення. Сорти 'Джавеліна' та 'Багряна' характеризувались менш стабільним проявом $K_{ву}$ та $K_{вв}$, проте демонстрували реактивне відновлення водного балансу, що може свідчити про помірну стресостійкість із залученням компенсаційних реакцій переважно на пізніх етапах онтогенезу.

Аналіз коефіцієнта варіації (V , %) показників водного режиму за групами стиглості картоплі (табл. 3) демонструє різну варіативність залежно від групи стиглості та фази розвитку, що дозволяє оцінити стабільність показників водоутримання ($K_{ву}$) та водовідновлення ($K_{вв}$).

Ранні сорти. У фазі бутонізації (I облік) для $K_{ву}$ та $K_{вв}$ спостерігалась помірна варіація ($V = 15,0$ % та $13,0$ % відповідно), що вказує на відносну мінливість показників водного режиму на критичному ранньому етапі розвитку. У фазах активного бульбоутворення (III облік) та інтенсивного накопичення маси бульб (IV облік) варіація $K_{ву}$ зменшувалась на 3,0 % (відносно до I обліку), але залишалась помірною. Водночас для $K_{вв}$ спостерігали зниження варіації на 8,0 % та 5,0 %, що відповідає незначному відхиленню від середнього значення.

Середньоранні сорти. Впродовж фаз бутонізації, квітування та активного бульбоутворення (I–III обліки) для $K_{ву}$ та $K_{вв}$ зафіксовано слабку варіацію ($V < 10,0$ %), що свідчить про високу стабільність водного режиму на цих етапах розвитку культури. У фазі інтенсивного накопичення маси бульб (IV облік) показники варіації зростали до помірного рівня (15,0 % для $K_{ву}$ та 12,0 % для $K_{вв}$), що свідчить про підвищену мінливість на пізньому етапі розвитку.

Середньостиглі сорти. Загалом, ця група характеризується слабкою варіацією ($V < 10,0$ %) для обох показників на всіх етапах розвитку, що вказує на найвищу стабільність водного режиму серед дослідженої групи. Отже, ранні сорти виявляли вищу мінливість водного режиму у фазі бутонізації, що може свідчити про їх підвищену чутливість до абіотичних чинників на ранніх етапах розвитку. Натомість середньоранні та середньостиглі сорти продемонстрували більш стабільні показники (слабка варіація) впродовж основних фаз онтогенезу, що може бути індикатором їхньої вищої адаптивності та стійкості до впливу зовнішніх стресових умов.

Кластеризація сортів картоплі за проявом $K_{ву}$ і $K_{вв}$ до стресових факторів. Для виявлення подібності між сортами картоплі за адаптаційними особливостями водоутримання

(коефіцієнт водоутримання, Кву), розрахованими як середнє значення за чотири обліки впродовж двох вегетаційних сезонів (2023–2024 рр.), було застосовано метод ієрархічної кластеризації (метод Уорда, евклідова відстань). Результати подано у вигляді ієрархічної кластерної дендрограми (рис. 1), яка відображає ступінь подібності між сортами за механізмами водоутримання. На дендрограмі виділено три основні кластери, що на рівні евклідової відстані менше 10 розгалужуються на чотирнадцять підкластерів, що свідчить про відносну близькість більшості сортів за досліджуваним показником.

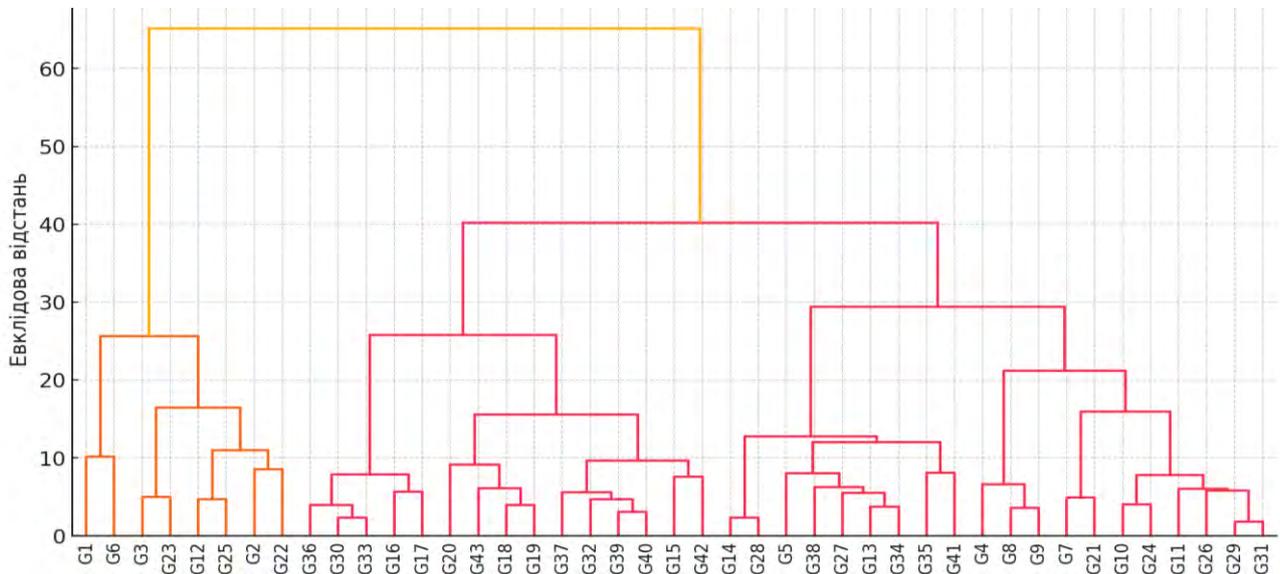


Рис. 1. Ієрархічна кластерна дендрограма сортів картоплі за середніми значеннями коефіцієнта водоутримання (Кву) за обліками 2023–2024 рр. (метод Уорда, евклідова відстань)

Джерело: Складено авторами цього дослідження

Кластер 1 (8 сортів) – характеризується найнижчим середнім рівнем Кву (в межах 54,0–61,5 %) і включає три підкластери:

1.1. Ранній сорт ‘Слаута’ (G1) і середньоранній ‘Партнер’ (G6) з діапазоном Кву від 38,0 % до 66,0 %;

1.2. Ранній сорт ‘Взірець’ (G3) і середньостиглий ‘Вересівка’ (G23) – Кву від 49,5 % до 63,5 %;

1.3. Ранній сорт ‘Бажана’ (G2), середньоранній ‘Доброчин’ (G12), середньостиглі ‘Альянс’ (G25) і ‘Сонцедар’ (G22) – Кву від 51,0 % до 71,0 %.

Кластер 2 (15 сортів) – демонструє середній рівень Кву в межах 62,4–71,5 % і складається з п’яти підкластерів:

2.1. Середньостиглі сорти ‘Традиція’ (G36), ‘Іванківська рання’ (G30), ‘Слов’янка’ (G33) – Кву 58,5–68,5 %;

2.2. Середньоранні сорти ‘Скарбниця’ (G16), ‘Подолія’ (G17) – Кву 56,5–70,0 %;

2.3. Середньоранні сорти ‘Містерія’ (G20), ‘Щедрик’ (G18), ‘Вигода’ (G19) і середньостиглий ‘Родинна’ (G43) – Кву 64,0–79,0 %;

2.4. Середньостиглі сорти ‘Сингаївка’ (G37), ‘Фотинія’ (G32), ‘Марфуша’ (G39), ‘Олександрит’ (G40) – Кву 60,0–75,0 %;

2.5. Середньоранній сорт ‘Меланія’ (G15) і середньостиглий ‘Багряна’ (G42) – Кву 61,0–71,5 %.

Кластер 3 (20 сортів) – охоплює сорти з середніми значеннями Кву на рівні або дещо нижче другого кластеру (62,1–71,4 %) і включає шість підкластерів:

3.1. Середньоранній сорт ‘Нагорода’ (G14) і середньостиглий ‘Летана’ (G28) – Кву 57,5–76,5 %;

3.2. Ранній сорт 'Тирас' (G5), середньоранній 'Фанатка' (G13), середньостиглі 'Житниця' (G38), 'Базалія' (G27), 'Чарунка' (G34) – Кву 57,0–77,0 %;

3.3. Середньостиглі сорти 'Джавеліна' (G35), 'Мирослава' (G41) – Кву 60,5–78,5 %;

3.4. Ранній сорт 'Радомисль' (G4), середньоранні 'Межирічка 11' (G8) та 'Світана' (G9) – Кву 51,5–72,0 %;

3.5. Середньоранній сорт 'Авангард' (G7), середньостиглий 'Серпанок' (G21) – Кву 49,0–77,0 %;

3.6. Середньоранні сорти 'Арія' (G10) і 'Опілля' (G11), середньостиглі 'Роставиця' (G24), 'Гурман' (G26), 'Предслава' (G29) та 'Володарка' (G31) – Кву 54,5–74,5 %.

Отже, проведена кластеризація за середніми значеннями коефіцієнта водоутримання (Кву) за два роки досліджень дозволила виокремити групу сортів – 'Містерія' (G20), 'Щедрик' (G18), 'Вигода' (G19), 'Родинна' (G43), 'Сингаївка' (G37), 'Фотинія' (G32), 'Марфуша' (G39), 'Олександрит' (G40), 'Меланія' (G15), 'Багряна' (G42), 'Джавеліна' (G35), 'Мирослава' (G41) – які демонстрували стабільно високі середні значення Кву (70,0 % і вище). Це вказує на їх підвищену здатність до водоутримання, що є важливим проявом адаптивності до умов водного дефіциту та потенційно вищої посухостійкості.

Натомість сорти 'Слаута' (G1), 'Партнер' (G6), 'Взірець' (G3) характеризувалися найнижчими середніми значеннями Кву (від 38,0 % до 63,5 %), що свідчить про обмежену здатність до утримання вологи в умовах водного стресу.

З метою виявлення подібності сортів картоплі за рівнем водовідновлювального потенціалу листків в умовах абіотичного стресу було проведено ієрархічну кластеризацію за середніми значеннями коефіцієнта водовідновлення (Квв) за два роки досліджень (2023–2024 рр.) на основі чотирьох обліків упродовж вегетаційного періоду. Результати кластерного аналізу, візуалізовані у вигляді дендрограми (рис. 2), демонструють чітке формування двох основних кластерів на відстані менш, ніж 20 за евклідовою метрикою. Така низька відстань свідчить про високий ступінь подібності між сортами, що увійшли до відповідних кластерів, за ознакою здатності до водовідновлення.

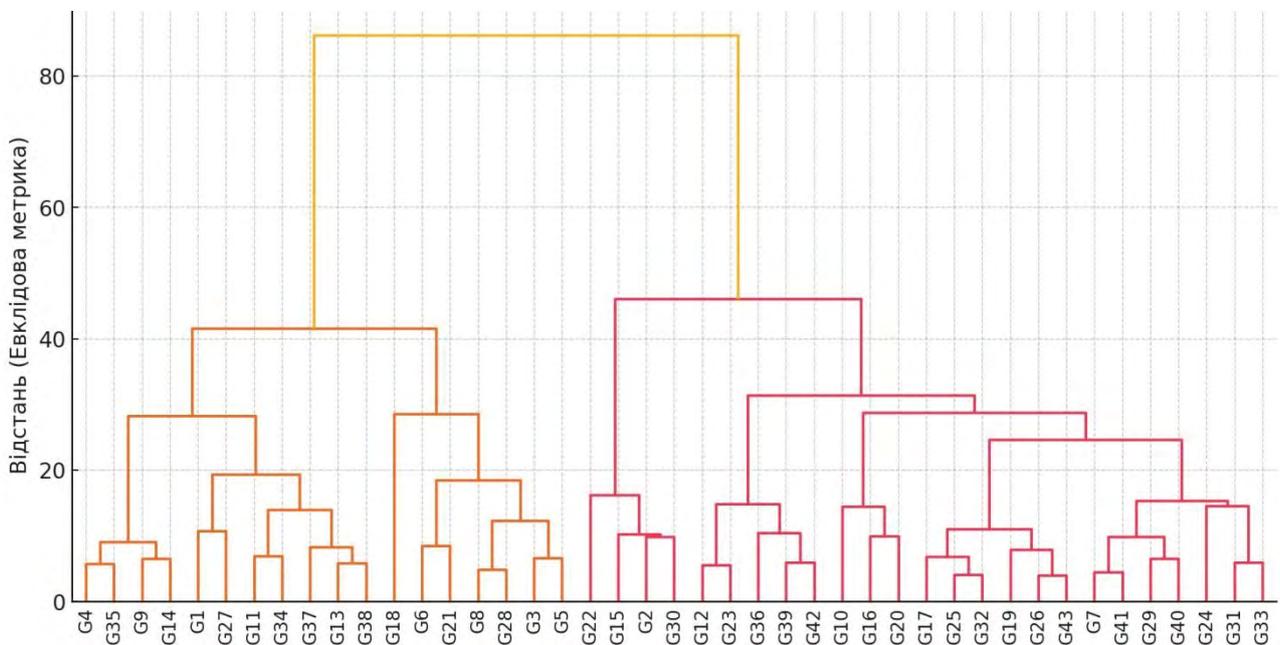


Рис. 2. Ієрархічна кластерна дендрограма сортів картоплі за середніми значеннями коефіцієнта водовідновлення (Квв) за обліками 2023–2024 рр. (метод Уорда, евклідова відстань)

Джерело: Складено авторами цього дослідження.

Кластер 1 (18 сортів). Даний кластер характеризується середнім рівнем Квв у межах 85,6–97,6 %, що свідчить про збалансований водоутримувальний потенціал у сортів. У його межах сформовано 7 підкластерів:

1.1. Ранній сорт 'Радомисль' (G4), середньоранні 'Світана' (G9) і 'Нагорода' (G14) та середньостиглий 'Джавеліна' (G35) з коливанням Квв від 84,5 % до 110,5 %;

1.2. Ранній сорт 'Слаута' (G1) і середньостиглий 'Базалія' (G27) – Квв 84,0–105,0 %;

1.3. Середньоранній сорт 'Опілля' (G1) і середньостиглий 'Чарунка' (G34) – Квв 82,5–103,5 %;

1.4. Середньорання 'Фанатка' (G13) і середньостиглі 'Сингаївка' (G37) і 'Житниця' (G38) – Квв 86,0–106,0 %;

1.5. Середньоранній сорт 'Щедрик' (G18) – Квв 92,5–109,5 %;

1.6. Середньоранній сорт 'Партнер' (G6) і середньостиглий 'Серпанок' (G21) – Квв 68,0–94,0 %;

1.7. Ранні сорти 'Взірець' (G3) і 'Тирас' (G5), середньоранній 'Межирічка 11' (G8) і середньостиглий 'Летана' (G28) – Квв 77,5–96,0 %.

Кластер 2 (25 сортів). Сорти цього кластеру продемонстрували трохи вищий середній рівень Квв – 86,3–103,8 %, що може вказувати на кращі адаптаційні механізми до відновлення водного балансу. Він включає 6 підкластерів:

2.1. Ранній сорт 'Бажана' (G2), середньоранній 'Меланія' (G15) і середньостиглі 'Сонцедар' (G22) і 'Іванківська рання' (G30) – Квв 75–101,0 %;

2.2. Середньоранній сорт 'Доброчин' (G12) та середньостиглі 'Вересівка' (G23), 'Традиція' (G36), 'Марфуша' (G39) і 'Багряна' (G42) – Квв 84,0–108,5 %;

2.3. Середньоранні сорти 'Арія' (G10), 'Скарбниця' (G16) і 'Містерія' (G20) – Квв 92,0–112,5 %;

2.4. Середньоранні сорти 'Подолія' (G17) і 'Вигода' (G19) та середньостиглі 'Альянс' (G25), 'Гурман' (G26), 'Фотинія' (G32) і 'Родинна' (G43) – Квв 90,0–102,5 %;

2.5. Середньоранній 'Авангард' (G7) та середньостиглі 'Предслава' (G29), 'Олександрит' (G40) і 'Мирослава' (G41) – Квв 90,5–108,0 %;

2.6. Середньостиглі 'Росташиця' (G24), 'Володарка' (G31) і 'Слов'янка' (G33) – Квв 82,0–106,0 %.

Отже, проведена кластеризація за середніми значеннями коефіцієнта водовідновлення (Квв) за два роки досліджень дозволила виокремити групу сортів – 'Містерія' (G20), 'Арія' (G10), 'Скарбниця' (G16), 'Вигода' (G19), 'Родинна' (G43), 'Фотинія' (G32), 'Подолія' (G17), 'Альянс' (G25), 'Гурман' (G26), 'Авангард' (G7), 'Предслава' (G29), 'Олександрит' (G40), 'Мирослава' (G41) – які характеризувалися стабільно високими середніми значеннями Квв ($\geq 90,0$ %). Це свідчить про їхню підвищену здатність до ефективної регідратації тканин після впливу стресових факторів, що є важливою складовою адаптивного потенціалу в умовах водного дефіциту. Натомість сорти 'Партнер' (G6), 'Серпанок' (G21), 'Слаута' (G1), 'Бажана' (G2), 'Базалія' (G27), 'Щедрик' (G18) проявили найнижчі середні значення Квв (від 68,0 % і вище), що вказує на обмежену здатність до відновлення водного балансу листків в умовах абіотичного стресу. Загалом, побудовані дендрограми підтвердили значну варіабельність генотипів картоплі за механізмами водоутримання і водовідновлення та дозволили ідентифікувати сорти з перспективними адаптивними ознаками для подальшого використання у селекційних програмах, спрямованих на підвищення посухостійкості.

Висновки

1. Адаптивні реакції сортів картоплі різних груп стиглості на водний стрес зумовлені тривалістю вегетації та інтенсивністю посухи в період обліків. У ранньостиглих сортів Кву знижувався між I та IV обліком на 9,2 % (2023) і 13,8 % (2024), Квв – на 11,8 та 9,8 % відповідно, що свідчить про втрату водоутримувального потенціалу в пізні фазі розвитку. Кореляція Кву з ГТК у 2024 році була вищою ($r = 0,523$), ніж у 2023 ($r = 0,376$). Середньоранні сорти зберігали високий Кву до фази активного бульбоутворення в посушливому 2024 році

(до 72,9 %), із подальшим зниженням на 10,4 %. Тоді як Квв залишався стабільним (93,2–98,9 %). У 2023 році в середньоранніх сортів спостерігали високу позитивну кореляцію Квв з ГТК ($r = 0,749$), що свідчить про ефективне залучення механізмів водовідновлення у відповідь на зміну зволоження, тоді як помірна позитивна кореляція Кву ($r = 0,471$) відображає відносно стабільний рівень водоутримання за змінних умов вологозабезпечення. Середньостиглі сорти продемонстрували найвищу адаптивну стійкість: у 2024 році Кву залишався стабільно високим, зі зниженням між першим і четвертим обліком лише на 9,4 %, а Квв за IV обліку досяг 98,7 %, що свідчить про компенсаторну активацію внутрішніх механізмів водовідновлення. У середньостиглих сортів в 2023 році спостерігали помірну позитивну кореляцію Кву з ГТК ($r = 0,402$) і вищу за Квв ($r = 0,603$), що вказує на взаємопов'язане функціонування механізмів утримання та відновлення води за умов змін вологозабезпечення. У 2024 році негативна кореляція Квв з ГТК ($r = -0,859$) свідчить про послаблення залежності водовідновних реакцій від рівня ґрунтової вологи та активізацію внутрішніх компенсаторних процесів у стресових умовах.

2. Ідентифіковано сорти-лідери за стабільністю та ефективністю механізмів водоутримання і водовідновлення в умовах водного дефіциту для кожної групи стиглості. Ранні сорти: 'Слаута' – характеризується високою інтенсивністю водного обміну на ранніх етапах, але зниженням здатності до водозбереження на пізніх стадіях. 'Радомисль' – демонструє здатність до адаптації при короткочасному покращенні водного балансу, але нестабільні механізми водозбереження при тривалому водному стресі. 'Тирас' – проявляє стабільну динаміку водного режиму з адаптивним потенціалом до змінних умов, з тимчасовим активуванням механізмів водозбереження при покращенні рівня вологи. Середньоранні сорти: 'Містерія', 'Фанатка', 'Вигода' – відзначаються стабільністю Кву та Квв впродовж вегетації, що свідчить про ефективні механізми підтримки водного балансу. 'Щедрик', 'Скарбниця', 'Авангард' – проявляють високу інтенсивність водного обміну на ранніх етапах вегетації. 'Світана', 'Нагорода' – демонструють гнучкість у використанні водних ресурсів. 'Меланія' – характеризується ефективною акумуляцією вологи на початку вегетації та високим утриманням води на пізніх етапах, що є важливою адаптивною ознакою. Середньостиглі сорти: 'Мирослава', 'Родинна', 'Житниця', 'Марфуша', 'Фотинія' – проявляють високі та стабільні значення Кву і Квв, що вказує на ефективні механізми підтримки водного балансу. 'Базалія', 'Чарунка', 'Сингаївка', 'Летана', 'Олександрит', 'Традиція' – проявляють компенсаторні механізми, з підвищеними або зростаючими значеннями Кву та Квв на окремих етапах розвитку. 'Джавеліна' та 'Багряна' – демонструють менш стабільну динаміку, але здатні до реактивного відновлення водного балансу на пізніх етапах, що свідчить про помірну стресостійкість.

3. За результатами застосування методу ієрархічної кластеризації для аналізу середніх значень коефіцієнтів водоутримання (Кву) та водовідновлення (Квв) виявлено закономірності у формуванні адаптаційних стратегій водного режиму сортів картоплі. Зокрема, сорти з високим водоутриманням (Кву $\geq 70,0$ %) включають: 'Містерія', 'Щедрик', 'Вигода', 'Родинна', 'Сингаївка', 'Фотинія', 'Марфуша', 'Олександрит', 'Меланія', 'Багряна', 'Джавеліна', 'Мирослава', що свідчить про їх високу потенційну посухостійкість. Натомість сорти 'Слаута', 'Партнер', 'Взірець' характеризувалися низькими значеннями Кву, що вказує на обмежену здатність до утримання води в умовах абіотичного стресу. За коефіцієнтом водовідновлення (Квв $\geq 90,0$ %) були виокремлені сорти 'Містерія', 'Арія', 'Скарбниця', 'Вигода', 'Родинна', 'Фотинія', 'Подолія', 'Альянс', 'Гурман', 'Авангард', 'Предслава', 'Олександрит', 'Мирослава', які демонструють ефективну регідратацію листя після водного стресу, що забезпечує їх високу стійкість до водного дефіциту. Найнижчі значення Квв продемонстрували сорти 'Партнер', 'Серпанок', 'Слаута', 'Бажана', 'Базалія', 'Щедрик', що вказує на їх обмежену здатність до відновлення водного балансу після стресових умов. Застосування кластерного аналізу за Кву та Квв дозволило ідентифікувати групи сортів з подібними адаптаційними стратегіями до водного дефіциту, що є важливим для подальшого використання в селекції картоплі для створення посухостійких сортів.

Використана література

1. Karki S., Burton P., Mackey B. The experiences and perceptions of farmers about the impacts of climate change and variability on crop production: a review. *Climate and Development*. 2019. Vol. 12, No. 1. P. 80–95. <https://doi.org/10.1080/17565529.2019.1603096>
2. Annie M., Pal R., Gawai A. S., Sharma A. Assessing the Impact of Climate Change on Agricultural Production Using Crop Simulation Model. *International Journal of Environment and Climate Change*. 2023. Vol. 13, No. 7. P. 538–550. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i71906>
3. Wu Y., Meng S., Liu C. et al. A bibliometric analysis of research for climate impact on agriculture. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2023. Vol. 7. Article 1191305. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1191305>
4. Monteleone B., Borzì I., Bonaccorso B., Martina M. Quantifying crop vulnerability to weather-related extreme events and climate change through vulnerability curves. *Natural Hazards*. 2023. Vol. 116. P. 2761–2796. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05791-0>
5. Yang Q., Du T., Li N., Liang J. et al. Bibliometric analysis on the impact of climate change on crop pest and disease. *Agronomy*. 2023. Vol. 13, No. 3. Article 920. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030920>
6. Польовий А. М., Божко Л. Ю., Барсукова О. А. Вплив погодних умов на формування врожаїв картоплі в Західному Поліссі. *Екологічні науки*. 2021. № 3. С. 104–109. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.3-36.16>
7. Толмачова А. В., Барсукова О. А., Куришина В. Ю., Черняков М. П. Вплив природно-кліматичних факторів на формування продуктивності картоплі в Лісостеповій зоні України. *Екологічні науки*. 2024. № 5. С. 80–86. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.11>
8. Писаренко Н. В., Фурдига М. М., Захарчук Н. А., Олійник Т. М. Оцінка стійкості сортів картоплі до стресу на ранніх етапах накопичення врожаю в умовах сезонних посух Полісся України. *Агронаука і практика*. 2024. Вип. 3, Ч. 3. С. 10–23. [https://doi.org/10.32636/agroscience.2024-\(3\)-3-2](https://doi.org/10.32636/agroscience.2024-(3)-3-2)
9. Погорілий С. П., Присяжний В. Г. Раціональні схеми садіння картоплі в умовах зміни клімату. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*. 2024. Т. 24, № 1. С. 211–217. <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-1-16>
10. Pysarenko N., Zakharchuk N., Furdyha M., Oliinyk T. Influence of weather conditions in Central Polissia, Ukraine, on the expression of quality indicators in potato cultivars of different maturity groups. *Scientific Horizons*. 2024. Vol. 27, No. 6. P. 51–62. <https://doi.org/10.48077/scihor6.2024.51>
11. Nasir M. W., Toth Z. Effect of drought stress on potato production: a review. *Agronomy*. 2022. Vol. 12, No. 3. Article 635. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030635>
12. Singh B., Kukreja S., Goutam U. Impact of heat stress on potato (*Solanum tuberosum* L.): present scenario and future opportunities. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2019. Vol. 95, No. 4. P. 407–424. <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1700173>
13. Climate Change 2023: Synthesis Report. Summary for Policymakers. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Core Writing Team, H. Lee, J. Romero (eds.). Geneva : IPCC, 2023. 36 p. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/zmina-klimatu/doslidzhennya-shhodo-zminy-klimatu/>
14. Іванчук Н. Зміна клімату та сільське господарство: Як адаптуватися? Сільськогосподарські практики (блог EOS Data Analytics). 13 жовтня 2023. URL: <https://eos.com/uk/blog/zmina-klimatu-ta-silске-hospodarstvo/>
15. Як впливає зміна клімату на ведення сільського господарства в Україні. FAO, Kurkul.com. 2018. URL: <https://uga.ua/meanings/yak-vplivaye-zmina-klimatu-na-vedennyasilskogo-gospodarstva-v-ukrayini>
16. Продовольча та сільськогосподарська організація ООН. Статистика виробництва картоплі: обсяги виробництва (тонни), Україна, 2023. FAOSTAT. 2023. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
17. Vos J., Groenwold J. Water relations of potato leaves. I. Diurnal changes, gradients in the canopy, and effects of leaf-inserting number, cultivar and drought. *Annals of Botany*. 1988. Vol. 62, No. 4. P. 363–371. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087668>

18. Luitel B. P., Khatri B. B., Choudhary D. et al. Growth and yield characters of potato genotypes grown in drought and irrigated conditions of Nepal. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*. 2015. Vol. 3. P. 513–519. <https://doi.org/10.3126/ijasbt.v3i3.13347>
19. Тимко Л. В., Фурдига М. М., Верменко Ю. Я. Адаптивна здатність різних сортів картоплі в умовах Правобережного Полісся України. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018. Т. 14, № 2. С. 224–229. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.2.2018.134774>
20. Фурдига М. М. Адаптивна здатність та потенційні властивості сортів картоплі селекції Інституту картоплярства НААН. *Аграрні інновації*. 2022. № 12. С. 103–109. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.12.16>
21. Яценко Н. В., М'ялковський Р. О., Яценко В. В. та ін. Адаптивна здатність ранньостиглих сортів картоплі вітчизняної і зарубіжної селекції у Лісостепу України. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. Сільськогосподарські науки*. 2024. № 44. С. 68–75. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-3.11>
22. Кожушко Н. С., Пискун Г. І., Колядко І. І. та ін. Ефективність селекції на посухостійкість. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агронія і біологія*. 2014. Вип. 3. С. 227–233. <https://repo.snau.edu.ua:8080/xmlui/handle/123456789/2034>
23. Олійник Т. М., Сідакова О. В., Захарчук Н. А., Симоненко Н. В. Вивчення потенціалу вихідного матеріалу картоплі з метою селекції на посухостійкість. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2017. Т. 13, № 4. С. 361–366. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.13.4.2017.117733>
24. Tito R., Vasconcelos H. L., Feeley K. J. Global climate change increases risk of crop yield losses and food insecurity in the tropical Andes. *Global Change Biology*. 2018. Vol. 24, Iss. 2. P. e592–e602. <https://doi.org/10.1111/gcb.13959>
25. Rinza J., Ramírez D. A., Ninanya J. et al. Water saving using thermal imagery-based thresholds for timing irrigation in potatoes under drip and furrow irrigation systems. *Agronomy*. 2022. Vol. 12, No. 12. Article 2921. <https://doi.org/10.3390/agronomy12122921>
26. Muruganantham P., Samrat N. H., Islam N. et al. Rapid estimation of moisture content in unpeeled potato tubers using hyperspectral imaging. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13, No. 1. Article 53. <https://doi.org/10.3390/app13010053>
27. Hoelle J., Asch F., Khan A., Bonierbale M. Suitability of the stress severity index combined with remote-sensing data as a tool to evaluate drought resistance traits in potato. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2023. Vol. 210, No. 1. Article 12671. <https://doi.org/10.1111/jac.12671>
28. Писаренко Н., Сидорчук В., Захарчук Н. Оцінка сортів картоплі за посухостійкістю, екологічною пластичністю, адаптаційністю та споживчими якостями на ранніх стадіях вирощування. *Овочівництво і багтанництво*. 2024. № 74. С. 19–32. <https://doi.org/10.32717/0131-0062-2023-74-19-32>
29. Тактаєв Б. А., Фурдига М. М., Подберезко І. М., Сідакова О. В. Нові високопродуктивні сорти картоплі, стійкі до абіотичних факторів. *Картоплярство*. 2022. № 47. С. 3–14. <https://doi.org/10.52087/0130-2094.2022.47.01>
30. Картоплярство: методика дослідної справи / за ред. А. А. Бондарчука, В. А. Колтунова. Вінниця : Твори, 2019. 652 с. URL: https://www.ikar.org.ua/_files/ugd/69bb4c_77462c9ea8804515b090c3254bffeada.pdf
31. Польовий А., Барсукова О., Гусєва К. та ін. Вплив зміни клімату на розвиток посух в Україні. *Журнал екологічної інженерії*. 2024. Т. 25, № 6. С. 194–205. <https://doi.org/10.12911/22998993/187276>
32. Патент 45055 А Україна, МПК А01G/00 (2006.01). Спосіб оцінки стійкості сортів картоплі до посухи / Григорюк І. П., Ткачов В. І., Нижник Т. П., Мицко В. М., Войцешина Н. І. ; заявник Інститут фізіології і генетики НАН України. № 20001042626 ; заявл. 18.04.2001 ; опубл. 15.03.2002 ; Бюл. № 3.

References

1. Karki, S., Burton, P., & Mackey, B. (2019). The experiences and perceptions of farmers about the impacts of climate change and variability on crop production: a review. *Climate and Development*, 12(1), 80–95. <https://doi.org/10.1080/17565529.2019.1603096>

2. Annie, M., Pal, R. Kumar, Gawai, A. S., & Sharma, A. (2023). Assessing the impact of climate change on agricultural production using crop simulation model. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(7), 538–550. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i71906>
3. Wu, Y., Meng, S., Liu, C., Gao, W., & Liang, X.-Z. (2023). A bibliometric analysis of research for climate impact on agriculture. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, Article 1191305. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1191305>
4. Monteleone, B., Borzi, I., Bonaccorso, B., & Martina, M. (2023). Quantifying crop vulnerability to weather-related extreme events and climate change through vulnerability curves. *Natural Hazards*, 116, 2761–2796. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05791-0>
5. Yang, Q., Du, T., Li, N., Liang, J., Javed, T., Wang, H., Guo, J., & Liu, Y. (2023). Bibliometric analysis on the impact of climate change on crop pest and disease. *Agronomy*, 13(3), Article 920. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030920>
6. Polovyi, A., Bozhko, L., & Barsukova, E. (2021). The influence of weather conditions on the formation of potato yields in the Western Ukraine. *Ecological Sciences*, 3, 104–109. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.3-36.16> [In Ukrainian]
7. Tolmachova, A., Barsukova, O., Kuryshyna, V., & Chernyakov, M. (2024). The influence of natural and climate factors on the formation of potato productivity in the Forest-Steppe zone of Ukraine. *Ecological Sciences*, 5, 80–86. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.11> [In Ukrainian]
8. Pysarenko, N., Furdyha, M., Zakharchuk, N., & Oliinyk, T. (2024). Assessment of potato varieties' resistance to drought in the early stages of crop accumulation in Polissia of Ukraine. *Agronomy and Practice*, 3(3), 10–23. [https://doi.org/10.32636/agrosience.2024-\(3\)-3-2](https://doi.org/10.32636/agrosience.2024-(3)-3-2) [In Ukrainian]
9. Pogorilyy, S. P., & Prysyzhnyi, V. G. (2024). Rational schemes of potato planting under the conditions of climate change. *Proceedings of the Tavria State Agrotechnological University n.a. Dmytro Motornyi*, 24(1), 211–217. <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-1-16> [In Ukrainian]
10. Pysarenko, N., Zakharchuk, N., Furdyha, M., & Oliinyk, T. (2024). Influence of weather conditions in Central Polissia, Ukraine, on the expression of quality indicators in potato cultivars of different maturity groups. *Scientific Horizons*, 27(6), 51–62. <https://doi.org/10.48077/sciHOR6.2024.51>
11. Nasir, M. W., & Toth, Z. (2022). Effect of drought stress on potato production: A review. *Agronomy*, 12(3), Article 635. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030635>
12. Singh, B., Kukreja, S., & Goutam, U. (2019). Impact of heat stress on potato (*Solanum tuberosum* L.): present scenario and future opportunities. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 95(4), 407–424. <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1700173>
13. IPCC. (2023). *Summary for policymakers. In Climate Change 2023: Synthesis Report. A report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 36). IPCC, Geneva, Switzerland. <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/zmina-klimatu/doslidzhennya-shhodo-zminy-klimatu/>
14. Ivanchuk, N. (2023). *Climate change and agriculture: How to adapt?* Agricultural Practices (EOS Data Analytics Blog). October 13. <https://eos.com/uk/blog/zmina-klimatu-ta-silske-hospodarstvo/> [In Ukrainian]
15. How climate change affects agriculture in Ukraine. FAO, *Kurkul.com*. (2018). <https://uga.ua/meanings/yak-vplivaye-zmina-klimatu-na-vedennyasilskogo-gospodarstva-v-ukrayini> [In Ukrainian]
16. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023). *Potato production statistics: Production volumes (tonnes) – Ukraine, 2023*. FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
17. Vos, J., & Groenwold, J. (1988). Water relations of potato leaves, I. Diurnal changes, gradients in the canopy, and effects of leaf-inserting number, cultivar, and drought. *Annals of Botany*, 62(4), 363–371. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087668>
18. Luitel, B. P., Khatri, B. B., Choudhary, D., Paudel, B. P., Jung-Sook, S., Hur, O.-S., Baek, H. J., Cheol, K. H., & Yul, R. K. (2015). Growth and yield characters of potato genotypes grown in

- drought and irrigated conditions of Nepal. *International Journal of Applied Science and Biotechnology*, 3(3), 513–519. <https://doi.org/10.3126/ijasbt.v3i3.13347>
19. Tymko, L. V., Furdyga, M. M., & Vermenko, Y. Ya. (2018). Adaptive capacity of different potato cultivars under the conditions of the Right-bank Polissia of Ukraine. *Study and Protection of Plant Varieties*, 14(2), 224–229. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.2.2018.134774> [In Ukrainian]
20. Furdyga, M. M. (2022). Adaptive ability and potential properties of potato varieties selected by the Institute for Potato Research NAAS. *Agrarian Innovations*, 12, 103–109. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.12.16> [In Ukrainian]
21. Yatsenko, N. V., Myalkovsky, R. O., Yatsenko, V. V., Feshchenko, V. V., Yatsenko, O. V. (2024). Adaptability of early-ripening potato varieties of domestic and foreign selection in the Forest Steppe of Ukraine. *Podilian Bulletin Agriculture Engineering Economics*, 44, 68–75. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-3.11> [In Ukrainian]
22. Kozhushko, N. S., Piskun, G. I., Kolyadko, I. I., Sakhazhko, M. M., Savchenko, P. V. (2014). Effectiveness of potato breeding as for drought-resistance. *Visnyk of Sumy National Agrarian University. Agronomy and Biology Series*, 3, 227–233. <https://repo.snau.edu.ua:8080/xmlui/handle/123456789/2034> [In Ukrainian]
23. Oliynyk, T. M., Sidakova, O. V., Zakharchuk, N. A., & Symonenko, N. V. (2017). Studying the potential of the initial potato material with the aim of breeding for drought resistance. *Plant Varieties Studying and Protection*, 13(4), 361–366. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.13.4.2017.117733> [In Ukrainian]
24. Tito, R., Vasconcelos, H. L., & Feeley, K. J. (2018). Global climate change increases risk of crop yield losses and food insecurity in the tropical Andes. *Global Change Biology*, 24(2), e592–e602. <https://doi.org/10.1111/gcb.13959>
25. Rinza, J., Ramírez, D. A., Ninanya, J., de Mendiburu, F., García, J., & Quiroz, R. (2022). Water saving using thermal imagery-based thresholds for timing irrigation in potatoes under drip and furrow irrigation systems. *Agronomy*, 12(12), Article 2921. <https://doi.org/10.3390/agronomy12122921>
26. Muruganantham, P., Samrat, N. H., Islam, N., Johnson, J., Wibowo, S., & Grandhi, S. (2023). Rapid estimation of moisture content in unpeeled potato tubers using hyperspectral imaging. *Applied Sciences*, 13(1), Article 53. <https://doi.org/10.3390/app13010053>
27. Hoelle, J., Asch, F., Khan, A., & Bonierbale, M. (2023). Suitability of the stress severity index combined with remote-sensing data as a tool to evaluate drought resistance traits in potato. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 210(1), Article e12671. <https://doi.org/10.1111/jac.12671>
28. Pysarenko, N. V., Sydorchuk, V. I., & Zakharchuk, N. A. (2024). Evaluation of potato varieties for drought tolerance, ecological plasticity, adaptability, and consumer qualities at early stages of cultivation. *Vegetable and Melon Growing*, 74, 19–32. <https://doi.org/10.32717/0131-0062-2023-74-19-32> [In Ukrainian]
29. Taktaev, B. A., Furdyga, M. M., Podberezko, I. M., & Sidakova, O. V. (2022). New high-product potato varieties resistant to abiotic factors. *Potato Research*, 47, 3–14. <https://doi.org/10.52087/0130-2094.2022.47.01> [In Ukrainian]
30. Bondarchuk, A. A., & Koltunov, V. A. (Eds.). (2019). *Potato growing: Methodology of experimental work*. TVORY. https://www.ikar.org.ua/_files/ugd/69bb4c_77462c9ea8804515b090c3254bffeada.pdf [In Ukrainian]
31. Polevoy, A., Barsukova, O., Husieva, K., Zhygailo, O., Volvach, O., Kyrnasivska, N., Tolmachova, A., Zhygailo, T., Danilova, N., & Kostiukievych, T. (2024). The Climate Change Impact on the Development of Droughts in Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*, 25(6), 194–205. <https://doi.org/10.12911/22998993/187276>
32. Hryhoriuk, I. P., Tkachov, V. I., Nyzhnyk, T. P., Mytsko, V. M., & Voitsekhina, N. I. (2002). Method for assessing drought resistance of potato varieties [Patent No. 45055 A]. Institute of Plant Physiology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine. Published in Bulletin No. 3, 2002. [In Ukrainian]

UDC 633.491:631.526.32:581.132.1(477.41)

Pysarenko, N. V.¹, Furdyha, M. M.², Zakharchuk, N. A.^{2*}, & Hordiienko, V. V.² (2025). Adaptive mechanisms of water regime in potato varieties of different maturity groups under abiotic stress in the Zhytomyr Polissia (Ukraine). *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 33, 73–94. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.349612> [In Ukrainian]

¹*Polissia Research Department, Institute for Potato Research of NAAS, 6 Tsentralna St., Fedorivka, Korosten district, Zhytomyr region, 11699, Ukraine*

²*Institute for Potato Research of NAAS, 22 Yaroslava Mudroho St., Nemishaieve, Bucha district, Kyiv region, 07853, Ukraine, *e-mail: vs_potato@meta.ua*

Aim. To determine the dynamics of water retention coefficient (WRC) and water recovery coefficient (WRec) in potato varieties of different maturity groups during phenophases sensitive to abiotic stress in the Zhytomyr Polissia, in order to identify varietal responses to moisture deficit. **Methods.** In 2023–2024, the adaptive water regime of 43 potato varieties of different maturity groups was studied under drought conditions of the Zhytomyr Polissia. For the first time, the relationship between the dynamics of WRC and WRec with the level of drought (HTC) was established. Effective adaptive strategies were identified in leading varieties valuable for breeding for drought tolerance. Observations were carried out in four phases: budding, beginning of flowering, active tuber formation, and intensive yield accumulation. **Results.** Agroclimatic conditions (HTC = 0.01–0.96) enabled the assessment of varietal responses to stresses of varying intensity. Adaptive reactions of varieties largely depended on the vegetation duration and drought level during the phenophase. In early-maturing varieties, a sharp decrease in WRC and WRec was recorded at later stages due to a combination of water deficit and leaf aging. Advantages were observed at early stages, where WRC in 2024 showed a strong correlation with HTC. Middle-early varieties maintained a high WRC level until the active tuber formation phase and stable WRec under moisture deficit ($r = 0.749$), indicating effective leaf rehydration. A moderate positive correlation of WRC with HTC ($r = 0.471$) reflects water retention stability. Mid-ripening varieties showed the highest adaptive stability, with minimal WRC decrease and maximum WRec under stress conditions. This is confirmed by a moderately positive correlation of WRC with HTC ($r = 0.402$) and a stronger correlation of WRec ($r = 0.603$), indicating interconnected functioning of water retention and recovery mechanisms under variable moisture conditions. In 2024, a negative correlation between WRec and HTC ($r = -0.859$) indicated an increasing role of internal compensatory mechanisms. Leading varieties in the efficiency of adaptive mechanisms were identified. Early: ‘Slauta’, ‘Radomysl’, ‘Tyras’. Middle-early: ‘Misteriia’, ‘Fanatka’, ‘Vyhoda’, ‘Melaniia’. Mid-ripening: ‘Myroslava’, ‘Rodynna’, ‘Fotyniia’, ‘Zhytnytsia’, ‘Marfusha’, ‘Synhaivka’. **Conclusion.** Hierarchical clustering revealed regularities in the formation of adaptive strategies. High values of WRC ($\geq 70.0\%$) were established in the following varieties: ‘Misteriia’, ‘Shchedryk’, ‘Vyhoda’, ‘Rodynna’, ‘Synhaivka’, ‘Fotyniia’, ‘Marfusha’, ‘Oleksandryt’, ‘Melaniia’, ‘Bahriana’, ‘Dzhavelina’, and ‘Myroslava’. With higher WRec expression ($\geq 90.0\%$), the following varieties were distinguished as sources of effective leaf rehydration: ‘Misteriia’, ‘Ariia’, ‘Skarbnytsia’, ‘Vyhoda’, ‘Rodynna’, ‘Fotyniia’, ‘Podoliia’, ‘Alians’, ‘Hurman’, ‘Avanhard’, ‘Predslava’, ‘Oleksandryt’, and ‘Myroslava’.

