

ISSN 0135-2369

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ КЛІМАТИЧНО ОРІЄНТОВАНОГО
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

ЗРОШУВАНЕ ЗЕМЛЕРОБСТВО

Міжвідомчий тематичний
науковий збірник

Випуск 85



Видавничий дім
«Гельветика»
2026

Реєстрація суб'єкта у сфері друкованих медіа: Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення № 1553 від 09.05.2024 року. Ідентифікатор медіа R30-04608.

Збірник включено до переліку наукових фахових видань України категорії «Б» у галузі аграрних наук (Е2 – Екологія, Н1 – Агрономія) відповідно до Наказу Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020 р. (додаток 1)

Рекомендовано до друку Вченою радою
Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН
(протокол 6 від 30 березня 2026 року).

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор:

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

Члени редакційної колегії:

Аверчев Олександр Володимирович, доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри землеробства, Херсонський державний аграрно-економічний університет (м. Кропивницький, Україна)

Дробітько Антоніна Вікторівна, доктор сільськогосподарських наук, професор, проректор з наукової роботи, Миколаївський національний аграрний університет МОН України (м. Миколаїв, Україна)

Іслам Хандакар Рафік (IslamKhandakarRafiq), доктор наук, старший науковий співробітник, доцент, Державний університет Огайо, (м. Огайо, США)

Лиховид Павло Володимирович, доктор сільськогосподарських наук, провідний науковий співробітник відділу зрошувального землеробства та декарбонізації агроєкосистем, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України (м. Одеса, Україна)

Петрзак Стефан (PietrzakStefan), доктор наук, професор, завідувач відділу якості води, Технологічний та природничий інститут (м. Рашин, Польща)

Пілярська Олена Олександрівна, кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, завідувач відділу маркетингу та міжнародної діяльності, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України (м. Одеса, Україна)

Тараско Еустаніо (Tarasco Eustachio), кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри ґрунтознавства, рослинництва та переробки, Університет Барі Альдо Моро (м. Барі, Італія)

Тищенко Андрій Вікторович, доктор сільськогосподарських наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник відділу селекції сільськогосподарських культур, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України (м. Одеса, Україна)

Шатковський Андрій Петрович, доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент НААН, заступник директора з наукової роботи, Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України (м. Київ, Україна).

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

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

ЗМІСТ

МЕЛІОРАЦІЯ, ЗЕМЛЕРОБСТВО, РОСЛИННИЦТВО.....	5
Алексєєв О.О., Шувар І.А., Бахмат О.М., Врадій О.І. Інтенсивність накопичення кальцію у надземній вегетативній масі енергетичних культур за вирощування на різних ґрунтах.....	5
Алмашова В.С. Вплив сучасної технології вирощування бобових культур у повоєнному відновленні ґрунтів півдня України.....	12
Андрієнко А.Л., Семеняка І.М., Андрієнко О.О., Ткаліч Ю.І. Алелопатична дія післяжнивних решток попередників на ріст та розвиток пізніх ярих культур у ювенільний період.....	17
Бутенко А.О., Дрозденко А.Ю. Регулювання біометричних показників картоплі шляхом застосування різних термінів пророщування.....	25
Бутенко Є.Ю., Ткаченко Р.С., Медвідь С.І. Вплив способів основного обробітку ґрунту на показники структури врожаю соняшнику.....	32
Voznehova R.A., Lykhovyd P.V., Lavrenko S.O., Maksymov D.O. A computational framework for precision spray-tank acidification: an integration of chemical equilibrium modeling and information technologies to ensure chemical stability of pesticides.....	37
Заїка В.К., Сімчук А.П., Шеленко Д.І., Дмитрик П.М., Коляджин І.Ф., Душко П. М. Вплив строків сівби на формування структури врожаю та продуктивності кукурудзи.....	43
Кривенко А.І., Усов Р.М. Оцінка сортової стійкості гороху підзимнього строку сівби до збудників коренових гнилей в умовах Лісостепу України.....	50
Панкова С.О. Вплив технологій інтенсивного землеробства на екологічний стан полезахисних лісосмуг агроландшафтів Лісостепу.....	58
Piliarska O.O., Zherebchuk S.V., Shablia O.S., Polahenko O.S. Bibliographic analysis of risk identification and management in treated wastewater reuse for agricultural irrigation as a method for implementing best practices in Ukraine.....	62
Сеник І.І., Зубов В.В. Вплив удобрення на урожайність бобово-злакового сінокошу в умовах Лісостепу західного	77
Сергєєв Л.А., Когут І.М., Марченко Т.Ю., Хоменко Т.М., Марченко В.Д. Вплив комплексних мікроелементів для позакореневого підживлення рослин на структуру врожаю сортів та ліній сочевиці ..	82
Сердюк П.В., Коваленко В.М. Дослідження обробки бульб картоплі азотфіксуючими бактеріями та біологічними препаратами з мікоризними властивостями: досвід та перспективи	89
Ткачук О.П., Вергеліс В.І. Фітомеліорація деградованих ґрунтів вирощуванням люцерни посівної (<i>Medicago sativa</i> L.).....	95
Трандафір І.В. Брухофагуси на зернобобових культурах в умовах Одеської області.....	102
Цицюра Я.Г. Потенціал отавно-сидерального використання редьки олійної з позиції контролювання ґрунтового банку насіння бур'янів.....	108
Чорноморець О.О. Вплив біоорганічних елементів технологій вирощування на тривалість міжфазних періодів та вегетаційного циклу сортів пшениці озимої в умовах Лісостепу України.....	117
СЕЛЕКЦІЯ, НАСІННИЦТВО.....	125
Боровик В.О., Мальцева О.П. Ступінь фенотипового домінування і гетерозис за висотою рослин у гібридів бавовнику першого покоління F ₁	125
Пікіч О.П., Вишнеvsька О.В., Левківський І.В. Комплексний вплив регулятора росту рослин, позакореневого підживлення та зрошення на формування бульб базової насінневої фракції картоплі в умовах Південного Полісся.....	133

CONTENTS

AMELIORATION, FARMING, CROP PRODUCTION.....	5
Alieksieiev O.O., Shuvar I.A., Bakhmat O.M., Vradii O.I. Intensity of calcium accumulation in the above-ground vegetative mass of energy crops when grown on different soils.....	5
Almashova V.S. The Impact of Modern Legume Cultivation Technology on the Post-War Restoration of Soils in Southern Ukraine.....	12
Andriienko A.L., Semeniaka I.M., Andriienko O.O., Tkalich Yu.I. Allelopathic effect of post-harvest residues of predecessors on the growth and development of late spring crops in the juvenile period.....	17
Butenko A.O., Drozdenko A. Yu. Regulation of potato biometric parameters through the application of different pre-sprouting periods.....	25
Butenko E.Yu., Tkachenko R.S., Medvid S.I. The influence of methods of basic soil cultivation on the indicators of the structure of sunflower yield.....	32
Vozhehova R.A., Lykhovyd P.V., Lavrenko S.O., Maksymov D.O. A computational framework for precision spray-tank acidification: An integration of chemical equilibrium modeling and information technologies to ensure chemical stability of pesticides.....	37
Zaika V.K., Simchuk A.P., Shelenko D.I., Dmitrik P.M., Kolyadzin I.F., Dushko P.M. The influence of sowing dates on the formation of crop structure and productivity of maize.....	43
Kryvenko A.I., Usov R.M. Assessment of varietal resistance of winter-sown peas to root rot pathogens in the forest-steppe conditions of Ukraine.....	50
Pankova S.O. Impact of Intensive Farming Technologies on the Ecological Condition of Shelterbelt Forest Strips in the Agro-Landscapes of the Forest-Steppe.....	58
Piliarska O.O., Zhrebchuk S.V., Shablia O.S., Polahenko O.S. Bibliographic Analysis of Risk Identification and Management in Treated Wastewater Reuse for Agricultural Irrigation as a Method for Implementing Best Practices in Ukraine.....	62
Senyk I.I., Zubov V.V. The effect of fertilizer on the yield of legume-cereal haymaking in the conditions of the Western Forest-Steppe.....	77
Serhieiev L.A., Kohut I.M., Marchenko T.Yu., Khomenko T.M., Marchenko V.D. The influence of complex microelements for foliar feeding of plants on the yield structure of lentil varieties and lines.....	82
Serdyuk P.V., Kovalenko V.M. Research on the treatment of potato tubers with nitrogen-fixing bacteria and biological preparations with mycorrhizal properties: experience and prospects.....	89
Tkachuk O.P., Vergelis V.I. Phytoamelioration of degraded soils by growing alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.).....	95
Trandafir I.V. Bruchophagus on grain crops in the conditions of the Odessa region.....	102
Tsytsyura Ya.H. The Potential of Regrowth Biomass of Oilseed Radish Use as Green Manure from the Perspective of Soil Weed Seed Bank Control.....	108
Chornomorets O.O. The influence of bioorganic elements of growing technologies on the duration of interphase periods and the vegetation cycle of winter wheat varieties in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine.....	117
BREEDING, SEED FARMING.....	125
Borovyk V.O., Maltseva O.P. The degree of phenotypic dominance and heterosis in plant height in first-generation F ₁ cotton hybrids.....	125
Pikich O.P., Vyshnevskya O.V., Levkivskiy I.V. Complex effect of plant growth regulator, foliar feeding, and irrigation on the formation of seed-size potato tubers under the conditions of the Southern Polissia.....	133

ІНТЕНСИВНІСТЬ НАКОПИЧЕННЯ КАЛЬЦІЮ У НАДЗЕМНІЙ ВЕГЕТАТИВНІЙ МАСІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР ЗА ВИРОЩУВАННЯ НА РІЗНИХ ҐРУНТАХ

АЛЕКСЄЄВ О.О. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент
orcid.org/0000-0001-5807-4932

Вінницький національний аграрний університет

ШУВАР І.А. – доктор сільськогосподарських наук, професор
orcid.org/0000-0002-4149-1761

Львівський національний університет природокористування

БАХМАТ О.М. – доктор сільськогосподарських наук, професор
orcid.org/0000-0002-8015-1567

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

ВРАДІЙ О.І. – кандидат сільськогосподарських наук
orcid.org/0000-0001-7383-3829

Вінницький національний аграрний університет

Постановка проблеми. Кальцій (Ca) є важливим макроелементом ґрунтів. Даний елемент скріплює стінки рослинних клітин між собою і є основним компонентом пектинів. Від вмісту його у рослині залежить стійкість та міцність стебла, здатність чинити опір вітру та опадам [15].

Недостатнє забезпечення ґрунтів кальцієм порушує поділ клітин. Перш за все, страждає коренева система, що супроводжується зниженням та призупиненням її росту та як наслідок засвоєння елементів живлення і води. Вкрай важливим кальцій є для бобових рослин при формуванні бульбочок на кореневій системі.

Не менш важливу роль встановлено і перенесення високих температур рослиною завдяки кальцію. Достатній рівень кальцію є запорукою перешкодження надходження грибків та бактерій у рослину. Кальцій відомий і як активний антагоніст витісняючи цілу низку елементів знижуючи їх шкідливу дію [2].

В ґрунтового середовища кальцій потрапляє з материнських порід у вигляді вапняків, доломітів, добрив та меліорантів. У ґрунті він перебуває в трьох станах, однак найцінніший є обмінний, що утримуються ґрунтовым вбирним комплексом та є основним резервом для рослин. Кальцій вимивається опадами (особливо на піщаних ґрунтах), що призводить до їх закислення. Тому контроль за його вмістом повинен проводитися постійно [7].

Помітна частина кальцію з ґрунтів виноситься з урожаєм сільськогосподарських культур. Високим винесенням кальцію з ґрунтів характеризуються рослини кальцієфіли, зокрема соя, люцерна, капуста, цукровий буряк та соняшник. Злакові культури, в яких кальцій накопичується переважно у стеблі виносять значно менше [9].

Винесення кальцію з ґрунтів повинно постійно компенсуватися, тобто необхідно, тобто необхідно

у ґрунт повернути ту кількість, яка винесене з урожаєм. Основним джерелом надходження у ґрунт кальцію є залишки вегетативної маси, вапнякове добриво, дефекат, кальцієва селітра та інші. Важливим елементом в тваринництві є кальцій, особливо птиці не тільки для забезпечення фізіологічних потреб існування організації для виробництва продукції, зокрема молоко, м'ясо та яйця [1, 4].

Основне джерело надходження кальцію в організм тварин є кормова сировина, особливо бобові рослини, які до 5-ти разів містять більше кальцію порівняно зі злаковими, такими як пшениця та кукурудза. Відходи від переробки насіння соняшнику (макух, шрот) також багаті на кальцій [5].

Дефіцит у раціоні тварин кальцію викликає рахіт у молодняка, остеомаляція (розм'якшення кісток) у дорослих тварин та зниження несучості птиці. Надмірне надходження кальцію в організмі тварин сприяє відкладенню солей у нирках та погіршення засвоєння цинку, міді та марганцю [8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літературних першоджерел свідчить про важливість врахування при мінеральному живленні енергетичних культур кальцію як важливого елемента стійкості багаторічних плантацій та якістю кормової сировини та біопалива [11].

Сучасні результати досліджень показують, що кальцій в енергетичних культурах накопичується нерівномірно. Найвища частина кальцію накопичується в корі деревних енергетичних культур, таких як верба та тополя. В корі деревних енергетичних культур зосереджується до 70% кальцію [14].

Трав'янисті багаторічні енергетичні культури мають порівняно нижчий потенціал винесення кальцію з ґрунту. Найвища кількість кальцію у трав'яних багаторічних культур зосереджується у листках порівняно менше у стеблах. Інтенсивність накопи-

чення трав'яними багаторічними культурами кальцію в певній мірі залежить від ґрунтів. Виявлено вищу інтенсивність накопичення кальцію енергетичними рослинами на чорноземах та нижчу на дерново підзолистих. Тому на малогумусних та кислих ґрунтах рекомендується перед закладкою плантацій проводити обов'язкове вапнування. Достатнє забезпечення кальцієм ґрунтів знижує транслокацію токсичних елементів у надземній вегетативній масі енергетичних культур. Ранній збір урожаю у надземній вегетативній масі енергетичних культур сприяє вищому виведенню з ґрунтів кальцію, більш пізній лютий-березень сприяє переходу до 30% кальцію з надземної маси у кореневу (ризому) [17].

Велика кількість наукових досліджень підтверджують, що енергетичні культури схильні до високого накопичення кальцію. Виявлено, що навіть на ґрунтах з низьким вмістом кальцію спостерігається високий рівень накопичення даного елемента у вегетативній масі. Міскантус гігантський має здатність наприкінці вегетації до ретранслюкації, але кальцій переважно залишається в опалому листі, формуючи замкнений цикл у межах плантації. Тип ґрунту є визначальним фактором інтенсивності поглинання кальцію. Зокрема, на лучно-чорноземних та каштанових ґрунтах виявлена пряма кореляція між вмістом обмінного кальцію в ґрунті та його накопиченням у біомасі. Однак, надлишок кальцію в цих ґрунтах може блокувати засвоєння таких мікроелементів, як бор та цинк енергетичними культурами. Недостатній рівень кальцію у ґрунтах негативно позначається на інтенсивності вегетації енергетичних культур та як правило зниження до 40% урожайності [14, 15].

При спалюванні надземної вегетативної маси енергетичних культур за використання її джерело енергії отримана зола містить високий вміст кальцію. Внесення золи в ґрунти повертає до 80% кальцію виведеного з надземною вегетативною масою [10].

Тобто енергетичні культури характеризуються високою інтенсивністю накопичення кальцію у своїй біомасі, контроль, контроль за особливостями накопичення даного елемента в урожаї є важливим заходом при прогнозуванні мінерального удобрення та відновлення родючості ґрунтів після багаторічного їх використання [13].

За аналізом літературних першоджерел виявлено недостатнє вивчення особливостей накопичення кальцію у біомасі енергетичних рослин, особливо таких як сільфій пронизанолистий та мальва пенсільванська, вирощених на території України, що і сформувало мету та потреби наших досліджень [6, 12].

Мета статті – дослідження накопичення кальцію у надземній вегетативній масі енергетичних культур в залежності від типу ґрунтів та років вегетації.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження по вивченню вмісту кальцію у надземній вегетативній масі енергетичних культур (міскантус, сільфій пронизанолистий, мальва пенсільванська) проводили протягом 2023–2025 рр. в умовах трьох типів ґрунтів (сірий лісовий, чорнозем типовий, дер-

ново підзолистий піщаний). Територія вирощування енергетичних культур включала с. Гнівани Тиврівського району, Вінницької області – сірий лісовий ґрунт. с. Станілівка Погребищенський район, Вінницька область – чорнозем типовий. с. Грозино Коростенський район, Житомирської області – дерново підзолистий піщаний ґрунт.

Формування зразків для досліджень надземної вегетативної маси енергетичних культур проводили після її збору в осінній період методом точкових проб.

Визначення кальцію у наземній вегетативній масі проводили в науково-дослідній лабораторії інституту сільського господарства Полісся УААН м. Житомир за комплексометричним методом (титрування Трилоном Б). Даний метод базується на здатності Трилону Б утворювати стабільні безбарвні комплекси з іонами кальцію в лужному середовищі. Оскільки кальцій у рослинах зв'язаний з органічними сполуками, його переводили у розчинну мінеральну форму. Рослинну масу спалювали у муфельній печі при температурі 500–550°C до отримання білого попелу. Отриманий попіл розчинили у хлоридній кислоті (HCl), фільтрували та доводили до певного об'єму дистильованою водою.

ГОСТ 26570-95 (в Україні діє як ДСТУ ГОСТ 26570:2004) є базовим документом для лабораторій агрохімічного профілю. Згідно стандарту це атомно-абсорбційна спектрометрія (ААС). Саме цей метод найчастіше використовують у сучасних лабораторіях, оскільки він надзвичайно швидкий та точний.

Результати досліджень. Результати досліджень з вивчення інтенсивності накопичення кальцію надземною вегетативною масою енергетичних культур показали певний вплив, як самої культури, так і типу ґрунтів. Виявлені також певні відмінності вмісту кальцію у надземній вегетативній масі залежно від років вегетації рослин.

Вміст кальцію у надземній вегетативній масі міскантусу, вирощеного на сірих лісових ґрунтах виявився найвищим за першого року вегетації – 0,34%, тоді як на другому і третьому роках вегетації даний показник був нижчим у 1,21 рази та 1,54 рази відповідно.

На чорноземі типовому у вирощеній вегетативній масі міскантусу вміст кальцію за другої та третьої вегетації був нижчим у 1,55 рази і 1,55 рази відповідно порівняно з першим роком вегетації. Подібна тенденція спостерігалась і в умовах дерново підзолистих піщаних ґрунтах у вирощеній на них надземній вегетативній масі міскантусу вміст кальцію на другому та третьому роках вегетації був нижчим у 1,76 рази та 1,85 рази відповідно порівняно з першим роком вегетації. Тобто, виявлена певна тенденція зниження вмісту кальцію на другому та третьому році вегетації порівняно з першим роком.

Найвищим вмістом кальцію характеризувалась надземна вегетативна маса міскантусу, вирощеного на сірих лісових ґрунтах за другої та третьої вегетації, тоді як за першої вегетації на дерново підзолистих піщаних ґрунтах. За першого року вегетації вміст кальцію у надземній вегетативній масі міскантусу вирощеного на дерново підзолистому піщаному

ґрунті був вищим у 1,32 рази і 1,08 рази порівняно з аналогічною сировиною вирощеною на чорноземі типовому та сірому лісовому ґрунтах. На другому і третьому році вегетації вміст кальцію у надземній вегетативній масі міскантусу вирощеного в умовах сірих лісових ґрунтів був вищим порівняно з чорноземом типовим у 1,55 рази і 1,33 рази та дерново підзолистим піщаним у 1,55 рази і 1,1 рази відповідно.

Результати досліджень наведені в табл. 2 показують, що вміст кальцію у надземній вегетативній масі сільфію пронизанолістого вирощеного на сірих лісових ґрунтах та чорноземі типовому протягом першого року вегетації склав 1,37% та 1,29% тоді, як на другому році вегетації даний показник підвищився у 1,22 рази і 1,14 рази та третьому році у 1,21 рази і 1,1 рази відповідно.

У вирощеній на дерново-підзолистих ґрунтах надземній вегетативній масі сільфію пронизанолістого першого року вегетації вміст кальцію склав 1,16% тоді, як на другому та третьому році вегетації даний показник був нижчий у 1,04 рази та 1,15 рази відповідно.

Найвищий вміст кальцію у надземній вегетативній масі сільфію пронизанолістого протягом трьох років вегетації спостерігався на сірих лісових ґрунтах. Так, у надземній вегетативній масі сільфію пронизанолістого вирощеного на чорноземі типовому вміст кальцію був нижчий першого, другого та третього року вегетації у 1,06 рази, 1,12 рази та 1,16 рази відповідно порівняно з аналогічною сировиною одержаною на сірому лісовому ґрунті.