Keywords: *Solanum tuberosum*; phenophases of development; water deficit; physiological indicators; correlation analysis; breeding value.

Надійшла / Received 28.08.2025

Погоджено до друку / Accepted 20.10.2025

Опубліковано онлайн / Published online 29.12.2025

Викиди парникових газів та вуглецевий баланс сортів пшениці озимої за вирощування в умовах Лісостепу України

 О. І. Присяжнюк*,  Н. О. Кононюк,  О. А. Маляренко,  В. В. Мусіч,
 О. Ю. Половинчук,  О. М. Гончарук,  П. Ю. Волошин,  О. П. Шевченко

*Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, *e-mail: ollpris@gmail.com*

Мета. Установити викиди парникових газів та формування вуглецевого балансу пшениці озимої за вирощування в умовах Правобережного Лісостепу України. **Методи.** Дослідження проведено у 2020–2024 рр. на чорноземі типовому малогумусному. Об'єкт – 36 сортів пшениці озимої. Викиди парникових газів розраховували за методологією IPCC (Tier 1) з урахуванням виробництва добрив, польових емісій N₂O, гідролізу карбаміду, використання техніки, насіння та пестицидів. Вуглецевий баланс визначали як різницю між поглинанням CO₂ біомасою і антропогенними викидами; окремо оцінювали валовий, чистий баланс та баланс секвестрації з урахуванням гуміфікації рослинних решток. Проведено категоризацію сортів за вуглецевим слідом, валовим балансом і точкою беззбитковості секвестрації, змодельовано сценарії залишення соломи (0–100 %). **Результати.** Загальні викиди становили 1938,2 кг CO₂-eq/га, з яких 41,8 % припадало на виробництво добрив і 34,2 % – на польові емісії N₂O. Вуглецевий слід сортів варіював від 236,4 до 334,6 кг CO₂-eq/т зерна (різниця 41,5 %) і визначався рівнем урожайності. До високоефективних за вуглецевим слідом віднесено п'ять сортів із урожайністю 7,83–8,20 т/га. Усі сорти були нетто-поглиначами CO₂: валовий баланс становив +19,3...+28,2 т CO₂-eq/га, чистий – +2,1...+3,8 т CO₂-eq/га (за 30 % соломи). Баланс секвестрації за базового сценарію залишався від'ємним (–0,95...–1,24 т CO₂-eq/га). Збільшення частки залишеної соломи з 0 до 100 % підвищувало чистий баланс у середньому на 11,7 т CO₂-eq/га та баланс секвестрації – на 1,75 т CO₂-eq/га. Точка беззбитковості секвестрації для високоврожайних сортів становила 77–80 %, тоді як для 25 % низьковрожайних сортів вона була недосяжною навіть за повного залишення соломи. **Висновки.** Вибір високоврожайних сортів у поєднанні з оптимальним управлінням соломою є ключовим чинником зниження кліматичного навантаження та досягнення позитивної секвестрації вуглецю. Найефективнішою стратегією є вирощування сортів з високою вуглецевою ефективністю із залишенням не менше 80 % соломи; для низьковрожайних сортів необхідне застосування додаткових заходів секвестрації.

Ключові слова: пшениця озима; парникові гази; вуглецевий слід; секвестрація вуглецю; сорт.

Вступ

Глобальні кліматичні зміни, спричинені антропогенними викидами парникових газів (ПГ), є одним із найбільших викликів сучасності. За оцінками Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (IPCC), сільське господарство є відповідальним за 10–12 % глобальних антропо-

Як цитувати: Присяжнюк О. І., Кононюк Н. О., Маляренко О. А., Мусіч В. В., Половинчук О. Ю., Гончарук О. М., Волошин П. Ю., Шевченко О. П. Викиди парникових газів та вуглецевий баланс сортів пшениці озимої за вирощування в умовах Лісостепу України. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2025. Вип. 33. С. 95–107. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.349400>



© The Author(s) 2025. Published by Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

генних викидів ПГ, при цьому виробництво зернових культур формує значну частку цих емісій [1, 2]. Пшениця є другою за значенням продовольчою культурою у світі, а її вирощування супроводжується викидами діоксиду вуглецю (CO_2), закису азоту (N_2O) та метану (CH_4), що мають різний потенціал глобального потепління [3].

Україна є одним із ключових експортерів пшениці на світовому ринку, забезпечуючи продовольчу безпеку країн Близького Сходу, Північної Африки та Європи [4]. В умовах посилення вимог Європейського Союзу щодо сталого розвитку сільського господарства та імплементації стратегії European Green Deal, українські агровиробники стикаються з необхідністю оцінки та зменшення вуглецевого сліду продукції [5]. Розроблення національних критеріїв сталого агровиробництва з урахуванням агрокліматичних умов України є нагальною потребою для збереження конкурентоспроможності на міжнародних ринках [6].

Основними джерелами емісії ПГ за вирощування пшениці є: виробництво та застосування мінеральних добрив (особливо азотних), польові емісії N_2O внаслідок мікробіологічних процесів у ґрунті, використання дизельного пального сільськогосподарською технікою та виробництво засобів захисту рослин [7, 8]. За даними досліджень, проведених у країнах Європи [9, 10], викиди CO_2 -еквіваленту за вирощування озимої пшениці варіюють від 2330 кг/га у Фінляндії до 2919 кг/га у Литві. Водночас дослідження вуглецевого балансу пшениці в Україні з урахуванням посортової диференціації практично відсутні.

Важливим аспектом оцінювання кліматичного впливу рослинництва є не лише облік викидів, але й урахування поглинання CO_2 рослинами у процесі фотосинтезу та секвестрації вуглецю в ґрунті [11, 15]. Пшениця, як культура з інтенсивним фотосинтезом, здатна поглинати значні обсяги атмосферного CO_2 , перетворюючи його на біомасу зерна, соломи, стерні та кореневих залишків. Управління рослинними рештками, зокрема соломою, суттєво впливає на вуглецевий баланс агроecosистеми та довгострокове накопичення органічного вуглецю в ґрунті [12, 13].

Вибір сорту є потужним інструментом впливу на вуглецеву ефективність виробництва зерна. Високоврожайні сорти забезпечують меншу інтенсивність викидів на одиницю продукції та більший обсяг фіксованого атмосферного вуглецю [14]. Проте комплексних досліджень впливу генетичного потенціалу сучасних українських сортів пшениці озимої на формування вуглецевого балансу за різних сценаріїв використання побічної продукції досі не проводилось.

Мета досліджень – оцінити викиди парникових газів та вуглецевий баланс сортів пшениці озимої української селекції в умовах Правобережного Лісостепу України.

Завдання досліджень: 1) розрахувати структуру викидів CO_2 -еквіваленту за основними джерелами емісії; 2) визначити посортову диференціацію вуглецевого сліду та категоризувати сорти за рівнем вуглецевої ефективності; 3) оцінити валовий вуглецевий баланс сортів з урахуванням поглинання CO_2 біомасою; 4) змодельовати сценарії впливу частки залишеної соломи (0–100 %) на чистий баланс та баланс секвестрації; 5) визначити точки беззбитковості секвестрації для кожного сорту та сформулювати практичні рекомендації.

Матеріали та методика досліджень

Умови проведення досліджень

Дослідження проводили протягом 2020–2024 рр. на базі ДП ДГ «Саливонківське» Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, розташованого в зоні Правобережного Лісостепу України (Київська область). Ґрунт дослідних ділянок – чорнозем типовий малогумусний на лесі з вмістом гумусу 3,8–4,2 %, рН сольової витяжки 6,2–6,8, забезпеченість рухомими формами азоту – середня, фосфору та калію – підвищена.

Об'єктом дослідження слугували 36 сортів пшениці озимої української селекції різних наукових установ: Миронівського інституту пшениці ім. В. М. Ремесла НААН, Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН, Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннезнавства та сортовивчення, Білоцерківської дослідно-селекційної станції та ін. Сорти представляли різні групи стиглості та морфотипи, що забезпечило репрезентативність вибірки для оцінювання генетичної варіабельності вуглецевої ефективності [16].

Технологія вирощування пшениці озимої була типовою для зони Лісостепу України. Попередник – чорний пар. Основний обробіток ґрунту включав оранку на глибину 25–27 см. Норма висіву становила 5,0 млн схожих насінин на гектар (220 кг/га). Система удобрення передбачала внесення азоту в дозі 120 кг/га д. р. (у формі карбаміду), фосфору – 60 кг/га д. р. (у формі амофосу) та калію – 40 кг/га д. р. (у формі калію хлористого). Захист рослин від бур'янів, хвороб та шкідників здійснювали згідно з рекомендаціями для зони вирощування із застосуванням пестицидів у сумарній дозі 2,5 кг д. р./га [17].

Методологія розрахунку емісії парникових газів

Розрахунок викидів ПГ виконували за методологією IPCC (2006, 2019) з використанням коефіцієнтів емісії першого рівня деталізації (Tier 1) [18, 19]. Загальні викиди CO₂-еквіваленту розраховували як суму емісій від виробництва добрив, польових емісій N₂O, викидів CO₂ від гідролізу карбаміду, використання сільськогосподарської техніки та виробництва інших матеріально-технічних ресурсів.

Емісії від виробництва мінеральних добрив розраховували з використанням коефіцієнтів: для азотних добрив – 5,88 кг CO₂-eq/кг N (включно з енергетичними витратами на синтез аміаку за процесом Габера – Боша), для фосфорних – 1,35 кг CO₂-eq/кг P₂O₅, для калійних – 0,58 кг CO₂-eq/кг K₂O [20, 21]. Загальні емісії від виробництва добрив склали 809,8 кг CO₂-eq/га (азотні – 705,6 кг, фосфорні – 81,0 кг, калійні – 23,2 кг).

Польові емісії N₂O включали прямі та непрямі викиди. Прямі емісії розраховували за формулою:

$$N_2O_{\text{прямі}} = N_{\text{внесено}} \times EF_1 \times 44/28 \times GWP_{N_2O}$$

де $N_{\text{внесено}}$ – доза азоту, кг/га; EF_1 – коефіцієнт емісії (0,01 кг N₂O-N/кг N за IPCC Tier 1); $44/28$ – коефіцієнт перерахунку N у N₂O; GWP_{N_2O} – потенціал глобального потепління N₂O (265 за AR5 IPCC для 100-річного горизонту) [22].

Непрямі емісії враховували втрати азоту внаслідок волатилізації (10 % від внесеного N, $EF_4 = 0,01$) та вимивання (30 % від внесеного N, $EF_5 = 0,0075$) [23]. Сумарні польові емісії N₂O склали 662,1 кг CO₂-eq/га.

Емісії CO₂ від гідролізу карбаміду розраховували за формулою:

$$CO_2_{\text{карбамід}} = M_{\text{карбамід}} \times 0,20 \times 44/12$$

де $M_{\text{карбамід}}$ – маса карбаміду, кг/га; $0,20$ – вміст вуглецю в карбаміді; $44/12$ – коефіцієнт перерахунку C у CO₂ [24]. За внесенні 261 кг/га карбаміду (еквівалент 120 кг N) емісії становили 95,6 кг CO₂/га.

Емісії від використання техніки розраховували на основі витрат дизельного палива на технологічні операції з коефіцієнтом 3,21 кг CO₂-eq/л (включно з викидами від спалювання та виробництва палива) [25]. Загальні витрати палива становили 85 л/га (основний обробіток – 25 л, передпосівний – 12 л, сівба – 8 л, внесення добрив – 6 л, захист рослин – 4 л, збирання – 22 л, транспортування – 8 л), що відповідає 272,9 кг CO₂-eq/га.

Інші джерела емісій включали виробництво насіння (70,4 кг CO₂-eq/га за норми 220 кг/га та коефіцієнта 0,32 кг CO₂-eq/кг) та пестицидів (27,4 кг CO₂-eq/га за норми 2,5 кг д. р./га та коефіцієнта 10,97 кг CO₂-eq/кг д. р.) [26, 27].

Методологія розрахунку вуглецевого балансу

Вуглецевий баланс розраховували як різницю між поглинанням CO₂ біомасою рослин та антропогенними викидами ПГ. Поглинання CO₂ визначали на основі вмісту вуглецю в різних компонентах біомаси пшениці з урахуванням коефіцієнта перерахунку вуглецю в CO₂ ($44/12 = 3,667$) [28].

Уміст вуглецю в компонентах біомаси приймали згідно з літературними даними: зерно – 45,0 %, солома – 45,7 %, полова – 42,6 %, стерня – 44,0 %, коріння – 34,9 % від сухої маси [29, 30]. Співвідношення компонентів наземної та підземної біомаси до урожаю зерна становило: солома – 1,0; полова – 0,10; стерня – 0,08; коріння – 0,05 [31].

Загальне поглинання CO₂ розраховували за формулою:

$$CO_2_{\text{погл}} = (Y \times C_{\text{зерно}} + S \times C_{\text{солома}} + Ch \times C_{\text{полова}} + St \times C_{\text{стерня}} + R \times C_{\text{коріння}}) \times 3,667 \times 1000$$

де Y – урожайність зерна, т/га; S , Ch , St , R – маса соломи, полови, стерні та коренів відповідно, т/га; C – вміст вуглецю у відповідному компоненті, частка од.

Валовий вуглецевий баланс визначали як різницю між загальним поглинанням CO_2 біомасою та викидами ПГ:

$$\text{Баланс}_{\text{валовий}} = CO_2_{\text{погл}} - \text{Емісії}_{\text{загальні}}$$

Чистий вуглецевий баланс поля враховував лише вуглець, що залишається на полі (стерня, коріння та частка соломи), за вирахуванням викидів:

$$\text{Баланс}_{\text{чистий}} = CO_2_{\text{залишено}} - \text{Емісії}_{\text{загальні}}$$

Баланс секвестрації розраховували з урахуванням коефіцієнтів гуміфікації рослинних решток: солома – 15 %, стерня – 20 %, коріння – 30 % [32, 33]:

$$\text{Баланс}_{\text{секв}} = (C_{\text{солома}} \times k_{\text{гум}_c} + C_{\text{стерня}} \times k_{\text{гум}_{st}} + C_{\text{коріння}} \times k_{\text{гум}_k}) \times 3,667 \times 1000 - \text{Емісії}$$

Категоризація сортів за вуглецевою ефективністю

Сорти категоризували за двома критеріями: вуглецевим слідом (кг CO_2 -eq на тонну зерна) та валовим вуглецевим балансом (кг CO_2 -eq/га). За вуглецевим слідом виділено чотири категорії: високоефективні (< 250 кг/т), ефективні (250–280 кг/т), середні (280–310 кг/т) та низькоефективні (> 310 кг/т). За валовим балансом: високоефективні ($\geq +26\ 000$ кг/га), ефективні (+24 000...26 000 кг/га), середні (+22 000...24 000 кг/га) та низькоефективні (< +22 000 кг/га) [36].

Додатково сорти категоризували за точкою безбитковості секвестрації: високоефективні (≤ 80 % соломи), ефективні (81–90 %), середні (91–99 %) та низькоефективні (> 100 %, тобто не досягають позитивного балансу навіть за повного залишення соломи).

Статистична обробка даних

Статистично дані обробляли методами варіаційного аналізу з використанням програмного забезпечення Python 3.11 та бібліотек NumPy, Pandas, SciPy. Визначали середні значення, стандартне відхилення, коефіцієнт варіації (CV, %), мінімальні та максимальні значення. Достовірність різниці між сортами оцінювали за критерієм Стьюдента за рівня значущості $P < 0,05$. Кореляційний аналіз проводили для оцінювання зв'язку між урожайністю та показниками вуглецевого балансу [37].

Результати досліджень

Структура викидів парникових газів

Загальні викиди парникових газів за вирощування пшениці озимої в умовах Правобережного Лісостепу України становили 1938,2 кг CO_2 -eq/га (табл. 1). Ця величина є фіксованою для всіх сортів, оскільки технологія вирощування була ідентичною. Отримані результати знаходяться в межах типових значень для виробництва озимої пшениці в Європі: нижче порівняно з Польщею (2378–2759 кг/га), Литвою (2686–2919 кг/га) та Фінляндією (2330 кг/га), що пояснюється меншими нормами внесення азотних добрив та сприятливішими ґрунтово-кліматичними умовами України.

Аналіз структури емісій показав, що найбільшу частку формує виробництво мінеральних добрив – 41,8 % (809,8 кг CO_2 -eq/га), з яких переважна більшість (87,1 %) припадає на азотні добрива. Друге місце посідають польові емісії N_2O – 34,2 % (662,1 кг CO_2 -eq/га), що є наслідком мікробіологічної трансформації азоту в ґрунті. Використання сільськогосподарської техніки формує 14,1 % викидів (272,9 кг CO_2 -eq/га). Менш значущими джерелами є гідроліз карбаміду (4,9 %), виробництво насіння (3,6 %) та пестицидів (1,4 %).

Таблиця 1

Структура викидів CO₂-еквіваленту за вирощування пшениці озимої

Джерело емісії	кг CO ₂ -eq/га	Частка, %
Виробництво мінеральних добрив	809,8	41,8
зокрема азотних	705,6	36,4
фосфорних	81,0	4,2
калійних	23,2	1,2
Польові емісії N ₂ O	662,1	34,2
зокрема прямі емісії	499,7	25,8
непрямі (волатилізація)	50,0	2,6
непрямі (вимивання)	112,4	5,8
CO ₂ від гідролізу карбаміду	95,6	4,9
Використання техніки	272,9	14,1
Виробництво насіння	70,4	3,6
Виробництво пестицидів	27,4	1,4
Разом	1938,2	100,0

Вуглецева ефективність сортів пшениці озимої

Оскільки технологічні викиди є фіксованими, посортна диференціація вуглецевого сліду визначається виключно урожайністю (табл. 2). За п'ятирічний період досліджень середня врожайність сортів варіювала від 5,79 ('Поліська 90') до 8,20 т/га ('Легенда білоцерківська'), що зумовило розмах вуглецевого сліду від 236,4 до 334,6 кг CO₂-eq/т зерна – різниця становить 41,5 %.

Таблиця 2

Вуглецева ефективність сортів пшениці озимої (2020–2024 рр.)

Сорт	Урожайність, т/га	CV, %	CO ₂ -eq/т	Діапазон	Категорія
'Легенда білоцерківська'	8,20	24,8	236,4	172–335	Високоэффект.
'Охтирчанка'	8,15	18,0	237,8	192–329	Високоэффект.
'Привітна'	7,95	27,1	243,9	163–332	Високоэффект.
'Оптіма одеська'	7,94	26,1	244,2	170–335	Високоэффект.
'МПП Валенсія'	7,83	21,0	247,7	208–367	Високоэффект.
'Естафета миронівська'	6,06	9,3	319,7	287–379	Низькоэффект.
'Аналог'	5,86	12,3	330,5	276–399	Низькоэффект.
'Поліська 90'	5,79	9,5	334,6	292–392	Низькоэффект.

За результатами категоризації до групи високоефективних сортів (вуглецевий слід < 250 кг CO₂-eq/т) увійшли п'ять сортів: 'Легенда білоцерківська', 'Охтирчанка', 'Привітна', 'Оптіма одеська' та 'МПП Валенсія'. Ці сорти характеризуються найвищою середньою врожайністю (7,83–8,20 т/га) та забезпечують найменше навантаження на клімат за виробництва одиниці продукції. Група ефективних сортів (250–280 кг CO₂-eq/т) налічує 13, середніх (280–310 кг CO₂-eq/т) – 14, низькоефективних (> 310 кг CO₂-eq/т) – чотири сорти.

Важливим показником є стабільність урожайності, що характеризується коефіцієнтом варіації (CV). Найстабільнішими виявилися сорти 'Водограй' (CV = 7,7 %), 'Водограй білоцерківський' (8,2 %), 'Соловушка' (8,8 %) та 'Сприятлива' (8,5 %). Високоврожайні сорти групи «Високоефективних» мають вищу варіабельність (CV = 18,0–27,1 %), що свідчить про їх сильнішу реакцію на погодні умови року.

Вуглецевий баланс сортів пшениці озимої

Усі досліджені сорти пшениці озимої є нетто-поглиначами атмосферного CO₂ (табл. 3). Валовий вуглецевий баланс (поглинання біомасою мінус викиди) варіював від +19 340 кг ('Поліська 90') до +28 196 кг CO₂-eq/га ('Легенда білоцерківська'). Співвідношення погли-

нання до викидів становило 11,0–15,5 раза, що підтверджує значний потенціал пшениці як культури для зв'язування атмосферного вуглецю.

Таблиця 3

Вуглецевий баланс сортів пшениці озимої (базовий сценарій – 30 % соломи)

Сорт	т/га	Поглин.	Валовий	Чистий	Секвестр.	Категорія
‘Легенда білоцерківська’	8,20	30 134	+28 196	+3767	–951	Високоэффект.
‘Охтирчанка’	8,15	29 951	+28 012	+3732	–957	Високоэффект.
‘Привітна’	7,95	29 216	+27 277	+3593	–981	Високоэффект.
‘Поліська 90’	5,79	21 278	+19 340	+2090	–1241	Низькоэффект.
Середнє	6,97	25 610	+23 672	+2910	–1099	–

Примітка. Усі показники – кг CO₂-eq/га. Категорії за валовим балансом: високоефективний ($\geq +26\ 000$), ефективний (+24 000...26 000), середній (+22 000...24 000), низькоефективний ($< +22\ 000$).

Чистий вуглецевий баланс поля (вуглець, що залишається на полі мінус викиди) за базового сценарію (30 % соломи) був позитивним для всіх сортів і становив від +2090 до +3767 кг CO₂-eq/га. Однак баланс секвестрації (довгострокове накопичення вуглецю в ґрунті через гуміфікацію) залишався негативним для всіх сортів (від –951 до –1 241 кг CO₂-eq/га), що свідчить про недостатність 30 % соломи для компенсації антропогенних викидів гумусом.

Вплив сценаріїв управління соломою на вуглецевий баланс

Моделювання різних сценаріїв використання соломи виявило суттєвий вплив цього фактора на вуглецевий баланс (табл. 4). Збільшення частки залишеної соломи з 0 до 100 % призводить до зростання чистого балансу на 11 678 кг CO₂-eq/га (в середньому по сортах) та балансу секвестрації – на 1752 кг CO₂-eq/га. При цьому валовий баланс залишається незмінним, оскільки залежить лише від загальної біомаси, а не від її розподілу.

Таблиця 4

Чистий баланс за різної частки залишеної соломи, кг CO₂-eq/га

Сорт	т/га	0 %	30 %	50 %	80 %	100 %	Точка 0
‘Легенда білоцерківська’	8,20	–355	+3767	+6515	+10 637	+13 385	77 %
‘Охтирчанка’	8,15	–365	+3732	+6463	+10 561	+13 292	77 %
‘Привітна’	7,95	–403	+3593	+6257	+10 254	+12 918	80 %
‘Поліська 90’	5,79	–820	+2090	+4031	+6941	+8882	> 100 %
Середнє	6,97	–593	+2910	+5246	+8749	+11 085	90 %

Примітка. Точка 0 – мінімальна частка соломи для досягнення позитивного балансу секвестрації.

Критичним показником є точка безбитковості секвестрації – мінімальна частка соломи, за якої гуміфікація рослинних решток компенсує антропогенні викиди ПГ. Для високоврожайних сортів (‘Легенда білоцерківська’, ‘Охтирчанка’) ця точка становить 77 %, для середньоврожайних – 85–98 %, а для дев'яти низьковрожайних сортів (‘Романівна’, ‘Світанкова’, ‘Оранта одеська’, ‘Здобна’, ‘Соловушка’, ‘Сприятлива’, ‘Естафета миронівська’, ‘Аналог’, ‘Поліська 90’) позитивний баланс секвестрації не досягається навіть у разі повного, 100 %-го залишення соломи (табл. 5).

Таблиця 5

Категоризація сортів за точкою безбитковості секвестрації

Категорія	Кількість	Сорти
Високоэффективні ($\leq 80\ %$)	4	‘Легенда білоцерківська’, ‘Охтирчанка’, ‘Привітна’, ‘Оптіма одеська’
Ефективні (81–90 %)	8	‘МІП Валенсія’, ‘Зорепад білоцерківський’, ‘Мудрість одеська’, ‘Марія’, ‘Краєвид’, ‘Грація білоцерківська’, ‘МІП Дніпрянка’, ‘Співанка Поліська’

Категорія	Кількість	Сорти
Середні (91–99 %)	15	‘Кесарія Поліська’, ‘Бургунка’, ‘Воздвиженка’, ‘Берегиня миронівська’, ‘Вежа миронівська’, ‘Грація миронівська’, ‘МІП Ассоль’, ‘Наснага’, ‘Анатолія’, ‘Манера одеська’, ‘Водограй’, ‘Катруся одеська’, ‘Водограй білоцерківський’, ‘Конка’, ‘МІП Вишиванка’
Низькоефективні (> 100 %)	9	‘Романівна’, ‘Світанкова’, ‘Оранта одеська’, ‘Здобна’, ‘Соловушка’, ‘Сприятлива’, ‘Естафета миронівська’, ‘Аналог’, ‘Поліська 90’

Порівняння крайніх комбінацій «сорт + управління соломою» демонструє значний потенціал оптимізації вуглецевого балансу (табл. 6). Найкраща комбінація (‘Легенда білоцерківська’ + 100 % соломи) забезпечує чистий баланс +13 385 кг CO₂-eq/га та позитивну секвестрацію +492 кг CO₂-eq/га. Найгірша комбінація (‘Поліська 90’ + 0 % соломи) дає негативний чистий баланс –820 кг CO₂-eq/га та секвестрацію –1678 кг CO₂-eq/га. Різниця становить 14 205 кг CO₂-eq/га для чистого балансу та 2170 кг CO₂-eq/га для балансу секвестрації.

Таблиця 6

Порівняння крайніх комбінацій «сорт + солома»

Показник	Найкраща комбінація	Найгірша комбінація
Комбінація	‘Легенда білоцерківська’ + 100 %	‘Поліська 90’ + 0 %
Чистий баланс, кг CO ₂ -eq/га	+13 385	–820
Баланс секвестрації, кг CO ₂ -eq/га	+492	–1678
Різниця чистого балансу	+14 205 кг CO ₂ -eq/га	–
Різниця секвестрації	+2170 кг CO ₂ -eq/га	–

Обговорення результатів

Отримані результати щодо структури викидів ПГ узгоджуються з даними європейських досліджень, які також вказують на домінуючу роль азотних добрив та польових емісій N₂O у формуванні вуглецевого сліду зернових культур [3, 7, 8]. Сумарний внесок цих двох джерел у нашому дослідженні становить 70,6 % від загальних викидів, що відповідає діапазону 65–75 %, установленому в мета-аналізах для помірного кліматичного поясу [9, 10].

Нижчий рівень загальних викидів (1938,2 кг CO₂-eq/га) порівняно з європейськими країнами пояснюється кількома факторами. По-перше, доза азотних добрив 120 кг/га є помірною порівняно з 150–200 кг/га, типовими для інтенсивного землеробства Західної Європи. По-друге, чорноземи України характеризуються вищою природною родючістю та кращим азотним режимом, що зменшує потребу в мінеральних добривах. По-третє, менша інтенсивність механізованих операцій та нижчі витрати палива на гектар знижують емісії від використання техніки [15, 17].

Значна посортна диференціація вуглецевого сліду (236,4–334,6 кг CO₂-eq/т) підтверджує важливість селекційного прогресу для досягнення цілей кліматичної нейтральності. Різниця у 41,5 % між крайніми сортами є суттєвою з практичного погляду: перехід від низькодо високоврожайного сорту дає змогу виробляти ту саму кількість зерна з на третину меншим навантаженням на клімат. Подібні закономірності встановлені й для інших регіонів світу [3, 14], що підтверджує універсальність принципу «більший урожай – менший вуглецевий слід на одиницю продукції».

Особливий інтерес являє виявлена закономірність щодо точок беззбитковості секвестрації. Для 25 % досліджених сортів (9 із 36) позитивний баланс секвестрації недосяжний навіть за повного залишення соломи на полі. Це означає, що для цих сортів пшениці вирощування за будь-яких умов призводить до нетто-втрат органічного вуглецю ґрунту. Для компенсації цього дефіциту необхідні додаткові заходи: впровадження покривних культур (+1,7–2,4 т CO₂-eq/га

за даними [12]), внесення органічних добрив, застосування біовугілля або заміна низьковрожайних сортів на високоврожайні альтернативи [32, 34].

Виявлений ефект управління соломою (+11 678 кг CO₂-eq/га чистого балансу при переході від 0 до 100 % залишення) є більшим за ефект вибору сорту (+4504 кг CO₂-eq/га різниці між крайніми сортами). Це свідчить про пріоритетність агротехнічних рішень над генетичними для досягнення кліматичних цілей у короткостроковій перспективі. Водночас комбінування обох факторів дає синергетичний ефект: різниця між найкращою та найгіршою комбінаціями становить 14 205 кг CO₂-eq/га, що еквівалентно 14,2 т CO₂ на гектар за один сезон вирощування.

Практичне значення отриманих результатів полягає у формуванні науково обґрунтованих рекомендацій для різних категорій сортів. Високоєфективні сорти ('Легенда білоцерківська', 'Охтирчанка', 'Привітна', 'Оптіма одеська') досягають позитивної секвестрації при залишенні $\geq 80\%$ соломи, що є цілком реалістичним з агрономічного погляду. Ефективні сорти потребують $\geq 90\%$ соломи, що обмежує можливості її використання для інших потреб. Для середніх та низькоєфективних сортів рекомендовано повне залишення соломи з обов'язковим впровадженням додаткових заходів секвестрації.

Отримані дані мають важливе значення для розроблення національних критеріїв сталого агровиробництва, що є актуальним в контексті євроінтеграційних процесів України [5, 6]. Запропонована методологія розрахунку вуглецевого балансу з урахуванням посортової диференціації та сценаріїв управління соломою може бути використана для сертифікації низьковуглецевої продукції та участі у вуглецевих ринках. Крім того, результати дослідження надають інструментарій для моніторингу виконання зобов'язань України за Паризькою кліматичною угодою в частині сільськогосподарського сектору.

Висновки

Загальні викиди парникових газів за вирощування пшениці озимої в умовах Правобережного Лісостепу України становлять 1938,2 кг CO₂-eq/га. Основними джерелами емісій є виробництво мінеральних добрив (41,8 %, зокрема азотних – 36,4 %) та польові емісії N₂O (34,2 %). Отримані значення нижчі за європейські аналоги (2330–2919 кг/га), що пояснюється помірними дозами добрив та сприятливими ґрунтово-кліматичними умовами.

Встановлено значну посортову диференціацію вуглецевого сліду – від 236,4 кг CO₂-eq/т ('Легенда білоцерківська') до 334,6 кг CO₂-eq/т ('Поліська 90'). За результатами категоризації 36 сортів: 5 – високоєфективні (< 250 кг/т), 13 – ефективні (250–280 кг/т), 14 – середні (280–310 кг/т), 4 – низькоєфективні (> 310 кг/т). Вибір високоврожайного сорту дає змогу зменшити вуглецевий слід продукції на 29,3 %.

Усі досліджені сорти є нетто-поглиначами атмосферного CO₂ з валовим балансом від +19,3 до +28,2 т CO₂-eq/га (співвідношення поглинання до викидів 11,0–15,5 раза). За базового сценарію (30% соломи) чистий баланс поля становить +2,1...+3,8 т CO₂-eq/га, проте баланс секвестрації залишається негативним (–0,95...–1,24 т CO₂-eq/га) для всіх сортів.

Збільшення частки залишеної соломи з 0 до 100 % підвищує чистий баланс на 11,7 т CO₂-eq/га та баланс секвестрації на 1,75 т CO₂-eq/га. Точка беззбитковості секвестрації (перехід балансу в позитивну зону) для високоврожайних сортів становить 77–80 % соломи, для середньоврожайних – 81–99 %, а для дев'яти низьковрожайних сортів (25 % вибірки) позитивний баланс недосяжний навіть у разі 100 %-го залишення.

Комбінований ефект «сорт + управління соломою» забезпечує різницю між крайніми варіантами 14,2 т CO₂-eq/га для чистого балансу та 2,2 т CO₂-eq/га для балансу секвестрації. Оптимальною стратегією є вирощування високоврожайних сортів ('Легенда білоцерківська', 'Охтирчанка', 'Привітна', 'Оптіма одеська') із залишенням $\geq 80\%$ соломи, що забезпечує позитивний баланс секвестрації +0,3...0,5 т CO₂-eq/га на рік.

Для низьковрожайних сортів, які не досягають позитивної секвестрації, рекомендовано:

- а) повне залишення соломи (100 %);
- б) упровадження покривних культур;

- в) унесення органічних добрив;
- г) заміну на високоврожайні альтернативи.

Запропонована методологія може бути використана для сертифікації низьковуглецевої продукції та участі у вуглецевих ринках.

Використана література

1. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva : IPCC, 2023. 184 p. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
2. Tubiello F. N., Salvatore M., Rossi S. et al. The FAOSTAT database of greenhouse gas emissions from agriculture. *Environmental Research Letters*. 2013. Vol. 8, Iss. 1. Article 015009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015009>
3. Gan Y., Liang C., Hamel C. et al. Improving farming practices reduces the carbon footprint of spring wheat production. *Nature Communications*. 2014. Vol. 5, Iss. 1. Article 5012. <https://doi.org/10.1038/ncomms6012>
4. Великоіваненко Г. І., Ткач О. В. Роль України у глобальній продовольчій безпеці. *Агроекономіка*. 2025. № 1. С. 33–38. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2025.1.33>
5. Communication from the Commission: The European Green Deal. COM (2019) 640 final / European Commission. Brussels, 2019. 24 p.
6. The criterion of sustainability for Ukrainian agribusiness products based on the guidelines of FAO and the EU Taxonomy / EY Ukraine. Kyiv : EY, 2024. 45 p.
7. Snyder C. S., Bruulsema T. W., Jensen T. L., Fixen P. E. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2009. Vol. 133, Iss. 3–4. P. 247–266. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.04.021>
8. Chataut G., Bhatta B., Joshi D. et al. Greenhouse gases emission from agricultural soil: A review. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2023. Vol. 11. Article 100533. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100533>
9. Rajaniemi M., Mikkola H., Ahokas J. Greenhouse gas emissions from oats, barley, wheat and rye production in Finland. *Biosystems Engineering*. 2011. Vol. 110, Iss. 2. P. 167–177. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.07.002>
10. Holka M., Bieńkowski J. Carbon footprint and life-cycle costs of maize production in conventional and non-inversion tillage systems. *Agronomy*. 2020. Vol. 10, Iss. 12. Article 1877. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121877>
11. Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*. 2004. Vol. 304, Iss. 5677. P. 1623–1627. <https://doi.org/10.1126/science.1097396>
12. Poeplau C., Don A. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2015. Vol. 200. P. 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024>
13. Song X., Liu M., Ju X. et al. Carbon footprint of maize-wheat cropping system after 40-year fertilization. *Science of the Total Environment*. 2024. Vol. 926. Article 172082. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172082>
14. Berry P. M., Kindred D. R., Paveley N. D. Quantifying the effects of fungicides and disease resistance on greenhouse gas emissions associated with wheat production. *Plant Pathology*. 2008. Vol. 57, Iss. 6. P. 1000–1008. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2008.01899.x>
15. Польовий А. М., Божко Л. Ю. Моделювання емісії парникових газів із ґрунтів агроєкосистем. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія : Геологія. Географія. Екологія*. 2021. Вип. 54. С. 329–344. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-25>
16. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2024 рік. Київ : Український інститут експертизи сортів рослин, 2024. 520 с.
17. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур. Львів : Українські технології, 2006. 730 с.

18. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use / IPCC. Hayama : IGES, 2006. 673 p.
19. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use / IPCC. Geneva : IPCC, 2019. 110 p.
20. Brentrup F., Pallière C. GHG emissions and energy efficiency in European nitrogen fertiliser production and use. *Proceedings of the International Fertiliser Society*. 2008. No. 639. P. 1–25.
21. Wood S., Cowie A. A review of greenhouse gas emission factors for fertiliser production. *IEA Bioenergy Task 38*. 2004. 20 p.
22. Myhre G., Shindell D., Bréon F.-M. et al. Anthropogenic and natural radiative forcing. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis* / ed. by T. F. Stocker et al. Cambridge : Cambridge University Press, 2013. P. 659–740. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf
23. Rochette P., Worth D. E., Lemke R. L. et al. Estimation of N₂O emissions from agricultural soils in Canada. I. Development of a country-specific methodology. *Canadian Journal of Soil Science*. 2008. Vol. 88, Iss. 5. P. 641–654. <https://doi.org/10.4141/CJSS07025>
24. Forster P., Ramaswamy V., Artaxo P. et al. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge : Cambridge University Press, 2007. P. 129–234.
25. Audsley E., Stacey K., Parsons D. J., Williams A. G. Estimation of the greenhouse gas emissions from agricultural pesticide manufacture and use. Cranfield : Cranfield University, 2009. 24 p. URL: <https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/server/api/core/bitstreams/78cd42ff-e564-4112-ab50-e5e7fc4da80a/content>
26. Lal R. Carbon emission from farm operations. *Environment International*. 2004. Vol. 30, Iss. 7. P. 981–990. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.03.005>
27. West T. O., Marland G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2002. Vol. 91, Iss. 1–3. P. 217–232. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00233-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00233-X)
28. Bolinder M. A., Janzen H. H., Gregorich E. G. et al. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2007. Vol. 118, Iss. 1–4. P. 29–42. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.013>
29. Kätterer T., Bolinder M. A., Andrén O. et al. Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2011. Vol. 141, Iss. 1–2. P. 184–192. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.02.029>
30. Johnson J. M.-F., Allmaras R. R., Reicosky D. C. Estimating source carbon from crop residues, roots and rhizodeposits using the national grain-yield database. *Agronomy Journal*. 2006. Vol. 98, Iss. 3. P. 622–636. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0179>
31. Сябряк О. П. Оцінка втрат вуглецю з чорнозему типового за різних способів обробітку та систем удобрення. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2013. Вип. 80. С. 140–146.
32. Vleeshouwers L. M., Verhagen A. Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe. *Global Change Biology*. 2002. Vol. 8, Iss. 6. P. 519–530. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00485.x>
33. Lemke R. L., VandenBygaart A. J., Campbell C. A. et al. Crop residue removal and fertilizer N: effects on soil organic carbon in a long-term crop rotation experiment on a Udic Boroll. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2010. Vol. 135, Iss. 1–2. P. 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.08.010>
34. Liu C., Lu M., Cui J. et al. Effects of straw carbon input on carbon dynamics in agricultural soils: a meta-analysis. *Global Change Biology*. 2014. Vol. 20, Iss. 5. P. 1366–1381. <https://doi.org/10.1111/gcb.12517>
35. Polevoy A., Mykytiuk O., Barsukova O., Husieva K. Climate change and greenhouse gas emissions from soils under the winter wheat agroecosystem in Ukraine. *Agrology*. 2024. Vol. 7, Iss. 3. P. 107–111. <https://doi.org/10.32819/202414>

36. Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001. Vol. 4, Iss. 1. P. 1–9. URL: https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf

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

References

1. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

2. Tubiello, F. N., Salvatore, M., Rossi, S., Ferrara, A., Fitton, N., & Smith, P. (2013). The FAOSTAT database of greenhouse gas emissions from agriculture. *Environmental Research Letters*, 8(1), Article 015009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015009>

3. Gan, Y., Liang, C., Chai, Q., Lemke, R. L., Campbell, C. A., & Zentner, R. P. (2014). Improving farming practices reduces the carbon footprint of spring wheat production. *Nature Communications*, 5(1), Article 5012. <https://doi.org/10.1038/ncomms6012>

4. Velykoivanenko, H. I., & Tkach, O. V. (2025). The role of Ukraine in global food security. *Agrosvit*, 1, 33–38. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2025.1.33>

5. European Commission. (2019). *Communication from the Commission: The European Green Deal* (COM (2019) 640 final).

6. EY Ukraine. (2024). *The criterion of sustainability for Ukrainian agribusiness products based on the guidelines of FAO and the EU Taxonomy*. EY.

7. Snyder, C. S., Bruulsema, T. W., Jensen, T. L., & Fixen, P. E. (2009). Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 133(3–4), 247–266. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.04.021>

8. Chataut, G., Bhatta, B., Joshi, D., Subedi, K., & Kafle, K. (2023). Greenhouse gases emission from agricultural soil: A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11, Article 100533. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100533>

9. Rajaniemi, M., Mikkola, H., & Ahokas, J. (2011). Greenhouse gas emissions from oats, barley, wheat and rye production in Finland. *Biosystems Engineering*, 110(2), 167–177. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.07.002>

10. Holka, M., & Bieńkowski, J. (2020). Carbon footprint and life-cycle costs of maize production in conventional and non-inversion tillage systems. *Agronomy*, 10(12), Article 1877. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121877>

11. Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623–1627. <https://doi.org/10.1126/science.1097396>

12. Poepflau, C., & Don, A. (2015). Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024>

13. Shao, G., Zhou, J., Liu, B., Alharbi, S. A., Liu, E., & Kuzyakov, Y. (2024). Carbon footprint of maize-wheat cropping system after 40-year fertilization. *Science of the Total Environment*, 926, Article 172082. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172082>

14. Berry, P. M., Kindred, D. R., & Paveley, N. D. (2008). Quantifying the effects of fungicides and disease resistance on greenhouse gas emissions associated with wheat production. *Plant Pathology*, 57(6), 1000–1008. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2008.01899.x>

15. Poloviyi, A. M., & Bozhko, L. Yu. (2021). Modeling of greenhouse gas emissions from soils of agroecosystems. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, Series Geology. Geography. Ecology*, 54, 329–344. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-25>

16. Ukrainian Institute for Plant Variety Examination. (2024). State register of plant varieties suitable for dissemination in Ukraine for 2024. [In Ukrainian]

17. Lykhochvor, V. V., & Petrychenko, V. F. (2006). *Plant growing. Modern intensive technologies of cultivation of main field crops*. Ukrainski tekhnolohii. [In Ukrainian]
18. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Vol. 4. Agriculture, forestry and other land use*. IGES.
19. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). *2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Vol. 4. Agriculture, forestry and other land use*.
20. Brentrup, F., & Pallière, C. (2008). GHG emissions and energy efficiency in European nitrogen fertiliser production and use. *Proceedings of the International Fertiliser Society*, 639, 1–25.
21. Wood, S., & Cowie, A. (2004). *A review of greenhouse gas emission factors for fertiliser production*. IEA Bioenergy Task 38.
22. Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.-M., Collins, W., Fuglestedt, J., Huang, J., Koch, D., Lamarque, J.-F., Lee, D., Mendoza, B., Nakajima, T., Robock, A., Stephens, G., Takemura, T., & Zhang, H. (2013). Anthropogenic and natural radiative forcing. In T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, & P. M. Midgley (Eds.), *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 659–740). Cambridge University Press.
23. Rochette, P., Worth, D. E., Lemke, R. L., McConkey, B. G., Pennock, D. J., Wagner-Riddle, C., & Desjardins, R. J. (2008). Estimation of N₂O emissions from agricultural soils in Canada. I. Development of a country-specific methodology. *Canadian Journal of Soil Science*, 88(5), 641–654. <https://doi.org/10.4141/CJSS07025>
24. Forster, P., Ramaswamy, V., & Artaxo, P. (2007). Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In *Climate change 2007: The physical science basis* (pp. 129–234). Cambridge University Press.
25. Audsley, E., Stacey, K., Parsons, D. J., & Williams, A. G. (2009). *Estimation of the greenhouse gas emissions from agricultural pesticide manufacture and use*. Cranfield University. <https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/server/api/core/bitstreams/78cd42ff-e564-4112-ab50-e5e7fc4da80a/content>
26. Lal, R. (2004). Carbon emission from farm operations. *Environment International*, 30(7), 981–990. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.03.005>
27. West, T. O., & Marland, G. (2002). A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: Comparing tillage practices in the United States. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 91(1–3), 217–232. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00233-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00233-X)
28. Bolinder, M. A., Janzen, H. H., Gregorich, E. G., Angers, D. A., & Van den Bygaart, A. J. (2007). An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 118(1–4), 29–42. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.013>
29. Kätterer, T., Bolinder, M. A., Andrén, O., Kirchmann, H., & Menichetti, L. (2011). Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 141(1–2), 184–192. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.02.029>
30. Johnson, J. M.-F., Allmaras, R. R., & Reicosky, D. C. (2006). Estimating source carbon from crop residues, roots and rhizodeposits using the national grain-yield database. *Agronomy Journal*, 98(3), 622–636. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0179>
31. Siabriuk, O. P. (2013). Estimation of carbon losses from typical chernozem under different tillage methods and fertilization systems. *AgroChemistry and Soil Science*, 80, 140–146. [In Ukrainian]
32. Vleeshouwers, L. M., & Verhagen, A. (2002). Carbon emission and sequestration by agricultural land use: A model study for Europe. *Global Change Biology*, 8(6), 519–530. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00485.x>
33. Lemke, R. L., VandenBygaart, A. J., Campbell, C. A., Lafond, G. P., & Grant, B. (2010). Crop residue removal and fertilizer N: Effects on soil organic carbon in a long-term crop rotation

experiment on a Udic Boroll. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 135(1–2), 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.08.010>

34. Liu, C., Lu, M., Cui, J., Li, B., & Fang, C. (2014). Effects of straw carbon input on carbon dynamics in agricultural soils: A meta-analysis. *Global Change Biology*, 20(5), 1366–1381. <https://doi.org/10.1111/gcb.12517>

35. Polevoy, A., Mykytiuk, O., Barsukova, O., & Husieva, K. (2024). Climate change and greenhouse gas emissions from soils under the winter wheat agroecosystem in Ukraine. *Agrology*, 7(3), 107–111. <https://doi.org/10.32819/202414>

36. Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 1–9. https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf

37. Prysiazhniuk, O. I., Klymovych, N. M., Polunina, O. V., Yevchuk, Ya. V., Tretiakova, S. O., Kononenko, L. M., Voitovska, V. I., & Mykhailovyn, Yu. M. (2021). *Methodology and organization of scientific research in agriculture and food technologies*. Nilan-LTD. <https://doi.org/10.47414/978-966-924-927-2> [In Ukrainian]

UDC 620.952:633.11:504.7

Prysiazhniuk, O. I.*, **Kononiuk, N. O.**, **Maliarenko, O. A.**, **Musich, V. V.**, **Polovynchuk, O. Yu.**, **Honcharuk, O. M.**, **Voloshyn, P. Yu.**, & **Shevchenko, O. P.** (2025). Greenhouse gas emissions and carbon balance of winter wheat varieties cultivated in the Forest Steppe of Ukraine. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 33, 95–107. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.349400>

*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, *e-mail: ollpris@gmail.com*

Aim. To determine greenhouse gas emissions and the formation of carbon balance of winter wheat cultivated in the Right-Bank Forest Steppe of Ukraine. **Methods.** The study was conducted in 2020–2024 on typical low-humus chernozem. The object comprised 36 winter wheat varieties. Greenhouse gas emissions were calculated according to IPCC methodology (Tier 1), taking into account fertiliser production, field N₂O emissions, urea hydrolysis, use of machinery, seed, and pesticides. Carbon balance was defined as the difference between CO₂ absorption by biomass and anthropogenic emissions; gross, net, and sequestration balances were separately assessed, considering humification of plant residues. Varieties were categorised by carbon footprint, gross balance, and sequestration break-even point, and scenarios of straw retention (0–100%) were modelled. **Results.** Total emissions amounted to 1938.2 kg CO₂-eq/ha, of which 41.8% was attributed to fertiliser production and 34.2% to field N₂O emissions. The carbon footprint of varieties ranged from 236.4 to 334.6 kg CO₂-eq/t grain (a difference of 41.5%) and was determined by yield level. Five varieties with yields of 7.83–8.20 t/ha were classified as highly efficient in terms of carbon footprint. All varieties acted as net CO₂ sinks: gross balance was +19.3...+28.2 t CO₂-eq/ha, net balance +2.1...+3.8 t CO₂-eq/ha (with 30% straw retained). The sequestration balance under the baseline scenario remained negative (–0.95...–1.24 t CO₂-eq/ha). Increasing the proportion of retained straw from 0 to 100% raised the net balance by an average of 11.7 t CO₂-eq/ha and the sequestration balance by 1.75 t CO₂-eq/ha. The sequestration break-even point for high-yielding varieties was 77–80%, whereas for 25% of low-yielding varieties it was unreachable even at 100% straw retention. **Conclusions.** The choice of high-yielding varieties combined with optimal straw management is a key factor in reducing climate load and achieving positive carbon balance. The most effective strategy is cultivation of varieties with high carbon efficiency while retaining at least 80% of straw; for low-yielding varieties, additional sequestration measures are required.

Keywords: winter wheat; greenhouse gases; carbon footprint; carbon sequestration; variety.

Надійшла / Received 08.10.2025

Погоджено до друку / Accepted 24.11.2025

Опубліковано онлайн / Published online 29.12.2025

Закономірності зміни фотосинтетичних параметрів кукурудзи залежно від елементів технології вирощування

 О. І. Присяжнюк*,  О. В. Копитов

*Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, *e-mail: ollpris@gmail.com*

Мета. Установити закономірності зміни фотосинтетичних параметрів кукурудзи залежно від застосування кріопротектора та вологоутримувача в умовах Лісостепу України. **Методи.** Польові дослідження проводили впродовж 2023–2025 рр. у виробничих посівах господарства групи «Агро-Рось-Інвест» (Черкаська обл.) на чорноземі типовому. Висівали гібрид кукурудзи 'ДКС 4351'. Схема досліду включала застосування кріопротектора Амалгерол Ессенс для передпосівної обробки насіння та обприскування посівів після приморозків у поєднанні з унесенням вологоутримувача Aquasorb (0, 50, 100, 150 та 200 кг/га) під ранньовесняну культивуацію. Площу листової поверхні (ПЛП), фотосинтетичний потенціал (ФП) та чисту продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) посівів культури обліковували за методикою А. О. Ничипоровича. **Результати.** Погодні умови років досліджень істотно впливали на інтенсивність фотосинтетичної діяльності посівів кукурудзи. У контрольному варіанті максимальна ПЛП становила в середньому 42,0–44,5 тис. м²/га, тоді як застосування кріопротектора забезпечувало її зростання на 6–11 %. Поєднання кріопротектора з вологоутримувачем у нормі 50–100 кг/га сприяло підвищенню ПЛП до 47,5–50,8 тис. м²/га, що на 10–18 % перевищувало контрольні значення. ФП у контрольному варіанті коливався в межах 1,85–2,10 млн м²·діб/га, тоді як за оптимального поєднання досліджуваних факторів зростав до 2,25–2,45 млн м²·діб/га. ЧПФ у середньому становила 4,6–4,9 г/м² на добу у контролі та підвищувалася до 5,2–5,8 г/м² на добу за передпосівного застосування Амалгерол Ессенс у поєднанні з 50–100 кг/га Aquasorb. Підвищення норми вологоутримувача до 150–200 кг/га не супроводжувалося подальшим зростанням фотосинтетичних показників і в деякі роки призводило до зниження ЧПФ на 4–7 %, що свідчить про перевищення фізіологічного оптимуму водного режиму. **Висновки.** Формування фотосинтетичних параметрів посівів кукурудзи визначається поєднаною дією погодних умов і технологічних прийомів. Найефективнішим є комбіноване застосування передпосівної обробки насіння кріопротектором Амалгерол Ессенс та внесення вологоутримувача Aquasorb у нормі 50 кг/га, що забезпечує оптимальне поєднання площі листової поверхні, високого фотосинтетичного потенціалу та максимальної чистої продуктивності фотосинтезу.

Ключові слова: фотосинтез; площа листової поверхні; фотосинтетичний потенціал; чиста продуктивність фотосинтезу; кріопротектор; вологоутримувач; Aquasorb; Амалгерол Ессенс; адаптивність.

Вступ

Кукурудза є однією з провідних зернових культур світового землеробства, рівень продуктивності якої значною мірою визначається ефективністю функціонування фотосинтетичного апарату протягом вегетації. Формування врожаю культури тісно пов'язане з динамі-

Як цитувати: Присяжнюк О. І., Копитов О. В. Закономірності зміни фотосинтетичних параметрів кукурудзи залежно від елементів технології вирощування. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2025. Вип. 33. С. 108–119. <https://doi.org/10.47414/nr.33.2025.349327>



© The Author(s) 2025. Published by Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

кою росту листової поверхні, величиною фотосинтетичного потенціалу та рівнем чистої продуктивності фотосинтезу, що інтегрують вплив генетичних особливостей гібридів, агротехнічних заходів і метеорологічних умов року. У зв'язку з цим дослідження закономірностей формування фотосинтетичних параметрів рослин розглядають як один із ключових напрямів удосконалення сучасних технологій вирощування кукурудзи [1, 2].

В умовах кліматичної мінливості, яка проявляється підвищенням температурного фону, нерівномірним розподілом атмосферних опадів і зростанням частоти посушливих періодів, інтенсивність фотосинтезу кукурудзи істотно знижується, особливо у критичні фази розвитку – від формування 7–15 листків до цвітіння качана та наливу зерна. За таких умов вирішального значення набувають стабільність водного режиму ґрунту та фізіологічна стійкість рослин до дії абіотичних стресових чинників, які визначають можливість реалізації потенційної продуктивності культури [3–5].

Результати світових досліджень свідчать, що оптимізація фотосинтетичної діяльності рослин може бути досягнута не лише шляхом раціоналізації мінерального живлення, а й завдяки застосуванню регуляторів фізіологічних процесів і технологічних прийомів, спрямованих на зменшення негативного впливу абіотичних стресів. У цьому контексті значну увагу приділяють використанню кріопротекторів і біостимуляторів, які активізують функціонування кореневої системи, хлоропластів і ферментних систем фотосинтезу, а також вологоутримувачів (гідрогелів), здатних стабілізувати водозабезпечення рослин упродовж вегетації [6–8].

Водночас у науковій літературі бракує узагальнених даних щодо комбінованого впливу кріопротекторів і вологоутримувачів на формування фотосинтетичних параметрів кукурудзи в умовах Лісостепу України, особливо з урахуванням міжрічної мінливості погодних умов. Більшість наявних досліджень зосереджені на окремих фізіологічних показниках або аналізі кінцевої врожайності, тоді як системний аналіз динаміки площі листової поверхні, фотосинтетичного потенціалу та чистої продуктивності фотосинтезу за повною схемою технологічних факторів має фрагментарний характер [9–12].

У зв'язку з цим актуальним є встановлення закономірностей зміни фотосинтетичних параметрів кукурудзи залежно від застосування кріопротектора та вологоутримувача, визначення оптимальних норм і способів їх використання, а також оцінювання їхньої ролі у стабілізації фотосинтетичної діяльності рослин за стресових гідротермічних умов [13]. Такий підхід дає змогу не лише поглибити уявлення про фізіологічні механізми формування продуктивності кукурудзи, а й науково обґрунтувати елементи адаптивних технологій її вирощування.

Мета досліджень – установити закономірності зміни фотосинтетичних параметрів кукурудзи залежно від застосування кріопротектора та вологоутримувача в умовах Лісостепу України.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили впродовж 2023–2025 рр. в умовах Правобережного Лісостепу України (Черкаська обл., Смілянський р-н) у виробничих посівах господарства групи «Агро-Рось-Інвест».

Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем типовий вилугуваний, середньоглибокий, малогумус-ний, грубопилувато-легкосуглинковий, сформований на карбонатному лесі. Орний шар ґрунту характеризується таким гранулометричним складом: уміст крупного пилу – 48,9–59,3 %, фізичної глини – 31,2–32,4 %, мулу – 19,3–23,7 %, піску – 9,7–18,9 %.

За агрохімічною характеристикою ґрунт містить 3,4 % гумусу (за Тюрнімом – Коновою), легкогідролізованого азоту (за Корнфільдом) – 92–119 мг/кг, рухомих сполук фосфору і калію (за Чириковим) – відповідно 128–157 та 119–132 мг/кг ґрунту. Нітрифікаційна здатність ґрунту є середньою і становить 2,1–3,4 мг на 100 г абсолютно сухого ґрунту.

Погодні умови років досліджень характеризувалися підвищеною мінливістю температурного режиму та нестійким зволоженням, що зумовлювало формування різного рівня гідротермічного навантаження на посіви впродовж вегетаційного періоду. У всі роки середньодобова температура повітря переважно перевищувала багаторічні середні значення,

особливо в літні місяці, що створювало передумови для прояву теплового та водного стресу в критичні фази росту й розвитку рослин.

Вегетаційний період 2023 року відзначався відносно сприятливими умовами на початкових етапах розвитку культури, з достатніми запасами продуктивної вологи у весняний період. У другій половині вегетації, зокрема в червні – липні, спостерігалось різке зниження зволоження ґрунту на тлі підвищеного температурного фону, що призводило до періодичних проявів водного стресу. Часткове покращення умов відмічали лише в деякі періоди липня та на початку вересня внаслідок нерівномірного випадання опадів.

Погодні умови 2024 року були посушливими. Початок весняної вегетації відбувався за достатнього зволоження ґрунту, однак уже з травня встановився стійкий дефіцит атмосферних опадів, який зберігався до кінця серпня. У літні місяці температура повітря суттєво перевищувала багаторічну норму, а відсутність ефективних опадів у фазах формування генеративних органів і наливу зерна створювала критичні умови для росту й реалізації продуктивного потенціалу культури. Вегетаційний період 2025 року проходив за умов підвищеного температурного фону та загального дефіциту атмосферних опадів, однак відзначався дещо рівномірнішим розподілом вологи навесні та на початку літа. Водночас у другій половині вегетації (липень – серпень) спостерігалось поєднання високих температур із мінімальними обсягами опадів, що зумовлювало інтенсивне виснаження запасів продуктивної вологи в ґрунті та формування тривалого водного стресу рослин.

Таблиця 1

Вплив кріопротектора та вологоутримувача на продуктивність кукурудзи

Кріопротектор	Вологоутримувач (гідрогель)
Контроль – без обробки кріопротектором	Без вологоутримувача
	Вологоутримувач Aquasorb, 50 кг/га
	Вологоутримувач Aquasorb, 100 кг/га
	Вологоутримувач Aquasorb, 150 кг/га
	Вологоутримувач Aquasorb, 200 кг/га
Амалгерол Ессенс – обробка повітів відразу після настання заморозків у нормі 2,5 л/га	Без вологоутримувача
	Вологоутримувач Aquasorb, 50 кг/га
	Вологоутримувач Aquasorb, 100 кг/га
	Вологоутримувач Aquasorb, 150 кг/га
	Вологоутримувач Aquasorb, 200 кг/га
Амалгерол Ессенс – передпосівна обробка з розрахунку 2,5 л на гектарну норму насіння	Без вологоутримувача
	Вологоутримувач Aquasorb, 50 кг/га
	Вологоутримувач Aquasorb, 100 кг/га
	Вологоутримувач Aquasorb, 150 кг/га
	Вологоутримувач Aquasorb, 200 кг/га

Площа елементарної облікової ділянки становила 50 м², повторність досліду – триразова. Розміщення ділянок – рендомізоване.

Вирощували гібрид кукурудзи 'ДКС 4351', який вивівали в максимально ранні строки за досягнення температури ґрунту на глибині загортання насіння 8 °С.

Вологоутримувач Aquasorb (Аквасорб) вносили під ранньовесняну культивування суцільним способом із використанням розкидача типу Amazone ZA-TS 3200. Обробку насіння кукурудзи кріопротектором здійснювали перед сівбою, а обробку посівів – безпосередньо після настання заморозків у дозах, рекомендованих виробником.

За методикою А. О. Ничипоровича визначено:

– динаміку наростання листкової поверхні, тис. м²/га:

$$S_n = 0,65ab,$$

де S_n – площа одного листка, см²; a – найширша частина листка, см; b – довжина листка, см; $0,65$ – коефіцієнт, який відображає конфігурацію листка.

РОСЛИННИЦТВО

- фотосинтетичний потенціал (ФП), тис. м²·добу/га:

$$\text{ФП} = [(Л1 + Л2) / 2] \times T,$$

де $L1$ і $L2$ – площа листової поверхні у визначені фази розвитку (тис. м²/га); T – тривалість міжфазного періоду (дів).

- чисту продуктивність фотосинтезу (ЧПФ), г/м² за добу:

$$\text{ЧПФ} = 2(B1-B2)/[n (Л1+Л2)],$$

де $B1$ і $B2$ – суха маса рослин у кінці і на початку облікового періоду, г; $L1$ і $L2$ – площа листової поверхні на початку та у кінці облікового періоду, м²; n – кількість дів за період.

Дослідження виконували відповідно до загальноприйнятих методик проведення польових дослідів і спеціальних методик [14, 15].

Результати досліджень

Інтенсивність формування площі листової поверхні рослинами кукурудзи є важливим показником ефективності формування фотосинтетично активного апарату та здатності культури засвоювати сонячну енергію для забезпечення високого рівня продуктивності. Динаміка цього показника відображає потенціал агрофітоценозу щодо накопичення сухої речовини та реалізації продуктивних можливостей рослин упродовж вегетації.

Показники площі листової поверхні кукурудзи залежно від дії факторів дослідів наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Площа листя залежно від впливу факторів дослідів, тис. м²/га (середнє за 2023–2025 рр.)

Кріопротектор	Вологоутримувач (гідрогель)	Фаза розвитку					
		сходи	7-й листок	15-й листок	цвітіння качана	молочна стиглість	повна стиглість
Контроль – без обробки кріопротектором	Без вологоутримувача	0,75	4,91	24,68	32,86	30,25	26,49
	Aquasorb, 50 кг/га	0,76	5,06	25,11	33,44	31,15	26,98
	Aquasorb, 100 кг/га	0,77	5,13	25,45	33,76	31,83	27,27
	Aquasorb, 150 кг/га	0,83	5,30	26,03	34,11	32,39	27,55
	Aquasorb, 200 кг/га	0,85	5,36	26,47	34,61	32,97	27,96
Амалгерол Ессенс відразу після настання заморозків	Без вологоутримувача	0,75	4,99	24,35	33,17	32,01	26,52
	Aquasorb, 50 кг/га	0,76	5,10	24,74	33,59	32,52	26,99
	Aquasorb, 100 кг/га	0,77	5,15	25,09	33,94	32,87	27,25
	Aquasorb, 150 кг/га	0,84	5,30	25,36	34,26	33,23	27,48
	Aquasorb, 200 кг/га	0,85	5,38	25,75	34,73	33,66	27,89
Амалгерол Ессенс передпосівна обробка насіння	Без вологоутримувача	0,83	5,10	25,36	34,95	33,03	27,25
	Aquasorb, 50 кг/га	0,83	5,21	25,76	35,50	33,55	27,66
	Aquasorb, 100 кг/га	0,84	5,27	26,12	35,86	33,90	27,95
	Aquasorb, 150 кг/га	0,89	5,39	26,46	36,17	34,29	28,26
	Aquasorb, 200 кг/га	0,93	5,51	26,85	36,67	34,69	28,69
HP _{0,05}		0,02	0,10	0,38	1,0	1,1	0,6

У 2023 році у фазі появи семи листків рослини кукурудзи в середньому по досліді сформували площу листя на рівні 5,2 тис. м², що є недостатнім для ефективного пригнічення бур'янів та зменшення втрат вологи з поверхні ґрунту внаслідок випаровування. Це зумовлено повільними темпами росту наземної маси на ранніх етапах органогенезу культури і свідчить про необхідність підвищеної уваги до заходів догляду за посівами в цей період.

У фазі появи 15-го листка загальна площа листової поверхні рослин кукурудзи в середньому по досліді зростає до 27,1 тис. м², що забезпечувало ефективне функціонування фотосинтетичного апарату та формування стійкого агрофітоценозу. Максимальні значення площі листя в 2023 році відмічено у фазу цвітіння качана – в середньому 36,2 тис. м². При

цьому найвищі показники зафіксовано у варіантах із застосуванням вологоутримувача та обробкою рослин кріопротектором – 37,9–38,6 тис. м².

Аналогічні закономірності формування листової поверхні спостерігали і у 2024 році. У фазу появи семи листків середня площа листя становила 5,19 тис. м², що також не забезпечувало достатнього екологічного контролю агрофітоценозу та мінімізації випаровування вологи з ґрунту. Це підтверджує критичність початкових етапів росту кукурудзи щодо впливу несприятливих факторів середовища.

У фазі 15-го листка площа листової поверхні в середньому по досліді зроста до 25,5 тис. м², що було достатнім для активізації фотосинтетичних процесів. Максимального значення цей показник досяг у фазі цвітіння качана – 34,2 тис. м². Найвищі параметри площі листя, як і в попередній рік, встановлено у варіантах із застосуванням вологоутримувача та кріопротектора – 36,0–36,7 тис. м².

У 2025 році біометричні параметри рослин кукурудзи істотно варіювали залежно від поєднання досліджуваних технологічних факторів і гідротермічних умов року. Визначальними чинниками були періодичний дефіцит атмосферних опадів, підвищений температурний фон у травні – липні, а також короточасні епізоди зволоження, які сприяли відновленню тургору листків, насамперед у варіантах із застосуванням гідрогелю.

На час появи сходів площа листової поверхні в усіх варіантах досліді була незначною і становила 0,75–0,90 тис. м²/га. Порівняно з 2024 роком ці значення були дещо нижчими, що зумовлено прохолодними погодними умовами квітня 2025 року, які стримували інтенсивність первинного росту рослин. Застосування гідрогелю у нормах 150–200 кг/га забезпечувало формування на 10–15 % більшої площі листя у фазі сходів порівняно з контролем, що свідчить про поліпшення умов вологоутримання в кореневій зоні. Передпосівна обробка насіння Амалгеролом сприяла додатковому зростанню показника на 3–5 %, що відображає активізацію початкового розвитку кореневої системи.

У фазі 7-го листка відмічено суттєве збільшення асиміляційної поверхні – від 4,6 до 5,8 тис. м²/га. Найменші значення зафіксовано в контрольному варіанті без гідрогелю (4,6 тис. м²/га), що пояснюється поєднанням підвищеної температури повітря та дефіциту опадів у першій половині травня. Внесення Aquasorb у нормах 150–200 кг/га забезпечувало формування найвищих показників площі листя (5,5–5,8 тис. м²/га), підтверджуючи ефективність гідрогелю у зниженні проявів водного стресу. Застосування Амалгеролу різними способами забезпечувало стабільне додаткове зростання площі листової поверхні на 0,2–0,3 тис. м²/га порівняно з відповідними варіантами без нього.

До фази 15-го листка наростання листової поверхні було найбільш інтенсивним. Показники коливалися в межах 22,8–26,6 тис. м²/га, що загалом відповідало рівню 2024 року, однак у контрольних варіантах відмічено тенденцію до зниження. Найвищі значення сформувалися за застосування Aquasorb у нормах 150–200 кг/га – 25,4–26,6 тис. м²/га, при цьому максимальний показник (26,6 тис. м²/га) отримано у варіанті поєднання гідрогелю з Амалгеролом. Погодні умови червня 2025 року характеризувалися підвищеною температурою, дуже нерівномірним розподілом опадів і гострим дефіцитом ґрунтової вологи наприкінці місяця, що зумовило зниження площі листя у варіантах без гідрогелю до 22,8–23,8 тис. м²/га. Натомість використання гідрогелю частково компенсувало водний стрес і забезпечувало більш гармонійний розвиток листків.

У фазі цвітіння качана площа листової поверхні становила 31,0–35,0 тис. м²/га, що свідчить про стабільне функціонування асиміляційного апарату. Найнижчі значення (31,0 тис. м²/га) відмічено у контрольному варіанті, що пов'язано з високим рівнем атмосферної посушливості у другій половині червня. Застосування Aquasorb у нормі 200 кг/га забезпечувало формування найвищих показників (34,2–35,0 тис. м²/га), тоді як поєднання гідрогелю з Амалгеролом підсилювало ефект ще на 0,5–1,0 тис. м²/га. Оскільки цей період є критичним для формування генеративних органів, стабільне водне забезпечення в гідрогельних варіантах позитивно відобразилося на розмірах асиміляційної поверхні.

У фазі молочної стиглості площа листової поверхні зменшувалась до 29,4–33,5 тис. м²/га, що є закономірним наслідком фізіологічного старіння нижніх ярусів листків, посилення посушливих явищ у липні та підвищення температури повітря. Застосування гідрогелю у високих нормах у поєднанні з Амалгеролом сприяло збереженню тургору листків і уповільненню їх відмирання на 5–7 діб порівняно з контролем.

У фазі повної стиглості площа листової поверхні зменшувалась до 27,8–31,6 тис. м²/га, що відповідає закономірному старінню рослин. Найнижчі значення зафіксовано в контрольному варіанті внаслідок тривалого водного стресу в липні – серпні. Використання Aquasorb забезпечувало підвищення площі листя на 10–12 %, подовження періоду активного функціонування фотосинтетичного апарату та формування передумов для збільшення маси 1000 зерен і загальної продуктивності.

Загалом гідротермічні умови 2025 року були складнішими порівняно з 2024-м і характеризувалися більш вираженим дефіцитом вологи у критичні фази росту кукурудзи. Наявність гідрогелю Aquasorb у нормах 150–200 кг/га значною мірою компенсувала негативний вплив водного стресу та забезпечувала формування найбільшої листової поверхні. Амалгерол, як у передпосівній обробці, так і за внесення після заморозків, сприяв поліпшенню стартового росту рослин і підвищенню стабільності ростових процесів у стресових умовах. Контрольні варіанти, навпаки, демонстрували істотне зниження площі листової поверхні, особливо в період липневої посухи.

Комбінований вплив кріопротектора та гідрогелю створював найсприятливіші умови для формування потужного асиміляційного апарату та реалізації максимального продуктивного потенціалу кукурудзи.

Фотосинтетичний потенціал (ФП) є інтегральним показником, що характеризує здатність агроценозу акумулювати сонячну енергію за рахунок розвитку та функціонування листової поверхні протягом визначеного періоду. Він відображає не лише стан фотосинтетичного апарату, а й динаміку ростових процесів, чутливість рослин до стресових чинників та ефективність застосованих технологічних заходів.

Комплексний аналіз даних трирічних досліджень засвідчив, що зміни фотосинтетичного потенціалу кукурудзи мають чітко виражену системну закономірність, зумовлену поєднанням гідротермічних умов року, інтенсивності формування листової поверхні та застосування кріопротектора і гідрогелю (табл. 3). Порівняльний аналіз між роками показав, що 2023 рік характеризувався відносно стабільними й рівномірними значеннями ФП. У 2024 році ФП був помірно вищим, особливо в середніх і пізніх фазах вегетації, завдяки сприятливішому водному режиму та подовженому періоду активного фотосинтезу. Натомість 2025 рік відзначався системним зниженням ФП через гострий дефіцит вологи, що обмежував розгортання листової поверхні та уповільнював її приріст.

Загалом у середньому за три роки найбільший внесок у формування фотосинтетичного потенціалу (ФП) припадав на періоди цвітіння качана – молочна стиглість (\approx 45–48 % ФП), 15-й листок – поява волоті (\approx 30–33 % ФП) та 7–15 листків (\approx 15–17 % ФП). Отримані дані підтверджують ключову роль середини вегетаційного періоду як фази максимальної реалізації потенціалу формування врожаю. У період «сходи – 7-й листок» ФП у середньому становив 40–50 тис. м²·добу/га, а його внесок у загальний фотосинтетичний потенціал був відносно незначним – 5–7 %. Міжрічні відмінності у цій фазі були мінімальними, оскільки навіть за умов дефіциту вологи площа первинних листків формується досить рівномірно. Це свідчить про високу стабільність початкового фотосинтетичного апарату та його найменшу залежність від зовнішніх гідротермічних чинників.

У період «7–15-й листок» ФП у середньому становив 330–360 тис. м²·добу/га. Саме в цій фазі чітко проявлялася залежність фотосинтетичної активності від водного режиму року. У сприятливому 2024 році ФП був максимальним, тоді як у посушливому 2025 році – найнижчим. Застосування гідрогелю Aquasorb у нормах 150–200 кг/га забезпечувало приріст ФП на 8–10 % у 2023 році, 5–7 % у 2024-му та до 15 % у 2025 році, що свідчить про виражений компенсаторний ефект гідрогелю за умов водного стресу.

Таблиця 3

Фотосинтетичний потенціал посівів кукурудзи, тис. м²·добу/га (середнє за 2023–2025 рр.)

Кріопротектор	Вологоутримувач (гідрогель)	Міжфазний період					
		сходи – 7-й листок	7-й – 15-й листок	15-й листок – поява волоті	поява волоті – цвітіння качана	цвітіння – молочна стиглість	молочна – повна стиглість зерна
Контроль – без обробки кріопротектором	Без вологоутримувача	42,5	330,0	566,8	179,9	704,8	161,7
	Aquasorb, 50 кг/га	42,9	336,0	577,2	182,5	712,9	162,5
	Aquasorb, 100 кг/га	43,2	339,4	583,4	184,4	718,0	163,4
	Aquasorb, 150 кг/га	46,1	350,0	594,8	187,0	726,8	165,0
	Aquasorb, 200 кг/га	47,1	355,0	602,9	189,4	733,2	166,8
Амалгерол Ессенс відразу після настання заморозків	Без вологоутримувача	42,5	328,4	564,3	182,4	724,8	162,2
	Aquasorb, 50 кг/га	42,9	333,8	572,0	184,0	731,7	163,0
	Aquasorb, 100 кг/га	43,2	336,4	577,0	185,5	738,0	163,8
	Aquasorb, 150 кг/га	46,5	343,6	584,7	187,8	744,5	165,0
	Aquasorb, 200 кг/га	47,1	348,2	592,4	189,7	751,1	166,2
Амалгерол Ессенс передпосівна обробка насіння	Без вологоутримувача	46,1	338,7	598,1	187,8	737,5	165,0
	Aquasorb, 50 кг/га	46,1	344,0	607,0	190,0	745,1	166,2
	Aquasorb, 100 кг/га	46,5	348,0	614,1	192,0	751,5	167,3
	Aquasorb, 150 кг/га	49,7	355,0	622,1	194,0	757,9	168,3
	Aquasorb, 200 кг/га	51,5	361,0	630,8	196,5	765,0	169,8

Період «15-й листок – поява волоті» є одним із двох критичних етапів формування врожаю кукурудзи. У цей час ФП досягав 560–630 тис. м²·добу/га, що становить близько третини загального фотосинтетичного потенціалу рослин. У варіантах із застосуванням Амалгеролу та Aquasorb площа листової поверхні в цій фазі була максимальною, що безпосередньо відображалося на зростанні ФП. Найвищі значення отримано за поєднання Амалгерол (передпосівна обробка насіння) + Aquasorb 200 кг/га, де ФП перевищував 630 тис. м²·добу/га.

У короткий за тривалістю період «поява волоті – цвітіння качана» (у середньому 5,7 доби) ФП становив 180–200 тис. м²·добу/га, що забезпечувало близько 10 % загального фотосинтетичного потенціалу. У 2025 році цей період був найбільш уразливим, оскільки високі температури знижували стабільність фотосинтетичних процесів. Таким чином, цей інтервал є коротким, але надзвичайно чутливим до посухи, а застосування технологічних прийомів давало змогу зменшити втрати ефективності фотосинтезу.

Період «цвітіння качана – молочна стиглість» є піковим за фотосинтетичною продуктивністю. У цей час ФП становив 700–765 тис. м²·добу/га, а його внесок досягав 45–50 % загального фотосинтетичного потенціалу рослин. У 2023–2024 рр. у цій фазі спостерігалася максимальне наростання листової поверхні та високий рівень фотосинтетичної активності. У 2025 році ФП був нижчим, однак застосування технологічних факторів, особливо їх комбінування, давало змогу наблизити його до рівня сприятливих років. Це підтверджує, що саме в цей період технологічні заходи є найбільш економічно та біологічно ефективними, оскільки посилення фотосинтезу безпосередньо впливає на кількість зерен і масу 1000 насінин.

У період «молочна – повна стиглість» ФП знижувався до 160–170 тис. м²·добу/га, що пов'язано з поступовим відмиранням листового апарату. На величину ФП у цій фазі істотно впливали азотне живлення рослин та їх стресостійкість.

Застосування гідрогелю Aquasorb у всі роки досліджень сприяло підвищенню ФП, однак інтенсивність цього ефекту була різною: у 2023 році приріст становив 6–8 %, у 2024-му – 4–6 %, а у 2025 році досягав максимальних значень (до 18 %) унаслідок критичного дефіциту вологи, який компенсувався гідрогелем.

Кріопротектор Амалгерол, унесений після заморозків, сприяв відновленню функціональної активності листкового апарату та забезпечував зростання ФП на 3–6 %. Передпосівна обробка насіння стимулювала формування потужнішої кореневої системи і вищих показників у середніх та пізніх фазах вегетації, що зумовлювало приріст ФП на 8–12 % у сприятливі роки та до 15 % у 2025 році.

Найпотужнішим варіантом за формуванням фотосинтетичного потенціалу в усі роки досліджень було поєднання Амалгерол (передпосівна обробка насіння) + Aquasorb 150–200 кг/га. За цього варіанта отримано максимальні значення ФП у ключових періодах вегетації, насамперед 15-й листок – поява волоті та цвітіння качана – молочна стиглість, що в середньому перевищувало контроль на 20–25 %.

Таким чином, фотосинтетичний потенціал кукурудзи формується за чіткою закономірністю, відповідно до якої його пік припадає на період цвітіння качана – молочної стиглості, коли формується близько половини загального ФП. Другим за значенням є період 15-й листок – поява волоті, на який припадає близько третини потенціалу. Сприятливі за гідротермічними умовами роки (2023, 2024) забезпечували високі та рівномірні показники ФП, тоді як посушливий 2025 рік істотно знижував його рівень, проте застосування адаптивних технологій значною мірою пом'якшувало негативний вплив водного стресу. Найвищий сумарний ФП стабільно формувалася за поєднання Амалгерол (передпосівний) + Aquasorb 150–200 кг/га.

Чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) є ключовим інтегральним показником, що характеризує ефективність перетворення фотосинтетично активної радіації у приріст сухої речовини рослин. На відміну від фотосинтетичного потенціалу, який відображає переважно розміри асиміляційної поверхні, ЧПФ характеризує фактичну продуктивність фотосинтезу, тобто кількість сухої речовини, синтезованої одиницею площі листа за одиницю часу.

За результатами трирічних досліджень встановлено чіткі закономірності формування ЧПФ залежно від обробки кріопротектором Амалгеролом, норм застосування вологоутримувача Aquasorb, фаз розвитку рослин, інтенсивності формування фотосинтетичного потенціалу (табл. 4).

Таблиця 4

Чиста продуктивність фотосинтезу посівів кукурудзи, г/м² за добу (середнє 2023–2025 р.)

Кріопротектор	Вологоутримувач (гідрогель)	Міжфазний період					
		сходи – 7-й листок	7-й – 15-й листок	15-й листок – поява волоті	поява волоті – цвітіння качана	цвітіння – молочна стиглість	молочна – повна стиглість зерна
Контроль – без обробки кріопротектором	Без вологоутримувача	8,22	8,21	13,30	12,72	7,78	10,46
	Aquasorb, 50 кг/га	8,42	8,36	13,53	12,88	7,90	10,56
	Aquasorb, 100 кг/га	8,23	8,20	13,27	12,61	7,73	10,42
	Aquasorb, 150 кг/га	8,17	8,05	12,89	12,35	7,54	10,21
	Aquasorb, 200 кг/га	8,21	8,09	12,96	12,41	7,58	10,26
Амалгерол Ессенс відразу після настання заморозків	Без вологоутримувача	8,83	8,76	14,10	13,26	8,17	11,00
	Aquasorb, 50 кг/га	9,22	9,05	14,58	13,70	8,42	11,29
	Aquasorb, 100 кг/га	9,02	8,95	14,37	13,55	8,31	11,13
	Aquasorb, 150 кг/га	8,57	8,46	13,56	12,83	7,86	10,64
	Aquasorb, 200 кг/га	8,57	8,46	13,56	12,83	7,86	10,64
Амалгерол Ессенс передпосівна обробка насіння	Без вологоутримувача	10,66	10,57	16,92	15,50	9,38	12,60
	Aquasorb, 50 кг/га	11,62	11,45	18,32	16,58	10,03	13,19
	Aquasorb, 100 кг/га	11,04	10,96	17,50	15,96	9,67	12,72
	Aquasorb, 150 кг/га	10,76	10,68	17,04	15,55	9,42	12,39
	Aquasorb, 200 кг/га	10,67	10,59	16,90	15,44	9,35	12,32

У середньому по досліді ЧПФ змінювалася закономірно. У період «сходи – 7 листків» її значення становили 8–12 г/м² за добу. Цей етап характеризується інтенсивною активацією

фотосинтетичних процесів після проростання: за відносно малої площі листків фотосинтетична продуктивність є високою і значною мірою залежить від стану кореневої системи. Найвищі значення ЧПФ у цей період отримано у варіантах із передпосівною обробкою насіння Амалгеролом (10,6–11,6 г/м² за добу).