За вирощування сільфію пронизанолістого на дерново підзолистому піщаному ґрунті вміст кальцію у надземній вегетативній масі першого, другого та третього року вегетації був нижчим у 1,18 рази, 1,5 рази та 1,64 рази відповідно порівняно з аналогічною сировиною одержаною на сірих лісових ґрунтах. В середньому за 2023-2025 рр. вміст кальцію у надземній вегетативній масі сільфію пронизанолістого вирощеного на сірих лісових ґрунтах склав

1,56%, тоді як на чорноземі типовому та дерново підзолистому піщаному ґрунті даний показник був нижчим у 1,11 рази та 1,43 рази. Тобто, за результатом досліджень, встановлена чітка тенденція найвищого вмісту кальцію у надземній вегетативній масі сільфію пронизанолістого вирощеного на сірих лісових ґрунтах, а найнижчого – на дерново підзолистому піщаному ґрунті.

Деякі інші показники по вмісту кальцію виявлено у вегетативній масі мальви пенсільванської (табл. 3). Зокрема, виявлена чітка тенденція зниження вмісту кальцію у надземній вегетативній масі мальви пенсільванської із збільшенням років вегетації. Поряд з цим, необхідно відмітити, що найвищий вміст кальцію у вегетативній масі мальви пенсільванської виявлено за її вирощування на чорноземі типовому. Так, вміст кальцію у вегетативній масі мальви пенсільванської другого і третього року вегетації на сірих лісових ґрунтах був нижчим у 1,53 рази і 1,33 рази, чорноземі типовому – у 1,51 і 1,57 рази та дерново підзолистому піщаному у 1,6 рази та 1,86 рази відповідно порівняно з аналогічною сировиною першого року вегетації. На чорноземі типовому у вирощеній за першого року вегетації надземній вегетативній масі мальви пенсільванської вміст кальцію склав 0,88%, тоді як в аналогічній сировині одержаній на сірих лісових ґрунтах та дерново підзолистих піщаних даний показник був нижчим у 1,69 і 1,1 рази відповідно. На другому році вегетації вміст кальцію у надземній вегетативній масі мальви був у межах 0,58%, що у 1,7 рази і 1,16 рази вище порівняно з аналогічною сировиною одержаною на сірих лісових та дерново підзолистих ґрунтах. За третього року вегетації вміст кальцію у надземній вегетативній масі мальви пенсільванської був вищим на чорноземах типових і склав 0,56%, що вище порівняно з аналогічною сировиною одержаною на сірих лісових ґрунтах та дерново підзолистих піщаних у 1,43 рази і 1,30 рази відповідно.

Таблиця 1 – Вміст кальцію у вегетативній масі міскантусу, %

Тип ґрунтів	Роки досліджень						В середньому з за 2023-2025 рр. вегетації
	2023		2024		2025		
	Фактичний вміст	В середньому по досліді	Фактичний вміст	В середньому по досліді	Фактичний вміст	В середньому по досліді	
Сірий лісовий	0,42 0,34 0,30 0,30	0,34 ± 0,05	0,24 0,27 0,31 0,30	0,28 ± 0,03	0,24 0,27 0,21 0,19	0,22 ± 0,04	0,28
Чорнозем типовий	0,29 0,30 0,24 0,32	0,28 ± 0,03	0,18 0,19 0,20 0,18	0,18 ± 0,01	0,17 0,22 0,19 0,16	0,18 ± 0,01	0,21
Дерново підзолистий піщаний	0,32 0,35 0,41 0,40	0,37 ± 0,04	0,21 0,20 0,20 0,22	0,21 ± 0,01	0,19 0,23 0,21 0,16	0,20 ± 0,03	0,26

Таблиця 2 – Вміст кальцію у вегетативній масі сільфію пронизанолістого, %

Тип ґрунтів	Роки досліджень						В середньому з за 2023-2025 рр. вегетації
	2023		2024		2025		
	Фактичний вміст	В середньому по досліді	Фактичний вміст	В середньому по досліді	Фактичний вміст	В середньому по досліді	
Сірий лісовий	1,44 1,30 1,22 1,53	1,37 ± 0,14	1,71 1,63 1,60 1,74	1,67 ± 0,07	1,66 1,72 1,68 1,61	1,66 ± 0,02	1,56
Чорнозем типовий	1,44 1,32 1,11 1,29	1,29 ± 0,14	1,52 1,43 1,44 1,56	1,48 ± 0,03	1,44 1,49 1,42 1,38	1,43 ± 0,04	1,40
Дерново підзолистий піщаний	1,03 1,22 1,27 1,13	1,16 ± 0,11	1,14 1,02 1,21 1,07	1,11 ± 0,04	1,00 1,16 0,98 0,92	1,01 ± 0,05	1,09

Таблиця 3 – Вміст кальцію у вегетативній масі мальви пенсільванської, %

Тип ґрунтів	Роки досліджень						В середньому з за 2023-2025 рр. вегетації
	2023		2024		2025		
	Фактичний вміст	В середньому по досліді	Фактичний вміст	В середньому по досліді	Фактичний вміст	В середньому по досліді	
Сірий лісовий	0,63 0,51 0,48 0,49	0,52 ± 0,07	0,33 0,37 0,35 0,31	0,34 ± 0,03	0,40 0,44 0,38 0,35	1,66 ± 0,04	0,41
Чорнозем типовий	0,97 0,80 0,88 0,90	0,88 ± 0,07	0,60 0,55 0,57 0,61	0,58 ± 0,03	0,55 0,62 0,58 0,52	0,56 ± 0,02	0,67
Дерново підзолистий піщаний	0,83 0,74 0,91 0,73	0,80 ± 0,08	0,47 0,52 0,50 0,54	0,50 ± 0,01	0,34 0,40 0,37 0,28	0,43 ± 0,03	0,57

Характеризуючи середній вміст кальцію у надземній вегетативній масі мальви пенсільванської за 2023-2025 роки вегетації необхідно відмітити, що даний показник на чорноземі типовому склав 0,67% тоді, як у аналогічній сировині одержаній на сірому лісовому ґрунті та дерново підзолистому піщаному даний показник був нижчий у 1,63 рази та 1,17 рази відповідно.

Висновки. Встановлено, що вміст у надземній вегетативній масі міскантусу вирощеного на різних ґрунтах (сірий лісовий, чорнозем типовий, дерново підзолистий піщаний) кальцію був у межах від 0,21% до 0,28%. Найвищий вміст кальцію 0,28% виявлено у надземній вегетативній масі міскантусу в середньому за три роки вегетації вирощеного на сірих лісових ґрунтах порівняно нижчі показники у 1,33 рази і 1,07 рази на чорноземі типовому та дерново підзолистому піщаному ґрунті. За вирощування сільфію пронизанолістого найвищий вміст кальцію 1,56% виявлено за вирощування на сірих лісових ґрунтах порівняно нижчі на чорноземі типо-

вому у 1,11 рази та дерново підзолистих піщаних у 1,43 рази. У надземній вегетативній масі мальви пенсільванської найвищий вміст кальцію спостерігався за вирощування даної культури на чорноземі типовому порівняно нижчий у 1,63 рази на сірому лісовому та 1,17 рази на дерново підзолистому піщаному ґрунті. В зростаючій регресії вмісту кальцію у надземній вегетативній масі енергетичних культур вирощених на різних ґрунтах спостерігається наступна: послідовність міскантус→мальва пенсільванська→сільфій пронизанолістий.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Ястремська Л.С., Пришляк Р.І., Федонюк Ю.В. Міскантус – енергетична культура для отримання біопалива. *Проблеми екологічної біотехнології*. 2017. №1. С.1–16. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/peb_2017_1_3
2. Razanov S., Aliksieiev O., Lykhochvor V., Vradii O., Razanova A., Datsko T., Holubieva T. Assessment of mineral composition of grey forest soils under energy crops

in the Western Forest Steppe of Ukraine. *International Journal of Environmental Studies*. 2025. Vol. 82, Issue 2. P. 771–777. DOI: 10.1080/00207233.2024.2445412

3. Ткаченко Т. В., Євдокименко В. О., Каменських Д. С., Філоненко М. М., Вахрін В. В., Кашковський В. І. Переробка рослинних відходів різного походження. *Наука та інновації*. 2018. № 2. С. 51-66. doi:10.15407/scin14.02.051

4. Вільова В.М., Опанасенко О.Г., Перець С.В., Тарасенко О.А. Водоспоживання енергетичних культур. *Science, world view and modern youth*. 2023. №8 (8). С. 15-19.

5. Риженко Н.В., Прошчалікіна А.М. Тенденції розвитку біоенергетики в Україні. *Вісник ЧНУ ім. Б. Хмельницького. Серія «Економічні науки»*. 2019. № 4. С. 163–171. DOI: 10.31651/2076-5843-2019-4-163-171

6. Полянський О. С., Д'яконов В.І., Д'яконов О.В. Комплексна оцінка і аналіз енергетичних показників існуючих технологій переробки рослинних відходів у паливні брикети. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2018. № 190. С. 192-202.

7. Razanov S., Aliksieiev O., Bakhmat O., Bakhmat M., Lytvyn O., Aliksieieva O., Vradii O., Mazur K., Razanova A., Mazurak I. Accumulation of chemical elements in the vegetative mass of energy cultures grown on gray forest soils in the Western Forest Steppe of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. Vol. 25 (9). P. 282–291. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/191439>

8. Марчук О.О., Бойко І.І., Гончарук Г.С. Якісні характеристики енергетичних культур. *Цукрові буряки*. 2017. № 2. С. 11–12.

9. Мазур В.А., Ганженко О.М., Шляхтуров Д.С. Стан і перспективи розвитку технологій вирощування біоенергетичних культур в Україні. *Сільське господарство та лісівництво*. 2017. Т. 1. № 7. С. 6–18.

10. Браніцький Ю.Ю., Мазур О.В. Кількісні показники рослин проса лозовидного за різних технологічних прийомів вирощування. *Сільське господарство та лісівництво*. 2019. № 12. С. 28–43.

11. Нікітенко М.П., Аверчев О.В. Впровадження елементів біологізації в рослинництві як чинник підвищення кваліфікації в умовах глобальних змін клімату. Збірник тез IV Міжнародної науково-практичної конференції «Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти» – Україна, м. Київ (21 квітня 2021р.). С. 193–196. <http://dspace.ksau.kherson.ua/handle/123456789/6389>

12. Бульо В.С., Сорочинський В.В., Оліфір Ю.М. Роль нетрадиційних органічних добрив у регулюванні родючості сірих лісових ґрунтів. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2008. Вип. 50. С. 12-20.

13. Цицюра Я.Г., Неїлик М.М., Дідур І.М., Поліщук М.І. Сидерація як базова складова біологізації сучасних систем землеробства: монографія. Вінниця. ТОВ «Друк», 2022. 770 с.

14. Вільова В.М., Опанасенко О.Г., Перець С.В. Особливості вирощування міскантусу гігантського на осушуваних органічних ґрунтах Лівобережного Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. Том 97. №8. 2019. С. 60-66. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201908-10>

15. Aliksieiev O.O., Vradii O.I. Organic agriculture as an element of soil preservation and restoration. *Сільське господарство та лісівництво*. 2023. № 3 (30). С. 228–239. DOI: 10.37128/2707-5826-2023-3-17

16. Перець С.В. Міскантус гігантський – перспективи вирощування на енергетичні цілі в умовах осушуваних торфових ґрунтів Лісостепу. III-я Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Науково-інноваційний супровід збалансованого природокористування», присвячена пам'яті професора С.Т. Вознюка та 95-річчю з Дня народження, 29-30 вересня 2022 року Національний університет водного господарства та природокористування. Рівне. НУВГП. 2023. С. 96-97.

17. Razanov S., Aliksieiev O., Aliksieieva O., Vradii O., Mazur K., Puyu V., Piddubna A., Povochnikov M., Postoienco D., Zelisko O. The content of heavy metals and trace elements in different soils used under the conditions of homestead plots and field agricultural lands of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. Vol. 25 (6). P. 42–50. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/186820>

REFERENCES:

1. Iastremska L.S., Pryshliak R.I., Fedoniuk Yu.V. (2017) Miskantus – enerhetychna kultura dlia otrymannia biopalyva [Miscanthus – an energy crop for biofuel production]. *Problemy ekolohichnoi biotekhnolohii*. №1. S.1–16. [in Ukrainian].

2. Razanov S., Aliksieiev O., Lykhochvor V., Vradii O., Razanova A., Datsko T., Holubieva T. (2025) Assessment of mineral composition of grey forest soils under energy crops in the Western Forest Steppe of Ukraine. *International Journal of Environmental Studies*. Vol. 82, Issue 2. P. 771–777. doi: 10.1080/00207233.2024.2445412

3. Tkachenko T.V., Yevdokymenko V.O., Kamenskykh D.S., Filonenko M.M., Vakhryn V.V., Kashkovskiy V.I. (2018) Pererobka roslynnykh vidkhodiv riznoho pokhodzhennia [Processing of plant waste of various origins]. *Nauka ta innovatsii*. № 2. S. 51-66. doi:10.15407/scin14.02.051 [in Ukrainian].

4. Virovka V.M., Opanasenko O.H., Perets S.V., Tarasenko O.A. (2023) Vodospozhyvannia enerhetychnykh kultur [Water consumption of energy crops]. *Science, world view and modern youth*. №8 (8). S. 15-19. [in Ukrainian].

5. Ryzhenko N.V., Proshchalykina A.M. (2019) Tendentsii rozvytku bioenerhetyky v Ukraini. *Visnyk ChNU im. B. Khmelnytskoho* [Trends in the development of bioenergy in Ukraine]. *Seriia «Ekonomichni nauky»*. № 4. S. 163–171. doi: 10.31651/2076-5843-2019-4-163-171 [in Ukrainian].

6. Polianskyi O.S., Diakonov V.I., Diakonov O.V. (2018) Kompleksna otsinka i analiz enerhetychnykh pokaznykiv isnuuyuchykh tekhnolohii pererobky roslynnykh vidkhodiv u palyvni brykety [Comprehensive assessment and analysis of energy performance of existing technologies for processing plant waste into fuel briquettes]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka*. № 190. S. 192-202. [in Ukrainian].

7. Razanov S., Aliksieiev O., Bakhmat O., Bakhmat M., Lytvyn O., Aliksieieva O., Vradii O., Mazur K., Razanova A., Mazurak I. (2024) Accumulation of chemical

elements in the vegetative mass of energy cultures grown on gray forest soils in the Western Forest Steppe of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. Vol. 25 (9). P. 282–291. doi: <https://doi.org/10.12911/22998993/191439>

8. Marchuk O.O., Boiko I.I., Honcharuk H.S. (2017) Yakisni kharakterystyky enerhetychnykh kultur [Qualitative characteristics of energy crops]. *Tsukrovi buriaky*. № 2. S. 11–12. [in Ukrainian].

9. Mazur V.A., Hanzhenko O.M., Shliakhturov D.S. (2017). Stan i perspektyvy rozvytku tekhnologii vyroshchuvannya bioenerhetychnykh kultur v Ukraini [Status and prospects for the development of bioenergy crop cultivation technologies in Ukraine]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo*. T. 1. № 7. S. 6–18. [in Ukrainian].

10. Branitskyi Yu.Iu., Mazur O.V. (2019) Kilkisni pokaznyky roslyn prosa lozovydnoho za riznykh tekhnolohichnykh pryiomiv vyroshchuvannya [Quantitative indicators of vine millet plants under different technological cultivation methods]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo*. № 12. C. 28–43. [in Ukrainian].

11. Nikitenko M.P., Averchev O.V. (2021) Vprovadzhennia elementiv biolohizatsii v roslynnytstvi yak chynnyk pidvyshchennia kvalifikatsii v umovakh hlobalnykh zmin klimatu [Introduction of elements of biologization in crop production as a factor of professional development in the context of global climate change]. *Zbirnyk tez IV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Klimatychni zminy ta sil'ske hospodarstvo. Vyklyky dlia aharnoï nauky ta osvity» – Ukraina, m. Kyiv (21 kvitnia 2021r.)*. S. 193–196. [in Ukrainian].

12. Bulov V.S., Sorochynskyi V.V., Olifir Yu.M. (2008) Rol netradytsiinykh orhanichnykh dobryv u rehulivanni rodiuchosti sirykh lisovykh gruntiv [The role of non-traditional organic fertilizers in regulating the fertility of gray forest soils]. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynytstvo*. Vyp. 50. C. 12-20. [in Ukrainian].

13. Tsytsiura Ya.H., Neilyk M.M., Didur I.M., Polishchuk M.I. (2022) Syderatsiia yak bazova skladova biolohizatsii suchasnykh system zemlerobstva [Sideration as a basic component of biologization of modern agricultural systems]: monohrafiia. *Vinnytsia. TOV «Druk»*, 770 s. [in Ukrainian].

14. Virovka V.M., Opanasenko O.H., Perets S.V. (2019) Osoblyvosti vyroshchuvannya miskantusu hihantskoho na osushuvanykh orhanohennykh gruntakh Livoberezhnoho Lisostepu [Peculiarities of growing giant miscanthus on drained organic soils of the Left-Bank Forest-Steppe]. *Visnyk aharnoï nauky*. Tom 97. №8. S. 60-66. doi: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201908-10> [in Ukrainian].

15. Aliksieiev O.O., Vradii O.I. (2023) Organic agriculture as an element of soil preservation and restoration. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo*. № 3 (30). S. 228–239. doi: [10.37128/2707-5826-2023-3-17](https://doi.org/10.37128/2707-5826-2023-3-17)

16. Perets S.V. (2023) Miskantus hihantskyi – perspektyvy vyroshchuvannya na enerhetychni tsili v umovakh osushuvanykh torfovykh gruntiv Lisostepu [Miscanthus giganteus – prospects for cultivation for energy purposes in conditions of drained peat soils of the Forest-Steppe]. *III-ya Mizhnarodna naukovo-praktychna internet-konferentsiia «Naukovoinnovatsiinyi suprovod zbalansovanoho pryrodokorystuvannia»*, prysviachena pamiaty profesora S.T. Vozniuka ta

95-richchiu z Dnia narodzhennia, 29-30 veresnia 2022 roku Natsionalnyi universytet vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Rivne. NUVHP. S. 96-97. [in Ukrainian].

17. Razanov S., Aliksieiev O., Aliksieieva O., Vradii O., Mazur K., Puyu V., Piddubna A., Povoznikov M., Postoienko D., Zelisko O. (2024) The content of heavy metals and trace elements in different soils used under the conditions of homestead plots and field agricultural lands of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. Vol. 25 (6). P. 42–50. [in Ukrainian]. doi: <https://doi.org/10.12911/22998993/186820>

Алексєєв О.О., Шувар І.А., Бахмат О.М., Врадїй О.І. Інтенсивність накопичення кальцію у надземній вегетативній масі енергетичних культур за вирощування на різних ґрунтах

Мета статті – дослідження накопичення кальцію у надземній вегетативній масі енергетичних культур в залежності від типу ґрунтів та років вегетації.

Методи. Дослідження вмісту кальцію в надземній масі міскантусу, сільфію пронизанолистого та мальви пенсільванської проводили протягом 2023–2025 рр. на базі трьох типів ґрунтів: сірий лісовий (с. Гнівань, Вінницька обл.); чорнозем типовий (с. Станілівка, Вінницька обл.); дерново-підзолистий піщаний (с. Грозино, Житомирська обл.).

Зразки рослинної маси відбирали восени методом точкових проб. Лабораторний аналіз виконували в Інституті сільського господарства Полісся НААН (м. Житомир) за допомогою комплексометричного титрування Трилоном Б.

Для підготовки проб рослинну масу мінералізували шляхом спалювання в муфельній печі при 500–550°C. Отриманий зольний залишок розчиняли в хлоридній кислоті (HCl) з наступним фільтруванням та доведенням до робочого об'єму. У наших дослідженнях було застосовано класичний комплексометричний метод.

Результати. Енергетичні культури через високу урожайність помітно впливають на агрохімічний стан ґрунтів, що супроводжується зміною їх складу. Одним із важливих елементів є кальцій, особливо на ґрунтах з високим рН середовищем. Тому контроль за винесенням вегетативною масою енергетичних культур з ґрунтів кальцію є важливим завданням для прогнозованого їх відновлення та використання в перспективі.

Досліджено інтенсивність накопичення кальцію надземною вегетативною масою енергетичними культурами (міскантус, сільфія пронизанолистий, мальва пенсільванська) вирощених на різних ґрунтах (сірий лісовий, чорнозем типовий, дерново-підзолистий піщаний).