У період «7–15 листків» ЧПФ становила 8–11 г/м² за добу. У цей час відбувалося формування основного листового апарату, а рівень ЧПФ зростав більш рівномірно, проте чітко залежав від водного режиму. Застосування Aquasorb у нормі 50 кг/га стабілізувало водний баланс ґрунту та підвищувало ЧПФ на 5–8 %.

У період «15 листків – викидання волоті» чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) становила 12–18 г/м² за добу. Це найпродуктивніший вегетативний період розвитку рослин, упродовж якого формується максимальна площа листової поверхні. Приріст біомаси в цю фазу досягає 26 % від загальної, а ЧПФ є найвищою за весь вегетаційний цикл. Максимальні значення зафіксовано у варіанті з передпосівною обробкою Амалгеролом у поєднанні з Aquasorb 50 кг/га, тоді як у контролі ЧПФ знижувалася до 12,9–13,5 г/м² за добу.

У період «утворення волоті – цвітіння качана» ЧПФ перебувала в межах 12–17 г/м² за добу. У цей час відбувається формування репродуктивних органів, а високі значення ЧПФ зумовлені синхронним ростом волоті, качана та вегетативних пагонів. За застосування завищених доз Aquasorb (150–200 кг/га) спостерігалось незначне зниження ЧПФ, що, ймовірно, пов'язано з погіршенням аерації ґрунту. У період «цвітіння – молочна стиглість» ЧПФ зменшувалася до 7–10 г/м² за добу. Під час активного наливу зерна показник істотно залежав від азотного живлення та вологості ґрунту. Поєднання передпосівної обробки Амалгеролом з Aquasorb 50 кг/га забезпечувало максимальне значення ЧПФ – 10,03 г/м² за добу, тоді як у контролі вона знижувалася до 7,7–7,9 г/м² за добу.

У період «молочна – повна стиглість» ЧПФ становила 10–13 г/м² за добу. Це фаза інтенсивного синтезу резервних речовин, передусім крохмалю. У цей час ЧПФ повторно зростала, проте не до рівня середини вегетації. Найвищі значення показника (12,3–13,2 г/м² за добу) відмічено у варіантах із передпосівною обробкою Амалгеролом.

Передпосівна обробка насіння кріопротектором Амалгерол виявилася найефективнішою технологією в досліді. У всіх шести фенологічних періодах ЧПФ у цьому варіанті перевищувала контроль, обробку після заморозку та всі варіанти застосування Aquasorb без Амалгеролу. Це пов'язано зі здатністю Амалгеролу прискорювати формування кореневої системи, підвищувати активність хлоропластів, інтенсифікувати дихання зародкових тканин і покращувати запуск фотосинтетичних реакцій. У результаті ЧПФ зростала на 15–25 % у ранні періоди розвитку та на 20–30 % у фазах активного наливу зерна.

Застосування Aquasorb у нормі 50 кг/га в усіх фазах вегетації забезпечувало приріст ЧПФ на 3–10 %, тоді як збільшення дози понад 50 кг/га супроводжувалося зниженням ефективності. Ймовірними причинами зменшення ЧПФ за норм 150–200 кг/га є погіршення аерації ґрунту, відносне охолодження кореневої зони внаслідок надмірного вологонакопичення, а також уповільнення мінералізації азоту. Найчіткіше ці негативні ефекти проявлялися у фазах 15 листків та появи волоті, внаслідок чого ЧПФ за високих доз Aquasorb була нижчою, ніж за норми 50 кг/га. Найвищу сумарну ЧПФ за весь вегетаційний період забезпечував варіант поєднання передпосівної обробки насіння Амалгеролом з внесенням Aquasorb 50 кг/га. Для цього варіанта були характерні найшвидший старт фотосинтетичної активності (11,62 г/м² за добу), найвищий розвиток листової поверхні, максимальна інтенсивність ЧПФ у період «15 листків – поява волоті» (18,32 г/м² за добу) та найвищий темп синтезу крохмалю наприкінці вегетації (13,19 г/м² за добу). Сукупність цих показників формує найбільш продуктивний фотосинтетичний профіль серед усіх досліджуваних варіантів.

Узагальнено, підвищення ЧПФ спостерігається за умов збільшення площі листової поверхні, оптимізації водного режиму під впливом Амалгеролу. Натомість зниження ЧПФ відбувається в умовах старіння або пошкодження листків (посушливі умови 2025 р.), надмірної гідратації кореневої зони за високих норм Aquasorb (150–200 кг/га) та обмеженої доступності азоту в критичні фази онтогенезу.

Висновки

Площа листової поверхні як інтегральний показник інтенсивності асиміляційних процесів за усередненими даними виявилася найчутливішою до дії досліджуваних факторів. У варіантах із поєднанням передпосівної обробки насіння кріопротектором Амалгерол та внесенням вологоутримувача Aquasorb у нормі 50 кг/га вона перевищувала контроль на 8–15 %, що відповідало збільшенню асиміляційного апарату на 0,3–0,6 тис. м²/га. Подальше підвищення норми Aquasorb до 150–200 кг/га не супроводжувалося істотним зростанням площі листової поверхні (приріст не перевищував 1–2 %), що свідчить про досягнення фізіологічного оптимуму.

Найвищу сумарну чисту продуктивність фотосинтезу протягом усього вегетаційного циклу забезпечував варіант поєднання передпосівної обробки насіння Амалгеролом з внесенням Aquasorb у нормі 50 кг/га. Для цього варіанта були характерні найшвидший старт фотосинтетичної діяльності (11,62 г/м² за добу), максимальний розвиток листової поверхні, найвища інтенсивність ЧПФ у період «15 листків – поява волоті» (18,32 г/м² за добу) та найвищий темп синтезу крохмалю наприкінці вегетації (13,19 г/м² за добу). Сукупність цих показників формує найбільш продуктивний фотосинтетичний профіль серед усіх досліджуваних варіантів і підтверджує доцільність застосування зазначеної комбінації технологічних прийомів.

Використана література

1. Wang W. J., He T. Y., Wu H. M., Shi Y. T. Research on the comprehensive evaluation and influencing factors of green finance development in Beijing–Tianjin–Hebei based on the empirical analysis of DEA–Tobit model. *Huabei Finance*. 2021. No. 1. P. 28–41.
2. Xu H. Z., Guo Y. Y., Wu G. C. The impact of farmer differentiation on the utilization efficiency of cultivated land based on farm household survey data. *Chinese Rural Economy*. 2012. No. 6. P. 31–39, 47.
3. Tian H. Y., Zhu Z. Y. Analysis of food production efficiency and its influencing factors in China verification based on Malmquist–DEA and Tobit model. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*. 2018. Vol. 39, Iss. 12. P. 161–168.
4. Zhao G. Y., Wang J., Zhang Y. J. Study on the efficiency of maize production based on parametric and non-parametric analysis: Case of Jilin Province. *Issues in Agricultural Economy*. 2009. No. 2. P. 15–21, 110.
5. Takeshima H., Liu Y. Smallholder mechanization induced by yield-enhancing biological technologies: Evidence from Nepal and Ghana. *Agricultural Systems*. 2020. Vol. 184. Article 102914. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102914>
6. Hu F. L., Chai Q., Gan Y. T. et al. Characteristics of soil carbon emission and water utilization in wheat/maize intercropping with minimal/zero tillage and straw retention. *Zhongguo Nong Ye Ke Xue*. 2016. Vol. 49, Iss. 1. P. 120–131. <https://doi.org/10.3864/j.issn.0578-1752.2016.01.011>
7. Zhang Y. F. Thinking on the high-quality development of agricultural insurance. *Management and Technology of Small and Medium-sized Enterprises*. 2021. No. 5. P. 144–145.
8. Ali W., Abdulai A., Mishra A. K. Recent advances in the analyses of demand for agricultural insurance in developing and emerging countries. *Annual Review of Resource Economics*. 2020. Vol. 12. P. 411–430. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-110119-025306>
9. Van Asten P. J. A., Kaaria S., Fermont A. M., Delve R. J. Challenges and lessons when using farmer knowledge in agricultural research and development projects in Africa. *Experimental Agriculture*. 2009. Vol. 45, Iss. 1. P. 1–14. <https://doi.org/10.1017/S0014479708006984>
10. Zheng X. Y., Xu Z. G. Resource endowment constraints, factor substitution and inducible technological changes: Taking the mechanization of China's food production as an example. *China Economic Quarterly*. 2017. Vol. 16, Iss. 1. P. 45–66. <https://doi.org/10.13821/j.cnki.ceq.2016.04.02>
11. Zhang S. J. Theoretical analysis of induced technological change and choice of agricultural technological progress pattern. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*. 2009. Vol. 37, Iss. 16. P. 7734–7736, 7750.

12. Xue C., Zhou H. The choice of agricultural technology under the difference of labour endowment and production conditions: A case study on popularization of rice transplanting technology in China. *Journal of Chongqing University (Social Science Edition)*. 2019. Vol. 25, Iss. 6. P. 36–49.
13. Ranum P., Peña-Rosas J. P., Garcia-Casal M. N. Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2014. Vol. 1312, Iss. 1. P. 105–112. <https://doi.org/10.1111/nyas.12396>
14. Присяжнюк О. І., Климович Н. М., Полуніна О. В. та ін. Методологія і організація наукових досліджень в сільському господарстві та харчових технологіях. Київ : Нілан-ЛТД, 2021. 300 с. <https://doi.org/10.47414/978-966-924-927-2>
15. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті *Statistica 6.0* : методичні вказівки. Київ : Поліграф- Консалтинг, 2007. 56 с.

References

1. Wang, W. J., He, T. Y., Wu, H. M., & Shi, Y. T. (2021). Research on the comprehensive evaluation and influencing factors of green finance development in Beijing–Tianjin–Hebei based on the empirical analysis of DEA–Tobit model. *Huabei Finance, 1*, 28–41.
2. Xu, H. Z., Guo, Y. Y., & Wu, G. C. (2012). The impact of farmer differentiation on the utilization efficiency of cultivated land based on farm household survey data. *Chinese Rural Economy, 6*, 31–39, 47.
3. Tian, H. Y., & Zhu, Z. Y. (2018). Analysis of food production efficiency and its influencing factors in China verification based on Malmquist–DEA and Tobit model. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 39*(12), 161–168.
4. Zhao, G. Y., Wang, J., & Zhang, Y. J. (2009). Study on the efficiency of maize production based on parametric and non-parametric analysis: Case of Jilin Province. *Issues in Agricultural Economy, 2*, 15–21, 110.
5. Takeshima, H., & Liu, Y. (2020). Smallholder mechanization induced by yield-enhancing biological technologies: Evidence from Nepal and Ghana. *Agricultural Systems, 184*, Article 102914. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102914>
6. Hu, F. L., Chai, Q., Gan, Y. T., Yin, W., Zhao, C., & Feng, F. X. (2016). Characteristics of soil carbon emission and water utilization in wheat/maize intercropping with minimal/zero tillage and straw retention. *Zhongguo Nong Ye Ke Xue, 49*(1), 120–131. <https://doi.org/10.3864/j.issn.0578-1752.2016.01.011>
7. Zhang, Y. F. (2021). Thinking on the high-quality development of agricultural insurance. *Management and Technology of Small and Medium-sized Enterprises, 5*, 144–145.
8. Ali, W., Abdulai, A., & Mishra, A. K. (2020). Recent advances in the analyses of demand for agricultural insurance in developing and emerging countries. *Annual Review of Resource Economics, 12*, 411–430. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-110119-025306>
9. Van Asten, P. J. A., Kaaria, S., Fermont, A. M., & Delve, R. J. (2009). Challenges and lessons when using farmer knowledge in agricultural research and development projects in Africa. *Experimental Agriculture, 45*(1), 1–14. <https://doi.org/10.1017/S0014479708006984>
10. Zheng, X. Y., & Xu, Z. G. (2017). Resource endowment constraints, factor substitution and inducible technological changes: Taking the mechanization of China's food production as an example. *China Economic Quarterly, 16*(1), 45–66. <https://doi.org/10.13821/j.cnki.ceq.2016.04.02>
11. Zhang, S. J. (2009). Theoretical analysis of induced technological change and choice of agricultural technological progress pattern. *Journal of Anhui Agricultural Sciences, 37*(16), 7734–7736, 7750.
12. Xue, C., & Zhou, H. (2019). The choice of agricultural technology under the difference of labour endowment and production conditions: A case study on popularization of rice transplanting technology in China. *Journal of Chongqing University (Social Science Edition), 25*(6), 36–49.

13. Ranum, P., Peña-Rosas, J. P., & Garcia-Casal, M. N. (2014). Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1312(1), 105–112. <https://doi.org/10.1111/nyas.12396>

14. Prysiazniuk, O. I., Klymovych, N. M., Polunina, O. V., Yevchuk, Ya. V., Tretiakova, S. O., Kononenko, L. M., Voitovska, V. I., & Mykhailovyn, Yu. M. (2021). *Methodology and organization of scientific research in agriculture and food technologies*. Nilan-LTD. <https://doi.org/10.47414/978-966-924-927-2> [In Ukrainian]

15. Ermantraut, E. R., Prysiazniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic research data in the Statistica 6.0 package: guidelines*. PolihrafKonsaltnh. [In Ukrainian]

UDC 663.62:631.5/9

Prysiazniuk, O. I.*, & **Kopytov, O. V.** (2025). Patterns of photosynthetic parameters in maize depending on cultivation technology. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 33, 108–119. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.349327> [In Ukrainian]

*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, *e-mail: ollpris@gmail.com*

Aim. To establish the patterns of photosynthetic parameters in maize depending on the application of cryoprotectant and moisture retaining agent in the Forest Steppe of Ukraine. **Methods.** Field studies were conducted in 2023–2025 in production fields of the Agro-Ros-Invest Group farm (Cherkasy region) on typical chernozem. The maize hybrid ‘DKC 4351’ was sown. The experimental design included the use of the cryoprotectant Amalgerol Essence for seed treatment and spraying crops after frost, combined with the application of the moisture retaining agent Aquasorb (0, 50, 100, 150, and 200 kg/ha) during early spring cultivation. Leaf area index (LAI), photosynthetic potential (PP), and net photosynthetic productivity (NPP) of the sowings were recorded according to the method of A. O. Nychyporovych. **Results.** Weather conditions during the study years significantly influenced the intensity of photosynthetic activity in maize sowings. In the control variant, maximum LAI averaged 42.0–44.5 thousand m²/ha, whereas application of cryoprotectant increased it by 6–11%. The combination of cryoprotectant with moisture retaining agent at an application rate of 50–100 kg/ha contributed to an increase in LAI to 47.5–50.8 thousand m²/ha, exceeding control values by 10–18%. PP in the control variant ranged from 1.85–2.10 million m²·days/ha, while under optimal combination of the studied factors it increased to 2.25–2.45 million m²·days/ha. NPP averaged 4.6–4.9 g/m² per day in the control and increased to 5.2–5.8 g/m² per day under seed treatment with Amalgerol Essence combined with 50–100 kg/ha Aquasorb. Increasing the moisture retainer rate to 150–200 kg/ha did not lead to further growth of photosynthetic indicators and in some years resulted in a decrease in NPP by 4–7%, indicating an excess of the physiological optimum of the water regime. **Conclusions.** The formation of photosynthetic parameters of maize sowings is determined by the combined effect of weather conditions and technological practices. The most effective is the combined application of Amalgerol Essence for seed treatment and Aquasorb at an application rate of 50 kg/ha, which ensures the optimal combination of leaf area, high photosynthetic potential, and maximum net photosynthetic productivity.

Keywords: *photosynthesis; leaf area index; photosynthetic potential; net photosynthetic productivity; cryoprotectant; moisture retainer; Aquasorb; Amalgerol Essence; adaptability.*

Надійшла / Received 15.11.2025

Погоджено до друку / Accepted 09.12.2025

Опубліковано онлайн / Published online 29.12.2025

АГРОХІМІЯ ТА ҐРУНТОЗНАВСТВО

УДК 631.81:631.45

DOI: <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.349297>

Особливості реакції сірих опідзолених ґрунтів на диференційоване вапнування

 Я. І. Бойко

Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна, e-mail: iaroslavboik@gmail.com

Мета. Виявити особливості впливу диференційованого вапнування на родючість сірих опідзолених ґрунтів Полісся України. **Методи.** Дослідження проводили впродовж 2020–2024 рр. на полі площею 415 га (с. Гарбузин, Чернігівська обл.). Відбір ґрунтових зразків здійснювали за адаптивною сіткою (10 га/елементарна ділянка) з використанням автоматичного пробовідбірника AgriSoilSampler та GPS-навігації. Ґрунтовий покрив поля представлений сірими опідзоленими пилувато-суглинковими ґрунтами. Аналіз агрохімічних показників проводили стандартними лабораторними методами, а просторовий розподіл оцінювали методом Крігінга у QGIS. **Результати.** Просторовий аналіз показав, що кислотність ґрунтів є ключовим фактором формування неоднорідності агрохімічних показників. Переважна частина поля мала сильно кислу реакцію (рН 4,7–5,3), локальні ділянки – кислу (рН 5,4–5,7) або слабкокислу/нейтральну (рН 5,8–6,4). Просторовий розподіл органічної речовини був відносно рівномірним (1,3–2,6%), тоді як фосфор і калій мали значну строкатість. Після диференційованого вапнування у 2024 р. вміст органічної речовини знизився на 0,1–0,2%, тоді як рухомі форми фосфору та калію зросли і вирівнялися по всій площі поля. Обмінний кальцій досяг середнього рівня, магній залишався стабільним, а доступність цинку дещо знизилася. Найбільш виразне підвищення доступності макроелементів спостерігалось на сильно кислих ділянках (рН < 5,0), тоді як на ділянках зі слабкокислою реакцією приріст був помірним. **Висновки.** Диференційоване вапнування сірих опідзолених ґрунтів Полісся сприяє вирівнюванню просторового розподілу кислотності, підвищує доступність фосфору та калію для рослин і зменшує ризики обмеженого мінерального живлення на кислих ділянках. Отримані дані можуть слугувати основою для впровадження точних технологій внесення вапнякових меліорантів у виробництво.

Ключові слова: диференційоване вапнування; кислотність ґрунту; рН; агрохімічні показники; рухомий фосфор; рухомий калій; обмінний кальцій; магній; цинк; просторова неоднорідність; точне землеробство; Полісся України.

Як цитувати: Бойко Я. І. Особливості реакції сірих опідзолених ґрунтів на диференційоване вапнування. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2025. Вип. 33. С. 120–136. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.349297>



© The Author(s) 2025. Published by Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Вступ

Кислі ґрунти займають значну частку орних земель у світі [1, 2], зокрема в зоні Полісся України, і залишаються одним із ключових обмежувальних чинників реалізації продуктивного потенціалу сільськогосподарських культур у цьому регіоні. Підвищена кислотність ґрунтового середовища негативно впливає на фізико-хімічні властивості ґрунту, катіонний склад ґрунтового вбирного комплексу, активність ґрунтової біоти та доступність елементів живлення для рослин. За таких умов істотно знижується ефективність мінеральних добрив, а просторові відмінності ґрунтових властивостей зумовлюють нерівномірність росту й розвитку культур у межах одного поля [3, 4].

Особливої актуальності проблема підвищеної кислотності набуває на великих виробничих масивах, де ґрунтовий покрив характеризується строкатістю, сформованою під впливом ґрунтотворних порід, мікрорельєфу, гідрологічних умов і тривалої історії землекористування. За таких обставин у межах одного поля можуть одночасно співіснувати ділянки зі сильно кислою, кислою та слабкокислою реакцією ґрунтового розчину, що суттєво ускладнює застосування уніфікованих агротехнічних заходів і знижує їхню виробничу ефективність [5–7].

Вапнування є базовим агрохімічним прийомом хімічної меліорації кислих ґрунтів, спрямованим на нейтралізацію надлишкової кислотності, підвищення насиченості ґрунтового вбирного комплексу кальцієм і магнієм та оптимізацію катіонного балансу. Водночас численні дослідження свідчать, що суцільне внесення вапнякових матеріалів на просторово неоднорідних за властивостями полях не завжди забезпечує очікуваний агрономічний ефект і може призводити як до локального перевапнування, так і до збереження осередків підвищеної кислотності. У цьому контексті розвиток технологій точного землеробства відкриває нові можливості для впровадження диференційованого вапнування, що ґрунтується на результатах детального агрохімічного обстеження та використанні цифрових карт просторового розподілу кислотності ґрунтів [8–10].

Незважаючи на значну кількість наукових публікацій, присвячених впливу вапнування на окремі агрохімічні показники, питання комплексної оцінки змін кислотності, макро- та мікроелементного складу ґрунту в умовах диференційованого вапнування на великих виробничих полях залишається недостатньо висвітленим [11–14]. Особливо актуальним є аналіз того, наскільки такі меліоративні заходи сприяють зменшенню просторової варіабельності агрохімічних показників і формуванню більш однорідного агрохімічного фону.

Мета досліджень – виявити особливості впливу диференційованого вапнування на родючість сірих опідзолених ґрунтів Полісся України.

Матеріали та методика досліджень

Науково-дослідні роботи проводили на землях, розташованих біля населеного пункту Гарбузин Козелецької селищної громади Чернігівського району Чернігівської області.

У поліській частині області найпоширенішими є дерново-підзолисті ґрунти, переважно супіщаного гранулометричного складу. Водночас у Корюківському та Щорському районах майже половину площ займають зв'язно-піщані ґрунти, для яких характерний нижчий рівень природної родючості. Ґрунти Чернігівського і Ріпкинського районів відзначаються більшою зв'язністю, при цьому частка їх легкосуглинкових відмін становить відповідно 23 і 37 %.

Сірі лісові та дернові ґрунти займають 277,8 тис. га, що становить близько 19 % площі. Вони зосереджені переважно в перехідній зоні та найбільш поширені в Куликівському районі (60 %), Козелецькому (52 %) і Коропському (50 %). Уміст гумусу залежно від гранулометричного складу коливається в межах 1,31–2,37 %: у супіщаних відмінах він у середньому становить 1,60 %, у легкосуглинкових – 1,77 %. За реакцією ґрунтового розчину ці ґрунти переважно є слабкокислими або близькими до нейтральних (рН 5,4–5,8) та характеризуються підвищеним вмістом рухомих форм фосфору і середнім вмістом обмінного калію, середньозважені показники яких становлять відповідно 137–159 і 103–112 мг/кг ґрунту. Забезпеченість обмінним кальцієм і магнієм є дещо вищою та сягає відповідно 4,5–6,2 і

1,0–1,1 мг-екв/100 г ґрунту. Бонітет сірих лісових і дернових ґрунтів коливається в межах 36–57 балів.

Клімат Чернігівської області є помірно континентальним, м'яким і достатньо вологим. Зима, як правило, малосніжна, у більшості років стійка та порівняно тепла, тоді як літо характеризується теплими й помірно вологими умовами. Середньорічна кількість атмосферних опадів на території області становить 594–676 мм, при цьому максимум місячних сум опадів припадає на червень – липень, а мінімум – на січень – березень. У міжрічному розрізі сума опадів коливається від 400 до 850 мм, а максимальна добова кількість в окремі роки може сягати 100–140 мм.

Чернігівська область належить до зони достатнього зволоження. Середня річна відносна вологість повітря становить 75–80 %, змінюючись упродовж року від 50–70 % у липні – серпні до 80–95 % у зимовий період. Протягом року відмічається 20–44 доби з відносною вологістю повітря 30 % і менше, що має певне значення для формування умов вегетації та водного режиму ґрунтів.

Таблиця 1

Кількість опадів у роки проведення досліджень (за даними додатку Geosys, Козелецький р-н, 2020–2024 рр.)

Кількість опадів, мм	2020	2021	2022	2023	2024	Середнє
За рік	618	654	751	690	658	635
За вегетаційний період:						
озимих культур	445	533	451	595	717	500
ранніх ярих культур (03–06)	251	213	200	206	301	197
пізніх ярих культур (04–09)	357	403	408	280	339	332

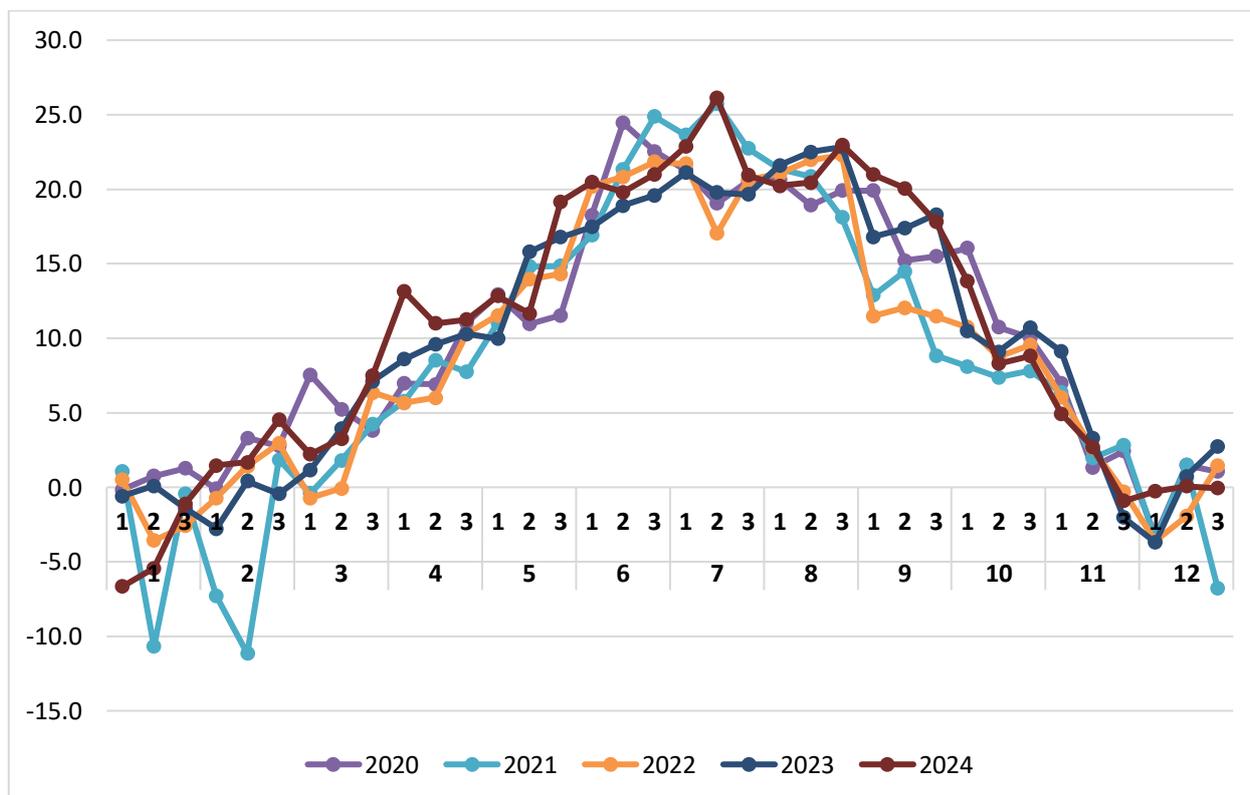


Рис. 1. Середньодобова температура повітря у роки досліджень (за даними додатку Geosys, Козелецький р-н, 2020–2024 рр.)

В умовах Козелецького району динаміка середньодобових температур повітря характеризувалася відносно невеликою декадною мінливістю в межах досліджуваних місяців.

Упродовж 2021–2023 рр. відмічали незначні відхилення середньодобових температур повітря від середньобагаторічної норми у бік її підвищення. Винятком був період із третьої декади червня до другої декади липня 2021 року, коли перевищення температури становило 3,46–5,91 °С. Загалом у зазначений часовий проміжок переважали температури, близькі до середньобагаторічних значень, або їх відхилення у бік зниження.

Такі температурні умови загалом сприятливо вплинули на ріст і розвиток культур, що не потребують накопичення високих сум активних температур повітря, зокрема кукурудзи.

У процесі виконання науково-дослідних робіт застосовано комплекс методів досліджень, зокрема:

– польові – із використанням обладнання та технологій точного землеробства;

– лабораторні – під час проведення агрохімічних і фізико-хімічних аналізів ґрунту та рослин з метою встановлення змін показників родючості ґрунту, рівня засвоєння макро- та мікроелементів рослинами, а також визначення впливу диференційованого застосування вапнякових меліорантів (CaCO_3) на врожайність і якість зерна сільськогосподарських культур;

– математично-статистичні та розрахункові – для аналізу й опрацювання отриманих експериментальних даних та наукового обґрунтування рекомендацій виробництву щодо впровадження технологій диференційованого внесення вапнякових меліорантів (CaCO_3).

Відбір зразків ґрунту здійснювали за допомогою автомобіля типу пікап Mitsubishi L200, обладнаного автоматичним пробовідбірником AgriSoilSampler компанії AgriLab. Пробовідбірник дистанційно керується з кабіни автомобіля та оснащений планшетом із ГІС-програмним забезпеченням для створення і навігації заздалегідь розробленими маршрутами відбору ґрунтових зразків. Автомобіль обладнаний GPS-антенною з точністю позиціонування до 30 см.

Автоматичний відбір ґрунтових зразків проводили за адаптивною сіткою, де площа елементарної ділянки становила 10 га. З кожної ділянки відбирали один змішаний зразок, сформований із 20 точкових проб ґрунту, відібраних буром на глибину до 30 см. Застосована схема відбору забезпечила отримання репрезентативних даних щодо просторової мінливості ґрунтових властивостей на всій території поля та створила передумови для точного агрохімічного аналізу й подальшого впровадження диференційованих агротехнічних заходів (рис. 2).

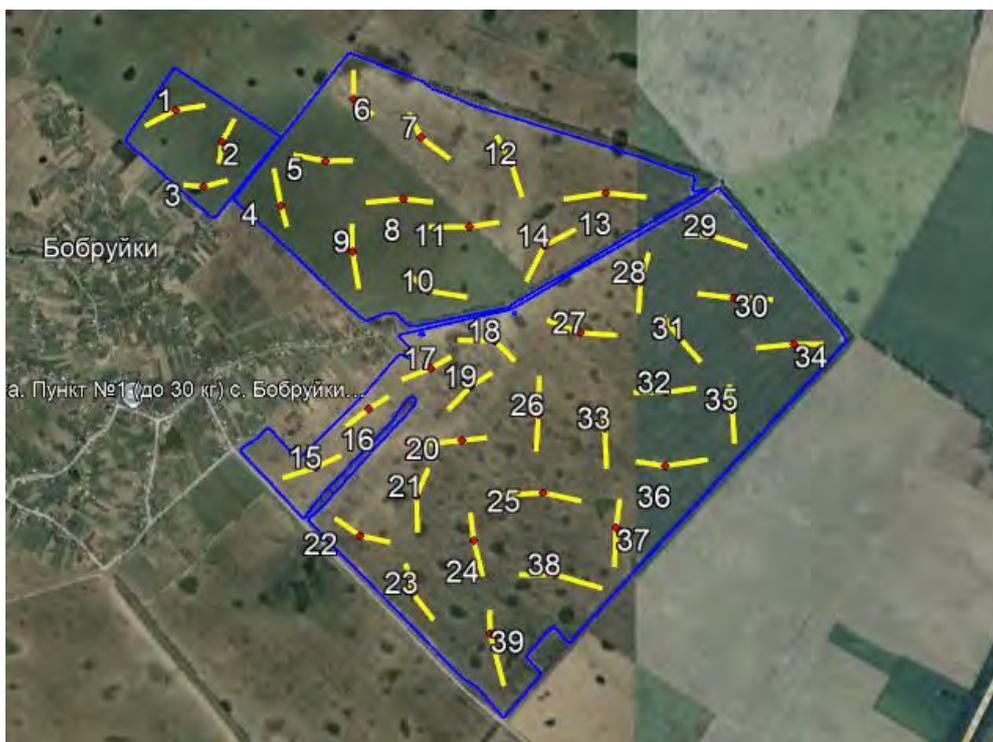


Рис. 2. Схема відбирання ґрунтових зразків на досліджуваному полі 415 га (Гарбузин)

Досліджуване поле загальною площею 415 га, розташоване поблизу села Гарбузин Чернігівської області, характеризується неоднорідним ґрунтовим покривом і значною просторовою мінливістю ґрунтових властивостей, зокрема показника рН. Розміщення варіантів у досліді здійснювали відповідно до зон ґрунтової неоднорідності за рівнем кислотності, повторність дослідів була триразовою.

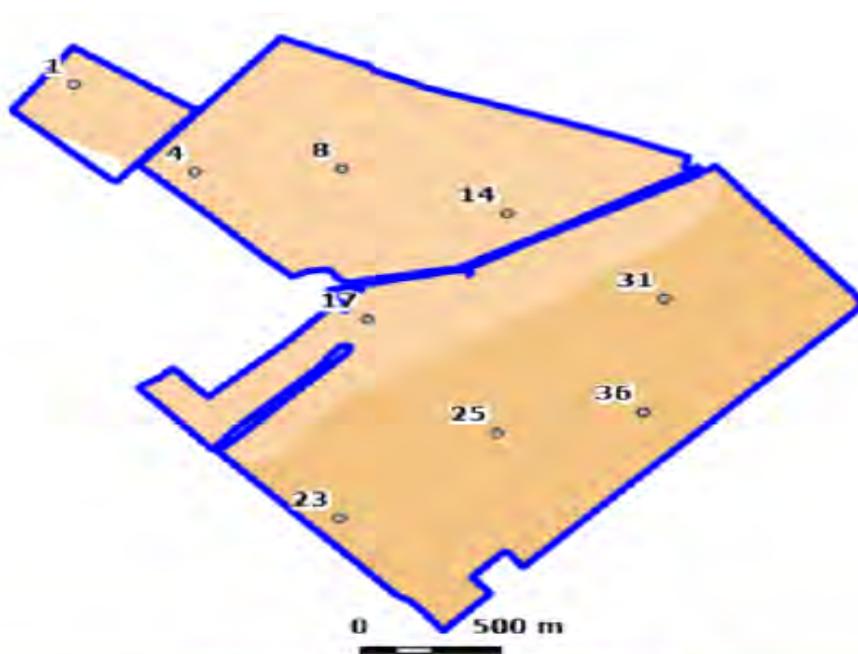
Ґрунтовий покрив дослідного поля представлений сірими опідзоленими пілувато-суглинковими, а також ясно-сірими та темно-сірими опідзоленими пілувато-суглинковими ґрунтами. Агрохімічна та фізико-хімічна характеристика орного шару (0–30 см) цих ґрунтів є такою: рН (1:1) – 4,7–6,5 од.; рН буферний – 6,3–6,9 од.; вміст органічної речовини – 1,3–2,6 %; уміст рухомих форм фосфору – 21–112 мг/кг ґрунту; обмінного калію – 69–134 мг/кг; обмінного кальцію – 180–1672 мг/кг; обмінного магнію – 25–153 мг/кг.

Визначення фізико-хімічних і агрохімічних показників ґрунту проводили з використанням методів, наведених у таблиці 2.

Таблиця 2

Методи визначення агрохімічних та фізико-хімічних показників ґрунту

Показник	Одиниці виміру	Метод визначення
рН ґрунту	од. рН	рН водний (1:1) потенціометрія
рН буферний	од. рН	Wdrf буфер потенціометрія
Орган. речовина	%	Пряме визначення за втратами при спалюванні (LOI)
Нітрати (NO ₃)	мг/кг	Метод відновлення кадмієм (FIA)
Фосфор (P)	мг/кг	Mehlich-3 (Екстрагент: 0,2N CH ₃ COOH, 0,25N NH ₄ NO ₃ , 0,015N NH ₄ F, 0,013N HNO ₃ , 0,001M EDTA)
Калій (K)	мг/кг	Амонійно-ацетатна витяжка (Ac) Екстрагент: 1 M CH ₃ COONH ₄ , рН 7,0 (ICP)
Кальцій (Ca)	мг/кг	Амонійно-ацетатна витяжка (Ac) Екстрагент: 1 M CH ₃ COONH ₄ , рН 7,0 (ICP)
Магній (Mg)	мг/кг	Амонійно-ацетатна витяжка (Ac) Екстрагент: 1 M CH ₃ COONH ₄ , рН 7,0 (ICP)
Натрій (Na)	мг/кг	Амонійно-ацетатна витяжка (Ac) Екстрагент: 1 M CH ₃ COONH ₄ , рН 7,0 (ICP)
Сірка (S)	мг/кг	Монокальцій фосфатна витяжка (Ca-P)
Цинк (Zn)	мг/кг	Діетилен триамін пентаоцтова кислота (DTPA) (ICP)
Залізо (Fe)	мг/кг	Діетилен триамін пентаоцтова кислота (DTPA) (ICP)
Марганець (Mn)	мг/кг	Діетилен триамін пентаоцтова кислота (DTPA) (ICP)
Мідь (Cu)	мг/кг	Діетилен триамін пентаоцтова кислота (DTPA) (ICP)
Бор (B)	мг/кг	Екстрагент: гаряча Н ₂ О
Уміст водорозчинних солей	ммоль/см	Кондуктометрія (Cond 1:1)
Сума катіонів	мг-екв/100 г	Розрахунковий
Насиченість основами	%	Відсоток від базового насичення катіонами



Групування ґрунтів за гранулометричним складом					
Точка	Тип ґрунту	Вміст, %			Гранулометричний склад
		піску	мулу	глини	
1	Ясно-сірі опідзолені ґрунти Темно-сірі опідзолені ґрунти	33	57	10	Пилуватий суглинок
4		22	61	17	Пилуватий суглинок
8		28	64	8	Пилуватий суглинок
14		27	63	10	Пилуватий суглинок
17		36	57	7	Пилуватий суглинок
23	Сірі опідзолені ґрунти	32	55	13	Пилуватий суглинок
25		30	56	14	Пилуватий суглинок
31		29	57	14	Пилуватий суглинок
36		26	60	14	Пилуватий суглинок

Рис. 3. Групування ґрунтів за гранулометричним складом у межах дослідного поля 415 га

Результати досліджень

Результати аналізу зразків ґрунту, відібраних на початку досліджень у межах дослідного поля площею 415 га, наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати аналізу зразків ґрунту, відібраних на початку досліджень у межах дослідного поля 415 га, вихідні дані

Номер зразка	рН (1:1) ґрунту	рН буф.	Розчинні солі, ммоль/см	Органічна речовина, %	Нітрати (NO ₃), мг/кг	Фосфор (P), мг/кг	Амонійно-ацетатний буфер, мг/кг				Сірка (S), мг/кг	Мікроелементи (ДТРА), мг/кг				Сума катіонів, мг-екв на 100 г	Насиченість основами, %				
							K	Ca	Mg	Na		Zn	Fe	Mn	Cu		H	K	Ca	Mg	Na
1	6,1	6,8	0,08	1,4	6,1	40	69	811	91	10	10	0,61	46,0	9,8	0,72	7,1	29	2	57	11	1
2	6,5	6,7	0,09	2,2	6,8	36	99	1330	138	9	8	0,63	58,0	12,1	1,08	11,3	28	2	59	10	0
3	6,5	6,9	0,10	2,6	5,4	38	169	1672	153	9	8	0,59	51,8	10,3	1,29	11,4	11	4	73	11	0
4	5,8	6,4	0,08	2,6	4,2	23	104	1027	136	11	12	0,46	75,9	15,6	1,13	13,0	49	2	40	9	0
5	5,2	6,6	0,09	2,2	4,1	41	111	594	86	10	13	0,35	88,9	20,0	0,91	8,3	52	3	35	9	1
6	5,1	6,4	0,08	1,7	5,0	61	123	225	34	9	16	0,41	125,1	22,9	0,53	8,2	78	4	14	3	0
7	5,0	6,6	0,07	1,3	4,4	51	95	331	42	10	13	0,51	127,4	23,6	0,46	6,1	62	4	27	6	1
8	5,3	6,4	0,04	1,4	3,1	36	92	346	56	10	15	0,62	100,2	20,5	0,52	8,0	69	3	21	6	1
9	5,8	6,8	0,08	1,5	3,2	49	86	617	69	11	11	0,48	89,0	12,5	0,60	6,1	36	4	50	9	1
10	5,8	6,6	0,05	1,3	2,9	42	78	395	52	8	7	0,66	144,3	20,3	0,48	6,5	60	3	29	7	1
11	5,7	6,8	0,06	1,4	4,7	46	116	516	59	8	11	0,41	56,8	12,9	0,43	5,2	35	6	49	9	1
12	5,7	6,5	0,08	1,7	2,1	20	134	696	87	8	11	0,49	56,6	25,4	0,76	9,4	51	4	37	8	0
13	5,5	6,7	0,08	1,6	2,6	20	88	673	78	8	12	0,29	46,9	19,0	0,63	7,0	39	3	48	9	0
14	5,3	6,4	0,06	1,5	5,3	48	78	434	61	9	11	0,43	83,3	18,9	0,66	8,4	65	2	26	6	0

АГРОХІМІЯ ТА ҐРУНТОЗНАВСТВО

Номер зразка	рН (1:1) ґрунту	рН буф.	Розчинні солі, ммоль/см	Органічна речовина, %	Нітрати (NO ₃), мг/кг	Фосфор (P), мг/кг	Амонійно-ацетатний буфер, мг/кг				Сірка (S), мг/кг	Мікроелементи (ДТРА), мг/кг				Сума катіонів, мг-екв на 100 г	Насиченість основами, %				
							K	Ca	Mg	Na		Zn	Fe	Mn	Cu		H	K	Ca	Mg	Na
15	4,7	6,4	0,05	1,3	2,9	106	122	180	31	9	16	0,67	114,9	42,6	0,85	7,0	79	4	12	4	1
16	5,2	6,3	0,04	1,5	5,3	105	104	185	25	9	21	0,89	250,1	54,4	0,78	8,2	83	3	11	2	0
17	5,2	6,7	0,06	1,4	4,7	86	96	367	39	10	14	0,60	162,0	29,0	0,56	6,0	59	4	30	6	1
18	5,3	6,4	0,05	1,4	3,4	112	115	302	30	9	17	0,35	86,6	20,4	0,35	8,3	75	4	18	3	0
19	5,3	6,7	0,08	1,6	3,2	62	87	519	56	9	11	0,41	80,3	15,5	0,59	6,5	49	3	40	7	1
20	5,3	6,5	0,05	1,2	3,2	56	80	342	50	10	12	0,43	68,1	25,6	0,59	7,7	69	3	22	5	1
21	5,4	6,7	0,12	1,8	3,1	21	76	641	98	7	11	0,26	53,3	20,8	0,76	6,8	38	3	47	12	0
22	5,5	6,6	0,07	1,5	2,5	50	77	511	71	7	11	0,52	72,8	20,0	0,77	7,8	57	3	32	8	0
23	5,5	6,7	0,10	1,7	3,6	36	98	888	131	8	12	0,33	57,1	18,5	0,91	8,6	32	3	52	13	0
24	5,3	6,4	0,11	2,0	3,1	22	89	622	89	8	9	0,28	65,6	24,6	0,88	9,8	58	2	32	8	0
25	5,2	6,6	0,12	2,3	3,7	39	123	781	105	9	14	0,32	70,8	27,4	0,95	9,5	46	3	41	9	0
26	5,2	6,4	0,10	1,7	3,6	40	107	444	53	8	12	0,32	88,2	32,8	0,84	9,3	68	3	24	5	0
27	5,0	6,6	0,12	2,0	3,8	47	123	454	74	8	13	0,42	101,8	34,2	0,99	7,6	58	4	30	8	0
28	5,0	6,3	0,11	1,7	2,1	37	128	401	75	9	16	0,36	107,4	40,6	1,00	10,2	71	3	20	6	0
29	5,0	6,5	0,10	1,7	3,2	29	93	597	103	9	12	5,13	91,4	36,3	1,08	8,9	54	3	33	10	0
30	5,3	6,5	0,09	1,8	3,4	39	117	581	116	11	13	0,45	67,3	26,9	0,94	9,4	55	3	31	10	0
31	5,2	6,7	0,09	1,8	2,5	18	70	407	75	6	10	0,18	58,2	25,6	0,86	6,3	54	3	32	10	0
32	5,3	6,5	0,08	1,7	3,2	37	99	534	85	7	14	0,29	65,8	25,3	0,89	9,0	59	3	30	8	0
33	5,4	6,6	0,09	2,1	3,8	4	96	689	75	7	2	0,31	95,4	32,5	0,93	7,9	45	3	43	8	0
34	5,2	6,4	0,09	1,9	2,7	24	111	468	81	9	11	0,37	84,2	28,7	1,09	9,4	65	3	25	7	0
35	5,0	6,6	0,08	1,9	2,7	17	123	611	101	10	13	0,28	73,7	29,7	0,97	8,7	51	4	34	10	1
36	5,1	6,3	0,10	1,9	2,8	36	160	542	78	9	15	0,39	142,1	33,4	0,94	10,8	65	4	25	6	0
37	5,3	6,7	0,11	1,7	2,7	27	122	684	84	8	9	0,39	72,2	23,7	0,86	7,9	43	4	43	9	0
38	5,3	6,4	0,10	2,1	3,8	19	105	845	113	9	6	0,49	88,5	29,6	1,06	11,4	52	2	37	8	0

У середньому по дослідному полю рН ґрунту становив 5,4, буферний рН – 6,6, уміст розчинних солей – 0,08 ммоль/см³, органічної речовини – 1,7 %, нітратів – 3,6 мг/кг, фосфору – 42,3 мг/кг, калію – 105,4 мг/кг. Обмінний кальцій становив 603,2 мг/кг, магній – 81,0 мг/кг, натрій – 8,9 мг/кг, сірка – 11,9 мг/кг, залізо – 88,0 мг/кг, марганець – 25 мг/кг, а сума катіонів – 8,5 мг-екв/100 г ґрунту.