Виявлено чітку тенденцію до накопичення кальцію надземною вегетативною масою енергетичних культур в залежності від типу ґрунтів, культури та років вегетації. За вирощування міскантусу на сірому лісовому ґрунті, чорноземі типовому та дерново-підзолистому піщаному ґрунті найвищий вміст кальцію виявлено за першого року вегетації, на другий та третій рік спостерігалось поступове зниження, найвищий вміст кальцію у вегетативній масі міскантусу за першого року вегетації виявлено на дерново-підзолистих піщаних ґрунтах, тоді як на другий та третій рік на сірих лісових ґрунтах.

Вміст у вегетативній масі сільфію пронизанолистого вирощеної на сірих лісових ґрунтах та

чорноземі типовому із збільшенням років вегетації (1-3) підвищувався тоді, як на дерново-підзолистих навпаки знижувався. Найвищий вміст кальцію виявлено у вегетативній масі сільфії пронизанолистого протягом всіх трьох років вегетації вирощеного на сірих лісових ґрунтах.

У надземній вегетативній масі мальви пенсільванської вирощеної на сірих лісових ґрунтах, чорноземі типовому та дерново-підзолистому ґрунтах вміст кальцію на другому та третьому роках вегетації знижувався порівняно з першим роком вегетації. Найвищий вміст кальцію у надземній вегетативній масі мальви пенсільванської спостерігався за вирощування даної культури на чорноземі типовому.

Висновки. Результати досліджень показали, що концентрація кальцію в надземній масі міскантусу варіювала від 0,21% до 0,28% залежно від типу ґрунту. Максимальний показник (0,28%) зафіксовано на сірих лісових ґрунтах, що в 1,33 та 1,07 раза перевищує значення, отримані на чорноземах типових і дерново-підзолистих піщаних ґрунтах відповідно. Для сільфії пронизанолистого також характерний найвищий вміст кальцію на сірих лісових ґрунтах (1,56%), тоді як на чорноземах він був нижчим у 1,11 раза, а на дерново-підзолистих – у 1,43 раза. На відміну від попередніх культур, мальва пенсільванська накопичувала найбільше кальцію на чорноземах типових; на сірих лісових та дерново-підзолистих ґрунтах цей показник був меншим у 1,63 та 1,17 раза відповідно. Загалом, за здатністю до накопичення кальцію досліджувані культури утворюють такий зростаючий ряд: міскантус → мальва пенсільванська → сільфії пронизанолистий.

Ключові слова: вирощування, енергетичні культури, кальцій, ґрунти, вегетативна маса.

Aliexsieiev O.O., Shuvar I.A., Bakhmat O.M., Vradii O.I. Intensity of calcium accumulation in the above-ground vegetative mass of energy crops when grown on different soils

The purpose of the article is to study the accumulation of calcium in the aboveground vegetative mass of energy crops depending on the type of soil and years of vegetation.

Methods. The study of calcium content in the above-ground mass of *Miscanthus x giganteus*, *Sida hermaphrodita* and *Silphium perfoliatum* was carried out during 2023–2025 on the basis of three types of soils: gray forest (village Hnivan, Vinnytsia region); typical black soil (village Stanylivka, Vinnytsia region); so podzolic sandy (village Grozyno, Zhytomyr region).

Plant mass samples were taken in the fall by spot sampling method. Laboratory analysis was performed at the Institute of Agriculture of Polissya NAAS (Zhytomyr) using complexometric titration with Trilon B.

To prepare the samples, the plant mass was mineralized by burning in a muffle furnace at 500–550°C. The obtained ash residue was dissolved in hydrochloric acid (HCl) with subsequent filtration and adjustment to the working volume. In our studies, the classical complexometric method was used.

Results. Energy crops, due to their high yield, significantly affect the agrochemical state of soils, which is accompanied by a change in their composition. One of the important elements is calcium, especially on soils with a high pH environment. Therefore, control over the removal of calcium by the vegetative mass of energy crops from calcium soils is an important task for their predicted recovery and use in the future.

The intensity of calcium accumulation by the aboveground vegetative mass of energy crops (*Miscanthus x giganteus*, *Sida hermaphrodita* and *Silphium perfoliatum*) grown on different soils (gray forest, typical black soil, sod podzolic sandy) was studied.

A clear trend towards the accumulation of calcium by the aboveground vegetative mass of energy crops depending on the type of soil, crop and years of vegetation was revealed. When growing miscanthus on gray forest soil, typical chernozem and soddy-podzolic sandy soil, the highest calcium content was found in the first year of vegetation, in the second and third years a gradual decrease was observed, the highest calcium content in the vegetative mass of *Miscanthus x giganteus* in the first year of vegetation was found on soddy-podzolic sandy soils, while in the second and third years on gray forest soils.

The content in the vegetative mass of *Silphium perfoliatum* grown on gray forest soils and typical chernozem with increasing years of vegetation (1-3) increased, while on soddy-podzolic, on the contrary, it decreased. The highest calcium content was found in the vegetative mass of *Silphium peneplain* during all three years of vegetation grown on gray forest soils.

In the above-ground vegetative mass of *Sida hermaphrodita* grown on gray forest soils, typical chernozem and sod-podzolic soils, the calcium content in the second and third years of vegetation decreased compared to the first year of vegetation. The highest calcium content in the above-ground vegetative mass of *Sida hermaphrodita* was observed when this crop was grown on typical chernozem.

Conclusions. The results of the studies showed that the calcium concentration in the above-ground mass of *Miscanthus x giganteus* varied from 0.21% to 0.28% depending on the type of soil. The maximum indicator (0.28%) was recorded on gray forest soils, which is 1.33 and 1.07 times higher than the values obtained on typical chernozem and sod-podzolic sandy soils, respectively. *Sida hermaphrodita* is also characterized by the highest calcium content on gray forest soils (1.56%), while on chernozems it was 1.11 times lower, and on sod-podzolic soils – 1.43 times. Unlike previous crops, *Sida hermaphrodita* accumulated the most calcium on typical chernozems; on gray forest and sod-podzolic soils this indicator was 1.63 and 1.17 times lower, respectively. In general, the studied crops form the following increasing series in terms of their ability to accumulate calcium: *Miscanthus x giganteus* → *Sida hermaphrodita* → *silphium pendulous*.

Key words: cultivation, energy crops, calcium, soils, vegetative mass.

Дата першого надходження статті до видання: 24.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.04.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

ВПЛИВ СУЧАСНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ БОБОВИХ КУЛЬТУР У ПОВОЄННОМУ ВІДНОВЛЕННІ ҐРУНТІВ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

АЛМАШОВА В.С. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент
orcid.org/0000-0001-6180-1096
Херсонський державний аграрно-економічний університет

Постановка проблеми. Різке спадання родючості ґрунтів через воєнні дії на нашій території викликає глибоке занепокоєння. На превеликий жаль, вибухи снарядів спричинили руйнування верхнього шару ґрунтів у зонах бойових дій, забруднивши ґрунтового середовища хімічними речовинами та важкими металами. З'явилися суттєві негаразди з відновленням біоенергетичного потенціалу ґрунтів. Навіть до повномасштабного вторгнення світ щороку втрачав сумарно 32 млн. тонн гумусу із ґрунтів, а екологічно-економічні збитки тоді перевищували 9,1 млрд. грн. Тому нагально необхідно вже зараз зосередити увагу на цьому питанні, аби у майбутньому, використовуючи сучасні біотехнології для рекультивативної, розширити площі для вирощування рослин, здатних до фітореMediaції щель відновлення та покращення стану ґрунтового середовища [6].

Аналіз стану порушених земель в Україні свідчить про прискорення темпів їхньої деградації. За останні тридцять років вміст гумусу в українських ґрунтах знизився у середньому на 20% порівняно з радянським періодом, коли завдяки високому рівню перегною не відчувалася нестача його внесення на поля. Зменшення потенційної здатності ґрунтів до родючості, скорочення обсягів меліоративних робіт, а також колосальні масштаби деградації ґрунтів — усе це призводить до недобору 10 млн. тонн якісної сільгосппродукції у зерновому еквіваленті. Підтримання та покращення родючості ґрунтів можливе лише за умови застосування меліоративних підходів, що стимулюють їхню біологічну активність та забезпечують необхідний баланс елементів живлення, життєво важливий для повноцінного розвитку рослин [8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно із зауваженнями деяких науковців, горох, перебуваючи у симбіозі з бульбочковими азотофіксуючими бактеріями, спроможний засвоювати до двох сотень кілограмів біологічного азоту на гектар, з яких до сімдесяти відсотків іде на формування врожаю, а сорок відсотків залишається у ґрунті післяживними рештками, що покращує його родючість [9].

Уперше про потенціал бобових культур накопичувати азот було висвітлено французьким агрохіміком Д. Буссенго, котрий встановив, що бобові культури збагачують ґрунти азотом під час росту та після збору врожаю, тоді як зернові, навпаки, їх виснажують. Цю особливість він пов'язував із біологічною здатністю бобових фіксувати азот із повітря, хоча й помилково вважав, що процес цієї фіксації відбувається у листках.

Через кілька десятиліть було з'ясовано, що бобові фіксують молекулярний азот лише на своїх коренях, і то лише у спільній життєдіяльності з бактеріями, які розвиваються там протягом вегетації рослини. Згодом, через п'ятнадцять років, голландський вчений Г. Бейеринк виділив бактерії з бульбочок гороху і розпочав їх вивчення. Плануючи заходи з фітореMediaції, мусимо брати до уваги як вид забруднення, так і потенційну подальшу придатність біомаси. Це дасть змогу не тільки ефективно оздоровити ґрунти, а й забезпечить додатковий економічний зиск та мінімізує загрози для здоров'я громадян. ФітореMediaція, як спосіб рекультивативної території, забруднених речовинами, має великий потенціал для охорони природних систем та забезпечення сталого розвитку аграрного сектору в Україні.

Завдяки залученню рослин-гіперакумуляторів можна досягти відчутного зниження кількості важких металів у ґрунтах, що посприяє відновленню біорізноманіття та поліпшенню екологічного стану вражених ділянок. У подальших наукових пошуках треба сфокусуватися на вдосконаленні методів фітореMediaції для різних типів ґрунтів та забруднюючих агентів, а також на вивченні можливостей інтеграції цих методів у загальні програми екологічного оздоровлення та раціонального землекористування.

Мета. Мета роботи – дослідити, що використання бобових культур у післявоєнний період для фітореMediaції пошкоджених бойовими діями ґрунтів призводить до відновлення та стабілізації родючості ґрунтового середовища. Завдання при цьому були у нас наступні:

1. Оцінити поточну ситуацію із земельними ресурсами України, зосередившись на якісних параметрах їхньої родючості.

2. Вивчити, як культивування бобових на півдні України впливає на якість ґрунту, та оцінити їхній потенціал у фітореMediaції.

3. Здійснити ґрунтовий аналіз на вміст гумусу, а також азоту, фосфору та калію (NPK) у дослідних ділянках після збору врожаю гороху з метою встановлення рівня гумусу.

4. Розробити пропозиції щодо застосування бобових рослин у межах технологій післявоєнної фітореMediaції ґрунтів Українського Степу.

Об'єктом дослідження є процес впливу використання сидеральних культур (на прикладі бобових) на якісний стан родючості ґрунтів півдня України в контексті змін клімат.

Предмет досліджень – основні якісні показники родючості темно-каштанових ґрунтів під дією досліджуваних факторів.

Матеріали та методика досліджень. Досліди з вивчення даного питання проводили в польовій сівозміні «Херсонський державний аграрно-економічний університет» протягом 2017-2019 рр. Для даної території характерні темно-каштанові ґрунти. Вони мають невеликий гумусовий горизонт (25-30 см), малий вміст гумусу (1,7-1,9%) та слабку грудкувату структуру.

Проведення польового дослідження супроводжувалось фенологічними спостереженнями, аналізом рослинних зразків та ґрунту. Фіксувались дати проходження фенофаз. Розташування варіантів – рендомізоване. Агротехніка при проведенні дослідження була загальноприйнятною для овочевого гороху при його вирощуванні в нашій зоні. Вивчення ступеню азотфіксації рослин гороху, яка істотно впливає на його продуктивність, ми робили за кількістю бульбочок азотфіксуючих бактерій на коренях по варіантах дослідження у фазі вегетації, бутонізації, цвітіння, наливу насіння [5].

Дослідження проводились за схемою за схемою:

I. Фактор А. Передпосівна обробка насіння гороху:

1. N₃₀P₄₀ – фон.
2. Фон + обробка насіння бором.
3. Фон + обробка насіння молібденом.
4. Фон + обробка насіння бором і молібденом.

II Фактор В. Строки сіви:

1. Ранній строк – III декада березня.
2. Пізній строк – I декада квітня.

Серед головних ознак, що зумовлюють здатність гороху до пристосування, виділяють: характер росту стебла, одночасність дозрівання, несхильність до осипання, а також потенціал урожайності. Саме цими рисами вирізнявся сорт «Альфа» овочевого гороху, який ми обрали для нашого дослідження.

Після збору врожаю у межах проведених експериментів, нами було виконано ґрунтовий аналіз з метою з'ясування рівня вмісту гумусу та основних елементів живлення – NPK – відповідно до усталених методик. При цьому, вміст гумусу визначали за методикою Тюріна, яка ґрунтується на процесі окиснення вуглецю гумусу ґрунту за допомогою суміші дихромату калію та сірчаної кислоти. Додатково, на експериментальній ділянці були залишені цілинні (пар, без жодної рослинності) та засіяні ярим ячменем (культура, яка не фіксує азот) ділянки. Це дало нам змогу отримати дані щодо кількості гумусу та рухомих сполук азоту, фосфору й калію в ґрунті для подальшого зіставлення з показниками наших досліджуваних варіантів.

Результати досліджень. Війна наносить ґрунтам України шкоду, яка матиме довготривалий характер. Значна ділянка земельних угідь стане непридатною для експлуатації через велику кількість утворених вирв, тонни металобрухту та різноманітного сміття, а також забруднення важкими металами та хімікатами. Для реабілітації ґрунту, забрудненого подібним чином, можна поступово запроваджувати культури, здатні активно вилучати забруднювачі та, бажано, формувати значну біомасу. Як приклад, бобові культури ефективно виводять зі ґрунту великі обсяги свинцю, кадмію, міді та

цинку, будучи придатними для фітореMediaції ґрунтового середовища, оскільки після збору врожаю вони додатково збагачують ґрунти азотом. Відтак, відновлення та поліпшення якісного стану ґрунтів на півдні України є надзвичайно актуальним завданням у повоєнний період (з докладним обґрунтуванням наукових досягнень).

Наші дослідження були зосереджені на визначенні потенційного впливу застосування добрив із вмістом бору та молібдену (при обробці насіннєвого матеріалу овочевого гороху) на акумуляцію гумусу у темно-каштанових ґрунтах південного регіону України. Стимулюючий вплив бору та молібдену на формування кореневого апарату овочевого гороху був виразно помітний вже на початкових етапах його розвитку. На етапі трьох справжніх листочків саме протруювання насіння боромолібденовою композицією демонструвало найвищий позитивний ефект щодо розвитку коренів. Відомості про масу кореневої системи овочевого гороху в ґрунті у фазі формування бутонів наведено у таблиці 1.

Згідно з відомостями, наведеними у Таблиці 1, маса кореневої системи у верхньому шарі ґрунту зазнавала коливань протягом років досліджень, і головним фактором, що визначає ці зміни, була забезпеченість рослин вологою. У періоди з більш сприятливим режимом зволоження ця маса була на 12–20% вищою, аніж у посушливий рік.

Можна дійти висновку, що передпосівна обробка насіння овочевого гороху бором та молібденом стимулює розвиток кореневої системи. Найбільш відчутний приріст сухої маси коренів овочевого гороху в орному шарі ґрунту забезпечує саме спільна обробка насіння бором і молібденом, перевищуючи показники контрольного варіанта на 60%.- Вплив досліджуваних факторів на вміст гумусу в ґрунті (0-30см) і його приріст після збирання гороху наведено у таблиці 2.

Після збору врожаю ми здійснювали аналіз ґрунту на вміст гумусу та основних елементів живлення (NPK) за всіма дослідними варіантами. Це дало змогу провести порівняльну оцінку кількості гумусу та рухомих форм азоту, фосфору та калію в ґрунті.

На жаль, через бойові дії, тисяча гектарів українських угідь зазнали бомбардувань, проте існує й інша тривожна проблема для аграріїв – хімічне забруднення українських земель. Кожен артилерійський вибух на полях спричиняє хімічне забруднення, а наслідки ударної хвилі – це формування воронок, ущільнення ґрунтового середовища, знищення рослинності в зоні вибуху та загибель ґрунтової фауни. Ці фактори змінюють водний режим і руйнують структуру ґрунтів, що неминуче веде до ерозії та подальшого обезлюднення (опустелювання) території. Біда в тому, що у вибухових пристроях бойової зброї використовуються хімічні сполуки, стійкі до біорозкладання, і, накопичуючись у ґрунтово-поглинальному комплексі, вони здатні спричинити деградацію як самого ґрунту, так і поверхневих вод. Тому зараз настав час подумати про план післявоєнного відновлення деградованих ґрунтів за допомогою фітореMediaції.

Таблиця 1 – Маса коренів гороху овочевого в орному шарі ґрунту в фазу бутонізації під впливом обробки насіння бором та молібденом, г/м²

№	Варіанти	Роки досліджень				±% до контролю
		2017	2018	2019	середнє	
I строк сівби						
1	N ₃₀ P ₄₀ – фон	57	42	51	50	Контр.
2	Фон + обробка насіння бором	67	52	62	60	+20
3	Фон + обробка насіння молібденом	80	70	76	75	+50
4	Фон + обробка насіння бором і молібденом	86	74	80	80	+60
II строк сівби						
1	N ₃₀ P ₄₀ – фон	54	40	48	47	Контр.
2	Фон + обробка насіння бором	61	47	57	55	+17
3	Фон + обробка насіння молібденом	73	64	69	69	+48
4	Фон + обробка насіння бором і молібденом	79	70	76	75	+59

Таблиця 2 – Вплив досліджуваних факторів на вміст гумусу в ґрунті (0-30см) і його приріст після збирання гороху

Варіант	Вміст гумусу, %	Приріст гумусу, % відносно фону N ₃₀ P ₄₀	Приріст гумусу, т/га відносно фону N ₃₀ P ₄₀
N ₃₀ P ₄₀ – фон	2,13	0,00	0,00
Фон + обробка насіння бором	2,17	+0,04	1,44
Фон + обробка насіння молібденом	2,21	+0,08	2,88
Фон + обробка насіння бором і молібденом	2,24	+0,11	3,96

Особливо велике значення має спроможність рослин до ризодеградації, коли вони не самі, а за участі мікроорганізмів, що мешкають поблизу кореневої системи чи в ризосфері, сприяють розкладанню забруднюючих вуглеводнів [5]. Коріння слугує мікроорганізмам місцем для закріплення та збагачує органічними речовинами ризосферу; цим процесам властивий, наприклад, бобові культури. Внаслідок корневих виділень рослин у ґрунт потрапляє складна суміш органічних кислот, цукрів, вітамінів, пуринів, амінокислот, нуклеозидів, ферментів та інших сполук [9]. Наразі питання фітореградації ділянок, забруднених нафтою, активно розглядається науковцями. Деякі дослідники радять застосовувати трав'янисті рослини, а також представників родин бобових та злакових.

Для фітореградації ґрунтів на півдні України буде дуже цінним розширення посівних площ під бобові культури, зокрема горох овочевий, адже після збору ми отримаємо не лише поживну та смачну білкову продукцію, а й лишимо в ґрунтового комплексі азотофіксуючі кореневі бульбочки, які, накопичуючись у ґрунті, збагачують його органічними рештками.

Саме такий процес веде до відновлення деградованих ґрунтів, зокрема, підвищуючи вміст гумусу та його якісний склад. Для застосування у цій технології рослини повинні відповідати таким критеріям: мати швидкий ріст, активно нарощувати біомасу

та володіти на кореневій системі азотфіксуючими бульбочками. Таким чином, з вищевикладеного випливає, що рослини є не лише джерелом кисню, їжі та тепла для людини, кормом для худоби та птахів, будівельного матеріалу, а і як фітореграданти беруть активну участь у підтримці екологічної рівноваги на нашій планеті через засвоєння та метаболічну деградацію антропогенних отрут.

Висновки. Згідно проведених нами досліджень встановлено наступне:

1) досліджувані чинники істотно впливали на кількість бульбочок на коренях гороху овочевого в усі фази розвитку. Збільшення кількості бульбочкових бактерій в усіх досліджуваних варіантах спостерігалось до періоду бобоутворення, після чого, до часу настання технічної стиглості, їх кількість зменшувалась;

2) як свідчать отримані дані досліджень, після збирання гороху овочевого в орному шарі ґрунту найбільше гумусу містилося за внесення N₃₀P₄₀ та обробки насіння бором і молібденом сумісно;

3) в цілях відновлення деградованих земель в степовій зоні України у післявоєнний період слід використовувати технологію фітореградації. Для відновлення ґрунтового середовища та мікробіоти, які постраждали від військових дій ми пропонуємо вирощування гороху овочевого з додаванням мікробіологічних препаратів, оскільки сумісне

їх застосування істотно впливає на накопичення гумусу.