Для картографування ґрунтових властивостей та інтерпретації просторових варіацій застосовували інтерполяцію методом Крігінга у ГІС-програмі QGIS. Цей підхід дає змогу створювати точні карти розподілу ґрунтових показників, урахувавши просторову кореляцію даних і підвищуючи точність прогнозів для диференційованого управління агротехнічними процесами (рис. 4–8).

На відміну від попередніх дослідних полів, локація характеризується більш рівномірним просторовим розподілом показника кислотності. Основна частина ґрунтів має сильно кислу реакцію (рН 4,7–5,3), на другому місці за площею – ґрунти з кислою реакцією (рН 5,4–5,7). Слабокислі та нейтральні ґрунти здебільшого локалізовані в окремих ділянках, що свідчить про їх спільний генезис та однорідність походження.

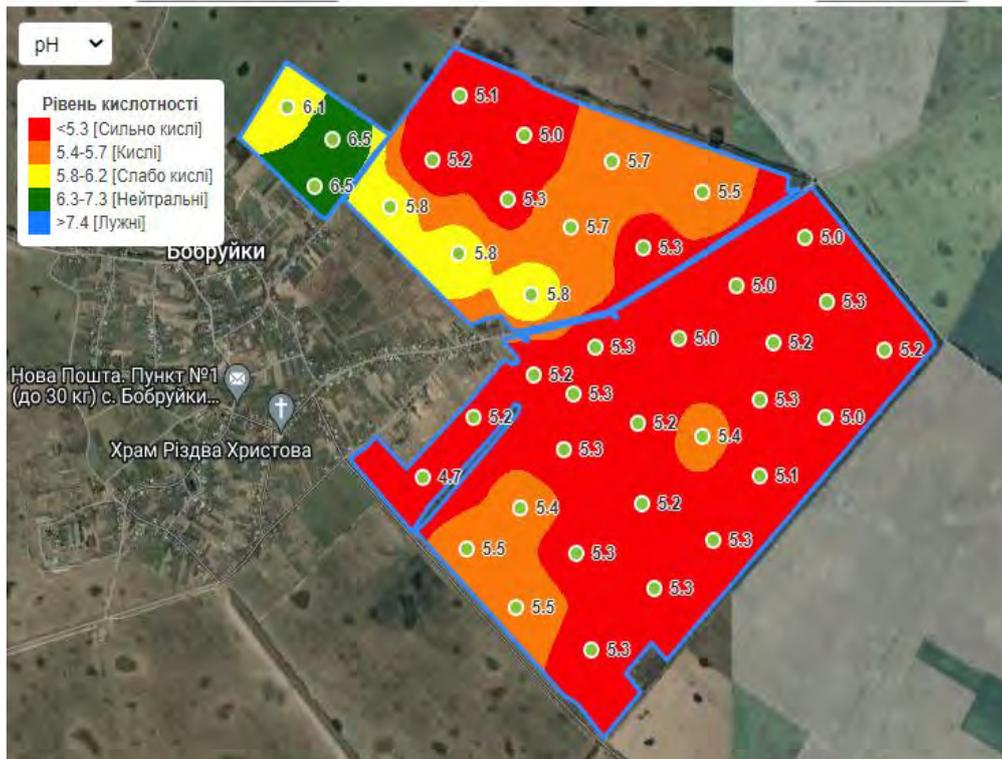
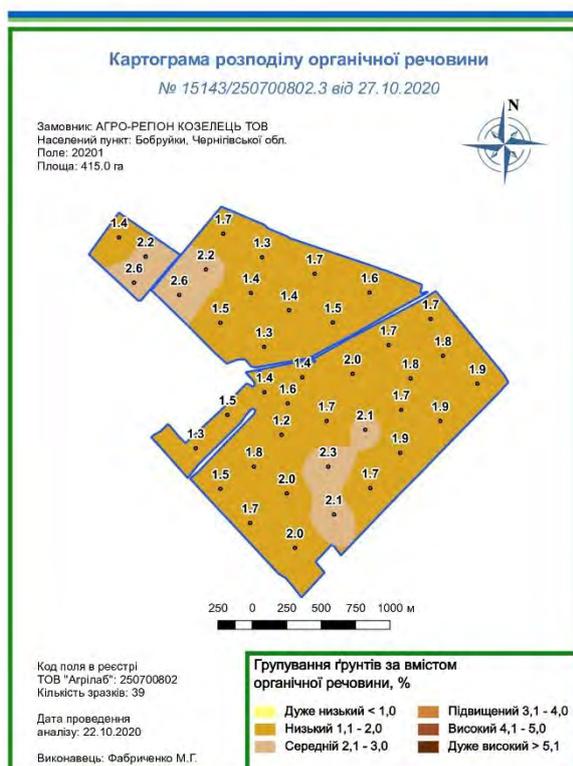
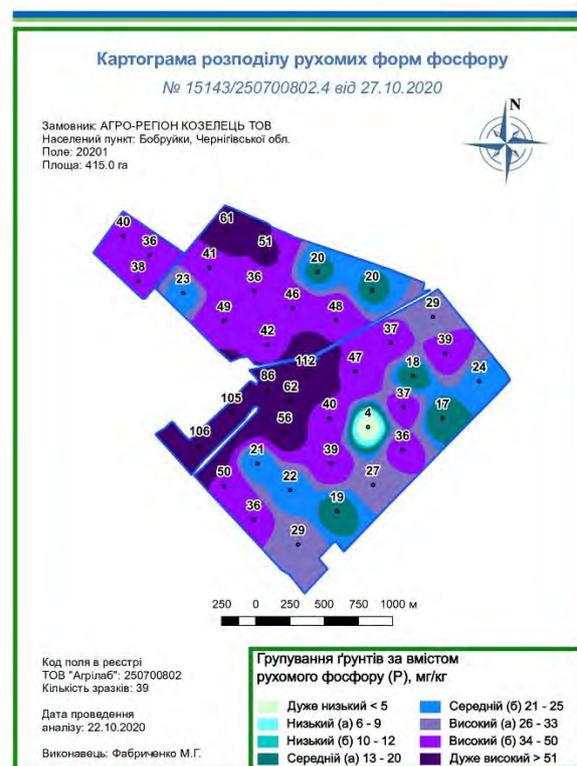


Рис. 4. Картограма розподілу показника рН (Kriging), поле 415 га, вихідні дані

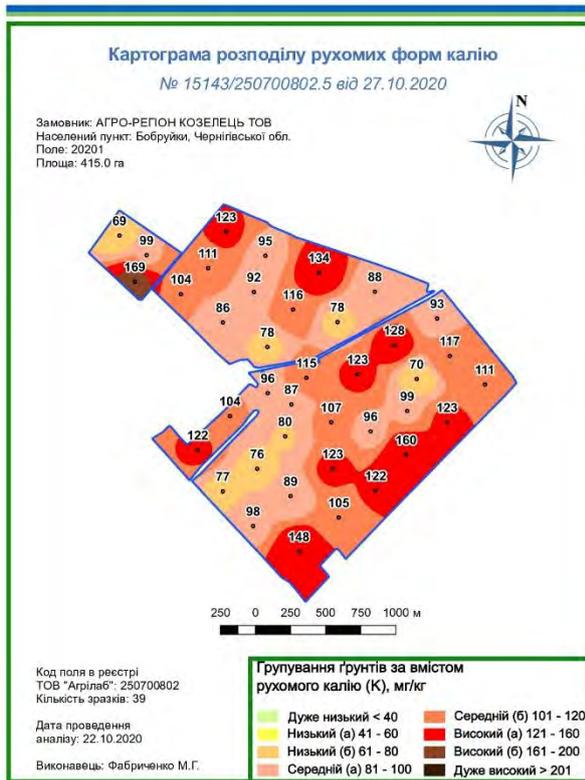
За вмістом органічної речовини дослідне поле характеризується відносно рівномірним розподілом показників, при цьому здебільшого переважають низькі значення, а середні (2,1–2,6 %) зафіксовані лише у двох окремих ділянках. Натомість за вмістом фосфору та калію спостерігалася значно більша просторово-структурна мінливість – від дуже низьких до дуже високих значень. При цьому відповідні ділянки, зазвичай, не корелюють між собою і розташовані в різних зонах кислотності ґрунту (рис. 5).



Уміст органічної речовини



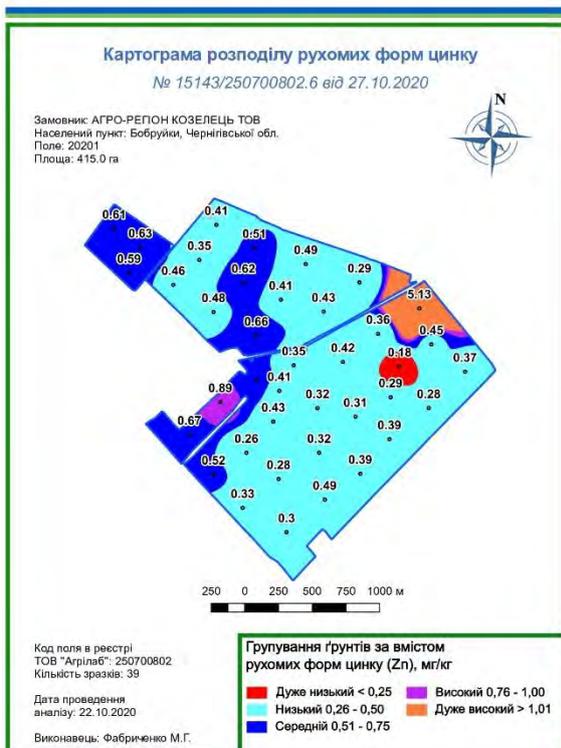
Уміст рухомих форм фосфору



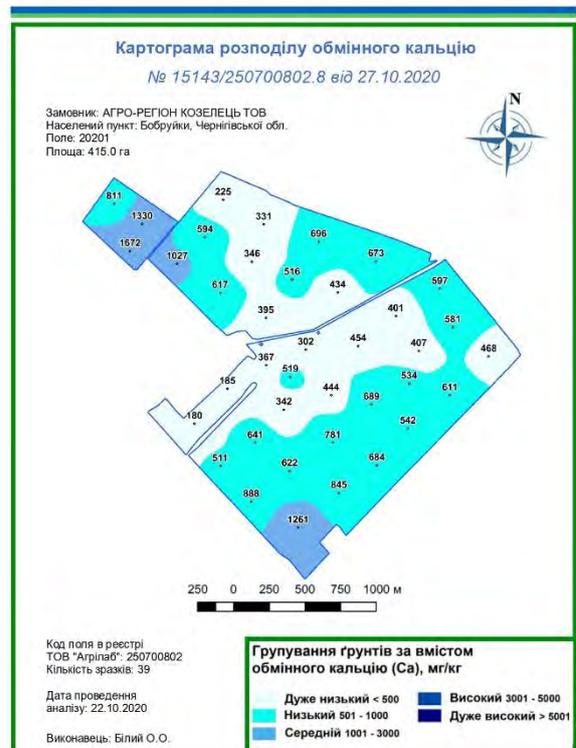
Уміст рухомих форм калію

Рис. 5. Картограма розподілу вмісту органічної речовини, рухомих форм фосфору та калію, поле 415 га, 2020 р.

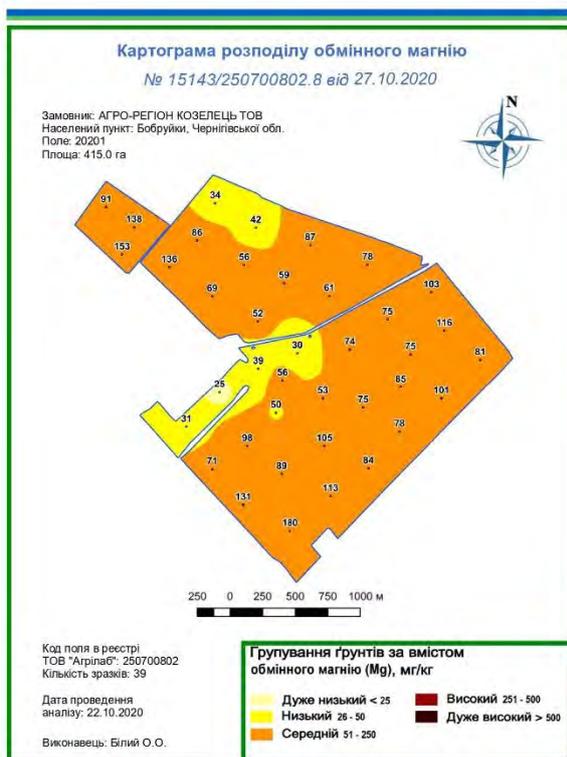
Закономірності зміни рухомих форм цинку та обмінного магнію (рис. 6) мають менш строкатий характер просторового розподілу, з переважанням відповідно низького та середнього забезпечення ґрунту.



Уміст рухомих форм цинку



Уміст обмінного кальцію



Уміст обмінного магнію

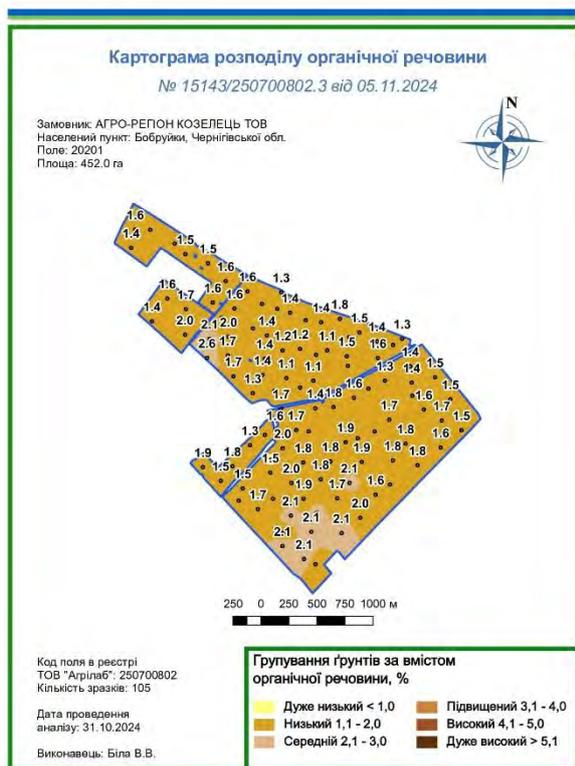
Рис. 6. Картограма розподілу вмісту рухомих форм цинку та обмінного кальцію і магнію, поле 415 га, 2020 р.

Питання просторового розподілу обмінного кальцію залишається не зовсім зрозумілим і потребує додаткового дослідження, оскільки зони підвищеної кислотності ґрунту не завжди збігаються з ділянками з дуже низьким або низьким умістом цього елемента. Особливо це помітно на точці в нижньому лівому куті поля, де рН становить 5,3, а обмінний кальцій має середнє значення – 1261 мг/кг ґрунту.

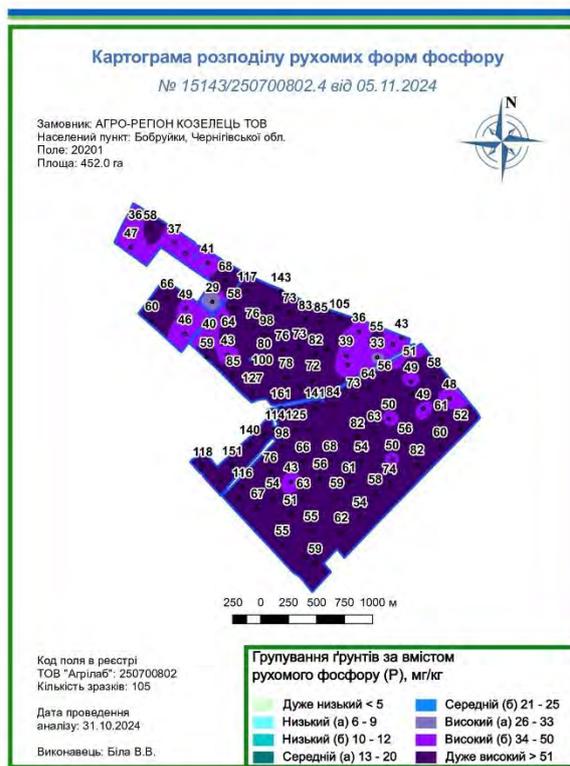
Аналіз змін агрохімічних показників ґрунту дослідного поля після проведення вапнування показав, що станом на 2024 рік вміст органічної речовини здебільшого знизився на 0,1–0,2 % (рис. 7). Зони середнього вмісту органіки частково збереглися, проте скоротилися за площею, а переважна частина поля характеризується низьким рівнем органічної речовини.

За показниками рухомих форм фосфору спостерігається суттєве зростання доступних рослинам кількостей та вирівнювання значень по всій площі поля до рівня дуже високого вмісту. На початку досліджень високий рівень цього елемента відзначався лише в окремих ділянках, а решта поля характеризувалася варіацією від дуже низького до високого вмісту. Зміни вмісту рухомих форм фосфору корелюють із вихідними значеннями: на ділянках із низьким або середнім вмістом у 2024 році зафіксовано високий рівень, тоді як зворотного зниження фосфору на ділянках із початково високим вмістом не спостерігається.

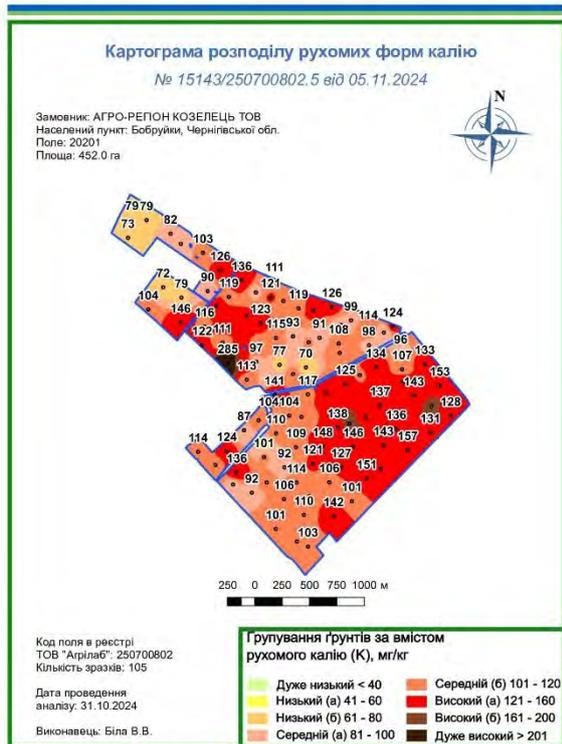
Аналіз картограм розподілу рухомих форм калію показав загальне зростання концентрації цього елемента, особливо у правому середньому куті поля, де відбулося вирівнювання значень до рівня високої концентрації, хоча на початку досліджень вони були середніми або низькими. Водночас окремі точки зберегли початковий рівень або навіть дещо знизили його, що потребує додаткового вивчення.



Уміст органічної речовини



Уміст рухомих форм фосфору



Уміст рухомих форм калію

Рис. 7. Картограма розподілу вмісту органічної речовини, рухомих форм фосфору та калію, поле 415 га, 2024 р.

Також проаналізовано закономірності зміни рухомих форм цинку та обмінного магнію (рис. 8). Аналіз динаміки рухомих форм цинку свідчить про зниження його доступності для рослин порівняно з 2020 роком. Спостерігається розширення площ із дуже низьким умістом елемента, переважно за рахунок трансформації зон, які раніше характеризувалися низьким рівнем забезпеченості.

За вмістом обмінного кальцію спостерігалось насичення ґрунту рухомими формами: з показників дуже низького та низького рівня у 2020 році сформувалися значення, що відповідають низькому та середньому вмісту, а в одній точці – високому. У випадку магнію

просторове групування залишалося незмінним, проте відзначалося підвищення концентрації в межах групи середнього вмісту.

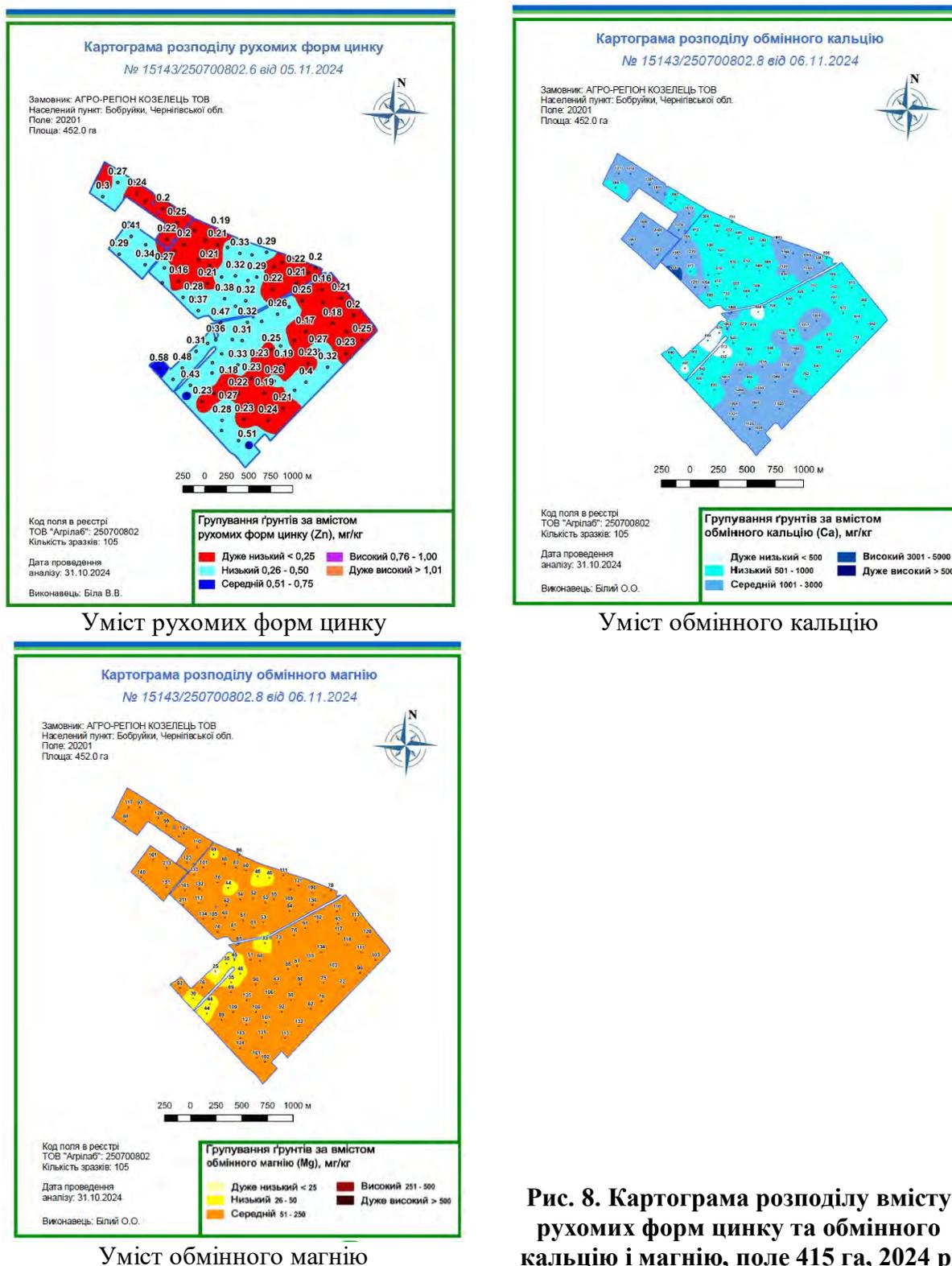


Рис. 8. Картограма розподілу вмісту рухомих форм цинку та обмінного кальцію і магнію, поле 415 га, 2024 р.

Аналіз вихідних агрохімічних даних свідчить, що кислотність ґрунту на дослідному полі площею 415 га є ключовим фактором формування просторової неоднорідності агрохімічних показників. Значення рН(1:1) коливалися в межах 4,7–6,4, а буферний рН – 6,0–6,7, що свідчить про переважання кислих і сильно кислих ґрунтів із наявністю локальних зон зі слабкокислою та близькою до нейтральної реакцією. Картографічний аналіз виявив чітко

виражений просторовий градієнт кислотності з формуванням «острівців» сильно кислих ґрунтів (рН 4,7–5,3), які охоплюють значну частину площі поля.

Саме ці зони виступають осередками потенційного зниження ефективності мінерального живлення, оскільки за таких значень рН підвищується активність рухомих форм Al та Fe, що сприяє фіксації фосфору та зменшенню його доступності для рослин. Водночас у зонах із рН 5,8–6,4 формуються сприятливіші умови для засвоєння макроелементів, проте підвищується ризик зниження доступності деяких мікроелементів, передусім цинку.

Уміст органічної речовини на полі площею 415 га варіював у межах 1,3–2,6 %, із середнім значенням близько 1,7 %, що відповідає низькому та середньому рівню гумусованості сірих опідзолених ґрунтів. Просторовий розподіл цього показника був відносно більш вирівняним порівняно з іншими агрохімічними параметрами, проте ділянки з підвищеним умістом органічної речовини частіше збігалися із зонами підвищених концентрацій калію та, частково, фосфору. Це свідчить про те, що органічна речовина виконує буферну функцію щодо поживних елементів, підвищуючи ємність катіонного обміну та стабілізуючи їх доступність. Водночас слабка кореляція між умістом органічної речовини та кислотністю ґрунту вказує на значний вплив історії землекористування, систем удобрення та гранулометричного складу на формування сучасного агрохімічного стану поля.

Уміст рухомих форм фосфору на полі варіював від 21 до 112 мг/кг, що охоплює градації від низького до дуже високого забезпечення. Просторовий розподіл фосфору мав яскраво виражену строкатість і практично не корелював із картографами кислотності. Така ситуація свідчить про те, що фосфорний режим поля значною мірою сформований під впливом локальних агротехнічних факторів – нерівномірного внесення добрив, різної інтенсивності винесення врожаєм та неоднорідності ґрунтового покриву.

Після проведення диференційованого вапнування у 2024 році зафіксовано істотне підвищення доступності фосфору та одночасне вирівнювання його концентрацій по площі поля. Ділянки з низьким і середнім вихідним умістом фосфору перейшли до групи з високим і дуже високим забезпеченням, при цьому зон зі зниженням цього показника не виявлено. Це підтверджує ключову роль нормалізації кислотності у зменшенні фіксації фосфору сполуками Fe та Al та підвищенні ефективності раніше внесених добрив.

Рухомі форми калію варіювали в межах 69–134 мг/кг із середнім значенням близько 105 мг/кг, що відповідає переважно середньому рівню забезпечення. На відміну від фосфору, калій виявляв меншу чутливість до кислотності ґрунту, а його просторовий розподіл значною мірою визначався текстурними особливостями ґрунтів та історією удобрення.

Після вапнування спостерігалось загальне підвищення концентрацій рухомого калію, особливо в центральних і правобережних частинах поля, де раніше фіксувався середній і низький рівень забезпечення. У низці точок змін не виявлено або зафіксовано незначне зниження, що може бути пов'язано з підвищеним винесенням калію врожаєм або перерозподілом його форм у ґрунті. Це підкреслює необхідність подальшого диференційованого управління калійним живленням навіть після нормалізації рН.

Уміст обмінного кальцію на полі площею 415 га до вапнування варіював від 180 до 1672 мг/кг, що свідчить про значну неоднорідність катіонного складу ґрунтового вбирного комплексу. Просторове співпадіння зон із низьким Ca та зонами високої кислотності було неповним, що вказує на складний генезис ґрунтового покриву та можливий вплив материнських порід.

Після вапнування зафіксовано чітку тенденцію до насичення ґрунту обмінним кальцієм: зони дуже низького та низького забезпечення практично зникли, а більшість площі перейшла до групи середнього вмісту Ca, в окремих точках – високого. Магній характеризувався більш стабільним просторовим розподілом (25–153 мг/кг) і після вапнування демонстрував зростання концентрацій без зміни груп забезпеченості, що свідчить про відсутність негативного дисбалансу Ca:Mg.

Рухомі форми цинку мали відносно вирівняний просторовий розподіл, проте після вапнування спостерігалось зниження його доступності та збільшення площ із дуже низьким

вмістом. Це узгоджується з відомими закономірностями зменшення рухомості Zn за підвищення рН і вказує на необхідність контролю мікроелементного живлення в умовах нормалізованої кислотності. Рухомі форми Fe та Mn, які в кислих ґрунтах можуть проявляти токсичність, після вапнування перебували у більш стабільних концентраціях, що знижує ризики негативного впливу на рослини.

Отримані дані свідчать, що диференційоване вапнування на полі площею 415 га не лише ефективно нейтралізувало кислотність ґрунту, а й суттєво трансформувало просторову структуру агрохімічних показників. Найбільш виражений ефект відзначено для фосфорного режиму та катіонного складу ґрунтового вбирного комплексу, тоді як калій і мікроелементи потребують подальшого диференційованого управління. Результати дослідження підтверджують доцільність інтеграції диференційованого вапнування з системами точного землеробства як ключового інструменту підвищення ефективності використання добрив і стабілізації родючості сірих опідзолених ґрунтів Полісся України.

Висновки

Агрохімічний стан ґрунту дослідного поля площею 415 га до проведення вапнування характеризувався високою просторовою неоднорідністю кислотності, із діапазоном рН(1:1) 4,7–6,4, що обумовлювало формування локальних осередків сильно кислих ґрунтів і створювало нерівномірні умови живлення рослин у межах одного виробничого масиву.

Кисла реакція ґрунтового середовища виступала системообмежувальним чинником родючості, насамперед через посилену фіксацію фосфору сполуками заліза та алюмінію, порушення катіонного балансу ґрунтового вбирного комплексу та зниження ефективності використання внесених мінеральних добрив.

Диференційоване вапнування забезпечило ефективну нейтралізацію кислотності та вирівнювання реакції ґрунтового середовища, що проявилось у зменшенні площ сильно кислих ділянок і переході більшості ґрунтів до слабкокислого та близького до нейтрального діапазону рН. Це підтверджує доцільність просторово орієнтованого підходу до хімічної меліорації на великих неоднорідних полях.

Уміст органічної речовини (1,3–2,6 %) відповідав низькому та середньому рівням гумусованості і мав відносно вирівняний просторовий розподіл порівняно з іншими агрохімічними показниками. Вапнування не призвело до деградаційних змін гумусового стану ґрунту, що свідчить про екологічну безпечність застосованих доз меліорантів.

Фосфорний режим ґрунту характеризувався значною просторовою мозаїчністю (21–112 мг/кг); після нормалізації кислотності відзначено підвищення доступності фосфору та зменшення контрастності його розподілу, що підтверджує ключову роль оптимізації рН у підвищенні ефективності раніше внесених фосфорних добрив.

Рухомі форми калію (69–134 мг/кг) виявляли меншу чутливість до кислотності ґрунту, а їх просторовий розподіл визначався переважно гранулометричним складом ґрунтів та історією удобрення. Після вапнування зберігалася необхідність диференційованого управління калійним живленням для запобігання локальному дефіциту або надлишку елемента.

Обмінний кальцій є основним індикатором ефективності вапнування: після внесення меліорантів зафіксовано істотне підвищення його вмісту та перехід ґрунтів від низького до середнього рівня забезпеченості. Обмінний магній залишався стабільним і не демонстрував ознак негативного дисбалансу у співвідношенні Ca:Mg.

Мікроелементний режим ґрунту після вапнування зазнав диференційованих змін: стабілізувалися концентрації потенційно токсичних форм Fe та Mn, водночас виявлено тенденцію до зниження доступності рухомих форм цинку, що потребує додаткового агрохімічного контролю та корекції системи мікроелементного живлення.

Загальний ефект диференційованого вапнування проявився у зменшенні просторової варіабельності агрохімічних показників, поліпшенні катіонного балансу та створенні більш однорідного агрохімічного фону, що є необхідною передумовою для стабілізації врожайності та підвищення ефективності системи удобрення.

Використана література

1. Li Y., Cui S., Chang S. X., Zhang Q. Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: A global meta-analysis. *Journal of Soils and Sediments*. 2018. Vol. 19. P. 1393–1406. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2120-2>
2. Saarsalmi A., Tamminen P., Kukkola M., Levula T. Effects of liming on chemical properties of soil, needle nutrients and growth of Scots pine transplants. *Forest Ecology and Management*. 2011. Vol. 262, Iss. 2. P. 278–285. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.03.033>
3. Šrámek V., Fadrhonsová V., Vortelová L., Lomský B. Development of chemical soil properties in the western Ore Mts. (Czech Republic) 10 years after liming. *Journal of Forest Science*. 2012. Vol. 58, Iss. 2. P. 57–66. <https://doi.org/10.17221/72/2011-JFS>
4. Ouimet R., Moore J.-D. Effects of fertilization and liming on tree growth, vitality and nutrient status in boreal balsam fir stands. *Forest Ecology and Management*. 2015. Vol. 345. P. 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.02.032>
5. Fleck S., Eickenscheidt N., Ahrends B. et al. Nitrogen status and dynamics in German forest soils. *Status and Dynamics of Forests in Germany: Results of the National Forest Monitoring* / ed. by N. Wellbrock, A. Bolte. Cham: Springer Nature, 2019. Vol. 237. P. 123–166. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15734-0_5
6. Swoboda P., Döring T. F., Hamer M. Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: A review. *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 807, Pt 3. Article 150976. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150976>
7. Zárate-Valdez J. L., Zasoski R. J., Läuchli A. Short-term effects of moisture content on soil solution pH and soil Eh. *Soil Science*. 2006. Vol. 171, Iss. 5. P. 423–431. <https://doi.org/10.1097/01.ss.0000222887.13383.08>
8. Alloway B. J. Sources of heavy metals and metalloids in soils. *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and Their Bioavailability* / ed. by B. J. Alloway. Berlin; Heidelberg: Springer, 2012. P. 11–50. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7_2
9. Hobara S., Kushida K., Kim Y. et al. Relationships among pH, minerals, and carbon in soils from tundra to boreal forest across Alaska. *Ecosystems*. 2016. Vol. 19. P. 1111–1127. <https://doi.org/10.1007/s10021-016-9989-7>
10. Wei Y.-M., Chen K., Kang J.-N. et al. Policy and management of carbon peaking and carbon neutrality: A literature review. *Engineering*. 2022. Vol. 14. P. 52–63. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.12.018>
11. Zeraatpisheh M., Ayoubi S., Sulieman M., Rodrigo-Comino J. Determining the spatial distribution of soil properties using environmental covariates and multivariate statistical analysis: A case study in semi-arid regions of Iran. *Journal of Arid Land*. 2019. Vol. 11, Iss. 4. P. 551–566. <https://doi.org/10.1007/s40333-019-0059-9>
12. Dietzen C., Harrison R., Michelsen-Correa S. Effectiveness of enhanced mineral weathering as a carbon sequestration tool and alternative to agricultural lime: An incubation experiment. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 2018. Vol. 74. P. 251–258. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2018.05.007>
13. Van Noort R., Mørkved P., Dundas S. Acid neutralization by mining waste dissolution under conditions relevant for agricultural applications. *Geosciences*. 2018. Vol. 8, Iss. 10. Article 380. <https://doi.org/10.3390/geosciences8100380>
14. Boampong L. O., Hyman J. D., Carey W. J. et al. Characterizing the combined impact of nucleation-driven precipitation and secondary passivation on carbon mineralization. *Chemical Geology*. 2024. Vol. 663. Article 122256. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2024.122256>

References

1. Li, Y., Cui, S., Chang, S. X., & Zhang, Q. (2018). Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: A global meta-analysis. *Journal of Soils and Sediments*, 19, 1393–1406. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2120-2>

2. Saarsalmi, A., Tamminen, P., Kukkola, M., & Levula, T. (2011). Effects of liming on chemical properties of soil, needle nutrients and growth of Scots pine transplants. *Forest Ecology and Management*, 262(2), 278–285. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.03.033>
3. Šrámek, V., Fadrhonsová, V., Vortelová, L., & Lomský, B. (2012). Development of chemical soil properties in the western Ore Mts. (Czech Republic) 10 years after liming. *Journal of Forest Science*, 58(2), 57–66. <https://doi.org/10.17221/72/2011-JFS>
4. Ouimet, R., & Moore, J.-D. (2015). Effects of fertilization and liming on tree growth, vitality and nutrient status in boreal balsam fir stands. *Forest Ecology and Management*, 345, 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.02.032>
5. Fleck, S., Eickenscheidt, N., Ahrends, B., Evers, J., Grüneberg, E., Ziche, D., Höhle, J., Schmitz, A., Weis, W., Schmidt-Walter, P., Andreae, H., & Wellbrock, N. (2019). Nitrogen status and dynamics in German forest soils. In N. Wellbrock & A. Bolte (Eds.), *Status and dynamics of forests in Germany: Results of the National Forest Monitoring* (Vol. 237, pp. 123–166). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15734-0_5
6. Swoboda, P., Döring, T. F., & Hamer, M. (2022). Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: A review. *Science of the Total Environment*, 807(Part 3), Article 150976. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150976>
7. Zárate-Valdez, J. L., Zasoski, R. J., & Läuchli, A. (2006). Short-term effects of moisture content on soil solution pH and soil Eh. *Soil Science*, 171(5), 423–431. <https://doi.org/10.1097/01.ss.0000222887.13383.08>
8. Alloway, B. J. (2012). Sources of heavy metals and metalloids in soils. In B. J. Alloway (Ed.), *Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability* (pp. 11–50). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7_2
9. Hobara, S., Kushida, K., Kim, Y., Koba, K., Lee, B.-Y., & Ae, N. (2016). Relationships among pH, minerals, and carbon in soils from tundra to boreal forest across Alaska. *Ecosystems*, 19, 1111–1127. <https://doi.org/10.1007/s10021-016-9989-7>
10. Wei, Y.-M., Chen, K., Kang, J.-N., Chen, W., Wang, X.-Y., & Zhang, X. (2022). Policy and management of carbon peaking and carbon neutrality: A literature review. *Engineering*, 14, 52–63. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.12.018>
11. Zeraatpisheh, M., Ayoubi, S., Sulieman, M., & Rodrigo-Comino, J. (2019). Determining the spatial distribution of soil properties using environmental covariates and multivariate statistical analysis: A case study in semi-arid regions of Iran. *Journal of Arid Land*, 11(4), 551–566. <https://doi.org/10.1007/s40333-019-0059-9>
12. Dietzen, C., Harrison, R., & Michelsen-Correa, S. (2018). Effectiveness of enhanced mineral weathering as a carbon sequestration tool and alternative to agricultural lime: An incubation experiment. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 74, 251–258. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2018.05.007>
13. Van Noord, R., Mørkved, P., & Dundas, S. (2018). Acid neutralization by mining waste dissolution under conditions relevant for agricultural applications. *Geosciences*, 8(10), Article 380. <https://doi.org/10.3390/geosciences8100380>
14. Boampong, L. O., Hyman, J. D., Carey, W. J., Viswanathan, H. S., & Navarre-Sitchler, A. (2024). Characterizing the combined impact of nucleation-driven precipitation and secondary passivation on carbon mineralization. *Chemical Geology*, 663, Article 122256. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2024.122256>

UDC 631.81:631.45

Boiko, Ya. I. (2025). Peculiarities of grey podzolic soils' response to differential liming. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 33, 120–136. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.349297> [In Ukrainian]

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine, e-mail: iaroslavboik@gmail.com

Aim. To identify the peculiarities of differential liming on the fertility of grey podzolic soils in the Polissia region of Ukraine. **Methods.** The study was conducted in 2020–2024 on a field of 415 ha (Harbuzyn, Chernihiv region). Soil samples were collected using an adaptive grid (10 ha/elementary plot) with an automatic AgriSoilSampler and GPS navigation. The soil cover of the field is grey podzolic silty loam soil. Agrochemical indicators were analysed using standard laboratory methods, and spatial distribution was assessed by Kriging in QGIS. **Results.** Spatial analysis showed that soil acidity is the key factor shaping the heterogeneity of agrochemical indicators. Most of the field had strongly acidic reaction (pH 4.7–5.3), with local areas being acidic (pH 5.4–5.7) or slightly acidic/neutral (pH 5.8–6.4). The spatial distribution of organic matter was relatively uniform (1.3–2.6%), whereas phosphorus and potassium showed considerable variability. After differential liming in 2024, organic matter content decreased by 0.1–0.2%, while mobile forms of phosphorus and potassium increased and became evenly distributed across the field. Exchangeable calcium reached an average level, magnesium remained stable, and zinc availability slightly decreased. The most pronounced increase in macroelement availability was observed in strongly acidic areas (pH < 5.0), whereas in slightly acidic areas the increase was moderate. **Conclusions.** Differential liming of grey podzolic soils in Polissia contributes to levelling the spatial distribution of acidity, increases the availability of phosphorus and potassium for plants, and reduces the risks of limited mineral nutrition in acidic areas. The obtained data may serve as a basis for implementing precision technologies of lime ameliorant application in agricultural production.

Keywords: *differential liming; soil acidity; pH; agrochemical indicators; mobile phosphorus; mobile potassium; exchangeable calcium; magnesium; zinc; spatial heterogeneity; precision agriculture; Polissia of Ukraine.*

Надійшла / Received 03.09.2025

Погоджено до друку / Accepted 21.10.2025

Опубліковано онлайн / Published online 29.12.2025

БІОТЕХНОЛОГІЯ

УДК 633.11:577.1

DOI: <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.349439>

Отримання поліплоїдних форм буряків залежно від тривалості обробки насіння оризалином

 О. С. Гораш*,  Р. І. Климишена

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», вул. Шевченка, 12, м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл., 32316, Україна, *e-mail: GorashAS@gmail.com

Мета. Оцінити вплив тривалості обробки насіння буряків оризалином на його посівні якості, ранній розвиток проростків та індукцію поліплоїдії. **Методи.** Дослідження проведено на насінні чотирьох сортів буряків: цукрових – ‘Білоцерківський 65’ та ‘Український ЧС 90’, напівцукрових – ‘Поліський напівцукровий’ та ‘Уманський напівцукровий’. Насіння обробляли оризалином протягом 3, 6 та 12 годин; контроль – необроблене насіння. Після обробки насіння промивали водою і висушували до повітряно-сухого стану. Оцінювали посівні якості насіння (енергія проростання на 4-ту та схожість на 10-ту добу), біометричні (довжина корінця та проростка, частка загиблих проростків) та цитологічні показники (частка міксо-, анеу- і тетраплоїдних клітин). Пророщували насіння на зволоженому фільтрувальному папері за температури 20–22 °С та відносної вологості повітря 70–75 %.

Результати. Зі збільшенням тривалості обробки оризалином спостерігалось поступове зниження енергії проростання та схожості насіння: за тригодинної обробки вони залишалися високими (цукрові – 91–92 %, напівцукрові – 89–90 %), тоді як 12-годинна експозиція зменшувала їх до 63–66 % та 70–74 % відповідно. Виживаність проростків на 21-шу добу знижувалася з 88–91 % у контролі до 61–64 % за 12-годинної обробки, водночас частка загиблих проростків зростала до 26–30 %, а довжина проростка та корінця скорочувалася на 27–32 % і 32–37 % відповідно. Тривалість обробки оризалином прямо впливала на формування клітин з підвищеним рівнем плоїдності: вже після короткочасної обробки з’являлися міксоплоїдні (3–5 %), анеуплоїдні (2–3 %) та тетраплоїдні клітини (8–11 %), тоді як 12-годинна експозиція збільшувала їх частку до 10–11, 7–9 та 18–21 % відповідно. Цукрові сорти демонстрували дещо вищу стійкість до дії оризалину порівняно з напівцукровими. **Висновки.** Виживаність проростків та ростові процеси буряків закономірно знижуються зі збільшенням тривалості обробки оризалином. Тривала експозиція ефективно індукуює поліплоїдизацію, формуючи міксо-, анеу- та тетраплоїдні клітини. Максимальний ефект індукованої поліплоїдизації досягається у разі 12-годинної обробки, що підтверджує доцільність використання оризалину в селекційних програмах буряків.

Ключові слова: проростки; стрес; сорти; поліплоїдизація; мутаген.

Як цитувати: Гораш О. С., Климишена Р. І. Отримання поліплоїдних форм буряків залежно від тривалості обробки насіння оризалином. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2025. Вип. 33. С. 137–145. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.349439>



© The Author(s) 2025. Published by Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Вступ

Поліплоїдизація є одним із ключових методів індукції генетичної мінливості у рослин, що дає змогу створювати нові генотипи з підвищеною продуктивністю, поліпшеними морфометричними характеристиками та підвищеною стійкістю до біо- та абіотичних чинників. Особливо ефективним є застосування хімічних поліплоїдизуючих агентів для отримання поліплоїдних форм буряків, оскільки збільшення кількості хромосом може істотно впливати на масу насіння, врожайність та якісні показники, зокрема цукристість коренеплодів [1].

Оризалін (дітрикарбамід) належить до перспективних хімічних мутагенів, здатних ефективно індукувати поліплоїдизацію у сільськогосподарських культур. Водночас дія оризаліну має чітко виражений дозо- та часозалежний характер, а тривалість обробки насіння істотно впливає на частоту утворення поліплоїдних форм, життєздатність проростків і морфометричні параметри рослин [2].

Сучасна селекція буряків спрямована на підвищення продуктивності, поліпшення якості насіння та формування стійкості до стресових факторів. Одним із ефективних підходів до досягнення цих завдань є індуквана поліплоїдизація, що дає змогу отримувати форми з новими морфологічними та фізіологічними властивостями. Відомо, що поліплоїдизація сприяє збільшенню розмірів клітин, зростанню маси насіння та поліпшенню господарсько-цінних ознак рослин [3, 4].

Для індукції поліплоїдизації та створення форм із різним рівнем плоїдності традиційно застосовують хімічні мутагени, насамперед колхіцин [5, 6]. Результати досліджень [7, 8] свідчать, що ефективність дії мутагенів визначається їхньою природою, концентрацією та тривалістю обробки, що безпосередньо відбивається на життєздатності проростків і формуванні морфометричних ознак у поколіннях M_1 і M_2 .

В Україні проблематика отримання поліплоїдних форм буряків залишається недостатньо вивченою і в більшості робіт обмежується застосуванням колхіцину [9]. При цьому основну увагу приділяють цукровим сортам, тоді як напівцукрові форми та оцінювання впливу різної тривалості обробки насіння хімічними агентами залишаються малодослідженими [10–13]. Наявні публікації засвідчують, що використання високих концентрацій мутагенів істотно знижує енергію проростання й польову схожість насіння, проте водночас сприяє утворенню тетра- та анеуплоїдних форм, які можуть мати значну селекційну цінність [14–17].

Отже, актуальність подібних досліджень зумовлена необхідністю визначення оптимальних умов обробки насіння буряків оризаліном з метою отримання поліплоїдних форм із високим селекційним потенціалом, а також оцінювання впливу такої обробки на морфометричні, фізіологічні та лабораторні показники насіння різних сортів.

Мета досліджень – оцінити вплив тривалості обробки насіння буряків оризаліном на його посівні якості, ранній розвиток проростків та індукцію поліплоїдії.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводили на насінні буряків чотирьох сортів: двох цукрових – ‘Білоцерківський 65’ та ‘Український ЧС 90’, і двох напівцукрових – ‘Поліський напівцукровий’ та ‘Уманський напівцукровий’.

Насіння обробляли хімічним мутагеном оризаліном за різної експозиції (3, 6 і 12 годин). Контрольні зразки оризаліном не обробляли. Після завершення обробки насіння промивали проточною водою впродовж однієї години та висушували до повітряно-сухого стану.

Для оцінки впливу тривалості обробки оризаліном на якість насіння визначали такі показники, як посівні якості – енергія проростання (на 4-ту добу) та схожість насіння (на 10-ту добу) у стандартних умовах; біометричні показники – довжина корінця та проростка, частка загиблих проростків, а також ефективність індукції поліплоїдії – частка міксо-, анеу- і тетраплоїдних клітин у проростках.

Пророщування насіння здійснювали в лабораторних умовах на зволоженому фільтрувальному папері за температури 20–22 °С та відносної вологості повітря 70–75 %. Кожен варіант досліду включав 100 насінин, повторність – чотириразова [18].

Ефективність індукованої поліплоїдизації оцінювали за результатами цитологічного аналізу проростків. Частку клітин з різним рівнем плоідності визначали методом мікроскопічного аналізу кореневих меристем після фарбування ядер ацетокарміном. Ураховували клітини міксоплоїдні (з неоднорідним хромосомним набором), анеуплоїдні (зі зменшеною або збільшеною кількістю хромосом порівняно з диплоїдним набором) і тетраплоїдні (з подвоєним хромосомним набором).

Підрахунок здійснювали не менш як у 50 клітинах для кожного варіанта обробки. Частку клітин кожного типу визначали у відсотках від загальної кількості проаналізованих клітин [19, 20].

Статистичну обробку експериментальних даних виконували методом дисперсійного аналізу з обчисленням $HP_{0,05}$ для оцінки достовірності різниць між дослідними варіантами.

Результати досліджень

Результати досліджень свідчать, що зі збільшенням тривалості обробки насіння оризалином з 3 до 12 годин відбувалося поступове зниження як енергії проростання, так і лабораторної схожості у всіх досліджуваних сортів буряків.

Найвищі показники схожості насіння відмічено за тривалості обробки три години: у цукрових сортів вони становили 91–92 %, а у напівцукрових – 89–90 %. За такої експозиції зниження посівних якостей порівняно з контролем мало незначний характер.

Найвираженіше пригнічення проростання зафіксовано за тривалості обробки 12 годин, коли енергія проростання зменшувалася до 63–66 %, а схожість насіння – до 70–74 %. При цьому цукрові сорти ('Білоцерківський 65' та 'Український ЧС 90') виявили дещо вищу стійкість до дії оризалину порівняно з напівцукровими формами.

Дисперсійний аналіз показав, що різниця між контролем та варіантами обробки тривалістю 6 і 12 годин є статистично достовірною для всіх досліджуваних сортів як за енергією проростання, так і за схожістю насіння. Водночас варіанти з тригодинною обробкою у ряді сортів не мали статистично значущих відмітностей порівняно з контролем, що свідчить про помірний вплив короточасної дії оризалину на життєздатність насіння (табл. 1).

Таблиця 1

Посівні якості насіння буряків залежно від тривалості обробки оризалином

Сорт	Тривалість обробки	Енергія проростання, %	Схожість, %
'Білоцерківський 65'	Контроль	92	96
	3 год	87	91
	6 год	78	83
	12 год	64	72
'Український ЧС 90'	Контроль	93	97
	3 год	88	92
	6 год	79	85
	12 год	66	74
'Поліський напівцукровий'	Контроль	90	95
	3 год	85	89
	6 год	77	82
	12 год	63	70
'Уманський напівцукровий'	Контроль	91	95
	3 год	86	90
	6 год	78	83
	12 год	65	72
$HP_{0,05}$		3,2	3,5

Результати досліджень засвідчили, що на 21-шу добу після обробки насіння оризалином виживаність проростків зменшувалася пропорційно зі збільшенням тривалості експозиції.

Найкритичнішим виявився варіант з 12-годинною обробкою, за якого виживаність становила 61–64 %, тоді як частка нежиттєздатних проростків досягала 38–39 %. Паралельно зі зростанням тривалості обробки відмічалася істотне зменшення середньої довжини проростка, що свідчить про пригнічення ростових процесів.

Цукрові сорти характеризувалися дещо вищою стійкістю до дії мутагену порівняно з напівцукровими формами, що узгоджується з раніше отриманими результатами щодо морфометричних показників насіння та частки пошкоджених насінин (табл. 2).

Таблиця 2

Проростання насіння буряків після обробки оризалином на 21-шу добу

Сорт	Тривалість обробки	Вживаність проростків, %	Частка нежиттєздатних проростків, %	Середня довжина проростка, см
‘Білоцерківський 65’	Контроль	90	10	6,2
	3 год	85	15	5,8
	6 год	75	25	5,1
	12 год	62	38	4,3
‘Український ЧС 90’	Контроль	91	9	6,3
	3 год	86	14	5,9
	6 год	76	24	5,2
	12 год	64	36	4,4
‘Поліський напівцукровий’	Контроль	88	12	5,9
	3 год	83	17	5,5
	6 год	73	27	4,9
	12 год	61	39	4,1
‘Уманський напівцукровий’	Контроль	89	11	6,0
	3 год	84	16	5,6
	6 год	74	26	5,0
	12 год	62	38	4,2
НІР _{0,05}		2,4	3,0	1,2

Дослідження показали, що тривалість обробки насіння оризалином суттєво впливає на виживаність проростків, частку нежиттєздатних рослин і середню довжину проростка на 21-шу добу після проростання (табл. 2).

Найвищі показники виживаності та максимальні значення довжини проростка зафіксовано у контрольних варіантах для всіх досліджуваних сортів. Вживаність проростків у контролі становила 62–91 %, а середня довжина проростка – 6,0–6,3 см.

Зі збільшенням тривалості обробки насіння оризалином відмічено чітку тенденцію до зниження виживаності проростків і скорочення їх довжини, водночас зростала частка нежиттєздатних рослин. Найбільш чутливими виявилися проростки за обробки тривалістю 12 годин, коли виживаність знижувалася до 61–64 %, а довжина проростка – до 4,1–4,4 см. Установлена закономірність свідчить про пряму залежність між тривалістю обробки оризалином і ступенем депресії проростків.

Аналіз фізіологічних показників показав, що тривалість обробки насіння оризалином істотно впливає на ріст і життєздатність проростків буряків. У контрольних варіантах для всіх сортів відзначено максимальні значення довжини корінця (5,0–5,2 см) і довжини проростка (5,3–5,5 см) за відсутності загиблих рослин.

За тривалості обробки насіння оризалином три години у цукрових сортів довжина корінця становила 4,7–4,8 см, а довжина проростка – 5,0–5,1 см. У напівцукрових форм відповідні показники були дещо нижчими – 4,6–4,9 см. Подальше збільшення тривалості обробки до 12 годин зумовлювало істотне зменшення довжини корінця та проростка, а також зростання частки загиблих проростків до 26–30 %.

Найбільший відсоток загиблих проростків відмічено за обробки насіння оризалином упродовж 12 годин – 18–21 %, тоді як за тригодинної обробки цей показник був мінімальним і становив 6–8 %. Загалом встановлено, що зі збільшенням тривалості обробки оризалином як у цукрових, так і у напівцукрових буряків закономірно зростає кількість загиблих проростків (табл. 3).

Таблиця 3

**Біометричні показники проростків буряків
за різної тривалості обробки насіння оризалином**

Сорт	Тривалість обробки	Довжина корінця, см	Довжина проростка, см	Загиблі, %
‘Білоцерківський 65’	Контроль	5,1	5,4	0
	3 год	4,7	5,0	7
	6 год	4,0	4,4	15
	12 год	3,2	3,7	29
‘Український ЧС 90’	Контроль	5,2	5,5	0
	3 год	4,8	5,1	8
	6 год	4,1	4,5	17
	12 год	3,3	3,8	30
‘Поліський напівцукровий’	Контроль	5,0	5,3	0
	3 год	4,6	4,9	6
	6 год	4,0	4,4	13
	12 год	3,4	3,8	26
‘Уманський напівцукровий’	Контроль	5,1	5,4	0
	3 год	4,7	5,0	7
	6 год	4,1	4,5	14
	12 год	3,3	3,7	28
НІР _{0,05}		0,2	0,4	3,0

Отримані результати свідчать про поступове зростання частки клітин з підвищеним рівнем плоідності у проростках буряків зі збільшенням тривалості обробки насіння оризалином. У контрольних варіантах міксоплоїдні, анеуплоїдні та тетраплоїдні клітини не виявлялися.

Після тригодинної обробки оризалином у проростках з’являлися перші міксоплоїдні та анеуплоїдні клітини, частка яких становила 3–5 %, тоді як частка тетраплоїдних клітин досягала 8–11 %.

Максимальні значення клітин з підвищеним рівнем плоідності зафіксовано у варіантах з 12-годинною обробкою насіння: частка міксоплоїдних клітин становила 10–11 %, анеуплоїдних – 7–9 %, тетраплоїдних – 18–21 % (табл. 4).

Незалежно від сортових особливостей буряків встановлено, що зі збільшенням тривалості обробки насіння оризалином істотно зростала частка міксоплоїдних і анеуплоїдних клітин у проростках, що підтверджує дозо- та часозалежний характер індукованої поліплоїдизації.

Отже, отримані дані підтверджують ефективність оризаліну як поліплоїдизувального агента та свідчать про наявність чіткої дозо- і часозалежної закономірності утворення клітин із підвищеним рівнем хромосомного набору в проростках буряків.

**Частка формування міксо-, анеу- і тетраплоїдів
залежно від тривалості обробки насіння оризалином**

Сорт	Тривалість обробки	Міксоплоїди, %	Анеуплоїди, %	Тетраплоїди, %
‘Білоцерківський 65’	Контроль	0	0	0
	3 год	4	3	8
	6 год	6	5	15
	12 год	10	9	18
‘Український ЧС 90’	Контроль	0	0	0
	3 год	3	2	9
	6 год	6	4	16
	12 год	9	8	19
‘Поліський напівцукровий’	Контроль	0	0	0
	3 год	5	2	11
	6 год	8	4	17
	12 год	10	7	20
‘Уманський напівцукровий’	Контроль	0	0	0
	3 год	4	3	10
	6 год	7	5	16
	12 год	11	8	21
НІР _{0,05}		2,0	1,6	3,0

Висновки

Зі збільшенням тривалості обробки оризалином спостерігалось поступове зниження енергії проростання та схожості насіння: за тригодинної обробки вони залишалися високими (цукрові – 91–92 %, напівцукрові – 89–90 %), тоді як 12-годинна експозиція зменшувала їх до 63–66 % та 70–74 % відповідно.

Вживаність проростків буряків закономірно зменшується зі збільшенням тривалості обробки насіння оризалином – від 88–91 % у контролі до 61–62 % за 12-годинної експозиції, тоді як частка нежиттєздатних проростків зростає з 9–12 до 38–39 %. Найбільш виражений негативний ефект відмічено у напівцукрових сортів.

Тривала обробка оризалином призводить до істотного пригнічення ростових процесів: довжина проростка скорочується на 27–32 %, а довжина корінця – на 32–37 %. Частка загиблих проростків після 12 годин обробки досягає 26–30 %, при цьому більш чутливими виявилися сорти ‘Український ЧС 90’ та ‘Уманський напівцукровий’.

Аналіз розподілу хромосомних наборів у клітинах проростків підтверджує високу поліплоїдизувальну ефективність оризалину. Уже після короткочасної обробки формуються міксоплоїдні (3–5 %), анеуплоїдні (2–3 %) та тетраплоїдні клітини (8–11 %), тоді як за 12-годинної обробки їхня частка зростає відповідно до 10–11, 7–9 і 18–21 %.

Тривалість обробки оризалином має прямий вплив на показники насіння і проростків буряків, а також на частоту утворення клітин із підвищеним рівнем плоїдності. Найбільш інтенсивні зміни зафіксовано після 12 годин обробки, при цьому максимальний ефект індукованої поліплоїдизації (формування міксоплоїдних і тетраплоїдних клітин) спостерігається у всіх досліджуваних сортів, що підтверджує доцільність використання оризалину в селекційних програмах.

Використана література

1. Hu T., Wei Q., Wang W. et al. Genome-wide identification and characterization of CONSTANS-like gene family in radish (*Raphanus sativus*). *PLoS ONE*. 2018. Vol. 13, Iss. 9. Article e0204137. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204137>

2. Тігова А. В., Сорока А. І. Використання нових похідних диметилсульфату для отримання спадкових змін у льону олійного. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 4. С. 52–59. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201904-08>
3. Куліш О. Ю., Парій М. Ф. Новий морфотип овочевої кукурудзи, отриманий методом експериментального мутагенезу. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 10. С. 39–47. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202010-06>
4. Yun Pei, Yao N., He L. et al. Comparative study of the morphological, physiological and molecular characteristics between diploid and tetraploid radish (*Raphanus sativus* L.). *Scientia Horticulturae*. 2019. Vol. 257. Article 108739. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108739>
5. Kim K. H., Moon E., Kim S. Y. et al. 4-Methylthiobutanyl derivatives from the seeds of *Raphanus sativus* and their biological evaluation on anti-inflammatory and antitumor activities. *Journal of Ethnopharmacology*. 2014. Vol. 151, Iss. 1. P. 503–508. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.11.003>
6. Сабадін В. Я. Дія мутагенів на генотипи ячменю ярого і формування цінних господарських ознак. *Збірник праць XI Міжнародної наукової конференції «Science progress in European countries: new concepts and modern solutions»*. Штутгарт, Німеччина, 2019. С. 154–161.
7. Тігова А. В., Сорока А. І., Дульнев П. Г. Спрямованість генетичних змін під впливом нових похідних диметилсульфату у льону олійного. *Цитологія і генетика*. 2022. Т. 56, № 1. С. 46–56.
8. Plant mutation breeding and biotechnology / ed. by Q. Y. Shu, B. P. Forster, H. Nakagawa. Vienna : IAEA, 2011. 801 p.
9. Козаченко М. Р. Ефективність способів індукування і використання мутацій в селекції ярого ячменю : автореф. ... дис. д-ра с.-г. наук : спец. 06.01.05. Дніпропетровськ, 2001. 36 с.
10. Nazarenko M. Identification and characterization of mutants induced by gamma radiation in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2016. Vol. LIX. P. 350–353.
11. Назаренко М. М., Лихолат Ю. В., Хромих Н. О. Мутації у пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) під дією диметилсульфату. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2019. № 1. <https://doi.org/10.31548/dopovidi2019.01.007>
12. Бланковська Т. П., Трочинська Т. А. Розвиток зародкового мішка у другого та третього поколінь пшенично-житніх гібридів. *Вісник Одеського національного університету. Біологія*. 2002. Т. 7, № 1. С. 243–248. URL: <http://visbio.onu.edu.ua/article/view/261477>
13. Козаченко М. Р. Експериментальний мутагенез в селекції ячменю. Харків : Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН, 2010. 296 с.
14. Дем'яненко В. В., Логвиненко В. Ф., Семерунь Т. Б. Вивчення цитогенетичної активності мутагенних чинників на прикладі озимої пшениці. *Фізіологія і біохімія культурних рослин*. 2005. Т. 37, № 4. С. 313–319.
15. Wulansari A., Martin A. F., Ermayanti T. M. Induksi tanaman poliploid talas (*Colocasia esculenta* L.) dengan perlakuan orizalin secara *in vitro*. *Jurnal Biologi Indonesia*. 2017. Vol. 12, No 2. P. 297–305. URL: <https://jurnalbiologi.perbiol.or.id/home/article/aaa4ccff-dae7-44f6-a254-9b1b076bdc99>
16. Rahmi P., Witjaksono, Ratnadewi D. Induksi poliploidi tanaman kangkung (*Ipomoea aquatica* Forssk.) kultivar salina *in vitro* dengan oryzalin. *Jurnal Biologi Indonesia*. 2019. Vol. 15, Iss. 1. P. 1–8. <https://doi.org/10.47349/jbi/15012019/1>
17. Sales W. S., Rêgo M. M., Araújo J. K. P. et al. Orizalin-induced polyploidy in *Capsicum annuum* L.: stress-responsive proteins and breeding potential. *Brazilian Journal of Biology*. 2025. Vol. 85. Article e294803. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.294803>
18. Пирог Т. П., Ігнатова О. А. Загальна біотехнологія. Київ : НУХТ, 2009. 336 с.
19. Юлевич О. І., Ковтун С. І., Гиль М. І. Біотехнологія. Миколаїв : МДАУ, 2012. 476 с.

20. Івченко Т. В., Корнієнко С. І., Віцєня Т. І. та ін. Клітинні технології створення вихідного селекційного матеріалу основних овочевих рослин в культурі *in vitro* : методичні рекомендації. Харків : Плеяда, 2013. 48 с.

References

1. Hu, T., Wei, Q., Wang, W., Hu, H., Mao, W., Zhu, Q., & Bao, C. (2018). Genome-wide identification and characterization of CONSTANS-like gene family in radish (*Raphanus sativus*). *PLoS ONE*, *13*(9), Article e0204137. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204137>
2. Tihova, A. V., & Soroka, A. I. (2019). Use of new derivatives of dimethyl sulphate for deriving hereditary variations at oil flax. *Bulletin of Agricultural Science*, *4*, 52–59. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201904-08> [In Ukrainian]
3. Kulish, O. Yu., & Parii, M. F. (2020). New morphotype of vegetable corn obtained by the method of experimental mutagenesis. *Bulletin of Agricultural Science*, *10*, 39–47. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202010-06> [In Ukrainian]
4. Pei, Y., Yao, N., He, L., Deng, D., Li, W., & Zhang, W. (2019). Comparative study of the morphological, physiological and molecular characteristics between diploid and tetraploid radish (*Raphanus sativus* L.). *Scientia Horticulturae*, *257*, Article 108739. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108739>
5. Kim, K. H., Moon, E., Kim, S. Y., Choi, S. U., Lee, J. H., & Lee, K. R. (2014). 4-Methylthiobutanyl derivatives from the seeds of *Raphanus sativus* and their biological evaluation on anti-inflammatory and antitumor activities. *Journal of Ethnopharmacology*, *151*(1), 503–508. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.11.003>
6. Sabadyn, V. Ya. (2019, May). Effect of mutagens on spring barley genotypes and formation of valuable economic traits. *Science progress in European countries: New concepts and modern solutions: Proceedings of the XI International Scientific Conference*, Stuttgart, Germany.
7. Tihova, A. V., Soroka, A. I., & Dulnev, P. H. (2022). Direction of genetic changes under the influence of new dimethyl sulfate derivatives in oil flax. *Cytology and Genetics*, *56*(1), 46–56. [In Ukrainian]
8. Shu, Q. Y., Forster, B. P., & Nakagawa, H. (Eds.). (2011). *Plant mutation breeding and biotechnology*. IAEA.
9. Kozachenko, M. R. (2001). *Efficiency of methods for inducing and using mutations in spring barley breeding* (Doctoral dissertation abstract). Dnipro. [In Ukrainian]
10. Nazarenko, M. (2016). Identification and characterization of mutants induced by gamma radiation in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, *LIX*, 350–353.
11. Nazarenko, M. M., Lykholat, Yu. V., & Khromykh, N. O. (2019). Mutations in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under the dimethyl sulfate action. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*, *1*. <https://doi.org/10.31548/dopovidi2019.01.007> [In Ukrainian]
12. Blankovska, T. P., & Trochynska, T. A. (2002). Development of embryo sac of wheat-rye hybrids of the second and third generations. *Odesa National University Herald. Biology*, *7*(1), 243–248. <http://visbio.onu.edu.ua/article/view/261477> [In Ukrainian]
13. Kozachenko, M. R. (2010). *Experimental mutagenesis in barley breeding*. V. Ya. Yuriev Institute of Plant Production. [In Ukrainian]
14. Demianenko, V. V., Lohvynenko, V. F., & Semerun, T. B. (2005). Study of cytogenetic activity of mutagenic factors on the example of winter wheat. *Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants*, *37*(4), 313–319. [In Ukrainian]
15. Wulansari, A., Martin, A. F., & Ermayanti, T. M. (2017). Induksi tanaman poliploid talas (*Colocasia esculenta* L.) dengan perlakuan orizalin secara *in vitro*. *Jurnal Biologi Indonesia*, *12*(2), 297–305.

16. Rahmi, P., Witjaksono, & Ratnadewi, D. (2019). Induksi poliploidi tanaman kangkung (*Ipomoea aquatica* Forssk.) kultivar salina *in vitro* dengan oryzalin. *Jurnal Biologi Indonesia*, 15(1), 1–8. <https://doi.org/10.47349/jbi/15012019/1>
17. Sales, W. S., Rêgo, M. M., Araújo, J. K. P., Santos, A. M. S., Martins, F. B., Lima, J. A. M., Barbosa, J. M. S., Silva, S. T. P., Santos, C. A. L., & Rêgo, E. R. (2025). Oryzalin-induced polyploidy in *Capsicum annuum* L.: Stress-responsive proteins and breeding potential. *Brazilian Journal of Biology*, 85, Article e294803. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.294803>
18. Pyroh, T. P., & Ihnatova, O. A. (2009). *General biotechnology*. NUKHT. [In Ukrainian]
19. Yulevych, O. I., Kovtun, S. I., & Hyl, M. I. (2012). *Biotechnology*. MSAU. [In Ukrainian]
20. Ivchenko, T. V., Korniienko, S. I., & Vitsenia, T. I. (2013). *Cell technologies for creating initial breeding material of main vegetable plants in in vitro culture: Guidelines*. Pleiada. [In Ukrainian]

UDC 633.11:577.1

Horash, O. S.*, Klymyshena, R. I. (2025). Induction of polyploid beet forms depending on the duration of seed treatment with oryzalin. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 33, 137–145. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.349439> [In Ukrainian]

*HEI «Podillia State University», 12 Shevchenko St., Kamianets-Podilskyi, Khmelnytskyi region, 32316, Ukraine, *e-mail: GorashAS@gmail.com*

Aim. To evaluate the effect of seed treatment duration with oryzalin on the sowing qualities of beet seed, early seedling development, and induction of polyploidy. **Methods.** The study was conducted on seeds of four beet varieties: sugar beet ‘Bilotserkivskyi 65’ and ‘Ukrainskyi ChS 90’; semi-sugar beet ‘Poliskyi Napivtsukrovyi’ and ‘Umanskyi Napivtsukrovyi’. Seeds were treated with oryzalin for 3, 6, and 12 hours. Control was with untreated seed. After treatment, seeds were rinsed with water and air-dried. Sowing qualities (germination energy on day 4 and germination rate on day 10), biometric parameters (rootlet and seedling length, proportion of dead seedlings), and cytological indicators (proportion of mixoploid, aneuploid, and tetraploid cells) were assessed. Seeds were germinated on moistened filter paper at 20–22 °C and relative air humidity of 70–75%. **Results.** With increasing duration of oryzalin treatment, a gradual decrease in germination energy and seed germination was observed: after three hours of treatment, these parameters remained high (91–92% in sugar beet and 89–90% in semi-sugar beet), whereas 12-hour exposure reduced them to 63–66% and 70–74%, respectively. Seedling survival on day 21 decreased from 88–91% in the control to 61–64% under 12-hour treatment, while the proportion of dead seedlings increased to 26–30%, and seedling and rootlet length decreased by 27–32% and 32–37%, respectively. Treatment duration directly influenced the formation of cells with increased ploidy level: even short-term treatment induced mixoploid (3–5%), aneuploid (2–3%), and tetraploid cells (8–11%), whereas 12-hour exposure increased their proportion to 10–11%, 7–9%, and 18–21%, respectively. Sugar beet varieties showed slightly higher tolerance to oryzalin compared with semi-sugar varieties. **Conclusions.** Seedling survival and growth processes of beet consistently decrease with increasing duration of oryzalin treatment. Prolonged exposure effectively induces polyploidisation, forming mixoploid, aneuploid, and tetraploid cells. The maximum effect of induced polyploidisation was achieved with 12-hour treatment, confirming the feasibility of using oryzalin in beet breeding programmes.

Keywords: seedlings; stress; varieties; polyploidisation; mutagen.

Надійшла / Received 03.10.2025

Погоджено до друку / Accepted 12.11.2025

Опубліковано онлайн / Published online 29.12.2025

ЗАХИСТ РОСЛИН

УДК 633.854.78:632.1/.4-043.86(292.485-15) DOI: <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.349542>

Динаміка розвитку хвороб соняшнику в південній частині Лісостепу Західного

 І. В. Качинська*,  В. М. Григор'єв

*ЗВО «Подільський державний університет», вул. Шевченка, 12, м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька обл., 32316, Україна, *e-mail: irakacinnnska@gmail.com*

Мета. Установити поширення та розвиток основних хвороб соняшнику протягом вегетаційного періоду в умовах південної частини Західного Лісостепу України. **Методи.** Дослідження проводили у 2024–2025 рр. на дослідних ділянках НДЦ «Поділля» ЗВО «ПДУ» на гібриді соняшнику 'Каньйон'. Облік хвороб здійснювали за загальноприйнятими методиками з визначенням їх поширення та ступеня розвитку впродовж основних фенологічних фаз культури. Ідентифікацію збудників виконували в лабораторних умовах методом мікроскопіювання. Оцінювали вплив метеорологічних умов на формування патогенного комплексу. **Результати.** Упродовж досліджень у посівах соняшнику виявлено широкий спектр хвороб, зокрема септоріоз, пероноспороз, фомоз, фомопсис, білу гниль, іржу, сіру гниль, борошністу росу та вертицильозне в'янення. Прояв і розвиток хвороб спостерігалися протягом усього вегетаційного періоду культури та значною мірою визначалися кліматичними умовами року, передусім кількістю атмосферних опадів. У фазі 5–6 пар листків (ВВСН 18) фіксували прояв септоріозу, пероноспорозу та білої гнилі, однак ураження мало обмежений характер – поширення хвороб не перевищувало 3,6 % за розвитку до 0,5 %. У фазі «зірочка» (ВВСН 51) у 2025 році, поряд із зазначеними хворобами, відмічено ураження рослин фомозом. Серед усього комплексу захворювань найінтенсивніше розвивався септоріоз, поширення якого становило 11,4–16,4 % за розвитку 5,4–5,8 %. На початку цвітіння (ВВСН 61) рослини соняшнику уражувалися септоріозом, пероноспорозом, фомозом, фомопсисом, білою гниллю та іржею. Домінуючою хворобою в цю фазу залишався септоріоз, поширення якого досягало 47–62 % за розвитку 9,2–15,6 %. Поширення іржі перебувало в межах 13,3–17,2 % за розвитку 2,9–3,5 %. У фазі формування насіння (ВВСН 75) відмічено найбільш інтенсивний розвиток комплексу хвороб, зокрема септоріозу, пероноспорозу, фомозу, фомопсису, білої гнилі, іржі, борошністої роси та сірої гнилі. Найпоширенішими захворюваннями були септоріоз та іржа, поширення яких досягало 100 % за розвитку відповідно 25,4–38,7 % та 12,7–18,7 %. Поширення фомозу становило 22,1–32,3 % за розвитку 6,4–9,6 %. У 2025 році також зафіксовано значне ураження кошиків білою гниллю – 21,7 %. Інші хвороби, зокрема фомопсис, пероноспороз, борошніста роса та сіра гниль, мали істотно менше поширення, яке не перевищувало 10 %. **Висновки.** В умовах південної частини Західного Лісостепу України домінуючими

Як цитувати: Качинська І. В., Григор'єв В. М. Динаміка розвитку хвороб соняшнику в південній частині Лісостепу Західного. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2025. Вип. 33. С. 146–153. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.349542>



© The Author(s) 2025. Published by Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

хворобами соняшнику є септоріоз, фомоз, іржа та біла гниль кошиків, максимальний розвиток яких припадає на кінець вегетаційного періоду. Визначальним чинником формування патогенного комплексу є кількість атмосферних опадів, що обумовлює інтенсивність поширення та розвитку основних хвороб культури.

Ключові слова: соняшник; хвороби; поширення; розвиток; септоріоз; фомоз; іржа; біла гниль.

Вступ

Соняшник є провідною олійною культурою України. Протягом багатьох років держава займає лідерські позиції у світі за обсягами виробництва та переробки насіння соняшнику, а вирощування цієї культури залишається економічно привабливим для сільськогосподарських товаровиробників.

Останніми роками спостерігається суттєве зростання площ і валового виробництва насіння соняшнику в західних областях України, зокрема в Івано-Франківській, Закарпатській, Тернопільській, Рівненській та Хмельницькій [1, 2]. Надмірне насичення сівозмін соняшником призвело до погіршення фітосанітарного стану посівів культури, зокрема до зростання ураження рослин збудниками хвороб [2, 3].

В умовах України рослини соняшнику можуть уражатися понад 70 видами фітопатогенів [4]. Особливу небезпеку становлять хвороби грибної етіології, серед яких найпоширенішими є несправжня борошниста роса (*Plasmopara helianthi* Novot. f. *helianthi* Nova), біла гниль [*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary], сіра гниль (*Botrytis cinerea* Fr.), іржа (*Puccinia helianthi* Schw.), вертицильоз (*Verticillium dahliae* Kleb.), фомоз (*Phoma oleracea*), альтернаріоз (*Alternaria alternata*), септоріоз (*Septoria helianthi* Ell. et Kell), фомопсис (*Phomopsis helianthi*) та інші [4–6]. Втрати врожаю від хвороб соняшнику можуть досягати 30–50 %, а в роки розвитку епіфітотій перевищувати 70 % [7–9].

Фітопатогенний комплекс соняшнику, а також рівень поширення й інтенсивність розвитку хвороб істотно змінюються залежно від ґрунтово-кліматичних умов регіону, погодних умов року, попередника в сівозміні та елементів технології вирощування. Зокрема, за даними Ф. С. Мельничука та ін. [3], у Лісостепу України на посівах соняшнику без зрошення виявляли лише три хвороби – септоріоз, фомоз та іржу. За умов достатнього зволоження домінували септоріоз і фомоз, тоді як у посушливі роки інтенсивніше розвивалася іржа. Водночас на зрошуваних ділянках фітопатогенний комплекс соняшнику характеризувався значно більшою різноманітністю і включав, окрім зазначених хвороб, фомопсис, білу та фузаріозну гнилі.