Отже, для відновлення та стабілізації родючості ґрунтів, які постраждали від бойових дій на території Степу України, слід збільшити частку посівних посівів під вирощування зернобобових, тому що після їх збирання вміст гумусу в грантовому середовищі збільшується.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Бушулян О. Принц бобового царства. Особливості вирощування нуту за безгербіцидної технології. Пропозиція. 2017. № 5. С. 78–83.

2. Вуйко О. М. Вплив мікродобрив та біопрепаратів на формування продуктивності гороху в умовах Лісостепу України. Аграрні інновації. 2022. 10(2). С. 48–55. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.11.2>

3. Гадзало Я. М., Ібатуллин І. І., Лузан Ю. Я. Інституціональне забезпечення функціонування продовольчої системи України в сучасних кризових умовах. Вісник аграрної науки. 2022. № 8. С. 5–15. <https://doi.org/10.31073/agrovisn>

4. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні 22.10.2025.xlsx. URL: <https://minagro.gov.ua/file-storage/reyestr-sortiv-roslin>

5. Дідур І. М., Мостовенко В. В. Фотосинтетична активність гороху овочевого залежно від сортових особливостей, вапнування ґрунту та системи живлення. Сільське господарство та лісівництво. Вінниця: ВНАУ-Вінниця; 2020. № 19. С. 42–50.

6. Іщенко В. А., Томашина Г. П., Темченко А. М. Резерв підвищення урожайності гороху в Степу. Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН. 2013. 18. С. 52–60.

7. Кириченко В.В. (2019). Ідентифікація ознак зернобобових культур (квасоля, нут, сочевиця): навч. посібник: за ред. В. В. Кириченка. Харків: ІР ім. В. Я. Юр'єва УААН. 117 с.

8. Козар С. Ф., Халеп Ю. М., Євтушенко Т. А., Ворона О. В. Економічна та енергетична ефективність інокуляції гороху посівного новим штамом *Rhizobium leguminosarum* G222. Сільськогосподарська мікробіологія. 2023. 38. С. 51–58. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.38.51-58>

9. Лемішко С. М., Черних С. А., Пашова В. Т. Кореневі гнілі агрофітоценозів гороху в умовах Північного Степу України. Таврійський науковий вісник. 2021. 121. С. 58–66. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.121>

10. Лемішко С. М. Оцінка впливу інкрустації та інокуляції насіння гороху на показники продуктивності. Таврійський науковий вісник. 2020. 116(1). С. 141–149. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.1.29>

11. Мулярчук О. І., Степанченко В. М., Козина Т. В. Сортові особливості формування листової поверхні і фотосинтетичного потенціалу рослин гороху овочевого. Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. 2024. Вип. 4 (45). С. 33–38.

REFERENCES:

1. Bushulian, O. (2017). Prynys bobovoho tsarstva. Osoblyvosti vyroshchuvannya nutu za bezgherbitydnoi tekhnolohii [Prince of the bean kingdom. Peculiarities

of growing chickpeas using herbicide-free technology]. Propozyttsiia 5. 78–83 [in Ukrainian].

2. Vuyko, O. M. (2022). Vplyv mikrodrobryv ta biopreparativ na formuvannya produktyvnosti horokhu v umovakh Lisostepu Ukrainy [Effect of micronutrients and bioproducts on pea productivity under the Forest-Steppe conditions of Ukraine]. Ahrarni innovatsii, 10(2), 48–55. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.11.2> [in Ukrainian]

3. Hadzalo, Ya. M., Ibatullin, I. I., & Luzan, Yu. Ya. (2022). Instytutsionalne zabezpechennia funktsionuvannia prodovolchoi systemy Ukrainy v suchasnykh kryzovykh umovakh [Institutional support for the functioning of Ukraine's food system under modern crisis conditions]. Visnyk ahrarnoi nauky, 8, 5–15. <https://doi.org/10.31073/> [in Ukrainian].

4. Derzhavnyi reiestr sortiv roslyn, prydatnykh dlia poshyrennia v Ukraini_22.10.2025.xlsx. [State Register of Plant Varieties Suitable for Distribution in Ukraine_22.10.2025.xlsx.] URL: <https://minagro.gov.ua/file-storage/reyestr-sortiv-roslin> [in Ukrainian].

5. Didur I. M., & Mostovenko V. V. (2020). Fotosyntetychna aktyvnist' horokhu ovochevoho zalezno vid sortovykh osoblyvostey, vapnuvannya hruntu ta systemy zhyvlennya [Photosynthetic activity of green peas depending on varietal characteristics, soil liming and nutrition system]. Sil's'ke hospodarstvo ta lisivnytstvo, 19, 42–50 [in Ukrainian].

6. Kyrychenko V. V. (2019). Identyfikatsiia oznak zernobobovykh kultur (kvasolia, nut, sochevtsia): navch. posibnyk [Identification of signs of legume crops (beans, chickpeas, lentils): training manual]: za red. V. V. Kyrychenka. Kharkiv : IR im. V. Ya. Yurieva UAAN, 117 s [in Ukrainian].

7. Kozar, S. F., Khalep, Yu. M., Yevtushenko, T. A., & Voronaia, O. V. (2023). Ekonomichna ta enerhetychna efektyvnist inokuliatsii horokhu posivnoho novym shtamom *Rhizobium leguminosarum* H222 [Economic and energy efficiency of pea inoculation with a new *Rhizobium leguminosarum* H222 strain]. Silskohospodarska mikrobiolohiia, 38, 51–58. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.38.51-58> [in Ukrainian].

8. Lemishko, S. M., Chernykh, S. A., & Pashova, V. T. (2021). Korenevi hnili ahrifitotsenoziv horokhu v umovakh Pivnichnoho Stepu Ukrainy [Root rots of pea agrophytocenoses in the Northern Steppe of Ukraine]. Tavriiskyi naukovyi visnyk, 121, 58–66. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.121.8> [in Ukrainian].

9. Lemishko, S. M. (2020). Otsinka vplyvu inkurstatsii ta inokuliatsii nasinnia horokhu na pokaznyky produktyvnosti [Assessment of the effect of seed incrustation and inoculation on pea productivity indicators]. Tavriiskyi naukovyi visnyk, 116(1), 141–149. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.116.1.29> [in Ukrainian].

10. Ishchenko, V. A., Tomashyna, H. P., & Temchenko, A. M. (2013). Rezerv pidvyshchennia urozhainosti horokhu v Stepu [Reserves for increasing pea yield in the Steppe]. Biuletyn Instytutu silskoho hospodarstva stepovoi zony NAAN, 18, 52–60 [in Ukrainian].

11. Muliarchuk, O. I., Stepanchenko, V. M., & Kozina, T. V. (2024). Sortovi osoblyvosti formuvannya lystkovoї poverkhnii i fotosyntetychnoho potentsialu roslyn

horokhu ovochevoho [Varietal characteristics of leaf surface formation and photosynthetic potential in vegetable pea plants]. Podilskyi Visnyk: Silske gospodarstvo, tekhnika, ekonomika, 4 (45), 33–38. [in Ukrainian].

Алмашова В.С. Вплив сучасної технології вирощування бобових культур у повоєнному відновленні ґрунтів півдня України

Мета роботи. Мета роботи – дослідити, що використання бобових культур у післявоєнний період для фітореMediaції пошкоджених бойовими діями ґрунтів призводить до відновлення та стабілізації родючості ґрунтового середовища.

Методи роботи. Проведення польового дослідження супроводжувалося фенологічними спостереженнями, аналізом рослинних зразків та ґрунту. Фіксувалися дати проходження фенофаз. Розташування варіантів – рендомізоване. Агротехніка при проведенні дослідження була загальноприйнятою для овочевого гороху при його вирощуванні в нашій зоні. Вивчення ступеню азотфіксації рослин гороху, яка істотно впливає на його продуктивність, ми робили за кількістю бульбочок азотфіксуючих бактерій на коренях по варіантах дослідження у фазі вегетації, бутонізації, цвітіння, наливу насіння.

Основні результати. Матеріали, які викладені в даній роботі є результатами проведених досліджень та вказують на необхідність вирощування саме тих рослин, які здатні до фітореMediaції. Для відновлення ґрунтового середовища та мікробіоти, які постраждали від військових дій ми пропонуємо вирощування гороху овочевого з додаванням мікробіологічних препаратів, оскільки сумісне їх застосування істотно впливає на накопичення гумусу.

Висновки. Згідно проведених досліджень встановлено, що темпи деградації ґрунтового середовища через ведення бойових дій на території півдня України прискорюються, тому першочергово у післявоєнний час слід займатися відновленням та стабілізацією родючості ґрунтів для повноцінного ведення сільськогосподарської діяльності. Для відновлення та стабілізації родючості ґрунтів, слід збільшити частку посівних посівів під вирощування зернобобових, тому що після їх збирання вміст гумусу в ґрунті збільшується.

Ключові слова: бобові культури, фітореMediaція, горох овочевий, органічне землеробство, гумус, ґрунтове середовище, підвищення родючості.

Almashova V.S. The Impact of Modern Legume Cultivation Technology on the Post-War Restoration of Soils in Southern Ukraine

Purpose of the Study. The purpose of the study was to investigate whether the use of legume crops in the post-war period for phytoremediation of soils damaged by military activities leads to the restoration and stabilization of soil fertility.

Research Methods. The field experiment was accompanied by phenological observations, as well as analysis of plant samples and soil. The dates of phenological phases were recorded. The arrangement of experimental variants was randomized. Agricultural practices used during the experiment followed the standard regional recommendations for growing vegetable peas. The degree of nitrogen fixation in pea plants, which significantly affects productivity, was assessed by counting the number of nitrogen-fixing bacterial nodules on the roots across experimental variants during the stages of vegetative growth, budding, flowering, and seed filling.

Main Results. The materials presented in this paper are the results of conducted research and indicate the necessity of cultivating plants capable of phytoremediation. To restore the soil environment and microbiota affected by military actions, we propose growing vegetable peas with the addition of microbiological preparations, as their combined application significantly contributes to humus accumulation.

Conclusions. According to the conducted research, it has been established that the rate of soil degradation caused by military activities in southern Ukraine is accelerating. Therefore, in the post-war period, priority should be given to restoring and stabilizing soil fertility to ensure the full resumption of agricultural activities. To restore and stabilize soil fertility, the proportion of crops sown for growing legumes should be increased, because after their harvesting, the humus content in the soil medium increases.

Key words: legumes, phytoremediation, vegetable pea, organic farming, humus, soil environment, fertility enhancement.

Дата першого надходження статті до видання: 27.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.04.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

АЛЕЛОПАТИЧНА ДІЯ ПІСЛЯЖНИВНИХ РЕШТОК ПОПЕРЕДНИКІВ НА РІСТ ТА РОЗВИТОК ПІЗНІХ ЯРИХ КУЛЬТУР У ЮВЕНІЛЬНИЙ ПЕРІОД

АНДРІЄНКО А.Л. – кандидат сільськогосподарських наук, с.н.с.

orcid.org/0000-0002-2318-9454

Інститут сільського господарства Степу Національної академії аграрних наук України

СЕМЕНЯКА І.М. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент

orcid.org/0000-0002-8905-5387

Інститут сільського господарства Степу Національної академії аграрних наук України

АНДРІЄНКО О.О. – кандидат сільськогосподарських наук, с.н.с., доцент

orcid.org/0000-0003-1982-1151

Центральноукраїнський національний технічний університет

ТКАЛІЧ Ю.І. – доктор сільськогосподарських наук, професор

orcid.org/0000-0003-2208-0163

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Постановка проблеми. У науковій літературі термін *алелопатія* був уведений Гансом Молішем і походить від грецьких слів *allelon* – «взаємно» та *pathos* – «зазнавати впливу», що первинно використовувалося для опису пригнічувального впливу однієї рослини на іншу. У сучасному розумінні алелопатія розглядається значно ширше й охоплює весь спектр позитивних і негативних ефектів, зумовлених дією хімічних сполук, які формуються переважно в процесах вторинного метаболізму рослин, а також мікроорганізмів, грибів і вірусів. Ці біологічно активні речовини – алелохімікати – відіграють важливу роль у регулюванні ростових процесів і функціонуванні екосистем [1, 2].

У сільськогосподарських системах ці взаємодії можуть проявлятися у вигляді синергічних або антагоністичних ефектів між культурами, що вирощуються послідовно, впливати на рівень забур'яненості агроценозів, а також визначати здатність культурних рослин пригнічувати розвиток алелопатично активних бур'янів [3, 4].

Водночас реалізація алелопатичного потенціалу в агротехнологіях потребує зваженого підходу. Такі агрономічні прийоми, як добір покривних культур, формування послідовностей культур у сівозміні, мульчування ґрунту рослинними рештками, повинні базуватися на урахуванні можливих алелопатичних ризиків, щоб уникнути пригнічення наступних культур [5, 6]. За раціонального використання алелопатичних властивостей рослин можливі й позитивні ефекти, зокрема підвищення ефективності використання вологи, посилення стійкості рослин до водного стресу та зниження ураженості окремими ґрунтовими фітопатогенами [7, 8].

Засновник концепції алелопатії та низка сучасних дослідників розглядають її як форму складної біохімічної взаємодії не лише між рослинами, але й між рослинами та ґрунтовою мікробіотою, яка може проявлятися як у вигляді антагоністичних, так і синергічних ефектів. У цьому контексті алелопатія трактується як сукупність негативних

і позитивних взаємодій, що відіграють важливу роль у функціонуванні агроєкосистем і природних фітоценозів [9–12].

Фундаментальні положення алелопатії, закладені у працях В. І. Вернадського, були суттєво доповнені експериментальними дослідженнями академіка А. М. Гродзинського та його наукової школи [13, 14]. Зокрема, ними сформульовано поняття ґрунтовоми, яке пов'язує із накопиченням фізіологічно активних речовин у ґрунті за умов монокультури або порушених сівозмін і яке не обмежується лише однорічними рослинами. Це положення має принципове значення для сучасних систем землеробства, орієнтованих на інтенсифікацію та біологізацію агровиробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Алелопатія є важливим екологічним чинником, що визначає характер взаємодії рослин в агроценозах. Вона реалізується через виділення біологічно активних сполук, які можуть як стимулювати, так і пригнічувати проростання насіння, ріст і розвиток культурних рослин та бур'янів. Встановлення й урахування алелопатичних взаємозв'язків є ключовим для оптимізації сівозмін, стабілізації фітосанітарного стану посівів та підвищення продуктивності агроценозів [15].

Особливе місце в алелопатичних процесах належить колінам – основним носіям алелопатичної активності, хімічний склад і концентрація яких можуть істотно змінюватися навіть у межах однієї рослини. Їхній вміст у ґрунті залежить від фази розвитку культури, активності мікроорганізмів, гідротермічних умов та інтенсивності розкладання рослинних решток [16, 17]. Накопичення колінів у ґрунті здатне змінювати його хімічні властивості та мікробіологічний склад, що, у свою чергу, може як пригнічувати, так і стимулювати ріст сусідніх рослин. Зокрема, алелопатичні сполуки можуть інгібувати проростання насіння інших видів або навіть рослин власного виду, що проявляється у формі аутооточності [18].

Алелохімікати впливають на рослини комплексно, змінюючи морфологічні й анатомічні ознаки, гальмуючи рух протоплазми, порушуючи процеси фотосинтезу, активність ферментних систем, а також вуглецевий і білковий обміни [19]. Загальний механізм алелопатичної дії включає синтез і виділення донорною рослиною специфічних сполук, їх накопичення та трансформацію в ґрунті, поглинання іншими рослинами і вплив на їх фізіологічний стан та продуктивність агроценозу в цілому [17, 20].

Особливої уваги в цьому контексті заслуговують післяжнивні рештки попередників, під час розкладання яких рослини та ґрунтова мікробіота утворюють широкий спектр фізіологічно активних речовин із різною інтенсивністю та напрямом дії. Алелопатичний ефект післяжнивних решток тісно пов'язаний із явищем ґрунтової: наприклад, залишки льону містять сполуки, які пригнічують ріст наступних посівів цієї культури та знижують її врожайність [21, 22].

Сучасні дослідження підтверджують, що алелопатичні взаємодії істотно визначають рівень схожості насіння та перебіг ранніх ростових процесів культурних рослин. Зокрема, екстракти післяжнивних решток і фітохімічні компоненти можуть значно знижувати схожість насіння та пригнічувати початковий ріст. Причому, ефект залежить від виду рослини-донора та концентрації екстракту. Так, *Ambrosia artemisiifolia* L. істотно зменшує схожість насіння соняшнику, гороху та кукурудзи [23, 24].

Результати сучасних оглядових робіт свідчать про ключову роль алелопатії у функціонуванні агро-екосистем та можливості її цілеспрямованого використання для підвищення продуктивності сівозмін і біологічного контролю бур'янів через регулювання біохімічних взаємодій [25]. Паралельно розвивається напрям досліджень, спрямований на використання алелопатичних властивостей попередників і покривних культур для підвищення сталості систем землеробства та оптимізації обробітку ґрунту [26].

Отже, результати досліджень останніх років переконливо підтверджують, що післяжнивні рештки попередників можуть чинити істотний алелопатичний вплив на проростання насіння, рівномірність сходів і ранній розвиток рослин. Це зумовлює актуальність подальшого вивчення алелопатичної дії рослинних решток з метою наукового обґрунтування сівозмін і розробки агротехнологічних заходів, спрямованих на мінімізацію негативних та використання позитивних алелопатичних ефектів у сучасному землеробстві.

Мета. Встановити алелопатичний вплив післяжнивних решток пшениці озимої, кукурудзи, сої та соняшнику польову схожість насіння кукурудзи, сої та соняшнику, а також оцінити роль попередників і систем основного обробітку ґрунту у формуванні початкового росту та розвитку рослин у ювенільний період.

Матеріали та методика досліджень. Лабораторно-польові та польові дослідження виконували у 2010–2012 рр. на базі Інституту сільського господарства Степу НААН із використанням спеціально виділених польових ділянок на виконання програм наукових досліджень Національної академії

аграрних наук України «Землеробство» «Зернові культури» та «Олійні культури», в умовах Північного Степу України. Для цього регіону характерним є помірно континентальний клімат. Ґрунт – чорнозем звичайний глибокий середньогумусний важкосуглинковий, який скипає на глибині 50–55 см. Реакція ґрунтового розчину рН – 6,5–7,0, тобто є близькою до нейтральної. В орному шарі ґрунту вміст гумусу високий – 4,69%, легкогідролізованого азоту – 137 (низький), рухомого фосфору – 100 (середній), обмінного калію – 151 мг/кг ґрунту (високий).

Програма досліджень передбачала встановити вплив попередників та способів основного обробітку ґрунту на польову схожість та ростові процеси пізніх ярих культур у ювенільний період. Основний метод досліджень – лабораторно-польовий і польовий (короткотерміновий та стаціонарний) досліди, а також методи математичної статистики – дисперсійний і кореляційний аналізи (Рожков А.О., Пузик В.К., Каленська С.М. та ін., 2016).

В польових дослідах застосовували технологічні системи вирощування пізніх ярих культур (кукурудза, соя, соняшник) в короткоротаційних сівозмінах із використанням побічної продукції (П.П.) попередніх культур за органо-мінеральної системи удобрення (П.П.+N₄₀P₄₀K₄₀). Перед проведенням обробітку ґрунту всі ділянки були оброблені подрібнювачем пожнивних решток (FALK-4,0), для рівномірного мульчування поверхні ґрунту.

Основний обробіток ґрунту, як фактор дослідження, проводили поділянково: у варіанті з глибоким обробітком ґрунту – дискування на 8–10 см (АГ–2,4) та полицеву оранку на 25–27 см (ПОН 5–35); у варіанті з мілким обробітком ґрунту – дискування на 8–10 см (АГ–2,4) та повторне дискування на 10–12 см (УДА–4,2); у варіанті з нульовим (на 0 см) обробітком ґрунту – прямою сівбу. Передпосівний обробіток ґрунту, у варіантах де він необхідний, складався з весняного боронування зябу важкими зубовими боронами та культивування на 5–7 см.

Для захисту від вегетуючих бур'янів навесні, за 2 тижні до сівби пізніх ярих культур, застосовували гербіцид суцільної дії Раундап®, 48% в.р. (2,0 л/га). Ґрунтовий гербіцид Харнес, 90% к.е. (2,5 л/га) вносили перед сівбою в усіх варіантах дослідження: на ділянках глибокого та мілкового обробітку ґрунту його загорання суміщали з передпосівною культивування, а на ділянках з нульовим обробітком ґрунту, де застосовували лише прямою сівбу, – залишали на поверхні ґрунту без загорання. На початку вегетації кукурудзи (фаза 4–5 листків) додатково застосовували страховий гербіцид МайсТер® 62 WG (0,15 кг/га) + ПАР БіоПауер® (1,0 л/га), а по сходах сої – страховий гербіцид Фабіан® (0,1 кг/га).

Типовою для Північного Степу, де виконували дослідження, є нестійка та недостатня вологозабезпеченість. Упродовж року опади випадають нерівномірно, середньорічна їх сума – 499 мм. У весняно-літній період в окремі роки проявляється періодична нестача вологи. Середньо-багаторічний показник ступеню зволоження території в період активної вегетації пізніх ярих культур (за температури повітря понад +10°C) – гідротермічний коефіцієнт (ГТК)

Селянінова становить 1,0. Роки досліджень були неоднаково сприятливими для росту й розвитку рослин пізніх ярих культур за температурним режимом і вологозабезпеченням.

Так, умови вегетації пізніх ярих культур 2010 р. були посушливими. Сума активних температур (понад +10 °С) з травня по вересень перевищила норму на 744 °С, а ГТК склав 0,81. Складні умови росту й розвитку рослин сільськогосподарських культур були під час наливу зерна/насіння в серпні, коли запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0–100 см були недостатніми – 62,0–71,2 мм, що негативно вплинуло на формування продуктивності посівів. Агриметеорологічні умови 2011 р. навпаки були сприятливими за забезпеченням посівів вологою саме в критичні періоди росту та розвитку рослин пізніх ярих культур. В цілому, сума активних температур становила 3156,6 °С, на 462 °С більше за норму, а ГТК=0,81 – на 20% нижчий за норму (посушливі умови). Водночас, погодні умови періоду вегетації кукурудзи, сої та соняшнику 2011 р. коливалися від дуже сухих – ГТК=0,17–0,37 (періоди: сівба – сходи; дозрівання зерна/насіння) до надмірно зволжених – ГТК=2,52 (період активного росту та розвитку рослин), що сприяло максимальній реалізації потенціалу продуктивності сортів/гібридів пізніх ярих культур за період досліджень. Погодні умови періоду вегетації 2012 р. внаслідок високого температурного режиму, недостатньої кількості опадів і нерівномірного їх випадання (в окремі періоди у вигляді зливових дощів із градом і шквальним вітром) негативно вплинули на формування продуктивності рослин кукурудзи, сої та соняшнику. Сума активних температур за травень – вересень становила 3417,3 °С, на 722,6 °С більше за норму, а ГТК=0,49, що характеризує погодні умови як сухі.

Результати досліджень. Вплив попередників на ріст і розвиток кукурудзи проявляється вже на етапі проростання насіння. Польова схожість істотно змінювалася залежно від виду попередника та системи основного обробітку ґрунту. Вищі показники польової схожості відмічали при сівбі кукурудзи після сої: 90,5% – за оранки та 85,0% – за прямої сівби. Менш сприятливі умови для формування сходів склалися після соняшнику – 86,3% за оранки та 83,5% – за нульового обробітку, що може свідчити про виражений алелопатичний вплив його післяжнивних решток (табл. 1).

Повторні посіви кукурудзи характеризувалися відносно високими показниками схожості за глибокого обробітку ґрунту (89,7%) і дещо нижчими – за прямої сівби (84,5%), що вказує на слабко виражений автотоксичний ефект. Незалежно від попередника, мінімізація основного обробітку ґрунту супроводжувалася зниженням показників польової схожості насіння кукурудзи.

У фазу 7–8 листків максимальна висота рослин кукурудзи формувалася після сої: 76,7 см за оранки, 74,3 см за дискового обробітку та 68,3 см за прямої сівби. Найменші показники росту зафіксовано після соняшнику – відповідно 70,3; 65,7 і 63,7 см, що підтверджує пригнічувальну дію його післяжнивних

решток. Після пшениці озимої та кукурудзи на зерно спостерігалось помірне зниження інтенсивності росту, яке особливо посилювалося за відсутності механічного обробітку ґрунту. Дискування та пряма сівба зменшували висоту рослин кукурудзи порівняно з оранкою на 3,0–6,6% і 9,5–11,3% відповідно.

У фазу 11–12 листків тенденції зберігалися: найбільша висота рослин відмічалася після сої (124,3 см – за оранки), тоді як після соняшнику показники знижувалися до 117,3 см за оранки та 108,0 см – за нульового обробітку. За дискового обробітку та прямої сівби висота рослин була меншою порівняно з оранкою на 0,3–2,7% і 6,0–8,4% відповідно.

Таким чином, соя виявилася оптимальним попередником для кукурудзи, забезпечуючи максимальну польову схожість і найкращі показники росту у ювенільний період. Соняшник проявляв найбільш виражений алелопатичний ефект, тоді як негативний вплив пшениці озимої частково нівелювався за достатнього вологозабезпечення. Глибока оранка істотно зменшувала прояви алелопатичної дії післяжнивних решток.

Алелопатичний вплив післяжнивних решток попередників є одним із визначальних чинників формування польової схожості та початкового росту рослин сої. Взаємодія рослинних решток із ґрунтовим середовищем реалізується через надходження біологічно активних сполук, які можуть як стимулювати, так і пригнічувати проростання насіння та розвиток проростків залежно від виду попередника і системи основного обробітку ґрунту.

Вищу польову схожість насіння сої відмічали при сівбі після кукурудзи на зерно та соняшнику – 88,5–88,7% за оранки та 87,6–87,8% – за дискового обробітку (за прямої сівби – лише 84,5–85,0%). Найнижчі показники схожості спостерігалися у варіантах без обробітку ґрунту за повторної сівби сої та після пшениці озимої (83,5–84,0%), що свідчить про прояв автотоксичності та негативної алелопатичної дії післяжнивних решток. Мінімізація основного обробітку ґрунту незалежно від попередника зумовлювала зниження польової схожості насіння сої.

Водночас, дисковий обробіток і пряма сівба сприяли підвищенню запасів продуктивної вологи у шарі ґрунту 0–20 см на 3,1–4,0% та 4,4–7,3% відповідно, що зумовлено мульчувальним ефектом післяжнивних решток і зменшенням випаровування (табл. 2).

Запаси продуктивної вологи змінювалися залежно від попередника та системи обробітку ґрунту. Вищі показники були при сівбі сої після пшениці озимої та сої за нульового обробітку – 30,6 мм, а мінімальні – після соняшнику за оранки (26,4 мм).

Встановлено тісний зворотний кореляційний зв'язок між польовою схожістю насіння сої та запасами продуктивної вологи у шарі ґрунту 0–20 см ($r = -0,70$), а також між запасами вологи та висотою рослин у фазу двох пар справжніх листків ($r = -0,65$), що свідчить про складну взаємодію водного режиму й алелопатичних чинників.

Найінтенсивніший ріст рослин сої у фазу двох пар справжніх листків відмічали при вирощуванні

Таблиця 1 – Алелопатичний вплив попередників на ріст і розвиток рослин кукурудзи у ювенільний період за різного способу обробітку ґрунту, 2010–2012 рр.

Попередник (фактор А)	Основний обробіток ґрунту (фактор В)	Польова схожість, %	Висота рослин у фазу, см	
			7–8 листків	11–12 листків
Озима пшениця	оранка (25–27 см)	89,3	72,3	123,7
	дискування (10–12 см)	85,5	69,3	120,3
	нульовий обробіток	81,5	64,7	113,3
Соя	оранка (25–27 см)	90,5	76,7	124,3
	дискування (10–12 см)	89,5	74,3	121,7
	нульовий обробіток	85,0	68,3	114,3
Кукурудза	оранка (25–27 см)	89,7	74,0	123,0
	дискування (10–12 см)	88,5	70,7	121,3
	нульовий обробіток	84,5	65,7	115,7
Соняшник	оранка (25–27 см)	86,3	70,3	117,3
	дискування (10–12 см)	85,5	65,7	117,0
	нульовий обробіток	83,5	63,7	108,0

після кукурудзи на зерно та соняшнику: за глибокої оранки висота рослин становила 28,2–28,3 см, за дискового обробітку – 26,4–26,6 см, за прямої сівби – 24,4–24,7 см. Найменші показники висоти спостерігалися після пшениці озимої (27,7; 25,8 і 23,3 см відповідно), що підтверджує її пригнічувальний алелопатичний ефект. За повторної сівби сої висота рослин була лише на 0,1–0,2 см більшою, ніж після стерньового попередника, що свідчить про слабко виражену автотоксичність. Дисковий обробіток і пряма сівба зумовили нижчу висоту рослин сої порівняно з оранкою на 5,7–7,2% і 12,7–16,1% відповідно.

У фазу бутонізації тенденції зберігалися: максимальна висота рослин формувалася після кукурудзи на зерно та соняшнику (52,9–53,2 см за оранки), тоді як мінімальні значення були після пшениці озимої (51,6 см за оранки та 46,6 см за нульового обробітку). Повторна сівба сої супроводжувалася

помірним пригніченням росту, а за мінімізації обробітку ґрунту висота рослин була нижча на 2,0–5,3% (дискування) та 6,0–9,8% (пряма сівба).

Отже, глибока оранка забезпечувала найбільш сприятливі умови для формування сходів і стартового росту рослин сої незалежно від попередника, тоді як мілкий і нульовий обробіток посилювали негативний алелопатичний вплив післяживних решток. За інтенсивністю початкового росту кращими попередниками для сої виявилися кукурудза на зерно та соняшник. Пшениця озима у ювенільний період сої проявляла виражений пригнічувальний ефект, а повторне вирощування сої супроводжувалося проявами автотоксичності.

Аналогічні залежності простежувалися і для соняшнику. Вищу польову схожість насіння соняшнику відмічали за сівби після кукурудзи та сої за оранки (90,8–91,2%), тоді як у повторних посівах вона знижувалася до 88,7% за оранки та 84,0% – за

Таблиця 2 – Алелопатичний вплив попередників на ріст і розвиток рослин сої у початковий період за різного способу обробітку ґрунту, 2010–2012 рр.

Попередник (фактор А)	Основний обробіток ґрунту (фактор В)	Польова схожість, %	Вологість ґрунту перед сівбою (0–20 см), мм	Висота рослин у фазу, см	
				2 пари справжніх листків	бутонізація
Озима пшениця	оранка (25–27 см)	87,7	28,5	27,7	51,6
	дискування (10–12 см)	86,0	29,6	25,8	48,9
	нульовий обробіток	83,5	30,6	23,3	46,6
Соя	оранка (25–27 см)	87,2	29,1	27,9	52,0
	дискування (10–12 см)	86,3	30,0	25,9	49,3
	нульовий обробіток	84,0	30,6	23,4	48,4
Кукурудза	оранка (25–27 см)	88,5	28,0	28,2	53,2
	дискування (10–12 см)	87,6	29,0	26,6	51,8
	нульовий обробіток	85,0	29,2	24,4	49,4
Соняшник	оранка (25–27 см)	88,7	26,4	28,3	52,9
	дискування (10–12 см)	87,8	27,4	26,4	51,8
	нульовий обробіток	84,5	27,0	24,7	49,7

прямої сівби, що підтверджує автотоксичний характер взаємодії. У фазу 4–5 пар листків максимальна висота рослин сояшнику формувалася після кукурудзи та сої, а мінімальні показники відмічали у повторних посівах за нульового обробітку ґрунту (табл. 3).

Отже, оранка сприяла формуванню високих показників польової схожості насіння сояшнику та росту його рослин у початковий період розвитку незалежно від попередника, тоді як мінімізація обробітку ґрунту знижувала ці показники, що, ймовірно, пов'язано з негативним впливом післяжнив-

Таблиця 3 – Аделопатичний вплив попередників на ріст і розвиток рослин сояшнику в ювенільний період за різного способу обробітку ґрунту, 2010–2012 рр.

Попередник	Основний обробіток ґрунту	Польова схожість, %	Висота рослин у фазу 4–5 пар листків, см
Озима пшениця	оранка (25–27 см)	89,2	66,2
	дискування (10–12 см)	87,5	64,4
	нульовий обробіток	84,4	62,6
Соя	оранка (25–27 см)	91,2	68,6
	дискування (10–12 см)	90,2	67,2
	нульовий обробіток	87,7	63,7
Кукурудза	оранка (25–27 см)	90,8	67,3
	дискування (10–12 см)	89,5	66,3
	нульовий обробіток	87,1	63,2
Сояшник	оранка (25–27 см)	88,7	65,3
	дискування (10–12 см)	87,3	64,0
	нульовий обробіток	84,0	60,7

них решток. Більш сприятливими попередниками для стартового росту та розвитку сояшнику були кукурудза на зерно та соя, які забезпечували стабільно високу польову схожість і дружність сходів. Попередник пшениця озима у ювенільний період сояшнику мав незначний негативний аделопатичний вплив на проростки та рослини сояшнику. Повторна сівба сояшнику проявляла автотоксичний ефект, що призводило до зниження схожості та інтенсивності росту рослин.

Висновки. Аделопатичні взаємодії післяжнивних решток є важливим чинником у процесі формування польової схожості насіння та початкового росту й розвитку агрокультур. Оранка на 25–27 см сприяла зменшенню негативного впливу, а мінімізація обробітку ґрунту та пряма сівба – навпаки посилювала його, що пояснюється збереженням на поверхні значної кількості нерозкладених решток. Урахування аделопатичних ефектів післяжнивних решток, особливо сояшнику та зернових культур, на проростання насіння, стартовий ріст і розвиток пізніх ярих культур (кукурудзи, сої, сояшнику) при науковому обґрунтуванні сівозмін і виборі систем обробітку ґрунту є необхідною умовою сталої продуктивності агроценозів та підвищення ефективності біологізації землеробства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Olofsdotter M., Jensen L. B., Courtois B. Improving crop competitive ability using allelopathy – an example from rice. *Plant Breed.* 2002. Vol. 121. P. 1–9. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.2002.00662.x>
- Singh H. P., Batish D. R., Kohli R. K. Allelopathy in agroecosystems. *J. Crop Prod.* 2001. Vol. 4. P. 1–41. https://doi.org/10.1300/j144v04n02_01

- Ain Q., Mushtaq W., Shadab M., Siddiqui M. B. Allelopathy: an alternative tool for sustainable agriculture. *Physiol. Mol. Biol. Plants.* 2023. Vol. 29. P. 495–511. <https://doi.org/10.1007/s12298-023-01305-9>
- Kostina-Bednarz M., Plonka J., Barchanska H. Allelopathy as a source of bioherbicides: challenges and prospects for sustainable agriculture. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 2023. Vol. 22. P. 471–504. <https://doi.org/10.1007/s11157-023-09656-1>
- Chon S.-U., Jennings J. A., Nelson C. Alfalfa (*Medicago sativa* L.) autotoxicity: current status. *Allelopathy J.* 2006. Vol. 18. P. 57–80
- Oueslati O., Ben-Hammouda M., Ghorbal M. H., Guezzah M., Kremer R. J. Barley autotoxicity as influenced by varietal and seasonal variation. *J. Agron. Crop Sci.* 2005. Vol. 191. P. 249–254. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037x.2005.00156.x>
- Nageswara Rao V., Sastry R. K., Craufurd P., Meinke H., Parsons D., Rego T. J., Rathore A. Cropping systems strategy for effective management of Fusarium wilt in safflower. *Field Crops Res.* 2014. Vol. 156. P. 191–198. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.11.013>
- Stevenson P. C., Padgham D. E., Haware M. P. Root exudates associated with the resistance of four chickpea cultivars (*Cicer arietinum*) to two races of *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceri*. *Plant Pathol.* 1995. Vol. 44. P. 686–694. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1995.tb01692.x>
- Babych M., Kovalenko A. Food Security Indicators in Ukraine: Current State and Trends of Development. *Baltic J. Econ. Stud.* 2018. Vol. 4, № 1. P. 8–15. <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2018-4-1-8-15>
- Fadiji A. E., Adeniji A., Lanrewaju A. A. et al. Dynamics of soil microbiome and allelochemical interactions: an overview of current knowledge and

- prospects. *Ann. Microbiol.* 2025. Vol. 75. P. 21. <https://doi.org/10.1186/S13213-025-01812-Y>
11. Cipollini D., Rigsby C. M., Barto E. K. Microbes as targets and mediators of allelopathy in plants. *J. Chem. Ecol.* 2012. Vol. 38, № 6. P. 714–727. <https://doi.org/10.1007/s10886-012-0133-7>
12. Revillini D., David A. S., Reyes A. L. et al. Allelopathy-selected microbiomes mitigate chemical inhibition of plant performance. *New Phytol.* 2023. Vol. 240, № 5. P. 2007–2019. <https://doi.org/10.1111/nph.19249>
13. Гродзинський А. М. Алелопатія рослин та ґрунтового компонента / Вступ. ст. Е. А. Головка, В. В. Кваша. Київ: Наукова думка, 1991. 432 с.
14. Гродзинський А. М. Знову про фітоценотичну роль фізіологічно активних виділень рослин. *Український ботанічний журнал.* 1983. Т. 40, № 4. С. 1–10.
15. Юрчак Л. Д. Екологічні основи алелопатичної взаємодії та післядії ароматичних рослин в агрофітоценозах: автореф. дис. ... доктора с.-г. наук: 03.00.16 «Екологія». Київ, 2002. 35 с.
16. Гнатюк Н. О. Механізми прояву алелопатичної взаємодії рослин. *Таврійський науковий вісник.* 2023. № 131. С. 345–351. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.131.43>
17. Scavo A., Abbate C., Mauromicale G. Plant allelochemicals: agronomic, nutritional and ecological relevance in the soil system. *Plant Soil.* 2019. Vol. 442. P. 23–48. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04190-y>
18. Корнілова Н. А., Мороз В. В., Приведенюк Н. В., Глущенко Л. А. Особливості алелопатичної активності ґрунту в насадженнях енергетичних культур. Збалансоване природокористування. 2024. № 3. С. 97–104. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2024.314920>
19. Білявський Г. О., Падун М. М. Основи екології: підручник. Київ: Либідь, 2003. 408 с.
20. Cheng F., Cheng Z. Research progress on the use of plant allelopathy in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy. *Front. Plant Sci.* 2015. Vol. 6. P. 1020. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01020>
21. Ferreira M. I., Reinhardt C. F. Field assessment of crop residues for allelopathic effects on both crops and weeds. *Agron. J.* 2010. Vol. 102. P. 1593–1600. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0269>
22. An M., Pratley J. E., Haig T. Phytotoxicity of vulpia residues: IV. Dynamics of allelochemicals during decomposition of vulpia residues and their corresponding phytotoxicity. *J. Chem. Ecol.* 2001. Vol. 27, № 2. P. 395–409. <https://doi.org/10.1023/a:1005692724885>
23. Сторожик Л. І., Михайловин Ю. М. Хімічний складник та алелопатична дія метаболітів, продукованих амброзією полинолістою (*Ambrosia artemisiifolia* L.). *Новітні агротехнології.* 2024. Т. 12, № 3. <https://doi.org/10.47414/na.12.3.2024.317152>
24. Morozova T., Mudrak O., Mudrak G. Assessment of the allelopathic and phytotoxic effects of *Ambrosia artemisiifolia* L. residues on seed germination of key agricultural crops. *Agroecol. J.* 2025. P. 84–98. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2025.340783>
25. Kumar N., Singh H., Yadav S. et al. Physiological and molecular insights into the allelopathic effects on agroecosystems under changing environmental conditions. *Physiol. Mol. Biol. Plants.* 2024. Vol. 30. P. 1–17. <https://doi.org/10.1007/s12298-024-01440-x>
26. Nageswara Rao V., Meinke H., Kropff M. et al. Incorporating knowledge of allelopathic interactions can improve productivity and sustainability of crop rotations in the semi-arid tropics. *J. Agric. Food Res.* 2025. Vol. 22. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102026>

REFERENCES:

- Olofsdotter, M., Jensen, L. B., & Courtois, B. (2002). Improving crop competitive ability using allelopathy – an example from rice. *Plant Breeding*, 121, 1–9. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.2002.00662.x>
- Singh, H. P., Batish, D. R., & Kohli, R. K. (2001). Allelopathy in agroecosystems. *Journal of Crop Production*, 4, 1–41. https://doi.org/10.1300/j144v04n02_01
- Ain, Q., Mushtaq, W., Shadab, M., & Siddiqui, M. B. (2023). Allelopathy: An alternative tool for sustainable agriculture. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 29, 495–511. <https://doi.org/10.1007/s12298-023-01305-9>
- Kostina-Bednarz, M., Płonka, J., & Barchanska, H. (2023). Allelopathy as a source of bioherbicides: Challenges and prospects for sustainable agriculture. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 22, 471–504. <https://doi.org/10.1007/s11157-023-09656-1>
- Chon, S.-U., Jennings, J. A., & Nelson, C. (2006). *Alfalfa (Medicago sativa L.) autotoxicity: Current status. Allelopathy Journal*, 18, 57–80.
- Oueslati, O., Ben-Hammouda, M., Ghorbal, M. H., Guezzah, M., & Kremer, R. J. (2005). Barley autotoxicity as influenced by varietal and seasonal variation. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 191, 249–254. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037x.2005.00156.x>
- Nageswara Rao, V., Sastry, R. K., Craufurd, P., Meinke, H., Parsons, D., Rego, T. J., & Rathore, A. (2014). Cropping systems strategy for effective management of Fusarium wilt in safflower. *Field Crops Research*, 156, 191–198. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.11.013>
- Stevenson, P. C., Padgham, D. E., & Haware, M. P. (1995). Root exudates associated with the resistance of four chickpea cultivars (*Cicer arietinum*) to two races of *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceri*. *Plant Pathology*, 44, 686–694. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1995.tb01692.x>
- Babych, M., & Kovalenko, A. (2018). Food security indicators in Ukraine: Current state and trends of development. *Baltic Journal of Economic Studies*, 4(1), 8–15. <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2018-4-1-8-15>
- Fadji, A. E., Adeniji, A., Lanrewaju, A. A., et al. (2025). Dynamics of soil microbiome and allelochemical interactions: An overview of current knowledge and prospects. *Annals of Microbiology*, 75, 21. <https://doi.org/10.1186/S13213-025-01812-Y>
- Cipollini, D., Rigsby, C. M., & Barto, E. K. (2012). Microbes as targets and mediators of allelopathy in plants. *Journal of Chemical Ecology*, 38(6), 714–727. <https://doi.org/10.1007/s10886-012-0133-7>
- Revillini, D., David, A. S., Reyes, A. L., et al. (2023). Allelopathy-selected microbiomes mitigate chemical inhibition of plant performance. *New Phytologist*, 240(5), 2007–2019. <https://doi.org/10.1111/nph.19249>
- Hrodzynskyy A. M. (1991) Alelopatiya roslin ta gruntovtoma [Allelopathy of plants and soil fatigue] Vstup.

st. E. A. Holovka, V. V. Kvasha. Kyiv: Naukova dumka, 432 s. [in Ukrainian]

14. Hrodzynytsky A. M. (1983) Znovu pro fitotsenotychnu rol fiziologichno aktyvnykh vydilen Roslyn [Again on the phytocenotic role of physiologically active plant secretions.]. *Ukrayinskyy botanichnyy zhurnal*. T. 40, № 4. S. 1–10. [in Ukrainian]

15. Yurchak L. D. (2002) Ekologichni osnovy alelopatychnoyi vzayemodiyi ta pislyadiyi aromatychnykh roslyn v ahrofitotsenozakh [Ecological foundations of allelopathic interactions and aftereffects of aromatic plants in agroecosystems]: avtoref. dys. ... doktora s.-h. nauk: 03.00.16 «Ekolohiya». Kyiv. 35 s. [in Ukrainian]

16. Hnatyuk N. O. (2023) Mekhanizmy proyavu alelopatychnoyi vzayemodiyi roslyn [Mechanisms of allelopathic interactions in plants]. *Tavriyskyy naukovyy visnyk*. № 131. S. 345–351. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.131.43> [in Ukrainian]

17. Scavo, A., Abbate, C., & Mauromicale, G. (2019). Plant allelochemicals: Agronomic, nutritional and ecological relevance in the soil system. *Plant and Soil*, 442, 23–48. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04190-y>

18. Kornilova N. A., Moroz V. V., Pryvedenyuk N. V., Hlushchenko L. A. Osoblyvosti alelopatychnoyi aktyvnosti ґрунту v nasadzhennyakh enerhetychnykh kultur [Features of soil allelopathic activity in plantations of energy crops]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannya*. 2024. № 3. S. 97–104. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2024.314920> [in Ukrainian]

19. Bilyavskyy H. O., Padun M. M. (2003) Osnovy ekolohiyi: pidruchnyk [Fundamentals of ecology]. Kyiv: Lybid. 408 s. [in Ukrainian]

20. Cheng, F., & Cheng, Z. (2015). Research progress on the use of plant allelopathy in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1020. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01020>

21. Ferreira, M. I., & Reinhardt, C. F. (2010). Field assessment of crop residues for allelopathic effects on both crops and weeds. *Agronomy Journal*, 102, 1593–1600. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0269>

22. An, M., Pratley, J. E., & Haig, T. (2001). Phytotoxicity of *Vulpia* residues: IV. Dynamics of allelochemicals during decomposition of *Vulpia* residues and their corresponding phytotoxicity. *Journal of Chemical Ecology*, 27(2), 395–409. <https://doi.org/10.1023/a:1005692724885>

23. Storozhuk L. I., Mykhaylovyu Yu. M. (2024) Khimichnyy skladnyk ta alelopatychna diya metabolitiv, produkovanykh ambroziiyeyu polynolystoyu (*Ambrosia artemisiifolia* L.) [Chemical composition and allelopathic effect of metabolites produced by *Ambrosia artemisiifolia* L.]. *Novitni ahrotekhnolohiyi*. T. 12, № 3. <https://doi.org/10.47414/na.12.3.2024.317152> [in Ukrainian]

24. Morozova, T., Mudrak, O., & Mudrak, G. (2025). Assessment of the allelopathic and phytotoxic effects of *Ambrosia artemisiifolia* L. residues on seed germination of key agricultural crops. *Agroecological Journal*, 84–98. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2025.340783>

25. Kumar, N., Singh, H., Yadav, S., et al. (2024). Physiological and molecular insights into the allelopathic effects on agroecosystems under changing environmental conditions. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 30, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s12298-024-01440-x>

26. Nageswara Rao, V., Meinke, H., Kropff, M., et al. (2025). Incorporating knowledge of allelopathic interactions can improve productivity and sustainability of crop rotations in the semi-arid tropics. *Journal of Agriculture and Food Research*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102026>

Андрієнко А.Л., Семеняка І.М., Андрієнко О.О., Ткаліч Ю.І. Алелопатична дія післяжнивних решток попередників на ріст та розвиток пізніх ярих культур у ювенільний період

Мета. Встановити алелопатичний вплив водних витяжок післяжнивних решток пшениці озимої, кукурудзи, сої, соняшнику та гречки на енергію проростання, лабораторну й польову схожість насіння кукурудзи, сої та соняшнику, а також оцінити роль попередників і систем основного обробітку ґрунту у формуванні початкового росту та розвитку рослин у ювенільний період.

Методи. Дослідження проведено у 2010–2012 рр. в умовах Степу України в багатофакторному польовому та лабораторному дослідках із застосуванням загальноприйнятих польових, лабораторних і статистичних методів. Вивчали ефекти попередників за полицевої оранки, дискування та нульового обробітку ґрунту.

Результати. Встановлено, що алелопатичний вплив післяжнивних решток попередників істотно проявляється вже у ювенільний період розвитку пізніх ярих культур і значною мірою модифікується системою основного обробітку ґрунту. Польова схожість насіння кукурудзи була найвищою після сої (90,5% за оранки та 85,0% за прямої сівби), тоді як після соняшнику вона знижувалася до 86,3–83,5%, що свідчить про виражений пригнічувальний алелопатичний ефект його післяжнивних решток. Повторні посіви кукурудзи характеризувалися слабо вираженою автотоксичністю, особливо за нульового обробітку ґрунту. У фазах 7–8 та 11–12 листків максимальна висота рослин кукурудзи формувалася після сої (до 124,3 см за оранки), а мінімальні показники відмічали після соняшнику (108,0–117,3 см залежно від способу обробітку). Мінімізація обробітку знижувала інтенсивність росту кукурудзи на 3,0–11,3% порівняно з оранкою. Для сої встановлено зниження польової схожості за повторної сівби та після пшениці озимої (83,5–84,0% за нульового обробітку), що вказує на прояви автотоксичності та негативної алелопатичної дії стерньових решток. Найінтенсивніший початковий ріст сої спостерігався після кукурудзи на зерно та соняшнику. Виявлено тісний зворотний кореляційний зв'язок між польовою схожістю насіння сої та запасами продуктивної вологи у шарі ґрунту 0–20 см ($r = -0,70$). Для соняшнику найвищі показники польової схожості та висоти рослин у ювенільний період формувалися після кукурудзи та сої (90,8–91,2% за оранки), тоді як повторні посіви супроводжувалися зниженням схожості до 84,0% за прямої сівби, що підтверджує автотоксичний характер взаємодії.

Висновки. Алелопатичні взаємодії післяжнивних решток є важливим чинником у процесі формування польової схожості насіння та початкового росту й розвитку агрокультур. Оранка на 25–27 см сприяла зменшенню негативного впливу, а мінімізація обробітку ґрунту та пряма сівба – навпаки посилювала його, що пояснюється збереженням на поверхні значної кількості нерозкладених решток. Урахування алелопатичних ефектів післяжнивних решток, особливо соняшнику, гречки та зернових культур, на проростання насіння, стартовий ріст і розвиток пізніх ярих культур

(кукурудзи, сої, соняшнику) при науковому обґрунтуванні сівозмін і виборі систем обробітку ґрунту є необхідною умовою сталої продуктивності агроценозів та підвищення ефективності біологізації землеробства.

Ключові слова: побічна продукція; сівозміна; схожість насіння; кукурудза; соя; соняшник; обробіток ґрунту; пряма сівба.

Andriienko A.L., Semeniaka I.M., Andriienko O.O., Tkalic Yu.I. Allelopathic effect of post-harvest residues of predecessors on the growth and development of late spring crops in the juvenile period.

Purpose. To establish the allelopathic effect of aqueous extracts of post-harvest residues of winter wheat, corn, soybeans, sunflowers, and buckwheat on germination energy, laboratory and field germination of corn, soybean, and sunflower seeds, as well as to evaluate the role of predecessors and basic soil cultivation systems in the formation of initial plant growth and development during the juvenile period. **Methods.** The study was conducted in 2010–2012 in the steppe zone of Ukraine in multifactorial field and laboratory experiments using standard field, laboratory, and statistical methods. The effects of predecessors on plowing, discing, and zero tillage were studied. **Results.** It was found that the allelopathic effect of post-harvest residues of predecessors is already significantly manifested in the juvenile period of development of late spring crops and is significantly modified by the main soil cultivation system. The field germination of corn seeds was highest after soybeans (90.5% after plowing and 85.0% after direct sowing), while after sunflowers it decreased to 86.3–83.5%, which indicates a pronounced inhibitory allelopathic effect of its post-harvest residues. Repeated corn crops were characterized by weak autotoxicity, especially with zero tillage. In the 7–8 and 11–12 leaf stages, the maximum height of corn plants was formed after soybeans (up to 124.3 cm after plowing),

and the minimum values were observed after sunflowers (108.0–117.3 cm depending on the tillage method). Minimizing tillage reduced corn growth intensity by 3.0–11.3% compared to plowing. For soybeans, a decrease in field germination was observed during re-sowing and after winter wheat (83.5–84.0% with zero tillage), indicating the manifestation of autotoxicity and negative allelopathic effects of stubble residues. The most intensive initial growth of soybeans was observed after grain corn and sunflowers. A close inverse correlation was found between the field germination of soybean seeds and the reserves of productive moisture in the 0–20 cm soil layer ($r = -0.70$). For sunflowers, the highest field germination and plant height in the juvenile period were observed after corn and soybeans (90.8–91.2% after plowing), while repeated sowing was accompanied by a decrease in germination to 84.0% after direct sowing, confirming the autotoxic nature of the interaction.

Conclusions. Allelopathic interactions of post-harvest residues are an important factor in the process of field germination of seeds and the initial growth and development of crops. Plowing at a depth of 25–27 cm helped reduce the negative impact, while minimizing tillage and direct seeding, on the contrary, intensified it, which is explained by the preservation of a significant amount of undecomposed residues on the surface. Taking into account the allelopathic effects of post-harvest residues, especially sunflower, buckwheat, and grain crops, on seed germination, initial growth, and development of late spring crops (corn, soybeans, sunflowers) in the scientific justification of crop rotations and the selection of tillage systems is a necessary condition for the sustainable productivity of agroecosystems and increasing the effectiveness of the biologization of agriculture.

Key words: by-products; crop rotation; seed germination; corn; soybeans; sunflowers; soil cultivation; direct sowing.



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 13.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.04.2026

РЕГУЛЮВАННЯ БІОМЕТРИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КАРТОПЛІ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ ТЕРМІНІВ ПРОРОЩУВАННЯ

БУТЕНКО А.О. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент
orcid.org/0000-0001-9639-9826

Сумський національний аграрний університет

ДРОЗДЕНКО А.Ю. – аспірант кафедри біотехнології та хімії
orcid.org/0009-0004-9225-3183

Сумський національний аграрний університет

Постановка проблеми. Картопля – основа продовольчого кошика будь-якого українця та багатьох мешканців планети. Тому вплив передпосадкової підготовки бульб на подальший ріст і розвиток культури є стратегічно важливим аспектом сучасного рослинництва [1]. У заходах, що спрямовані на підвищення продуктивності картоплі, особливе місце посідає пророщування бульб. Цей технологічний прийом дозволяє не лише скоротити період від посадки до сходів, а й виступає дієвим інструментом впливу на біометричні показники культури.

Незважаючи на широке застосування цього методу у фермерських господарствах, питання кількісного та якісного впливу різних термінів пророщування на динаміку морфологічних показників сортів картоплі залишається актуальним і потребує детального наукового обґрунтування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ефективність вирощування картоплі за різкої зміни клімату, що останніми роками спостерігається в Україні, значною мірою залежить від строків посадки [2]. Внаслідок нестабільного зволоження та різких змін температури навесні значною мірою може коливатись асиміляційна поверхня та формування кореневої системи культури [6]. Пророщування ініціює фізіологічні процеси в бульбі ще до потрапляння у ґрунт, що забезпечує формування міцніших стебел, оптимізацію кількості пагонів у кущі та підвищення загальної біометричної стійкості культури до несприятливих факторів довкілля [3].

Так, наприклад, у дослідженні Chang та інших [5] було встановлено, що пророщування має суттєвий вплив на тривалість періоду «садіння-сходи», а також дозволяє суттєво збільшити кількість стебел на рослині. Дослідники також зазначають, що цей агрозахід позитивно впливає на урожайність та якість бульб, особливо для сортів, що зареєстровані як середньо- та пізньостиглі. Результати Nagman [7] висвітлюють позитивний вплив передпосадкового пророщування. Воно дозволило прискорити появу сходів картоплі та забезпечило приріст загальної врожайності в межах 7–24% порівняно з посадковим матеріалом, що не був пророщений перед висадкою. Попри те, що підготовлені бульби раніше вступали у фазу відмирання бадилля (некрозу) та виявляли вищу чутливість до фітофторозу в роки його ранньої появи, перевага у врожайності все ж була відмічена.

Дослідження Johansen та Molteberg [9] підтвердило, що передпосадкове пророщування бульб суттєво покращує енергію росту та прискорює появу сходів, хоча ефективність цього заходу значною мірою залежить від кліматичних умов року та конкретного сорту. Важливим висновком є те, що пророщування сприяє збільшенню кількості бульб на одну рослину, що, з одного боку, підвищує загальну врожайність, а з іншого – може призводити до дрібнішання фракцій та зниження частки товарної картоплі. Результати Kara та інші [10] показують, що вплив передпосадкового пророщування та термінів посадки на врожайність картоплі значною мірою залежить від сортових особливостей та цільової фракції бульб. Хоча загальна врожайність не завжди демонструвала статистично значущу залежність від самого лише фактору пророщування, цей захід виявився ефективним для регулювання виходу конкретних фракцій бульб залежно від обраної дати посадки. Дослідження Sawicka [13] та інших виявило, що передпосадкове пророщування картоплі має значущий вплив не лише на саму рослину, а й на агрохімічні та біологічні показники ґрунту. Зокрема, використання пророщеного насіннєвого матеріалу сприяло зростанню вмісту загального та нітратного азоту в ґрунті, а також розширенню співвідношення C:N.

У дослідженні Imanparast [8] вказано, що передпосадкове пророщування суттєво впливає на архітектуру рослин картоплі, зокрема на висоту стебла та кількість сформованих бульб. Встановлено, що занадто пізні терміни пророщування (наприклад, з середини квітня) призводять до збільшення кількості бульб, проте спричиняють зменшення їхнього розміру та питомої ваги, що в результаті знижує загальну врожайність. Найкращі показники продуктивності було зафіксовано при ранньому пророщуванні (з кінця березня).

Мета статті – встановити закономірності впливу різних термінів передпосадкового пророщування на формування біометричних показників та архітектуру рослин картоплі, а також визначити оптимальну тривалість підготовки бульб для забезпечення максимальної реалізації біологічного потенціалу сучасних сортів картоплі різних груп стиглості.

Матеріали та методи досліджень. Польові випробування було закладено у 2023 році на експериментальних площах ТОВ «Агробізнес ТСК»,

що територіально належать до Роменського району Сумської області. Вибір даної локації зумовлений її відповідністю типовим параметрам Лівобережного Лісостепу України, що відкриває можливості для верифікації адаптивної здатності картоплі до актуальних змін гідротермічного режиму регіону.

За результатами проведеної діагностики, орний шар характеризується нейтральним кислотності. Важливою характеристикою дослідної ділянки є висока потенційна родючість, зумовлена значним вмістом гумусових сполук (4,0–6,0%), що є вагомим чинником підтримання гомеостазу рослин у стресових умовах.

При аналізі поживного режиму встановлено помірний рівень забезпечення загальним азотом (15–25 мг/кг), хоча спостерігається певна мозаїчність його розподілу з локальним зростанням концентрації до 30 мг/кг і вище. Водночас виявлено суттєвий дефіцит фосфорного живлення, оскільки вміст доступних сполук фосфору коливається в межах низьких значень – 15–30 мг/кг.

Особливістю агрохімічного стану поля є виражений дисбаланс у забезпеченості калієм, вміст якого оцінюється як недостатній (50–100 мг/кг), що може виступати лімітуючим фактором. Разом з тим, ґрунтовий комплекс демонструє високу насиченість мезоелементами: рівень кальцію зафіксовано на відмітці понад 5000 мг/кг, а магнію – у межах 250–500 мг/кг. Забезпеченість сіркою є стабільною та відповідає середнім показникам (10–15 мг/кг).

Передпосадкова підготовка насінневого матеріалу проводилася в спеціально обладнаному приміщенні з можливістю регулювання гідротермічних та світлових режимів. Згідно зі схемою дослідів, тривалість пророщування становила 0 (контроль), 10 та 20 діб до моменту висадки у відкритий ґрунт. Для ініціації фізіологічних процесів та формування міцних, коротких паростків було забезпечено сталий температурний режим у межах 12–15°C. Для запобігання надмірній транспірації та зморщуванню бульб у приміщенні підтримувався стабільний рівень відносної вологості повітря в діапазоні 80–85%. Приміщення систематично провітрювалося для підтримання оптимального газового складу повітря та відведення надлишкового вуглекислого газу, що утворюється в процесі інтенсивного дихання проростаючих бульб.

Аналіз кліматичних умов вегетаційного сезону 2023 року (рис. 1) свідчить про динамічний характер змін температури та вологозабезпеченості, що суттєво впливало на ріст і розвиток досліджуваних сортів картоплі. Квітень характеризувався помірним тепловим режимом із середньою температурою 9,8 °C та достатньою кількістю опадів (54 мм), що сприяло формуванню запасів вологи в ґрунті. Проте, травень виявився критичним періодом через різке зростання температури до 15,5 °C на фоні суттєвого дефіциту вологи (лише 17 мм опадів), що могло лімітувати темпи появи сходів та початковий ріст надземної біомаси.

Літній період відзначався поступовим наростанням температурного фону та інтенсифікацією опадів. У червні середня температура повітря

склала 19,3 °C за норми опадів 71 мм, що забезпечило сприятливі умови для фази бутонізації та цвітіння. Липень характеризувався стабільно теплими умовами (21,6 °C) та оптимальним зволоженням (80 мм), що є критично важливим для інтенсивного процесу бульбоутворення та накопичення сухої речовини в урожаї.

Найбільш контрастним виявився завершальний етап вегетації у серпні. Показник середньої температури сягнув свого максимуму – 22,8 °C, що супроводжувалося аномально високою кількістю опадів (122 мм). Такі умови з одного боку сприяли пролонгації вегетації пізньостиглих сортів, а з іншого – створювали передумови для поширення грибкових захворювань, зокрема фітофторозу, через високу вологість повітря та тепло.