За результатами досліджень [2], в умовах західного Лісостепу України у 2018–2019 рр. найпоширенішими хворобами соняшнику були альтернаріоз [*Alternaria alternata* (Fr.) Keissl.], ембелізія (*Alternaria helianthi* Tub. et Nish.), вертицильоз (*Verticillium albo-atrum* Reinke et Berthold; *V. dahliae* Kleb.), фомоз (*Phoma oleraceae* var. *helianthi* Sacc.) і фомопсис (*Phomopsis helianthi* Munt.-Cvet. et al.).

Мета досліджень – установити поширення та розвиток основних хвороб соняшнику протягом вегетаційного періоду в умовах південної частини Західного Лісостепу України.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження проводилися на дослідних ділянках НДЦ «Поділля» ЗВО «Подільський державний університет» протягом 2024–2025 рр. Гібрид соняшнику ‘Каньйон’.

Відбір зразків, обліки шкідливих об’єктів та аналіз отриманих результатів проводили за загальноприйнятими методиками [10]. Кінцеву ідентифікацію збудників хвороб виконували в лабораторних умовах шляхом мікроскопіювання.

Поширення хвороб визначали за формулою:

$$П = (n \times 100) / N,$$

де П – поширення хвороби, %; *n* – кількість хворих рослин у пробі (або ж окремих органів); *N* – загальна кількість обстежених рослин (окремих органів).

Ступінь розвитку хвороб визначали за формулою:

$$P = \frac{\sum(a \times b)}{N \times k} \times 100,$$

де P – розвиток хвороби (%); a – кількість рослин з відповідним балом (шт.); b – відповідний бал ураження; N – загальна кількість облікових рослин (шт.); k – найвищий бал шкали обліку [10].

Таблиця 1

Шкала обліку для визначення ступеня ураження соняшнику хворобами листків та стебел [11]

Бал	Ступінь ураження	Характерні ознаки	Площа ураженої поверхні, %
0	відсутнє	здорова рослина	0
0,1	незначне	поодинокі бурі плями на окремих листках	< 1
1	слабке	плямами охоплене до 1/10 поверхні рослини (листки, стебло), розвиток плям у вигляді трикутника у напрямку до черешка, жилки листків темніють	1–10
2	середнє	уражено до ¼ поверхні рослин, сіро-бурі плями на стеблах у місцях прикріплення черешків	11–25
3	сильне	уражено до ½ поверхні рослин, листки засихають, стебла буріють, стають трубчастими, помітно пікніди гриба	26–50
4	дуже сильне	уражено більше ½ поверхні рослини, стебла ламаються. Поле соняшнику має вигляд бурелому	> 50

Таблиця 2

Шкала обліку ступеня ураження збудником іржі [11]

Бал	Ступінь ураження
1	рослина не уражена
3	рослина не уражена, або є лише поодинокі пустули на усій рослині
5	рослина уражена слабо. Поодинокі групи пустул на листі. Більш інтенсивне розосередження пустул на нижній стороні листа
7	рослина уражена середньо. Численні, іноді суцільні пустули на листі нижнього та середнього ярусів. Іноді поодинокі пустули на кошиках
9	рослина уражена сильно. Суцільний розвиток крупних пустул на листі всіх ярусів, тильній стороні кошика

Таблиця 3

Шкала визначення ступеня ураження кошиків соняшнику гнилями [11]

Бал	Ступінь ураження	Характерні ознаки	Площа ураженої поверхні, %
0	відсутнє	здорова рослина	0
1	слабке	гниль охоплює до 0,1 поверхні кошика	1–10
2	середнє	гниллю охоплено до 0,25 поверхні кошика	11–25
3	сильне	гниллю охоплено до 0,5 поверхні кошика	26–50
4	дуже сильне	гниллю охоплено понад 0,5 поверхні кошика	>50

Результати досліджень

Рослини соняшнику впродовж 2024–2025 рр. уражувалися грибними, бактеріальними та вірусними хворобами, при цьому домінуючими були захворювання грибної етіології.

Кліматичні умови вегетаційного періоду 2024–2025 рр. істотно різнилися за кількістю опадів і температурним режимом як між окремими роками досліджень, так і порівняно з багаторічними середніми показниками (рис. 1).

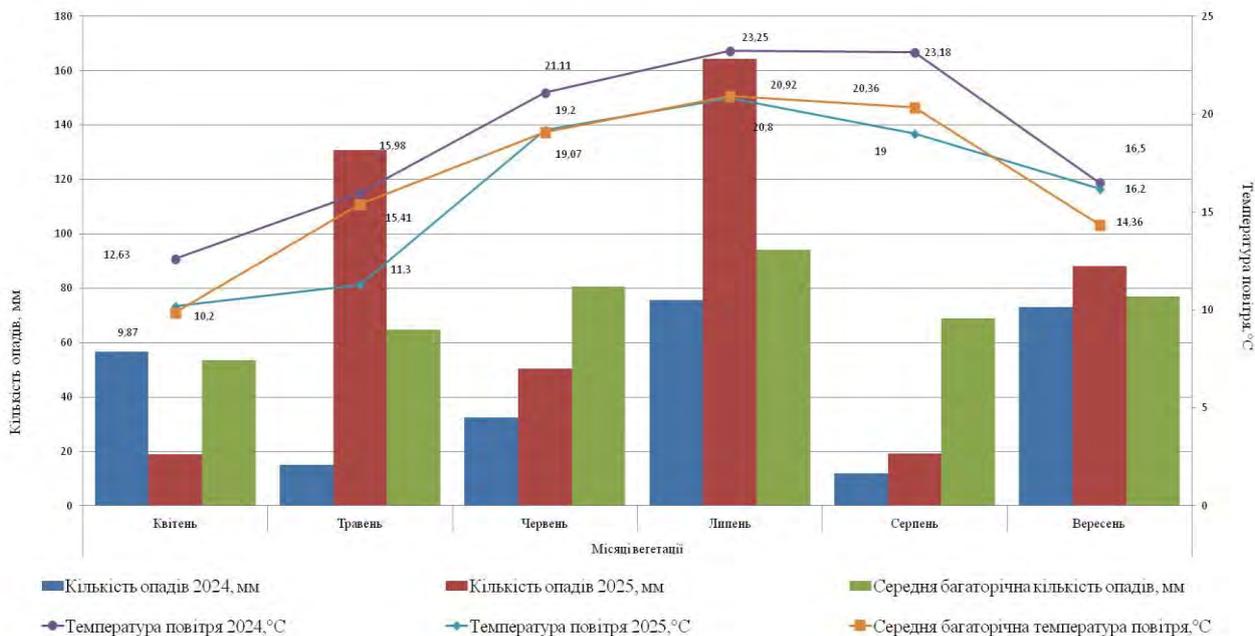


Рис. 1. Метеорологічні показники (2024–2025 рр.)

Веgetаційний період 2024 р. характеризувався підвищеним температурним режимом. Середньомісячні температури повітря перевищували багаторічні показники у травні на 0,57 °C, а у квітні та впродовж літніх місяців (червень – серпень) – у межах 2,04–2,82 °C. У більшості місяців цього року кількість атмосферних опадів була незначною. Лише у квітні, липні та вересні сума опадів відповідала багаторічній нормі або була незначно нижчою за неї.

Натомість у травні 2025 р. спостерігалися знижені температури повітря та приморозки. Загалом вегетаційний період 2025 р. характеризувався прохолодним температурним режимом за достатнього, а в деякі місяці – надмірного зволоження.

Септоріоз (*Septoria helianthi* Ell. et Kell.) є особливо небезпечним в умовах достатнього зволоження, оскільки його розвиток найінтенсивніший за вологої та помірно теплої погоди. Ознаки хвороби у вигляді характерних плям з'являлися на рослинах соняшнику у фазі 5–6 листків у 2025 р. У цей період поширеність септоріозу була незначною і становила 3,6 % за ступеня розвитку 0,2 % (табл. 4).

У подальші фази розвитку культури поширеність хвороби стрімко зростала протягом обох років досліджень. Зокрема, у 2024 р. у фазі зірочки (ВВСН 51) поширеність септоріозу досягла 21,4 %, тоді як у 2025-му – 36,2 % за ступеня розвитку 8,4 та 15,2 % відповідно. У фазі ВВСН 61 ураження рослин у 2024 р. становило 47,0 %, а у 2025-му – 52,0 % за розвитку хвороби 13,2 та 19,6 % відповідно. На початку формування насіння (ВВСН 75) у обох роках поширеність септоріозу сягала 100 %, тоді як ступінь розвитку хвороби становив 25,4 % у 2024 р. та 38,7 % у 2025-му.

Отже, розвиток септоріозу на рослинах соняшнику характеризувався послідовним зростанням поширеності хвороби протягом вегетаційного періоду з досягненням 100 % у кінцевих фазах онтогенезу. Інтенсивність розвитку хвороби значною мірою визначалася кліматичними особливостями року, насамперед кількістю атмосферних опадів.

Біла гниль уражувала рослини соняшнику протягом усього вегетаційного періоду та проявлялася у вигляді прикореневої, стеблової та кошикової форм. Характер і ступінь розвитку хвороби значною мірою залежали від метеорологічних умов.

Початок вегетаційного періоду 2025 року вирізнявся достатнім рівнем зволоження та помірно низькими температурами, що сприяло ураженню рослин збудником білої гнилі. У

фазі зірочки (ВВСН 61) було виявлено 2,6 % рослин, уражених прикореневою формою. У період інтенсивного наростання вегетативної маси поширеність хвороби зростає до 3,2 % за рівня розвитку 1,7 %. Водночас у 2024 році ураження рослин соняшнику прикореневою формою білої гнилі не відмічали.

Ураження стебловою формою білої гнилі спостерігалось поодиноким, а її поширеність не перевищувала 0,3 %.

Таблиця 4

Динаміка поширення та розвитку хвороб соняшнику впродовж вегетації (2024–2025 рр.)

Назва хвороби, збудник	Період обліку, фенологічна фаза, рік															
	5–6 пар листків ВВСН 18				зірочка ВВСН 51				початок цвітіння ВВСН 61				формування насіння ВВСН 75			
	2024		2025		2024		2025		2024		2025		2024		2025	
	П*	Р*	П	Р	П	Р	П	Р	П	Р	П	Р	П	Р	П	Р
Септоріоз <i>Septoria helianthi</i>	3,6	0,2	0	0	21,4	8,4	36,2	15,2	47	13,2	52	19,6	100	25,4	100	38,7
Пероноспороз <i>Plasmopara helianthi</i>	0	0	0,3	0,1	0	0	1,7	0,3	1,9	0,6	2,2	1,1	2,1	0,6	2,2	1,1
Фомоз <i>Phoma oleraceae</i>	0	0	0	0	0	0	2,3	0,6	8,7	1	14,6	3,8	22,1	6,4	32,3	9,6
Фомопсис <i>Plenodomus lindquistii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1,3	0,6	3,4	1,7	4,2	2,4	6,2	3,9
Біла гниль <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	0	0	<u>2,6</u> ** 0	<u>0,5</u> 0	0	0	<u>3,2</u> 0	<u>1,7</u> 0	<u>0,5</u> 0	<u>0,3</u> 0	<u>3,2</u> 0	<u>2,2</u> 0	<u>2,1</u> 6,2	<u>1,2</u> 3,9	<u>4,2</u> 21,7	<u>5,4</u> 9,1
Іржа <i>Puccinia helianthi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	17,2	3,5	13,3	2,9	100	18,7	100	12,7
Борошниста роса <i>Erysiphe cichoracearum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,3	3,2	0	0
Сіра гниль <i>Botrytis cinerea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,2	0,7
Вертицильозне в'янення <i>Verticillium albo-atrum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,6	0	0	0,3	0,6	0	0

*Р – розвиток хвороби, %; П – поширення хвороби, %; 2,6** – поширення й розвиток прикореневої та стеблової форми білої гнилі; 0 – поширення та розвиток білої гнилі на кошиках.

Симптоми білої гнилі на кошиках соняшнику відмічали у фазі ВВСН 75 у 2025 році, який характеризувався надмірною кількістю атмосферних опадів наприкінці вегетаційного періоду. За цих умов поширеність хвороби сягала 21,7 % за рівня розвитку 9,1 %. Натомість у 2024 році ці показники були істотно нижчими і становили 6,2 % та 3,9 % відповідно. Отримані результати свідчать про значний розвиток саме кошикової форми білої гнилі та істотний вплив погодних умов завершального етапу вегетації соняшнику на ступінь ураження кошиків збудником хвороби.

Моніторинг розвитку фомозу (*Phoma oleracea* Sacc.) засвідчив відносно низький рівень ураження рослин у початковій фазі онтогенезу. Зокрема, у 2025 р. у фазі зірочки (ВВСН 51) поширеність фомозу становила 2,3 % за рівня розвитку 0,6 %, тоді як у 2024-му симптомів хвороби в цей період вегетації не виявлено. Подальший розвиток фомозу відбувався зростаючими темпами в обидва роки досліджень, однак дефіцит вологи у червні 2024 р. (32,4 мм) порівняно з 2025-м (50,4 мм) зумовив майже дворазове зниження рівня ураження рослин. Зокрема, у фазі ВВСН 61 у 2024 р. поширеність хвороби становила 8,7 % за розвитку 1,0 %, тоді як у 2025-му – 14,6 % та 3,8 % відповідно. Максимальне поширення фомозу спостерігали у фазі ВВСН 75: 22,1 % у 2024 р. та 32,3 % у 2025-му, за розвитку хвороби на рівні 6,4 і 9,6 % відповідно.

Перші симптоми ураження соняшнику фомопсисом, зазвичай, проявлялися дещо пізніше за фомоз – у період перед початком цвітіння, у фазі бутонізації. У фазі ВВСН 61 поширеність хвороби становила 1,3 % у 2024 р. та 2,4 % у 2025-му за розвитку 0,6 і 3,4 %

відповідно. Максимальних значень, подібно до фомозу, фомопсис досягав у фазі ВВСН 75, де його поширеність становила 4,2 % у 2024 р. та 6,2 % у 2025-му, а рівень розвитку – 2,4 і 3,9 % відповідно. Слід зазначити, що на окремих рослинах одночасно спостерігали симптоми ураження як фомозом, так і фомопсисом. Водночас упродовж досліджуваних років, які суттєво різнилися за умовами зволоження та температурним режимом, ураження соняшнику фомозом було значно вищим, що свідчить про домінування цієї хвороби в зоні досліджень.

Збудник несправжньої борошністої роси соняшнику *Plasmopara helianthi* Novot. належить до ґрунтових інфекцій і здатний уражувати рослини протягом усього вегетаційного періоду. У 2025 році поширеність хвороби у фазі 5–6 пар листків (ВВСН 18) становила 0,3 %, у фазі зірочки (ВВСН 51) – 1,7 %, на початку цвітіння (ВВСН 61) та під час формування насіння (ВВСН 75) – 2,2 %. Рівень розвитку хвороби у цьому році не перевищував 0,1–2,2 %, що свідчить про локальний характер її прояву. В умовах 2024 р. несправжня борошніста роса проявлялася ще менш інтенсивно. Вищий рівень ураження у 2025 р., ймовірно, був зумовлений прохолодною та дощовою погодою після сівби.

Ураження рослин соняшнику іржею (*Puccinia helianthi* Schw.) спостерігалось переважно у другій половині вегетації. На початку цвітіння (ВВСН 61) на листках, здебільшого з нижнього, а інколи й з верхнього боку, формувалися уредопустули з уредоспорами. Поширеність хвороби у 2024 р. становила 17,2 %, у 2025-му – 13,3 %, за розвитку 3,5 та 2,9 % відповідно. У фазі формування насіння (ВВСН 75) іржа розвивалася інтенсивніше, уражуючи всі рослини: на листках спостерігалось утворення телейтоспор. Рівень розвитку хвороби у 2024 році досягав 18,7 %, у 2025-му – 12,7 %.

Борошніста роса, сіра гниль та вертицильозне в'янення уражували лише поодинокі рослини, переважно у другій половині вегетації культури, що свідчить про їх незначну роль у формуванні патогенного комплексу хвороб соняшнику в умовах південної частини Західного Лісостепу.

Висновки

За результатами дворічних досліджень встановлено, що в умовах південної частини Західного Лісостепу України домінуючими хворобами соняшнику є септоріоз, фомоз, іржа та біла гниль кошиків. Максимальний розвиток усіх зазначених хвороб спостерігався наприкінці вегетаційного періоду культури.

Серед метеорологічних чинників визначальну роль відіграла кількість атмосферних опадів. Зокрема, підвищене зволоження у травні – червні мало безпосередній вплив на поширення та інтенсивність розвитку септоріозу, тоді як опади у липні – серпні зумовлювали зростання ураження рослин фомозом і білою гниллю кошиків соняшнику.

Використана література

1. Шевченко А. А., Петренко О. П., Гелас В. М. Стратегічний розвиток вирощування соняшнику в Україні: виклики та перспективи. *Економічний вісник Причорномор'я*. 2024. Вип. 5. С. 133–145. <https://doi.org/10.37000/ebbsl.2024.05.11>
2. Андрійчук Т. О., Скорейко А. М., Кувшинов О. Я. Оцінка фітосанітарного стану посівів соняшнику в західному Лісостепу України *Захист і карантин рослин*. 2021. Вип. 67 С. 73–84. <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2021.67.73-84>
3. Мельничук Ф. С., Марченко О. А., Васильєв А. А. Вплив зрошення на фітопатогенний комплекс на соняшнику в умовах Лісостепу України. *Таврійський науковий вісник*. 2020. № 116. С. 32–41. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.2.5>
4. Поспелов С. В., Поспелова Г. Д., Нечипоренко Н. І. та ін. Аналіз фітопатогенного стану посівів соняшнику в період вегетації за різних агрокліматичних умов. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 4. С. 133–141. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.04.17>
5. Балан Г. О. Порівняльний аналіз видового складу збудників хвороб соняшнику в умовах Причорноморського степу України. *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2018. Вип. 88. С. 32–40.

6. Ткачук О. П., Бондарук Н. В. Поширення хвороб у посівах соняшнику залежно від удобрення. *Аграрні інновації*. 2024. № 24. С. 141–145. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.24.20>
7. Марков І. Л. Обстежуйте соняшник вчасно! *Агробізнес сьогодні*. 2015. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/562-obstezhuitesoniashnyk-vchasno.html>
8. Марков І. Л. Гнилі соняшнику та заходи щодо обмеження їх шкідливості. *Агроном*. 2016. <https://www.agronom.com.ua/gnyli-sonyashnyku-ta-zahody-shhodo-obmezhe/>
9. Ретьман С. В., Кислих Т. М., Михайленко С. В. та ін. Хвороби соняшнику. *The Ukrainian Farmer*. 2018. № 3. С. 32–36.
10. Ретьман С., Базикіна Н., Кислих Т., Шевчук О. Септоріоз соняшнику: поширення та розвиток у Правобережному Лісостепу України. *Збірник наукових праць ЛОГОС*. 2020. Vol. 1. Р. 78–80. <https://doi.org/10.36074/21.02.2020.v1.24>
11. Кучеренко Є. Ю., Луценко Т. М., Кобизьва Л. Н. та ін. Методика оцінки вихідного матеріалу польових культур на стійкість до біотичних чинників в умовах лабораторії: методичні рекомендації. Харків, 2023. 76 с.

References

1. Shevchenko, A. A., Petrenko, O. P., & Helas, V. M. (2024). Strategic development of sunflower growing in Ukraine: challenges and prospects. *Economic Bulletin of the Black Sea Littoral*, 5, 133–145. <https://doi.org/10.37000/ebbsl.2024.05.11> [In Ukrainian]
2. Andriichuk, T. O., Skoreiko, A. M., & Kuvshynov, O. Ya. (2021). Evaluation of phytosanitary condition of sunflower crops in the Western Forest-Steppe of Ukraine. *Plant Protection and Quarantine*, 67, 73–84. <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2021.67.73-84> [In Ukrainian]
3. Melnychuk, F. S., Marchenko, O. A., & Vasyliiev, A. A. (2020). The influence of irrigation on the phytopathogenic complex on sunflower under the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine. *Taurian Scientific Herald*, 116, 32–41. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.2.5> [In Ukrainian]
4. Pospelov, S. V., Pospelova, H. D., Nechyporenko, N.I., Mishchenko, O. V., Cherniak, O. O., Skliar, S. S., & Ivanichko, O. V. (2021). Analysis of sunflower areas' phyto-pathogenic condition during vegetation period under different agro-climatic conditions. *Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, 4, 133–141. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.04.17> [In Ukrainian]
5. Balan, H. O. (2018). Comparatively analysis of specific composition of causative agents in sunflower diseases under the conditions of Black Sea Coast Steppe of Ukraine. *Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral*, 88, 32–40. [In Ukrainian]
6. Tkachuk, O. P., & Bondaruk, N. V. (2024). Spread of diseases in sunflower crops depending on fertilizer. *Agrarian Innovations*, 24, 141–145. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.24.20> [In Ukrainian]
7. Markov, I. L. (2015). Inspect the sunflower in time! *Ahrobiznes sohodni*. <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/562-obstezhuitesoniashnyk-vchasno.html> [In Ukrainian]
8. Markov, I. L. (2016). Sunflower rots and measures to limit their harmfulness. *Ahronom*. <https://www.agronom.com.ua/gnyli-sonyashnyku-ta-zahody-shhodo-obmezhe/> [In Ukrainian]
9. Retman, S. V., Kyslykh, T. M., Mykhailenko, S. V., Shevchuk, O. V., & Bazykina, N. H. (2018). Sunflower diseases. *The Ukrainian Farmer*, 3, 32–36. [In Ukrainian]
10. Retman, S., Bazykina, N., Kyslykh, T., & Shevchuk, O. (2020). Sunflower septoria: Distribution and development in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Collection of Scientific Papers ЛОГОС*, 1, 78–80. <https://doi.org/10.36074/21.02.2020.v1.24> [In Ukrainian]
11. Kucherenko, Ye. Yu., Lutsenko, T. M., Kobyzieva, L. N., Kyrychenko, V. V., Makliak, K. M., Kolomatska, V. P., & Chernobai, L. M. (2023). *Methodology for evaluating the source material of field crops for resistance to biotic factors in laboratory conditions: Guidelines*. V. Ya. Yuriev Institute of Plant Production of NAAS. [In Ukrainian]

UDC 633.854.78:632.1/.4-043.86(292.485-15)

Kachynska, I. V., & Hryhoriev, V. M. (2025). Dynamics of sunflower disease development in the southern part of the western Forest Steppe. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 33, 146–153. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.349542> [In Ukrainian]

*Higher Educational Institution “Podillia State University”, 12 Shevchenko St., Kamianets-Podilskyi, Khmelnytskyi region, 32316, Ukraine, *e-mail: irakacinnaska@gmail.com*

Aim. To determine the spread and development of major sunflower diseases during the growing season in the southern part of the Western Forest Steppe of Ukraine. **Methods.** The study was conducted in 2024–2025 on experimental plots of the Podillia Research Centre using the sunflower hybrid ‘Canyon’. Disease assessment was carried out according to standard methodologies, determining their spread and degree of development during the main phenological phases of the crop. Pathogen identification was performed under laboratory conditions by microscopy. The influence of meteorological conditions on the formation of the pathogenic complex was evaluated. **Results.** A wide spectrum of diseases was detected in sunflower crops, including septoria leaf spot, downy mildew, phoma leaf spot, phomopsis, white rot, rust, grey rot, powdery mildew, and verticillium wilt. Disease manifestation and development were observed throughout the entire growing season and were largely determined by climatic conditions of the year, primarily the amount of precipitation. In the 5–6 leaf pair stage (BBCH 18), septoria, downy mildew, and white rot were recorded, but infection was limited: disease spread did not exceed 3.6% with development up to 0.5%. In the ‘star’ stage (BBCH 51) in 2025, alongside the above diseases, phoma leaf spot was also noted. Among the disease complex, septoria developed most intensively, with spread of 11.4–16.4% and development of 5.4–5.8%. At the beginning of flowering (BBCH 61), sunflower plants were affected by septoria, downy mildew, phoma leaf spot, phomopsis, white rot, and rust. Septoria remained the dominant disease at this stage, with spread reaching 47–62% and development 9.2–15.6%. Rust spread ranged from 13.3–17.2% with development of 2.9–3.5%. In the seed formation stage (BBCH 75), the most intensive development of the disease complex was observed, including septoria, downy mildew, phoma, phomopsis, white rot, rust, powdery mildew, and grey rot. The most widespread diseases were septoria and rust, with spread reaching 100% and development of 25.4–38.7% and 12.7–18.7%, respectively. Phoma spread was 22.1–32.3% with development of 6.4–9.6%. In 2025, significant infection of sunflower heads by white rot was also recorded – 21.7%. Other diseases, including phomopsis, downy mildew, powdery mildew, and grey rot, had considerably lower spread, not exceeding 10%. **Conclusions.** In the southern part of the Western Forest Steppe of Ukraine, the dominant sunflower diseases are septoria, phoma, rust, and white rot of heads, with maximum development occurring at the end of the growing season. The decisive factor in the formation of the pathogenic complex is the amount of precipitation, which determines the intensity of spread and development of the main crop diseases.

Keywords: *sunflower; diseases; spread; development; septoria; phoma leaf spot; rust; white rot.*

Надійшла / Received 10.11.2025

Погоджено до друку / Accepted 12.12.2025

Опубліковано онлайн / Published online 29.12.2025

УДК 633.63:632.51:632.954:631.559:631.67 DOI: <https://doi.org/10.47414/nr.33.2025.351035>

Оптимізація гербіцидного захисту буряків цукрових з урахуванням продуктивності та вуглецевого навантаження

 Я. П. Макух¹,  С. О. Ременюк^{1*},  В. М. Різник¹,
 С. В. Мошківська¹,  Ю. О. Литвин¹,  Т. М. Марченко²

¹Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, *e-mail: svetlana19862010@ukr.net

²Український інститут експертизи сортів рослин, вул. Горіхуватський шлях, 15, м. Київ, 03041, Україна

Мета. Визначити оптимальні схеми контролювання бур'янів у посівах буряків цукрових, які забезпечують ефективне пригнічення сегетальної рослинності за мінімального хімічного та вуглецевого навантаження на агроєкосистему в умовах Правобережного Лісостепу України. **Методи.** Дослідження проводили впродовж 2023–2025 рр. на базі дослідного поля Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (Київська обл.). Об'єкт дослідження – гібрид буряків цукрових 'Рутенія'. Схема досліду передбачала порівняння контрольних варіантів (без захисту та ручне прополювання) із двома системами хімічного захисту, що включали чотириразове внесення гербіцидів (препарати на основі фенмедифаму, десмедифаму, етофумезату, метамітрону та ін.). Використовували польові, лабораторні (поляриметричний метод визначення цукристості) та розрахунково-статистичні методи. Екологічний вплив оцінювали через розрахунок викидів CO₂e_q за методикою інтегральної оцінки вуглецевого навантаження. **Результати.** Установлено, що за природного фону забур'яненість посівів становила 110,1 шт./м², де понад 40 % були однорічні злакові види (просо півняче, мишій сизий). Це призводило до критичного зниження врожайності до 1,1 т/га. Застосування хімічних систем захисту забезпечило високу технічну ефективність на рівні 89,5–91,3 %. Найкращий контроль бур'янів зафіксовано у варіанті з використанням комбінації препаратів Бетанал макс Про та Карібу Екстра (варіант 4), де рівень пригнічення окремих видів досягав 98,2 %. Проте у цьому ж варіанті спостерігався тимчасовий фітотоксичний вплив на культуру, що призвів до тенденції зниження врожайності до 65,4 т/га порівняно з 67,3 т/га у варіанті 3. Максимальну продуктивність (75,8 т/га) отримано за умови повної відсутності конкуренції з бур'янами (ручне прополювання). Розрахунок вуглецевого сліду засвідчив, що попри відсутність пестицидів, варіант без захисту мав найвищі питомі викиди CO₂e_q (18,30 кг/га) через низьку врожайність. Оптимізовані системи захисту забезпечили зниження викидів до 17,64 кг/га. **Висновки.** Ефективний контроль бур'янів є визначальним фактором формування продуктивності буряків цукрових та мінімізації вуглецевого навантаження. Система захисту, що базується на препаратах Штефам Новий, Бетанал макс Про та Гол (варіант 3), є агрономічно та екологічно найдоцільнішою, оскільки забезпечує високу врожайність (67,3 т/га) та цукристість (17,64 %) без проявів фітотоксичності. Варіант із залученням гербіциду Карібу Екстра демонструє ширший спектр дії, проте потребує суворого дотримання регламентів для уникнення гальмування росту культури.

Ключові слова: буряки цукрові; урожайність; сегетальна рослинність; викиди CO₂e_q.

Як цитувати: Макух Я. П., Ременюк С. О., Різник В. М., Мошківська С. В., Литвин Ю. О., Марченко Т. М. Оптимізація гербіцидного захисту буряків цукрових з урахуванням продуктивності та вуглецевого навантаження. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2025. Вип. 33. С. 154–161. <https://doi.org/10.47414/nr.33.2025.351035>



© The Author(s) 2025. Published by Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Вступ

Буряки цукрові характеризуються обмеженою конкурентною здатністю на початкових етапах онтогенезу, у зв'язку з чим своєчасний контроль бур'янів у ранні фази розвитку культури має вирішальне значення для формування врожайності та якості коренеплодів. За результатами багаторічних досліджень встановлено, що сегетальна рослинність у посівах буряків переважно представлена комплексом однорічних дводольних видів (*Chenopodium* spp., *Amaranthus* spp., *Fallopia / Polygonum* spp. та ін.) у поєднанні з однорічними злаковими бур'янами (*Echinochloa crus-galli*, *Setaria* spp.). При цьому результативність технологій захисту значною мірою визначається їх здатністю забезпечувати контроль кількох хвиль сходів бур'янів і тривалий захисний ефект. У виробничих умовах це зумовило поширення систем дробного післясходового внесення гербіцидів (split / post-emergence), які підвищують селективність дії щодо культури та одночасно забезпечують ефективне пригнічення бур'янів у ранні фази їх розвитку. Узагальнені дані польових досліджень у країнах Центральної Європи свідчать, що послідовні багаторазові післясходові внесення є найефективнішими для обмеження домінантних видів бур'янів і стабілізації агрофітоценозу буряків цукрових [1, 2].

У системах хімічного захисту буряків цукрових тривалий час базову роль у контролі дводольних бур'янів відігравали препарати на основі фенмедифаму та десмедифаму, які належать до інгібіторів фотосинтезу (HRAC C1). Їх ефективність зазвичай підвищували шляхом поєднання з ґрунтово-листяними гербіцидами, зокрема метамітроном, а також з діючими речовинами, що розширюють спектр дії (етофумезат, ленацил тощо). У сучасних оглядових дослідженнях наголошується, що найбільш стабільний рівень контролю бур'янів забезпечують комбіновані гербіцидні суміші з різними механізмами дії, адаптовані до фаз розвитку сегетальної рослинності, при цьому найвища ефективність досягається за проведення обробок у фазі сім'ядоль – два-чотири листки у чутливих видів [3].

Водночас у країнах Європейського Союзу діючі речовини групи фенмедифам / десмедифам перебувають під посиленням регуляторним контролем у зв'язку з результатами повторних оцінок ризиків і підвищеними вимогами до безпечності їх застосування, що зумовлює необхідність розроблення більш екологічно ощадних схем захисту та інтеграції альтернативних підходів [4].

У системах захисту буряків цукрових важливу роль відіграють препарати на основі метамітрону з ґрунтово-листяною дією, які застосовують у різних програмах залежно від регламентів і типу забур'яненості. Сучасні дослідження акцентують увагу не лише на їх ефективності, а й на селективності та доцільності інтеграції з урахуванням ризиків резистентності. Контроль злакових бур'янів у посівах буряків традиційно забезпечують грамініциди (флуазифоп-П-бутил, хізалофоп-П-етил), оскільки саме злаковий компонент часто визначає рівень конкурентного тиску і втрати врожаю [5].

Важливим обмежувальним чинником інтенсивних систем захисту буряків цукрових є селективність гербіцидів і ризик фітотоксичної дії культури, особливо за стресових погодних умов або скорочених інтервалів між обробками. Хоча дробні післясходові внесення підвищують надійність контролю бур'янів, певні комбінації діючих речовин можуть спричинити тимчасове пригнічення росту, що зумовлює необхідність суворого дотримання регламентів і врахування фаз розвитку культури, зокрема в разі застосування сульфонілсечовин (наприклад, трифлусульфурон-метил) [6, 7].

У сучасному землеробстві зростає значення інтегрованого контролю бур'янів, що поєднує хімічні та механічні прийоми з точними технологіями обробітку. Дослідження свідчать, що механіко-хімічні післясходові стратегії дають змогу ефективно обмежувати забур'яненість у посівах буряків, знижуючи потребу у високих нормах гербіцидів без втрати продуктивності. Перспективним напрямом є також впровадження сенсорних і роботизованих рішень, здатних зменшувати пестицидне навантаження за умови їх агроекономічної адаптації до польових умов [8, 9].

Узагальнення літературних джерел свідчить, що найефективнішими є системи захисту буряків цукрових, які поєднують дробні післясходові обробки з різними механізмами дії,

адаптовані до видового складу й хвиль сходів бур'янів, забезпечують зниження ризиків фітотоксичності завдяки оптимальним строкам застосування та оцінюються з позицій не лише біологічної ефективності, а й вуглецевого навантаження та загальної екологічної доцільності.

Мета досліджень – визначити оптимальні схеми контролю бур'янів у посівах буряків цукрових, які забезпечують ефективне пригнічення бур'янового компоненту за мінімального хімічного та вуглецевого навантаження на агроecosystemу.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження виконували впродовж 2023–2025 рр. в умовах зони нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (Київська обл.).

Ґрунт дослідного поля – чорнозем глибокий середньосуглинковий на лесовидному суглинку: вміст гумусу – 2,58 % (за Тюрнімом), лужногідролізованого азоту – 176 мг/кг ґрунту (за Корнфільдом), рухомих сполук фосфору та калію – 160 і 95 мг/кг ґрунту (за Чириковим), рНсольове – 6,75, сума ввібраних основ – 305 мг-екв/кг ґрунту, гідролітична кислотність – 9,1 мг-екв/кг. Уміст гумусу та лужногідролізованого азоту середній, рухомого фосфору – високий та підвищений уміст калію

Посів буряків цукрових здійснювали у першій декаді квітня, за досягнення фізичної стиглості ґрунту та прогрівання його на глибині загортання насіння до 6–8 °С. Сівбу проводили пневматичною просапною сівалкою точного висіву із забезпеченням рівномірного розміщення насіння в рядку. Норма висіву становила 1,2 посівних одиниць на 1 га, що відповідало формуванню оптимальної густоти стояння рослин 95–100 тис. шт./га перед збиранням. Ширина міжрядь – 45 см, глибина загортання насіння – 2,5–3,0 см залежно від вологості ґрунту. Висівали гібрид буряків цукрових 'Рутенія'.

Подальші елементи технології (догляд за посівами, система захисту від бур'янів, норми та строки внесення гербіцидів) застосовували відповідно до схеми досліді. Облік забур'яненості проводили за видовим складом і масою бур'янів, урожайність буряків цукрових визначали суцільним збиранням з облікової площі з наступним перерахунком на гектар, цукристість коренеплодів – поляриметричним методом. Викиди CO₂eq розраховували за методикою інтегральної оцінки вуглецевого навантаження технології з урахуванням витрат енергоносіїв і продуктивності посівів.

Схема досліді:

1. Контроль 1 – без гербіцидів (природна забур'яненість);
2. Контроль 2 – чисті посіви (без бур'янів);
3. *Перше внесення.* Штефам Новий, КС (фенмедифам, 160 г/л + десмедифам, 160 г/л) + Гол, КС (метамітрон, 700 г/л) 1,0 л/га + 1,0 л/га. *Друге внесення.* Бетанал макс Про, 209 ОДМД (фенмедифам, 60 г/л + десмедифам, 47 г/л + етофумезат, 75 г/л + ленацил (активатор), 27 г/л) + Гол, КС (метамітрон, 700 г/л) 1,5 л/га + 1,0 л/га. *Третє внесення.* Бетанал макс Про, 209 ОДМД (фенмедифам, 60 г/л + десмедифам, 47 г/л + етофумезат, 75 г/л + ленацил (активатор), 27 г/л) + Гол, КС (метамітрон, 700 г/л) 1,5 л/га + 1,0 л/га. *Четверте внесення.* Бетанал макс Про, 209 ОДМД + Штарга Супер (хізалофоп-П-етил, 125 г/л) 1,5 л/га + 0,8 л/га;
4. *Перше внесення.* Голтік КС (метамітрон, 700 г/л) 5,0 л/га. *Друге внесення.* Бетанал макс Про, 209 ОДМД 1,5 л/га. *Третє внесення.* Бетанал макс Про, 209 ОДМД+ Карібу Екстра, з.п. 1,5 л/га + 0,015 кг/га. *Четверте внесення.* Бетанал макс Про, 209 ОДМД + Фюзілат форте 150 ЕС (флуазифоп-П-бутил, 150 г/л) 1,5 л/га + 1,0 л/га.

Облікова площа ділянки становила 50 м², повторність – чотириразова, розміщення ділянок – рендомізоване.

До моменту внесення гербіцидів проводили обстеження поля для визначення густоти сходів та первинної сегетальної рослинності. Інтервал між послідовними внесеннями становив 7–10 діб, що відповідало періоду появи нових хвиль сходів бур'янів і забезпечувало їх ефективний контроль у ранні фази розвитку. Гербіциди вносили за швидкості вітру до 3–

4 м/с у ранкові години. Для забезпечення чистоти «контролю 2» (посіви без бур'янів) проводили регулярне ручне прополювання через кожні 5–7 діб протягом усього періоду вегетації, що гарантувало повну відсутність сеgetальних видів. Кількість обробок та норми гербіцидів визначали згідно зі схемою досліджу, з урахуванням погодних умов, фази розвитку бур'яків цукрових та видового складу бур'янів.

Експериментальні дослідження проводили згідно з методики польового досліджу та спеціальних методик [10–12].

Результати досліджень

Ефективність захисту посівів бур'яків цукрових від бур'янів у середньому за 2023–2025 рр. свідчить, що за відсутності заходів контролю (варіант 1) посіви характеризувалися високим рівнем забур'яненості – 110,1 шт./м², при цьому у видовому складі домінували однорічні злакові бур'яни, насамперед просо півняче (30,5 шт./м²) і мишій сизий (16,9 шт./м²), які разом формували понад 40 % загальної чисельності. Значною була також участь конкурентоспроможних дводольних видів – щиріці загнутаї, лободи білої та гібридної, пушняка канадського, незбутниці дрібноквіткової і гірчаків, що зумовлювало високий рівень конкуренції бур'янів із рослинами культури на початкових етапах органогенезу.

Застосування систем захисту у варіантах 3 і 4 забезпечило суттєве зниження забур'яненості посівів, причому загальна ефективність контролю бур'янів становила 89,5 % і 91,3 % відповідно, що свідчить про їхню високу технологічну результативність. Найбільш чутливими до проведених заходів були талабан польовий і гірчиця польова, рівень пригнічення яких досягав 96,1–98,2 %, тобто практично повного очищення посіву від цих видів. Високою залишалася й ефективність проти домінуючих злакових бур'янів: контроль проса півнячого становив 91,5–93,9 %, а мишію сизого – 90,8–92,2 %, що має принципове значення з огляду на їхній найбільший внесок у загальну забур'яненість. Деяко нижчі показники відмічено для окремих дводольних видів – лободи білої та гібридної, фіалки польової і гірчаків, де ефективність коливалася в межах 85,6–89,4 %, що вказує на їх відносно вищу толерантність і формування залишкової засміченості. Порівняльний аналіз показав, що варіант 4 у середньому забезпечував на 1,8 % вищий рівень контролю бур'янів порівняно з варіантом 3, зокрема завдяки кращому пригніченню незбутниці дрібноквіткової, лободи білої та злакових видів, що свідчить про ширший спектр дії та стабільнішу ефективність цієї системи захисту в посівах бур'яків цукрових (табл. 1).

Таблиця 1

Ефективність захисту посівів бур'яків цукрових від бур'янів (середнє за 2023–2025 рр.)

Вид бур'яну	Варіант досліджу			
	1	2	3	4
	шт./м ²	%	%	%
Талабан польовий	4,2	100	97,3	98,2
Гірчиця польова	4,5	100	96,1	97,3
Гірчак березкоподібний	6,0	100	88,3	87,2
Пушняк канадський	7,5	100	90,4	91,5
Фіалка польова	4,2	100	86,7	88,1
Гірчак розлогий	5,6	100	87,6	89,2
Лобода біла	6,9	100	86,3	89,4
Лобода гібридна	2,8	100	85,6	86,3
Щиріця загнута	10,0	100	88,2	90,6
Просо півняче	30,5	100	91,5	93,9
Мишій сизий	16,9	100	90,8	92,2
Незбутниця дрібноквіткова	7,2	100	88,4	93,6
Інші види	3,8	100	87,5	90,4
Бур'яни, усього	110,1	100	89,5	91,3

Слід зазначити, що у варіанті 4, незважаючи на вищу загальну ефективність контролю бур'янів порівняно з варіантом 3, спостерігалось тимчасове пригнічення рослин буряків цукрових, пов'язане з внесенням гербіциду Карібу Екстра, що проявлялося у початковому гальмуванні ростових процесів культури. Отже, варіант 4 характеризувався ширшим спектром дії проти бур'янів, однак потребує обережного застосування та чіткого дотримання регламентів використання з метою мінімізації фітотоксичного впливу на рослини буряків цукрових.