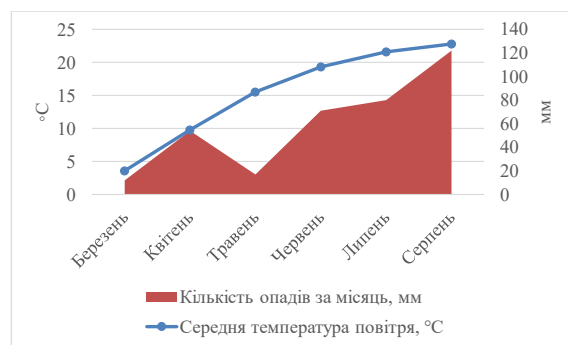


Рис. 1. Кліматичні умови вегетаційного сезону 2023 р

Для досягнення мети дослідження та забезпечення репрезентативності результатів було сформовано асортиментну групу сортів картоплі, що різняться за тривалістю вегетаційного періоду та генетичним походженням. До програми випробувань включено ранньостиглий сорт Коломба, середньоранній сорт Берніна та представника середньостиглої групи – сорт Сіфра.

Залучення сортів із різним біологічним потенціалом дало змогу встановити кореляційну залежність між темпами накопичення врожаю та гідротермічними показниками доквілля на ключових етапах органогенезу.

Експеримент закладався за схемою двофакторного розщепленого блоку (Split-plot design) у трикратній повторності, де Фактор А – біологічні особливості сорту, а Фактор В – тривалість передпосадкового пророщування (табл. 1).

Агротехнічні заходи під час вирощування картоплі відповідали загальноприйнятим галузевим стандартам та рекомендаціям для зони Північно-Східного Лісостепу України. Система удобрення була розрахована на забезпечення інтенсивного росту культури та формування високого врожаю. Зокрема, загальна норма мінерального живлення за період вегетації становила $N_{120}P_{90}K_{180}$ діючої речовини. Таке співвідношення основних елементів було спрямоване на компенсацію дефіциту калію та фосфору, виявленого під час агрохімічного аналізу ґрунту дослідної ділянки.

Таблиця 1 – Схема досліду

Код варіанту	Розшифровка комбінації факторів	Характеристика варіанту
A1B0	Коломба + без підготовки	контроль для ранньої групи
A1B1	Коломба + 10 діб	вплив короткого терміну на ранній сорт
AB2	Коломба + 20 діб	вплив тривалого терміну на ранній сорт
A2B0	Берніна + без підготовки	контроль для середньоранньої групи
A2B1	Берніна + 10 діб	вплив короткого терміну на середньоранній сорт
A2B2	Берніна + 20 діб	вплив тривалого терміну на середньоранній сорт
A3B0	Сіфра + без підготовки	контроль для середньостиглої групи
A3B1	Сіфра + 10 діб	вплив короткого терміну на середньостиглий сорт
A3B2	Сіфра + 20 діб	вплив тривалого терміну на середньостиглий сорт

Фенологічні спостереження за ростом і розвитком рослин картоплі здійснювали відповідно до методики державного сортовипробування сільськогосподарських культур [4]. У кожному варіанті досліду фіксували календарні дати настання основних фаз органогенезу: появи перших та повних сходів, початку бутонізації, масового цвітіння та початку відмирання бадилля. На основі отриманих даних розраховували тривалість міжфазних періодів у добах. Особливу увагу приділяли періоду «садіння – сходи» як головному індикатору фізіологічної активності підготовлених бульб.

Біометричні показники культури визначали у фазу повного цвітіння, коли асиміляційний апарат рослин досягав максимального розвитку. Для цього на кожній обліковій ділянці відбирали по 10 типових рослин у несуміжних рядах. Висоту рослин вимірювали мірною лінією від поверхні ґрунту до верхівки головного стебла. Кількість стебел підраховували безпосередньо на куці, враховуючи всі продуктивні пагони, що розвинулися з однієї насінневої бульби. Площу листової поверхні визначали розрахунково-статистичним методом, що дозволило кількісно оцінити фотосинтетичний потенціал посівів залежно від тривалості пророщування та сортових особливостей.

Статистичну обробку отриманих експериментальних даних здійснювали з використанням спеціалізованого програмного пакета Statistica 10.0. Для первинної оцінки результатів застосовували методи описової статистики, що дозволило визначити середні значення показників, їх стандартні відхилення та помилки середнього. Достовірність впливу досліджуваних чинників та їхньої взаємодії оцінювали за допомогою дисперсійного аналізу.

Результати досліджень. Аналіз результатів фенологічних спостережень, представлених на рисунку 2, демонструє чітку залежність швидкості проходження початкових етапів органогенезу від тривалості передпосадкової підготовки бульб. Графічна інтерпретація даних підтверджує, що застосування пророщування суттєво скорочує найбільш критичний період «садіння – повні сходи» для всіх досліджуваних сортів, причому максимальний ефект стимуляції ростових процесів спостерігається за 20-денної експозиції насінневого матеріалу. Візуалізація міжфазних періодів вказує на те, що хоча генетичні

особливості сортів (ранньостиглого Коломба, середньораннього Берніна та середньостиглого Сіфра) визначають загальну тривалість вегетації, саме фактор передпосадкового пророщування виступає головним регулятором енергії проростання, дозволяючи рослинам раніше вступати у фази бутонізації та цвітіння. Водночас на рисунку простежується тенденція до певної стабілізації тривалості наступних етапів розвитку, що свідчить про домінуючу роль абіотичних чинників та сортової специфіки на пізніх стадіях вегетації після вирівнювання стартових умов росту.

Результати проведеного дисперсійного аналізу (табл. 2) підтверджують високу статистичну значущість впливу досліджуваних чинників на динаміку розвитку культури. Найбільш виражена залежність простежується для показника «садіння – повні сходи», де розраховане значення F-критерію (292,5) значно перевищує критичне, а рівень імовірності нульової гіпотези прямує до нуля ($p < 0,05$). Це математично доводить, що варіювання тривалості періоду проростання в межах 11 діб зумовлене саме дією контрольованих факторів – генетичними особливостями сортів та застосованою технологією передпосадкової підготовки, а не випадковими відхиленнями.

Аналогічна закономірність спостерігається і для загальної тривалості активної вегетації (період «сходи – початок відмирання бадилля»). Високе значення суми квадратів ефекту (714,0) свідчить про глибоку диференціацію варіантів за цим показником. Оскільки середня квадратична помилка досліду для цього параметра є мінімальною (0,22), можна стверджувати про високу точність проведених спостережень та достовірність виявленого впливу пророщування на пролонгацію або прискорення завершальних фаз органогенезу залежно від групи стиглості сорту.

Щодо проміжних етапів розвитку, таких як «сходи – бутонізація» та «бутонізація – цвітіння», аналіз демонструє нульову варіабельність у межах повторностей, що вказує на ідентичність реакції рослин одного сорту на абіотичні умови року. Хоча сума квадратів ефекту в цих випадках відображає міжсортів відмінності, відсутність помилки підкреслює, що темпи проходження фаз бутонізації та цвітіння є стабільними біологічними константами для кожної групи стиглості, які майже не зазнають корекції під впливом передпосадкової експозиції бульб.

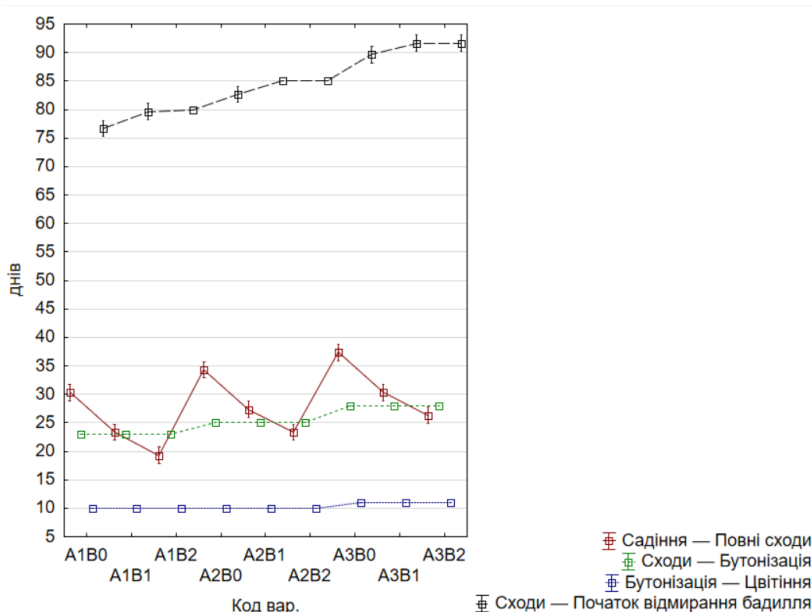


Рис. 2. Тривалість міжфазних періодів розвитку рослин картоплі залежно від сортових особливостей та термінів передпосадкового пророщування, днів

Аналіз біометричних показників рослин картоплі у фазі повного цвітіння свідчить про суттєвий вплив передпосадкової підготовки бульб на архітектуру куща та розвиток вегетативної маси всіх досліджуваних сортів (табл. 3).

Висота рослин виявила чітку тенденцію до збільшення залежно від тривалості пророщування. Найнижчі показники зафіксовано на контрольних варіантах без підготовки (B0), де висота коливалася від 46,2 см у сорту Коломба до 63,8 см у сорту Сіфра. Застосування 20-денного пророщування (B2) забезпечило максимальні значення цього показника: сорт Сіфра сформував найвищі рослини (79,0 ± 1,15 см), що на 15,2 см перевищує контроль. Така динаміка пояснюється раннім стартом вегетації та інтенсивним ростом пагонів завдяки накопиченій фізіологічній енергії пророщених бульб.

Кількість стебел, як один із ключових показників потенційної продуктивності, прямо корелювала з тривалістю експозиції бульб на світлі. Передпосадкова підготовка стимулювала пробудження більшої кількості вічок, що призвело до зростання стеблостою у всіх варіантах. Так, у сорту Берніна (A2) кількість стебел зросла з 3,3 шт. на контролі до 6,0 шт. при 20-денному пророщуванні. Аналогічна закономірність спостерігалася і в інших сортів, де варіант

B2 демонстрував приріст на рівні 59–82% відносно контролю, що створює передумови для формування багатобульбового гнізда.

Площа листової поверхні, що визначає фотосинтетичний потенціал посівів, досягла своїх максимальних значень у варіантах із найбільш тривалим пророщуванням. У сорту Сіфра цей показник склав 49,99 ± 0,70 тис. м²/га при 20-денній підготовці, що є найвищим результатом у досліді. Навіть у ранньостиглого сорту Коломба площа листя збільшилася з 28,80 тис. м²/га на контролі до 36,26 тис. м²/га у варіанті B2. Таке потужне зростання асиміляційного апарату свідчить про те, що пророщування сприяє кращому розгалуженню пагонів та збільшенню розміру листових часток, забезпечуючи ефективне використання сонячної енергії впродовж вегетації.

Результати дисперсійного аналізу (табл. 4) підтверджують високу достовірність впливу досліджуваних чинників на формування біометричних параметрів картоплі. Найбільш виражена статистична значущість спостерігається за показником площі листової поверхні, де розраховане значення F-критерію сягнуло 913,16, що свідчить про майже повну детермінацію розвитку асиміляційного апарату сортовими особливостями та термінами пророщування бульб. Високий рівень значущості (p <

Таблиця 2 – Результати дисперсійного аналізу показників тривалості міжфазних періодів

Показник (міжфазний період)	Сума квадратів (ефект)	Сер. квадрат (ефект)	Сума квадратів (помилка)	Сер. квадрат (помилка)	F-критерій	p-рівень
садіння – повні сходи	780	97,5	6	0,33	292,5	0
сходи – бутонізація	114	14,25	0	0	–	–
бутонізація – цвітіння	6	0,75	0	0	–	–
сходи – початок відмирання бадилля	714	89,25	4	0,22	401,63	0

Таблиця 3 – Біометричні показники рослин картоплі залежно від строків пророщування

Код варіанту	Висота рослини, см	Кількість стебел, шт.	Площа листя, тис. м ² /га
A1B0	46,20 ± 1,32	3,40 ± 0,52	28,80 ± 0,44
A1B1	52,90 ± 1,20	4,40 ± 0,52	32,69 ± 0,50
A1B2	57,50 ± 1,08	5,40 ± 0,52	36,26 ± 0,46
A2B0	51,00 ± 1,15	3,30 ± 0,48	30,68 ± 0,51
A2B1	59,00 ± 1,15	4,50 ± 0,53	36,18 ± 0,56
A2B2	63,60 ± 1,14	6,00 ± 0,00	41,32 ± 0,44
A3B0	63,80 ± 1,32	4,30 ± 0,48	38,89 ± 0,65
A3B1	71,50 ± 1,08	5,50 ± 0,53	45,20 ± 0,67
A3B2	79,00 ± 1,15	6,50 ± 0,53	49,99 ± 0,70

Таблиця 4 – Результати дисперсійного аналізу біометричних показників картоплі

Показник	Сума квадратів (ефект)	Сер. квадрат (ефект)	Сума квадратів (помилка)	Сер. квадрат (помилка)	F-критерій	p-рівень
Висота рослин, см	8474,19	651,86	106,3	1,4	466,05	0,00
Кількість стебел, шт.	91,72	7,06	18,9	0,25	28,37	0,00
Площа листя, тис. м ² /га	3766,1	289,7	24,11	0,32	913,16	0,00

0,001) для всіх досліджуваних ознак – висоти рослин, кількості стебел та площі листя – дозволяє стверджувати, що виявлені відмінності між варіантами не є випадковими, а виступають прямим наслідком реалізації біологічного потенціалу сортів за різних режимів передпосадкової підготовки. При цьому мінімальні значення середнього квадрата помилки вказують на високу точність проведеного експерименту та репрезентативність отриманих даних для умов Сумщини.

Комплексна оцінка тривалості міжфазних періодів та динаміки формування асиміляційного апарату створює необхідне підґрунтя для наукового обґрунтування оптимальних режимів підготовки насінневого матеріалу. Статистично доведений вплив факторів «сорт» та «тривалість пророщування» потребує детального обговорення в контексті сучасних тенденцій інтенсифікації картоплярства та можливостей управління вегетаційним циклом культури за допомогою агротехнічних заходів.

Результати проведеного дослідження Moletsane та інших [11] свідчать, що використання природних матеріалів та регуляторів росту для пророщування насінневих бульб дозволяє не лише подолати фізіологічний спокій, але й суттєво підвищити продуктивність культури за рахунок збільшення фракції великих бульб. Отримані дані підтверджують, що інтенсифікація початкових етапів росту через покращення якості проростків забезпечує формування потужнішого асиміляційного апарату та вищу врожайність порівняно з традиційними методами підготовки.

Дослідження температурного відгуку картоплі [12] в умовах північних широт підкреслює критичну роль термічного фактора у розмежуванні темпів розвитку надземної та підземної мас рослини. Встановлено, що підвищення температури суттєво прискорює проходження фаз від появи сходів до бутонізації, проте температурні оптимуми для вегетативного

росту (22–24,0 °C) та накопичення сухої речовини в бульбах (15,6–16,6 °C) суттєво різняться. Така фізіологічна диференціація підтверджує адаптованість картоплі до помірного клімату з прохолодним осіннім періодом, що є ключовим для розробки прогностичних моделей урожайності та прийняття рішень щодо регулювання мікроклімату за допомогою агроволока.

Фізіологічний стан насінневих бульб є динамічним показником, що еволюціонує під впливом умов зберігання та визначає подальшу силу росту рослин. Оцінка сухої маси проростків та застосування математичних моделей підтверджують, що інтенсивність ростових процесів є сортоспецифічною ознакою, яка чутливо реагує на температурний фактор під час передпосадкової підготовки. Визначення часових параметрів фізіологічного старіння дозволяє прогнозувати потенціал стеблоутворення та темпи формування асиміляційного апарату картоплі в конкретних екологічних умовах [14].

Висновки. Проведені дослідження дозволяють констатувати, що передпосадкова підготовка бульб є ключовим інструментом управління вегетаційним циклом та архітектонікою картоплі, забезпечуючи суттєве скорочення періоду «садіння – повні сходи» та ранній старт фотосинтетичних процесів. Найвищу ефективність виявив режим 20-денного світлового пророщування, який сприяв збільшенню кількості основних стебел на 59–82% та формуванню потужного асиміляційного апарату, особливо у середньостиглого сорту Сіфра, де площа листя сягнула максимальних 49,99 тис. м²/га. Статистична достовірність отриманих даних, підтверджена високими значеннями F-критерію, доводить, що динаміка росту та розвитку рослин в умовах північно-східного Лісостепу України є закономірним результатом синергічної взаємодії генетичного потенціалу сортів та інтенсивності передпосадкової стимуляції насінневого матеріалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Дрозденко А. Ю., Бутенко А. О. Строки садіння картоплі та сталість сільського господарства: Екологічні та ресурсні аспекти (оглядова). *Український журнал природничих наук*. 2025. № 13. С. 254–260. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.23>

2. Марценюк Я. Ю. Динаміка формування продуктивності картоплі залежно від строків садіння. *Аграрні інновації*. 2024. № 23. С. 112–117. <https://doi.org/10.32848/agrар.innov.2024.23.16>

3. М'ялковський Р.О., Безвіконний П.В. Товарність врожаю сортів ранньої картоплі залежно від тривалості пророщування. *Podilian Bulletin Agriculture Engineering Economics*. 2023. № 34. С. 39–44. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2021-1-5>

4. Кононученко В.В. Методичні рекомендації до проведення досліджень з картоплею. *Немишаєве*. 2002. 183 с.

5. Chang D. C., Cho J. H., Cheon C. G., Kim S. J., Nam J. H., & Jin Y. I. Effects of Chitting Duration on Early Maturation of Potatoes in a Short Season Environment. *American Journal of Potato Research*. 2020. № 97(1). P. 43–53. <https://doi.org/10.1007/s12230-019-09747-2>

6. Darmanskyi A., Ilchuk R., & Konyk H. The yield of early-ripening potato varieties under the influence of natural climate conditions of the Western Forest-Steppe. *Agroscience and Practice*. 2024. № 3(1). P. 10–16. [https://doi.org/10.32636/agroscience.2024-\(3\)-1-2](https://doi.org/10.32636/agroscience.2024-(3)-1-2)

7. Hagman J. Pre-sprouting as a Tool for Early Harvest in Organic Potato (*Solanum tuberosum* L.) Cultivation. *Potato Research*. 2012. № 55(2). P. 185–195. <https://doi.org/10.1007/s11540-012-9218-5>

8. Imanparast F. Patates Üretiminde Ön-Sürgünlendiriminin Önemi ve Pozisyonu. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 2018. P. 150–156. <https://doi.org/10.17097/ataunizfd.345820>

9. Johansen T. J., & Molteberg E. L. Effect of Storage and Pre-sprouting Regimes on Seed Potato Performance in Norway. *Potato Research*. 2012. № 55(3–4). P. 279–292. <https://doi.org/10.1007/s11540-012-9226-5>

10. Kara K., Imanparast F., & Kara T. The Effect of Pre-Sprouting and Planting Time on Different Sized Potato Tuber Yields (*Solanum tuberosum* L.). *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*. 2022. № 32(4). P. 754–765. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.1136457>

11. Moletsane M. S., Kimurto P. K., Oyoo M. E. Effect of Presprouting Plant Growth Regulators and Natural Materials on Dormancy, Growth, and Yield of Potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Advances in Agriculture*. 2022. P. 1–12. <https://doi.org/10.1155/2022/9932606>

12. Møllmann J. A. B., Johansen T. J. Influence of Growth Temperature on Development and Yield in a Medium Late and a Late Scandinavian Cultivar of Potato. *Potato Research*. 2025. № 68(3). P. 2939–2950. <https://doi.org/10.1007/s11540-025-09854-0>

13. Sawicka B., Pszczołkowski P., Wójcikowska-Kapusta A., Skiba D., Barbaś P. Impact of the Cultivation System and Pre-Sprouting of Selected Potato Cultivars on the Physico-Chemical Properties and Enzymatic Activity of Soil in the Conditions of Central-Eastern Poland. *Agronomy*. 2022. № 12(9). P. 2207. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092207>

14. Zou C., Van Der Putten P. E. L., Mossink L., Lommen W. J. M., Van Ittersum M. K., Struik P. C. Using sprouting behaviour to quantify physiological ageing of seed tubers of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Environmental and Experimental Botany*. 2024. № 219. P. 105648. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105648>

REFERENCES:

1. Drozdenko A. Yu., Butenko A. O. Stroky sadinnya kartopli ta stalist' sil's'koho hospodarstva: Ekolohichni ta resursni aspekty (ohlyadova) [Potato planting dates and sustainability of agriculture: Ecological and resource aspects (review)]. *Ukrayins'kyi zhurnal pryrodnychykh nauk*. 2025. № 13. S. 254–260. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.13.2025.23> [in Ukrainian].