За відсутності заходів захисту (варіант 1) посіви характеризувалися надзвичайно високою масою бур'янів – 2976 г/м², з яких 2157 г/м² припадало на дводольні та 819 г/м² на однодольні види. Такий рівень забур'яненості зумовив різке пригнічення рослин буряків цукрових і, як наслідок, критично низьку врожайність – лише 1,1 т/га та мінімальну цукристість коренеплодів (12,94 %). Попри відсутність гербіцидного навантаження, викиди CO₂eq у цьому варіанті були найвищими (18,30 кг/га), що пояснюється низькою продуктивністю посіву і, відповідно, високими питомими вуглецевими витратами на одиницю продукції.

У варіанті 2, який характеризувався практично повною відсутністю бур'янів, сформувався оптимальні умови росту й розвитку культури, що забезпечило максимальну урожайність – 75,8 т/га та найвищу цукристість коренеплодів – 17,99 %. Викиди CO₂eq за цього варіанта становили 17,99 кг/га, тобто були дещо нижчими, ніж у контролі, що свідчить про кращу компенсацію енерговитрат високим виходом товарної продукції.

Застосування альтернативних систем захисту з оптимізованими нормами гербіцидів у варіантах 3 і 4 забезпечило істотне зниження маси бур'янів порівняно з контролем – до 285 і 193 г/м² відповідно. При цьому у структурі забур'яненості переважали дводольні види (231 і 151 г/м²), тоді як маса однодольних бур'янів була значно меншою (54 і 42 г/м²). На фоні зменшення конкуренції з боку бур'янів урожайність буряків цукрових у цих варіантах зросла до 67,3 і 65,4 т/га, а цукристість стабілізувалася на рівні 17,64 %, що статистично поступалося лише варіанту 2. Різниця в урожайності між варіантами 3 і 4 (1,9 т/га) перебувала в межах НІР_{0,05} = 2,1 т/га, що свідчить про її недостовірність і дає змогу трактувати зниження продуктивності у варіанті 4 як тенденцію, ймовірно пов'язану з тимчасовим фітотоксичним ефектом гербіциду Карібу Екстра. Викиди CO₂eq у варіантах 3 і 4 були однаковими (17,64 кг/га) і нижчими, ніж у контролі, що вказує на екологічну доцільність систем захисту з оптимізованими нормами гербіцидів (табл. 2).

Таблиця 2

Ефективність систем захисту буряків цукрових за показниками забур'яненості, урожайності та викидів CO₂eq (2023–2025 рр.)

Варіант досліджу	Маса бур'янів, г/м ²			Урожайність коренеплодів, т/га	Цукристість коренеплодів, %	Викиди CO ₂ eq, кг/га
	усього	зокрема				
		дводольні	одnodольні			
1	2976	2157	819	1,1	12,94	18,30
2	–	–	–	75,8	17,99	17,99
3	285	231	54	67,3	17,64	17,64
4	193	151	42	65,4	17,64	17,64
НІР _{0,05}	14	11	9	2,1	0,25	–

Примітка. Для варіанта 1 викиди CO₂eq наведено розрахунково з урахуванням повного технологічного циклу та низької продуктивності посіву (підвищені питомі викиди на одиницю врожаю).

Загалом результати таблиці підтверджують, що ефективно зниження забур'яненості є ключовою умовою формування високої продуктивності буряків цукрових, однак надмірне або нераціональне гербіцидне навантаження може призводити до фітотоксичного пригнічення культури без додаткового екологічного ефекту у вигляді зменшення викидів CO₂eq.

Висновки

У середньому за 2023–2025 рр. встановлено, що за відсутності захисту посіви буряків цукрових характеризуються високою забур'яненістю, що призводить до різкого зниження

урожайності та цукристості коренеплодів. Застосування систем захисту у варіантах 3 і 4 забезпечило ефективний контроль бур'янів (89,5–91,3%), істотно зменшило їх масу та створило умови для формування високої продуктивності культури. Варіант 4 мав дещо вищу ефективність пригнічення бур'янів, однак супроводжувався тимчасовим фітотоксичним впливом гербіциду Карібу Екстра, що проявилось тенденцією до зниження врожайності.

Оптимальне поєднання продуктивності бур'яків цукрових і рівня викидів CO₂eq забезпечували системи захисту з раціональними нормами гербіцидів, що підтверджує їх агрономічну й екологічну доцільність.

Використана література

1. Grzanka M., Sobiech Ł., Idziak R. et al. Impact of chemical weed management in sugar beet (*Beta vulgaris*) on productivity, quality and economics. *Journal of Plant Protection Research*. 2023. Vol. 63, Iss. 4. P. 459–467. <https://doi.org/10.24425/jppr.2023.146878>
2. Cioni F., Maines G. Weed control in sugar beet. *Sugar Tech*. 2010. Vol. 12, Iss. 3–4. P. 243–255. <https://doi.org/10.1007/s12355-010-0036-2>
3. May M. Crop protection in sugar beet. *Pesticide Outlook*. 2001. Vol. 12, Iss. 5. P. 188–191. <https://doi.org/10.1039/b108605g>
4. European Food Safety Authority (EFSA), Álvarez F., Arena M. et al. Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance phenmedipham. *EFSA Journal*. 2025. Vol. 23, Iss. 11. Article e9711. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2025.9711>
5. Akuoko A. Evaluating metamitron efficacy for glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) management in sugarbeet across the Central High Plains. Lincoln, 2025. 286 p.
6. Li X., Riaz M., Song B., Liu H. Phytotoxicity response of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) seedlings to herbicide fomesafen in soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2022. Vol. 239. Article 113628. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113628>
7. Berg J., Ring H., Bernhardt H. Combined mechanical–chemical weed control methods in post-emergence strategy result in high weed control efficacy in sugar beet. *Agronomy*. 2025. Vol. 15, Iss. 4. Article 879. <https://doi.org/10.3390/agronomy15040879>
8. Kimmel S. I., Schumacher M., Spaeth M. et al. A comparative applied analysis of six robotic-assisted weeding systems in sugar beets. *Plant, Soil and Environment*. 2025. Vol. 71, Iss. 11. P. 782–792. <https://doi.org/10.17221/335/2025-PSE>
9. Gerhards R., Bezhin K., Santel H. J. Sugar beet yield loss predicted by relative weed cover, weed biomass and weed density. *Plant Protection Science*. 2017. Vol. 53, Iss. 2. P. 118–126. <https://doi.org/10.17221/57/2016-pps>
10. Присяжнюк О. І., Климович Н. М., Полуніна О. В. та ін. Методологія і організація наукових досліджень у сільському господарстві та харчових технологіях. Київ : Нілан-ЛТД, 2021. 300 с. <https://doi.org/10.47414/978-966-924-927-2>
11. Методики проведення досліджень у бур'яківництві / за ред. М. В. Роїка, Н. Г. Гізбулліна. Київ : ФОП Корзун Д. Ю., 2014. 374 с.
12. Методика випробування і застосування пестицидів / за ред. С. О. Трибеля. Київ : Світ, 2001. С. 174–175.

References

1. Grzanka, M., Sobiech, Ł., Idziak, R., Filipczak, A., & Skrzypczak, G. (2023). Impact of chemical weed management in sugar beet (*Beta vulgaris*) on productivity, quality and economics. *Journal of Plant Protection Research*, 63(4), 459–467. <https://doi.org/10.24425/jppr.2023.146878>
2. Cioni, F., & Maines, G. (2010). Weed control in sugar beet. *Sugar Tech*, 12(3–4), 243–255. <https://doi.org/10.1007/s12355-010-0036-2>
3. May, M. (2001). Crop protection in sugar beet. *Pesticide Outlook*, 12(5), 188–191. <https://doi.org/10.1039/b108605g>
4. European Food Safety Authority (EFSA), Álvarez, F., Arena, M., Auteri, D., Leite, S. B., Binaglia, M., Castoldi, A. F., Chiusolo, A., Colagiorgi, A., Colas, M., Crivellente, F., De Lent-

decker, C., De Magistris, I., Egsmose, M., Fait, G., Ferilli, F., Broussard, M. F., Santonja, G. G., Gouliarmou, V., ... Villamar-Bouza, L. (2025). Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance phenmedipham. *EFSA Journal*, 23(11), Article e9711. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2025.9711>

5. Akuoko, A. (2025). *Evaluating metamiltron efficacy for glyphosate-resistant Palmer amaranth (Amaranthus palmeri) management in sugarbeet across the Central High Plains* [Doctoral dissertation, University of Nebraska-Lincoln].

6. Li, X., Riaz, M., Song, B., & Liu, H. (2022). Phytotoxicity response of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) seedlings to herbicide fomesafen in soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 239, Article 113628. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113628>

7. Berg, J., Ring, H., & Bernhardt, H. (2025). Combined mechanical–chemical weed control methods in post-emergence strategy result in high weed control efficacy in sugar beet. *Agronomy*, 15(4), Article 879. <https://doi.org/10.3390/agronomy15040879>

8. Kimmel, S. I., Schumacher, M., Spaeth, M., Sökefeld, M., Alagbo, O. O., Allmendinger, A., Andujar, D., Berge, T. W., Braun, R., Parasca, S. C., Emminghaus, J., Glykos, I., Hamouz, P., Hruška, A., Merkle, M., Naruhn, G., Peteinatos, G. G., Sin, B., & Gerhards, R. (2025). A comparative applied analysis of six robotic-assisted weeding systems in sugar beets. *Plant, Soil and Environment*, 71(11), 782–792. <https://doi.org/10.17221/335/2025-PSE>

9. Gerhards, R., Bezhin, K., & Santel, H. J. (2017). Sugar beet yield loss predicted by relative weed cover, weed biomass and weed density. *Plant Protection Science*, 53(2), 118–126. <https://doi.org/10.17221/57/2016-pps>

10. Prysiashniuk, O. I., Klymovych, N. M., Polunina, O. V., Yevchuk, Ya. V., Tretiakova, S. O., Kononenko, L. M., Voitovska, V. I., & Mykhailovyn, Yu. M. (2021). Methodology and organization of scientific research in agriculture and food technologies. Nilan-LTD. <https://doi.org/10.47414/978-966-924-927-2> [In Ukrainian]

11. Roik, M. V., & Hizbullin, N. H. (Eds.). (2014). *Methods of conducting research in sugar beet growing*. FOP Korzun D. Yu. [In Ukrainian]

12. Trybel, S. O. (Ed.). (2001). *Methodology of testing and application of pesticides* (pp. 174–175). Svit. [In Ukrainian]

UDC 633.63:632.51:632.954:631.559:631.67

Makukh, Ya. P.¹, Remeniuk, S. O.¹, Riznyk, V. M.¹, Moshkivska, S. V.¹, Lytvyn, Yu. O.¹, & Marchenko, T. M.² (2025). Optimisation of herbicide application in sugar beet based on productivity and carbon load. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 33, 154–161. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.351035>

¹*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, *e-mail: svetlana19862010@ukr.net*

²*Ukrainian Institute for Plant Variety Examination, 15 Horikhuvatskyi Shliakh St., Kyiv, 03041, Ukraine*

Aim. To determine optimal weed control schemes for sugar beet that, which ensure effective suppression of segetal vegetation with minimal chemical and carbon load on the agroecosystem in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. **Methods.** The research was conducted in 2023–2025 at the experimental field of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS (Kyiv region). The object of study was the sugar beet hybrid ‘Ruteniia’. The experimental design compared control treatments (without herbicides and manual weeding) with two chemical protection systems involving four herbicide applications (formulations based on phenmedipham, desmedipham, ethofumesate, metamiltron, etc.). Field, laboratory (polarimetric method for sugar content determination), and computational-statistical methods were used in the study. Environmental impact was assessed by calculating CO₂eq emissions using the methodology of integrated carbon load assessment. **Results.** It was established that in natural background conditions, weed infestation of crops amounted to 110.1 plants/m², of which more than 40% were annual grasses (*Echinochloa*

crus-galli and *Setaria glauca* L.). This led to a critical yield reduction to 1.1 t/ha. Chemical protection systems ensured high technical efficiency of 89.5–91.3%. The best weed control was recorded in the treatments using the combination of Betanal Max Pro and Caribu Extra (treatment 4), where suppression of certain species reached 98.2%. However, in this treatment, temporary phytotoxic effects on the crop were observed, resulting in a tendency towards yield reduction to 65.4 t/ha compared with 67.3 t/ha in treatment 3. The maximum productivity (75.8 t/ha) was obtained in the control with manual weeding. Calculation of the carbon load showed that despite the absence of pesticides, the treatment without herbicides showed the highest specific CO₂eq emissions (18.30 kg/ha) due to low yield. Optimised weed control systems reduced emissions to 17.64 kg/ha. **Conclusions.** Effective weed control is a decisive factor in forming sugar beet productivity and minimising carbon load. The protection system based on the preparations Shtefam Novyi, Betanal Max Pro, and Hol (treatment 3) is agronomically and ecologically sound, as it ensures high yield (67.3 t/ha) and sugar content (17.64%) without phytotoxicity. The treatment involving the herbicide Caribu Extra demonstrates a broader spectrum of action but requires strict compliance with application rules to avoid crop growth inhibition.

Keywords: *sugar beet; yield; segetal vegetation; CO₂eq emissions.*

Надійшла / Received 18.11.2025

Погоджено до друку / Accepted 08.12.2025

Опубліковано онлайн / Published online 29.12.2025

СЕЛЕКЦІЯ ТА НАСІННИЦТВО

УДК 633.63:631.52:575.125

DOI: <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.341847>

Вивчення селекційно-цінних ознак рекомбінантних ЦЧС-форм буряків цукрових

 О. В. Дубчак¹,  О. І. Присяжнюк²

¹Верхняцька дослідно-селекційна станція ІБКіЦБ НААН, вул. Шкільна, 1, с. Верхнячка, Уманський р-н, Черкаська обл., 20022, Україна, e-mail: oksana3dov@gmail.com

²Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, e-mail: ollpris@gmail.com

Мета. Визначити характер успадкування цінних селекційних і господарських ознак у різних стерильних форм, одержаних із продуктів розщеплення в потомстві F₂–F₄, із закріплювачами стерильності та багатонасінними запилювачами різного походження. **Методи.** Застосували сучасні методи селекції різних напрямів використання: рекомбінацію, гібридизацію і добір. Селекційними матеріалами слугували однонасінні цитоплазматичні чоловічостерильні (ЦЧС) форми колекції сортів ВДСС зарубіжної генплазми. Використали аналізуючі й топкросні схрещування. Випробування селекційних матеріалів проводили за загальноприйнятими методиками досліджень у буряківництві. **Результати.** Установлено, що наддомінування однонасінності та стерильності рослин залежить від генотипів, які беруть участь у схрещуванні, та від структури закріплювачів стерильності та ЦЧС компонентів, що відображають рівень інбредності селекційних зразків. Генетично обумовлена висока схожість насіння у простих і пробних ЦЧС гібридів залежить від комбінаційної здатності батьківських компонентів, їх походження, структури материнської форми, а також від агрокліматичних умов навколишнього середовища. **Висновки.** У результаті вивчення генетичної природи ЦЧС форм установлена їхня можливість як материнських компонентів простих гібридів. У досліджуваних рекомбінантних ЦЧС форм спостерігалась закономірність успадкування високих показників селекційно-цінних ознак однонасінності, стерильності, якості насіння та продуктивності від F₂ до F₄ та в їхнього потомства. У разі гібридизації створених ЦЧС форм з багатонасінними запилювачами різного походження, навіть у стресових умовах середовища, можливо отримати пробні гібриди з високими показниками продуктивності.

Ключові слова: селекція; стерильність; схожість; компонент; гібрид.

Вступ

Реалізація потенційної продуктивності гібридів буряків цукрових залежить від багатьох факторів – антропогенних, біотичних, абіотичних та від високоякісних компонентів схрещування. Найрезультативніший, найдешевший та екологічно чистий фактор зростання

Як цитувати: Дубчак О. В., Присяжнюк О. І. Вивчення селекційно-цінних ознак рекомбінантних ЦЧС-форм буряків цукрових. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2025. Вип. 33. С. 162–168. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.341847>



© The Author(s) 2025. Published by Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine. This is an open access article distributed under the terms of the license CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

виробництва продукції – це селекція. Важливо при створенні нових вихідних форм добирати селекційні матеріали з одночасним поєднанням у генотипі високої пластичності, стійкості, продуктивності. Систематичне збагачення колекції сортів новими вихідними формами з широкою спадковою мінливістю є одним із завдань селекції буряків цукрових. Освоєння нових компонентів гібридів є найвигіднішим заходом щодо підвищення їх продуктивності.

Важливість рекомбінаційного процесу для селекції доведена багатьма дослідниками, які вважають, що зміна рівня кросинговеру, шляхом виділення ліній з генетично детермінованою високою рекомбінаційною здатністю може суттєво збільшити ефективність селекційної роботи [1–3]. Дослідження в області популяційної генетики показали, що природні популяції рослин зазвичай володіють великими запасами потенційної і вільної мінливості, яка проявляється у вигляді генетичних різниць між особинами популяції, що розщепилася в результаті природного добору [3, 4]. Основним механізмом індукованої рекомбінації, що забезпечує передачу блоків генів від донора, є транслокація індукування рекомбінацій, що відбувається за рахунок перерозподілу генів в певних зонах хромосом, де вони в нормі інгібування, що є важливим резервом збільшення та розширення спектра доступної генетичної мінливості [5, 6].

Тому одним із шляхів отримання нових матеріалів стали дослідження з використання рекомбінантних форм зарубіжних гібридів шляхом розщеплення потомства в F_2 . Вивчення мінливості ознак однонасінності і стерильності та характеру їх успадкування в наступних генераціях дасть змогу виявити найбільш цінні компоненти вихідних матеріалів для створення простих стерильних гібридів (ПСГ) та ЦЧС ліній аналогів (ЛА). Вивчення їх показників продуктивності, як материнських компонентів пробних гібридів, що можливо при гібридизації з батьківськими компонентами – багатонасінними запилювачами (БЗ).

Мета досліджень – визначити характер успадкування цінних селекційних і господарських ознак у різних стерильних форм, одержаних із продуктів розщеплення в потомстві F_2 – F_4 , із закріплювачами стерильності та багатонасінними запилювачами різного походження.

Матеріали та методика досліджень

Материнські компоненти створювали на основі схрещування п'яти цитоплазматичних чоловічостерильних (ЦЧС) рекомбінантних форм (558-k, 560-h, 561-g, 564-m, 565-a). Для одержання ЦЧС ліній аналогів (ЛА) методом беккросування використали три закріплювачі стерильності (ЗС) Оунівського типу (О-тип): ЗС₃-Sk, ЗС₄-Vg, ЗС₅-Gr, виділені з популяцій роздільноплідних буряків цукрових зарубіжного походження. Прості стерильні гібриди (ПСГ) отримали при схрещуванні вказаних ЦЧС форм з двома неспорідненими ЗС вітчизняного походження: ЗС₁-B635 і ЗС₂-B8524. У результаті отримали ЦЧС матеріали різної генетичної структури ЦЧС лінії і ПСГ, які схрещували за методом топкрос із двома багатонасінними запилювачами (БЗ) верхняцької селекції, які слугували тестерами. Це дві різні генетичні гілки доборів з кращих рекомбінантних матеріалів багатонасінних фертильних форм зарубіжної генплазми: БЗ₆-Or, БЗ₇-Mt. Проводили визначення ефектів загальної (ЗКЗ) і специфічної (СКЗ) комбінаційної здатності [7]. Посівні якості насіння визначали за ДСТУ 3226-95. Методика досліджень відповідала схемам одно- і двофакторного дослідів. Стерильність і однонасінність визначали за методами Оуена та Боземарка [8, 9]. Визначення технологічної якості селекційного матеріалу проводили методом холодної дигестії на півавтоматичні технологічні лінії «Венема». Статистичну обробку одержаних результатів проводили методом дисперсійного аналізу [10, 11].

Результати досліджень.

Дослідження проводили впродовж 2018–2024 рр. на Верхняцькій дослідно-селекційній станції. На перших етапах селекційної роботи проведено схрещування ЦЧС-матеріалів з верхняцькими закріплювачами стерильності з урахуванням таких критеріїв, як закріплююча і комбінаційна здатність, можливість нового поєднання в потомстві різноманітних якісних

селекційно-цінних ознак для використання їх донора. Після кожного бекросу ЦЧС форми F_2 , кращі за показниками одностійності і стерильності (95–100 %), відбирали для подальшого використання як материнські форми. Одержані прості стерильні гібриди (ПСГ), в умовах суворої ізоляції вивчали у наступних поколіннях на просторово ізольованих ділянках вільного переапилення. Отримане насіння ПСГ перевіряли на сукупність властивостей і ознак, що характеризують ступінь їх придатності до посіву: стерильність, одностійність, схожість насіння, маса 1000 плодів та ін.

Закріплювачі стерильності (ЗС) по різному утримували стерильність в досліджуваних цитоплазматичних чоловічостерильних формах, яка становила від 88 до 99 %. Цінними стали комбінації: ЦЧС₅₆₀/ЗС₄; ЦЧС₅₆₀/ЗС₁; ЦЧС₅₆₄/ЗС₁; ЦЧС₅₆₈/ЗС₂; ЦЧС₅₆₅/ЗС₁; ЦЧС₅₆₅/ЗС₂ та ЦЧС₅₅₈/ЗС₅, у яких стерильність була в межах 95–99 %. Аналізуючи результати вивчення ПСГ, створених з зарубіжних ЦЧС форм і ЗС верхняцького походження, встановлено, що при схрещуванні з ЗС₁ отримано вищу стерильність та ступінь зав'язування насіння, ніж із ЗС₂. Тобто, ЗС у потомстві рекомбінантних ЦЧС матеріалів F_2 – F_4 мали різні оцінки за закріплювальною здатністю (рис. 1).

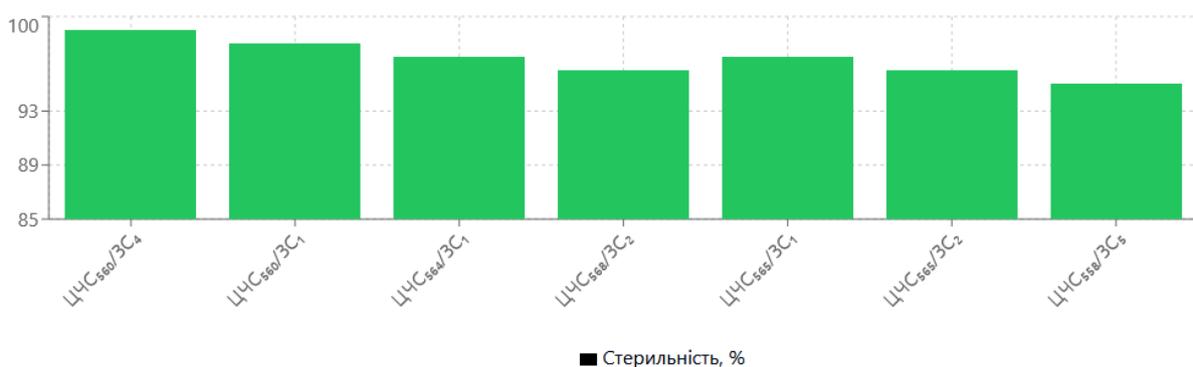


Рис. 1. Стерильність різних комбінацій ЦЧС форм із закріплювачами стерильності, %

За результатами вивчення показників роздільноплідності ЦЧС потомства F_2 – F_4 виявилось, що перспективнішими стали лінії ЦЧС₅₅₈, ЦЧС₅₆₀ і ЦЧС₅₆₄, які успадкували одностійність плодів від 98 до 100 %. Оцінка показників якості насіння вказує на наявність серед досліджуваного матеріалу (75 %) цінних вихідних ЦЧС форм для яких характерна висока ступінь одностійності.

У деяких селекційних зразків (25 %) спостерігається негативна залежність між рекомбінацією та пристосованістю, що призвело до порушень у генах потомства і вже в F_4 на насінниках ПСГ утворились двонасінні плоди. Селекційні номери ЦЧС форм, які становили різну ступінь роздільноплідності, відповідно до покоління, бракували (рис. 2).



Рис. 2. Показники одностійності ЦЧС ліній, %

З представлених кращих комбінацій аналізувальних схрещувань установлено, що на одностигмі ЦЧС лінії аналоги (ЛА) закріплювачі стерильності F_2 , F_3 по-різному впливали на якісні показники насіння. Лінія ЦЧС₅₆₀ отримала в середньому 10–75 г насіння з одного насінника, тоді як лінії ЦЧС₅₆₁ і ЦЧС₅₆₄ – від 25 до 171 г. У середньому по закріплювачах стерильності за продуктивністю насінників кращими стали $3C_3$ -Sk (40–295 г насіння з рослини) і $3C_4$ -Vg (45–355 г) з масою 1000 плодів 14,7 та 15,5 г відповідно. Двофакторний дисперсійний аналіз якості гібридного насіння показав, що між генотипами є істотні відмінності, тому генетичну цінність компонентів схрещування визначали за ефектами загальної (ЗКЗ), так і специфічної (СКЗ) комбінаційної здатності (рис. 3).



Рис. 3. Мінімум та максимум продуктивності насінників, г з рослини

Пилкостерильні лінії аналоги (ЛА), одержані в результаті четвертого беккросного покоління від схрещування стерильних рослин $3C$ О-типу, виділені з популяцій роздільноплідних буряків цукрових рекомбінантних форм зарубіжної селекції мали високий ступінь інбредності. Всі ці лінії, крім ЦЧС₅₅₈, характеризувалися достовірно низькими значеннями комбінаційної здатності (від $-1,0$ до $5,34$). Генетично обумовлена висока схожість насіння ЦЧС форм залежала від закріплюючої і комбінаційної здатності $3C$, їх походження та структури. Схожість лінії ЦЧС₅₅₈ була на рівні середніх популяційних значень ($-0,6$ при $НІР_{0,05} = 1,15$). Проте, при формуванні на їх основі ПСГ від схрещування з неспорідненими $3C$, у окремих комбінаціях відмітили істотно високі значення загальної комбінаційної здатності (ЗКЗ). Зокрема, два ПСГ на основі ЛА ЦЧС₅₆₀ і $3C_4$ та $3C_1$ мали істотно високі ефекти ЗКЗ (відповідно $3,3$ і $4,1$ при $НІР_{0,05} = 1,11$). З лінією ЦЧС₅₆₄ за ЗКЗ добре проявив себе ПСГ з $3C_1$ ($+1,9$ при $НІР_{0,05} = 0,97$), а з лінією ЦЧС₅₆₈ гібрид з $3C_2$ ($+2,0$ при $НІР_{0,05} = 1,15$). Лінія ЦЧС₅₆₅ підвищила комбінаційну здатність при схрещуванні з двома неспорідненими закріплювачами стерильності $3C_1$ і $3C_2$, а лінія ЦЧС₅₆₁ – лише з $3C_5$.

Кращі за селекційно-цінними ознаками ЦЧС ЛА та ПСГ вивчали в схрещуваннях за схемою «топкрос» в якості материнських компонентів одностигмих пробних гібридів (ПГ) на стерильній основі для встановлення комбінаційної здатності з багатонасінними запилювачами (БЗ). Батьківськими компонентами гібридів і тестерами послужили нові БЗ – донори високої цукристості зарубіжної генплазми: БЗ₆Or і БЗ₇Mt. Показники якості насіння отриманих ПГ вказують на селекційну цінність та високу комбінаційну здатність нових ЦЧС форм з рекомбінантними БЗ. Насіння ПГ характеризувалось високою продуктивністю насінників від 101 до 117 г насіння з рослини та схожістю насіння від 93,4 до 95,3 %. Генетично обумовлена висока схожість насіння ПГ залежала від комбінаційної здатності (КЗ) батьківських компонентів, їх походження та структури. Материнські компоненти пробних гібридів (ПСГ-ЦЧС₅₆₁, ПСГ-ЦЧС₅₆₄, ПСГ-ЦЧС₅₆₅ та ЛА-ЦЧС₅₅₈ і ЛА-ЦЧС₅₆₀) на фоні обох БЗ отримали високу насіннєву продуктивність та якість насіння. Інші показники якості насіння, крім генотипу, залежали і від умов навколишнього середовища, в яких проводили схрещування та вирощування гібридного насіння.

Пробні гібриди з високими показниками стерильності (96–100 %), одностигмістю (98–100 %) і схожості насіння вивчали в станційному сортопробуванні (2022–2024 рр.) з метою визначення показників продуктивності. Найвищу схожість насіння отримали гібриди у

формуванні яких брали участь компоненти з високими значеннями специфічної взаємодії: ЦЧС₅₆₀/ЗС₄/БЗ₇ ефект СКЗ = +5,2; (ЦЧС₅₅₈/ЗС₁)/БЗ₇ ефект СКЗ = +5,4; (ЦЧС₅₆₅/ЗС₃)/БЗ₆ ефект СКЗ = +5,1. Лінії аналоги характеризувалися низькою ЗКЗ. Серед простих стерильних гібридів, створених за участю п'яти ЦЧС аналогів і чотирьох ЗС різного походження, виділено материнські форми з істотно високими значеннями ЗКЗ.

Аналізуючи результати оцінок селекційних номерів доведено, що більшість ПГ отримали незначні надбавки за врожайністю коренеплодів (101,1–101,5 %) порівняно до стандарту. Високі показники за збором цукру (103,2–118,4 %) значної кількості гібридів отримали за рахунок високого вмісту цукру (17,79–18,02 %). Вважаємо, що високий вміст цукру в нащадках обумовлений не лише батьківськими компонентами, а також ознаками материнської форми, їх комбінаційної здатності, селекційними доборами і сприятливими умовами середовища. Десять пробних гібридів, створених на основі БЗ₆ і БЗ₇ з ЛА ЦЧС₅₅₈ та чотирма ПСГ ЦЧС₅₆₀ ЦЧС₅₆₁, ЦЧС₅₆₄ і ЦЧС₅₆₅ перевищували груповий стандарт за всіма трьома господарсько-цінними показниками. З цитоплазматичними ЧС лініями аналогами (ЛА) і ПСГ різного походження краще комбінувався багатонасінний запилювач БЗ₇, за участю якого більшість гібридних комбінацій проявили гетерозис (h_p 1,4–4,1). Отриманий пробний гібрид на основі ПСГ (ЦЧС₅₅₈/ЗС₁)/БЗ₇ отримав за врожайністю коренеплодів 110,1 % порівняно зі стандартом, за вмістом цукру – 114,4 %, за виходом цукру – 114,8 % при $HP_{0,05} = 2,6$ (рис. 4).

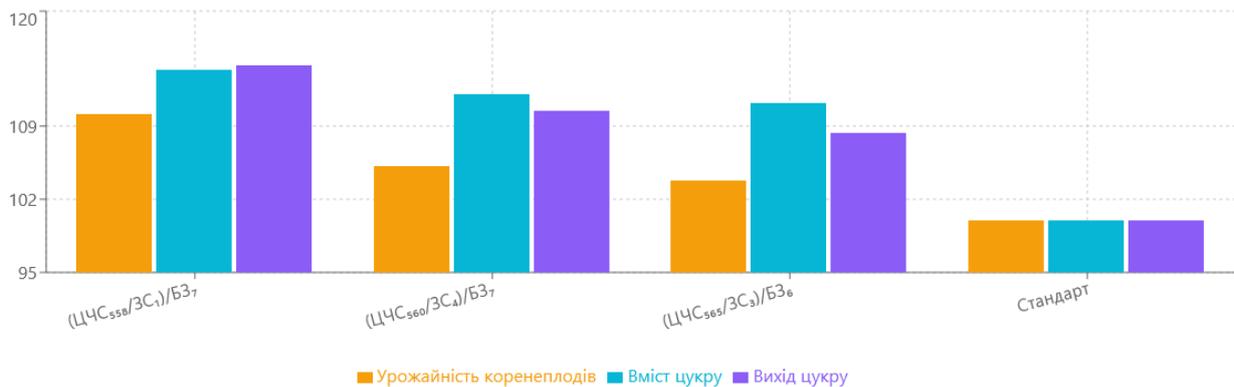


Рис. 4. Показники кращих гібридів до стандарту, %

Чотири із шести ПГ, створених з БЗ₇, успадкували вміст цукру по типу гетерозису (перевищення ознаки в F_1 порівняно з кращою батьківською формою), а два – по проміжному типу. Шість ЦЧС форм різного походження значно гірше комбінувалися з новим запилювачем БЗ₆, адже лише один гібрид – ЦЧС₅₆₅/ЗС₃/БЗ₆ показав гетерозисний ефект. У інших гібридів гетерозис коливався від -1,6 до 0,6, що свідчить про тип успадкування, який характеризувався широким спектром – від депресії до позитивного домінування. Це вказує на необхідність цілеспрямованого добору батьківських пар для гібридизації.

Висновки

У досліджуваних рекомбінантних ЦЧС форм спостерігалась закономірність успадкування високих показників селекційно-цінних ознак одностійності, стерильності, якості насіння та продуктивності від F_2 до F_4 та в їх потомства. Встановлено, що при створенні вихідного матеріалу одностійних стерильних форм варто ретельно добирати компоненти схрещування ЗС їх ЦЧС лінії аналоги (ЛА) та ПСГ. На основі показників комбінаційної здатності за показниками якості селекційного матеріалу можливо отримати високі параметри фенотипового прояву цих ознак. Використовуючи різні методи гібридизації та добору із підібраних комбінаційно-цінних пар створено нові одностійні ЦЧС материнські форми, які мають цінні селекційні та господарські ознаки.

Використана література

1. Роїк М. В., Парфенюк О. О. Використання рекомбінантних матеріалів у селекції батьківських компонентів гібридів буряків цукрових за формою коренеплоду. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 12. С. 52–58. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201812-08>
2. Дубчак О. В., Паламарчук Л. Ю. Етапи створення і способи вивчення продуктивності гібридів цукрових буряків різної генетичної основи. *Агробіологія*. 2022. Вип. 1. С. 15–24. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2022-171-1-15-23>
3. Андреева Л. С., Корнеева М. О., Вакуленко П. І. та ін. Продуктивність ЧС аналогів цукрових буряків, одержаних беккросуванням, та створених на їх основі простих стерильних гібридів. *Селекція, надбання, сучасність і майбутнє* (Освіта, наука, виробництво) : матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 24–25 травня 2022 р.). Київ, 2022. С. 79.
4. Корнеева М. О. Генетичний контроль урожайності гібридів цукрових буряків, отриманих на основі діалельних схрещувань. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2021. Вип. 29. С. 118–123. <https://doi.org/10.47414/np.29.2021244452>
5. Дубчак О. В. Рекомбінування цінних ознак цукрових буряків (*Beta vulgaris* L.). *Генетичні ресурси рослини*. 2023. № 32. С. 33–42. <https://doi.org/10.36814/pgr.2023.32.04>
6. Дубчак О. В., Присяжнюк О. І., Костина Т. П., Зацерковна Н. С. Спосіб визначення та добір кращих компонентів гібридів цукрових буряків (*Beta vulgaris* L.) за показниками продуктивності. *Новітні агротехнології*. 2023. Т. 11, № 2. <https://doi.org/10.47414/na.11.2.2023.285903>
7. Корнеева М. О., Власюк М. В., Опанасенко Т. Г. Комбінаційна здатність за схожістю насіння запилювачів при створенні ЧС гібридів буряків цукрових. *Збірник наукових праць Веселоподільської ДСС ІЦБ НААН*. Веселий Поділ, 2010. Кн. 2. С. 75–77.
8. Owen F. V. Cytoplasmically intertied male – sterility in sugar beets. *Journal of Agricultural Research*. 1945. Vol. 71. P. 423–440.
9. Bosemark N. O. Use of Mendelian male Sterility in recurrent selection and hybrid breeding in beets. Eucarpia Fodders Crops Section. Report. Lusignan, 1971. P. 127–136.
10. Методики проведення досліджень у буряківництві / за ред. М. В. Роїка, Н. Г. Гізбулліна. Київ : ФОП Корзун Д. Ю., 2014. 374 с.
11. Основи наукових досліджень в агрономії / за ред. В. О. Єщенка. Київ : Дія, 2005. 288 с.

References

1. Roik, M. V., & Parfeniuk, O. O. (2018). Use of recombinant materials in selection of parent components of sugar beet hybrids in the root shape. *Bulletin of Agricultural Science*, 12, 52–58. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201812-08> [In Ukrainian]
2. Dubchak, O. V., & Palamarchuk, L. Yu. (2022). Creation stages and ways of studying the efficiency of sugar beet hybrids of various genetic bases. *Agrobiology*, 1, 15–24. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2022-171-1-15-23> [In Ukrainian]
3. Andriieva, L. S., Kornieieva, M. O., Vakulenko, P. I., Dubchak, O. V., & Krotiuk, L. A. (2022). Productivity of CMS analogues of sugar beet obtained by backcrossing and simple sterile hybrids created on their basis. In *Breeding, achievements, present and future (Education, science, production): Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference* (p. 79). Kyiv. [In Ukrainian]
4. Kornieieva, M. O. (2021). Genetic yield control in sugar beet hybrids obtained by diallel crosses. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 29, 118–123. <https://doi.org/10.47414/np.29.2021.244452> [In Ukrainian]
5. Dubchak, O. V. (2023). Recombination peculiarities of valuable traits in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Plant Genetic Resources*, 32, 33–42. <https://doi.org/10.36814/pgr.2023.32.04> [In Ukrainian]
6. Dubchak, O. V., Prysiazhniuk, O. I., Kostyna, T. P., & Zatserkovna, N. S. (2023). Method of determination and selection of the best parent components of sugar beet hybrids (*Beta vulgaris* L.) by

their productivity. *Advanced Agritechologies*, 11(2). <https://doi.org/10.47414/na.11.2.2023.285903> [In Ukrainian]

7. Kornieieva, M. O., Vlasiuk, M. V., & Opanasenko, T. H. (2010). Combining ability for seed germination of pollinators in the creation of CMS sugar beet hybrids. *Collection of Scientific Papers of the Veselopillya Breeding and Research Station of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS* (Book 2, pp. 75–77). Veselyi Podil. [In Ukrainian]

8. Owen, F. V. (1945). Cytoplasmically inherited male sterility in sugar beets. *Journal of Agricultural Research*, 71, 423–440.

9. Bosemark, N. O. (1971). Use of Mendelian male sterility in recurrent selection and hybrid breeding in beets. *Eucarpia Fodder Crops Section Report* (pp. 127–136). Lusignan.

10. Roik, M. V., & Hizbullin, N. H. (Eds.). (2014). *Methods of research in beet growing*. FOP Korzun D. Yu. [In Ukrainian]

11. Yeshchenko, V. O. (Ed.). (2005). *Fundamentals of scientific research in agronomy*. Diia. [In Ukrainian]

UDC 633.63:631.52:575.125

Dubchak, O. V.¹, & Prysiazniuk, O. I.² (2025). Inheritance of breeding-valuable traits of recombinant CMS forms of sugar beet. *Scientific Papers of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 33, 162–168. <https://doi.org/10.47414/np.33.2025.341847> [In Ukrainian]

¹*Verkhniatska Research and Breeding Station of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the NAAS of Ukraine, 1 Shkilna St., Verkhniachka village, Uman district, Cherkasy region, 20022, Ukraine, e-mail: oksana3dov@gmail.com*

²*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03141, Ukraine, e-mail: ollpris@gmail.com*

Purpose. To study the nature of inheritance of valuable breeding traits in different sterile forms obtained from splitting in the F₂-F₄ progeny with sterility maintainers and pollinators of different origin. **Methods.** Modern breeding methods were applied: recombination, hybridisation and selection. The breeding materials were monogerm cytoplasmic male-sterile (CMS) forms of the VDEBS collection of foreign gene plasma. Analytical and topcross crossings were used. Testing of breeding materials was carried out according to generally accepted research methods in beet cultivation. **Results.** It has been established that the over dominance of monogermity and sterility in plants depends on the genotypes participating in the crossing and on the structure of the sterility maintainers and CMS components, which reflect the level of inbreeding in breeding genotypes. Genetically determined high seed germination in simple and trial CMS hybrids depends on the combining ability of the parental components, their origin and structure of the maternal form, as well as on the agroclimatic conditions of the environment. **Conclusions.** As a result of studying the genetic nature of the CMS forms, the possibility of their use as maternal components of simple hybrids was established. In the studied recombinant CMS forms, a pattern of inheritance of high indicators of breeding-valuable traits of monogermity, sterility, seed quality, and productivity from F₂ to F₄ and in their offspring was observed. When hybridising the developed CMS forms with multigerm pollinators of different origin, even under stressful environmental conditions, it is possible to obtain trial hybrids with high productivity indicators.

Keywords: selection; sterility; similarity; component; hybrid.

Надійшла / Received 07.08.2025

Погоджено до друку / Accepted 03.10.2025

Опубліковано онлайн / Published online 29.12.2025

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР І ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**НАУКОВІ ПРАЦІ
ІНСТИТУТУ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР
І ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ
ПРАЦЬ**

ВИПУСК 33

**За достовірність викладених у публікаціях фактів
відповідають автори**

Підписано до друку __. __.2025
Формат ____. Папір офсетний. Друк офсетний.
Умовн. друк. арк. __. Обл. - видавн. арк. __
Гарнітура Time New Roman. Наклад 50 прим. Зам. № __
Віддруковано з оригіналів замовника
ФОП Корзун Д. Ю.
Тел. (0432) 69-67-69