2. Martsenyuk Y.Yu. Dynamika formuvannya produktyvnosti kartopli zalezho vid strokiv sadinnya [The dynamics of the formation of potato productivity depending on the timing of planting]. *Ahrarni innovatsiyi*. 2024. № 23. S. 112–117. <https://doi.org/10.32848/agrар.innov.2024.23.16> [in Ukrainian].

3. Myalkovskyi R.O., Bezvikonnyi P.V. Tovarnist' vrozhayu sortiv rann'oyi kartopli zalezho vid tryvalosti proroshchuvannya [The marketability of the harvest of early potato varieties depending on the duration of germination]. *Podilian Bulletin Agriculture Engineering Economics*. 2023. № 34. S. 39–44. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2021-1-5> [in Ukrainian].

4. Kononuchenko V.V. Metodychni rekomendatsiyi do provedennya doslidzhen' z kartopleyu [Methodological recommendations for conducting research with potatoes]. *Nemishayeve*. 2002. 183 p. [in Ukrainian].

5. Chang D. C., Cho J. H., Cheon C. G., Kim S. J., Nam J. H., & Jin Y. I. (2020). Effects of Chitting Duration on Early Maturation of Potatoes in a Short Season Environment. *American Journal of Potato Research*. 97(1). 43–53. <https://doi.org/10.1007/s12230-019-09747-2>

6. Darmanskyi A., Ilchuk R., & Konyk H. (2024). The yield of early-ripening potato varieties under the influence of natural climate conditions of the Western Forest-Steppe. *Agroscience and Practice*. 3(1). 10–16. [https://doi.org/10.32636/agroscience.2024-\(3\)-1-2](https://doi.org/10.32636/agroscience.2024-(3)-1-2)

7. Hagman J. (2012). Pre-sprouting as a Tool for Early Harvest in Organic Potato (*Solanum tuberosum* L.) Cultivation. *Potato Research*. 55(2). 185–195. <https://doi.org/10.1007/s11540-012-9218-5>

8. Imanparast F. (2018). Patates Üretiminde Ön-Sürgünlendiriminin Önemi ve Pozisyonu. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 150–156. <https://doi.org/10.17097/ataunizfd.345820>

9. Johansen T. J., & Molteberg E. L. (2012). Effect of Storage and Pre-sprouting Regimes on Seed Potato Performance in Norway. *Potato Research*. 55(3–4). 279–292. <https://doi.org/10.1007/s11540-012-9226-5>

10. Kara K., Imanparast F., & Kara T. (2022). The Effect of Pre-Sprouting and Planting Time on Different Sized Potato Tuber Yields (*Solanum tuberosum* L.). *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*. 32(4). 754–765. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.1136457>

11. Moletsane M. S., Kimurto P. K., Oyoo M. E. (2022). Effect of Presprouting Plant Growth Regulators and Natural Materials on Dormancy, Growth, and Yield

of Potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Advances in Agriculture*. 1–12. <https://doi.org/10.1155/2022/9932606>

12. Mølmann J. A. B., Johansen T. J. (2025). Influence of Growth Temperature on Development and Yield in a Medium Late and a Late Scandinavian Cultivar of Potato. *Potato Research*. 68(3). 2939–2950. <https://doi.org/10.1007/s11540-025-09854-0>

13. Sawicka B., Pszczołkowski P., Wójcikowska-Kapusta A., Skiba D., Barbaś P. (2022). Impact of the Cultivation System and Pre-Sprouting of Selected Potato Cultivars on the Physico-Chemical Properties and Enzymatic Activity of Soil in the Conditions of Central-Eastern Poland. *Agronomy*. 12(9). 2207. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092207>

14. Zou C., Van Der Putten P. E. L., Mossink L., Lommen W. J. M., Van Ittersum M. K., Struik P. C. (2024). Using sprouting behaviour to quantify physiological ageing of seed tubers of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Environmental and Experimental Botany*. 219. 105648. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105648>

Бутенко А.О., Дрозденко А.Ю. Регулювання біометричних показників картоплі шляхом застосування різних термінів пророщування

Мета. Встановити закономірності впливу різних термінів передпосадкового пророщування на формування біометричних показників та архітектуру рослин картоплі, а також визначити оптимальну тривалість підготовки бульб для забезпечення максимальної реалізації біологічного потенціалу сучасних сортів картоплі різних груп стиглості.

Результати. У статті представлено результати досліджень щодо впливу тривалості передпосадкового пророщування на особливості проходження фенологічних фаз та формування біометричних показників рослин картоплі різних груп стиглості (Коломба, Берніна, Сіфра) в умовах північно-східного Лісостепу України. Встановлено, що застосування 20-денної світлової експозиції насіннєвого матеріалу забезпечує скорочення періоду «садіння – повні сходи» та сприяє інтенсифікації ростових процесів уже на ранніх етапах органогенезу. Доведено, що передпосадкова підготовка стимулює стеблоутворювальну здатність бульб, що призводить до зростання кількості основних стебел у кущі на 59–82% порівняно з контролем. Найвищі показники висоти рослин (79,0 см) та площі листової поверхні (49,99 тис. м²/га) зафіксовано у середньостиглого сорту Сіфра за умови 20-денного пророщування. Результати дисперсійного аналізу підтверджують високу статистичну достовірність впливу факторів «сорт» та «термін пророщування» на архітектуру посівів ($F = 913,16$ для площі листя), що дозволяє рекомендувати вивчений агрозахід як ефективний спосіб реалізації біологічного потенціалу сучасних сортів картоплі.

Висновки. Передпосадкова підготовка бульб є ключовим інструментом управління вегетаційним циклом та архітектурою картоплі, забезпечуючи суттєве скорочення періоду «садіння – повні

сходи» та ранній старт фотосинтетичних процесів. Найвищу ефективність виявив режим 20-денного світлового пророщування, який сприяв збільшенню кількості основних стебел на 59–82% та формуванню потужного асиміляційного апарату, особливо у середньостиглого сорту Сіфра, де площа листя сягнула максимальних 49,99 тис. м²/га.

Ключові слова: сорт, передпосадкова підготовка, пророщування, міжфазні періоди, кількість стебел, площа листової поверхні

Butenko A.O., Drozdenko A. Yu. Regulation of potato biometric parameters through the application of different pre-sprouting periods

Purpose. To establish the patterns of influence of different terms of pre-planting germination on the formation of biometric indicators and architectonics of potato plants, as well as to determine the optimal duration of tuber preparation to ensure maximum realization of the biological potential of modern potato varieties of different maturity groups.

Results. The article presents the results of research on the influence of the duration of pre-planting germination on the features of the passage of phenological phases and the formation of biometric indicators of potato plants of different maturity groups (Colomb, Bernina, Sifra) in the conditions of the north-eastern Forest-Steppe of Ukraine. It was established that the use of 20-day light exposure of seed material ensures a reduction in the period of "planting – full shoots" and contributes to the intensification of growth processes already at the early stages of organogenesis. It is proven that pre-planting preparation stimulates the stem-forming ability of tubers, which leads to an increase in the number of main stems in the bush by 59–82% compared to the control. The highest indicators of plant height (79.0 cm) and leaf surface area (49.99 thousand m²/ha) were recorded in the mid-ripening variety Sifra under the condition of 20-day germination. The results of the analysis of variance confirm the high statistical reliability of the influence of the factors "variety" and "germination period" on the architectonics of crops ($F = 913.16$ for leaf area), which allows us to recommend the studied agronomic measure as an effective way to realize the biological potential of modern potato varieties.

Conclusions. Pre-planting preparation of tubers is a key tool for managing the growing cycle and potato architecture, ensuring a significant reduction in the "planting – full shoots" period and an early start of photosynthetic processes. The highest efficiency was demonstrated by the 20-day light germination regime, which contributed to an increase in the number of main stems by 59–82% and the formation of a powerful assimilation apparatus, especially in the mid-ripening variety Sifra, where the leaf area reached a maximum of 49.99 thousand m²/ha.

Key words: variety, pre-planting preparation, germination, interphase periods, number of stems, leaf surface area.

Дата першого надходження статті до видання: 23.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.04.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

ВПЛИВ СПОСОБІВ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ НА ПОКАЗНИКИ СТРУКТУРИ ВРОЖАЮ СОНЯШНИКУ

БУТЕНКО Є.Ю. – доктор філософії, доцент

orcid.org/0000-0001-8904-519X

Сумський національний аграрний університет

ТКАЧЕНКО Р.С. – аспірант кафедри агротехнологій та ґрунтознавства

orcid.org/0009-0002-9751-4229

Сумський національний аграрний університет

МЕДВІДЬ С.І. – молодший науковий співробітник

orcid.org/0000-0002-9535-0454

Інститут сільського господарства Північного Сходу Національної академії аграрних наук України

Постановка проблеми. Універсального підходу до вибору технології основного обробітку ґрунту не існує, оскільки це завдання завжди вимагає врахування багатьох факторів. Особлива актуальність цього питання виникає в умовах нестійкого та недостатнього водозабезпечення, яке стає основним обмеженням для розвитку аграрного виробництва. Саме тому, у сучасних реаліях постає нагальна потреба в розробці ефективних та адаптованих методик для основного обробітку ґрунту, які б максимально відповідали потребам просапних культур. Особливо це стосується вирощування соняшнику, що вимагає не лише оптимальних агротехнічних підходів, але й врахування специфічних умов кожного регіону, аби забезпечити стійкі врожаї та раціональне використання ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основним та незамінним природним ресурсом, від якого значною мірою залежить успішність землеробства, є ґрунт. У сучасних умовах особливо актуально постає питання про впровадження нових методів основного обробітку ґрунту для вирощування просапних культур, які б сприяли регулюванню його агрофізичних властивостей. Завдяки цілеспрямованому управлінню фізичним станом ґрунту, а також його водним, повітряним, тепловим і поживним режимами створюються оптимальні умови для росту та розвитку сільськогосподарських рослин [1, 2, 3].

За останні роки значні зміни в погодних та кліматичних умовах стали особливо помітними: зросла кількість екстремально посушливих сезонів, що істотно вплинули на обсяги та якість врожаїв сільськогосподарських культур, особливо на території Лісостепової зони України. У сучасних умовах аграрного виробництва підвищення врожайності має базуватися на комплексному підході, передбачаючи виконання технологічних операцій у визначені терміни та суворе дотримання агротехнічних вимог [1, 6].

У системі агротехнічних заходів, спрямованих на підвищення врожайності сільськогосподарських культур, ключову роль відіграє основний обробіток ґрунту. Його головною метою при вирощуванні соняшнику є ефективне знищення багаторічних

і однорічних бур'янів, накопичення та збереження максимальної кількості вологи з осінньо-зимових і ранньовесняних опадів у кореновому шарі, а також активізація поживних речовин. Основний обробіток ґрунту покращує агрофізичні властивості орного шару, регулюючи біохімічні процеси у ґрунтового середовищі [4]. Механічна дія робочих органів техніки та знарядь дозволяє створити сприятливі умови для росту кореневої системи культурних рослин, підвищити ефективність використання меліорантів, добрив та інших агротехнічних засобів [2, 5].

Під час вибору способу обробітку ґрунту для просапних культур, зокрема соняшнику, необхідно враховувати особливості ґрунту, кліматичні умови, біологічні характеристики рослин і їхні потреби в рамках технології вирощування в сівозміні [6]. Ефективність механічного впливу на ґрунт збільшується за умов дотримання науково обґрунтованої послідовності дій, що враховує глибину, методи та заходи обробітку, а також їхню узгодженість із загальною системою землеробства. При цьому важливо пам'ятати, що надмірна інтенсивність обробітку може призводити до деградації ґрунту, зниження його родючості та необґрунтованого використання ресурсів [2, 10].

Систему обробітку ґрунту слід постійно коригувати у зв'язку з удосконаленням зональних технологій вирощування сільськогосподарських культур. У районах Лісостепу з нестабільним та недостатнім зволоженням основне завдання обробітку ґрунту полягає у створенні умов для максимального накопичення й збереження вологи, а також у знищенні бур'янів. Періоди та методи обробітку визначаються залежно від часу збирання попередньої культури [4, 7].

У різних ґрунтово-кліматичних зонах України для вирощування соняшнику застосовують осінній диференційований обробіток ґрунту. Це може бути полицевий (оранка) або безполицевий (чизельний, плоскорізний, комбінований) спосіб. Кожен із цих методів має свої переваги. Проте однозначно визначити найкращий варіант досить складно, адже вибір залежить від особливостей господарства, ґрунтово-кліматичних умов, типу ґрунтів та доступної техніки [1, 6].

Якісний і своєчасний обробіток ґрунту під соняшник є одним із ключових чинників для забезпечення майбутнього врожаю [11]. Оскільки соняшник має стрижневу кореневу систему, надзвичайно важливо створити умови для її правильного розвитку. Для цього ґрунт повинен бути добре структурованим і позбавленим ущільнень, таких як "плужна підшва", які можуть перешкоджати корінню проникати до глибших шарів для засвоєння вологи. Осінні технологічні операції повинні концентруватися на рівномірному розподілі поживних залишків і забезпеченні максимальної вирівняності та структурованості ґрунту. Це дозволить навесні мінімізувати кількість обробітків і зменшити втрати вологи [5, 12].

Мета статті полягає в розробці способів основного обробітку ґрунту під соняшник, що передбачають покращення агрофізичних властивостей, які б впливали на водний режим ґрунту та забур'яненість посівів, що в подальшому дозволить отримувати високий урожай.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження проводились в стаціонарному польовому досліді відділу землеробства Інституту сільськогосподарства Північного Сходу впродовж 2024-2025 років.

Ґрунтовий покрив – чорнозем типовий малогумусний слабовилугуваний крупнопилуватий середньосуглинковий з такими агрохімічними показниками орного шару (на період закладки дослідів): гумусу за Тюрнімом 4,2-4,8%; рН сольове 6,0; рН водне 7,9; вміст легкогідролізованого азоту за Корнфілдом – 107; рухомих сполук P_2O_5 і K_2O за Чириковим відповідно 62,7 і 67,5 мг на 1 кг ґрунту. Гранулометричний склад ґрунту за Качинським крупнопилувато-середньосуглинковий: у шарі 0-20 см фізичної глини (часток 0,05-0,01) 49,1-52,1%, мулу (часток менше 0,001 мм) 23,4-25,5%.

Середньодобова річна температура повітря в 2024 році становила 9,8°C, що на 2,4°C більше багаторічного показника 7,4°C. Абсолютний максимум її 36,0°C відмічений в липні місяці в другій декаді, а мінімум – в першій декаді січня місяця мінус 21,0°C. Сума опадів за звітний 2023-2024 сільськогосподарський рік становила 491мм, що на 102 мм менше багаторічного показника (593 мм).

Середньодобова річна температура повітря в 2025 році становила 10,4°C, що на 3,0°C більше багаторічного показника 7,4°C. Абсолютний максимум її 35,0°C відмічений в липні місяці в першій декаді, а мінімум – в першій декаді лютого місяця мінус 16,0°C. Сума опадів за звітний 2024-2025 сільськогосподарський рік становила 450 мм, що на 143 мм менше багаторічного показника (593 мм).

Схема дослідів включала 4 варіанти основного обробітку ґрунту під кукурудзу на зерно та соняшник: 1. Оранка на глибину 20-22 см (Контроль); 2. Глибоке рихлення ґрунту на глибину 35 – 40 см; 3. Безпліцевий обробіток важким культиватором на глибину 12-14 см; 4. Безпліцевий дисковий обробіток на глибину 12-14 см.

Дослідження проводили в чотиріпільній сівоміні: гречка – озима пшениця – соняшник – ячмінь. Спосіб розміщення варіантів і повторень система-

тичний, повторність – триразова. Агротехніка вирощування культур, за винятком основного обробітку ґрунту, загальноприйнята для північно-східного Лісостепу України

Закладка дослідів, фенологічні спостереження проводились згідно «Методичних рекомендацій з обробітку ґрунту», «Методики польових досліджень з обробітку ґрунту» та «Методики проведення експертизи сортів рослин групи зернових, круп'яних та зернобобових на придатність до поширення в Україні» [8, 9]. Статистичне опрацювання результатів досліджень – дисперсійним методом при використанні пакету прикладних програм Excel.

Результати досліджень. Генеративний розвиток та продуктивність рослин соняшнику цілком залежали від способів основного обробітку ґрунту. Нашими дослідженнями встановлено рівень впливу способу основного обробітку ґрунту на елементи структури врожаю соняшнику. Таблиця 1 містить результати досліджень за 2024 та 2025 роки, що ілюструють вплив чотирьох різних методів обробітку ґрунту на ключові показники продуктивності соняшнику: діаметр кошика та масу насіння з кошика.

Аналіз за способами обробітку встановив, що проведеної оранки (глибина 20–22 см) виявило найкращі результати за досліджуваними показниками. Діаметр кошика зріс з 15,0 см у 2024 р. до 17,6 см у 2025 р. Маса насіння була найвищою – 58,6 г (2024 р.) та 56,4 г (2025 р.), що свідчить про створення найбільш сприятливих умов для формування врожаю.

Глибоке рихлення (глибина 35–40 см) показало стабільні результати, але дещо поступилося оранці. Однак, у 2025 році маса насіння суттєво зросла (з 48,7 г до 52,3 г), що може бути пов'язано з післядією глибокого розпушування на водно-фізичні властивості ґрунту.

Безпліцевий обробіток важким культиватором (12–14 см) демонструє середні показники. Діаметр кошика (14,8–16,5 см) майже на рівні з глибоким рихленням. Маса насіння у 2024 році була досить високою (53,3 г), проте у 2025 році спостерігалось зниження до 48,6 г.

Безпліцевий дисковий обробіток (12–14 см) виявився найменш ефективним серед представлених. Показники діаметра кошика (14,3–16,1 см) та маси насіння (45,9–47,2 г) є найнижчими, що вказує на недостатність мілкого дискового обробітку для повної реалізації потенціалу культури.

У 2025 році спостерігається збільшення діаметра кошика за всіма варіантами порівняно з 2024 роком, що може вказувати на кращі погодні умови в період цвітіння.

Урожайність насіння є основним критерієм, який характеризує ефективність досліджуваних способів основного обробітку ґрунту. В таблиці 2 наведено рівні урожайності насіння соняшнику по варіантах дослідів.

Контрольний варіант (оранка на глибину 20–22 см.) показав найвищі результати за показником урожайності у роки досліджень: 3,28 т/га (2024 р.) та 3,03 т/га (2025 р.). На варіанті з глибоким рихленням на глибину 35–40 см урожайність

Таблиця 1 – Структура врожаю соняшнику в залежності від способів основного обробітку ґрунту

№ п/п	Способи основного обробітку ґрунту	Діаметр кошика, см		Маса насіння з кошика, г	
		2024 р.	2025 р.	2024 р.	2025 р.
1	Оранка на глибину 20–22 см	15,0	17,6	58,6	56,4
2	Глибоке рихлення на глибину 35–40 см	14,9	16,6	48,7	52,3
3	Безполицевий обробіток важким культиватором на глибину 12–14 см	14,8	16,5	53,3	48,6
4	Безполицевий дисковий обробіток на глибину 12–14 см	14,3	16,1	45,9	47,2

Таблиця 2 – Урожайність насіння соняшнику в залежності від способів основного обробітку ґрунту

№ п/п	Способи основного обробітку ґрунту	Урожайність, т/га		Відношення до контролю	
		2024 р.	2025 р.	2024 р.	2025 р.
1	Оранка на глибину 20–22 см	3,28	3,03	К	К
2	Глибоке рихлення на глибину 35–40 см	2,63	2,77	-0,65	-0,26
3	Безполицевий обробіток важким культиватором на глибину 12–14 см	2,88	2,61	-0,4	-0,42
4	Безполицевий дисковий обробіток на глибину 12–14 см	2,57	2,51	-0,71	-0,52
НІР ₀₅ , т/га		0,04	0,30		

була нижчою за контроль на 0,65 т/га у 2024 році та на 0,26 т/га у 2025 році. Це свідчить про те, що надмірне заглиблення не сприяло підвищенню продуктивності в даних умовах.

Безполицевий обробіток культиватором (12–14 см) показав стабільно нижчі результати порівняно з оранкою (на 0,4–0,42 т/га менше), проте результати кращі, ніж при дисковому обробітку. Безполицевий дисковий обробіток (12–14 см) виявився найменш ефективним методом. Урожайність склала 2,57 т/га та 2,51 т/га, що на 0,52–0,71 т/га менше за показники оранки.

Показник найменшої істотної різниці (НІР) склав 0,04 т/га для 2024 року та 0,30 т/га для 2025 року. Оскільки різниця між усіма варіантами та контролем перевищує ці значення, отримані дані вважаються статистично достовірними.

Отже, способи основного обробітку ґрунту під соняшник без обертання скиби зумовлював підвищення щільності ґрунту в горизонті 0–20 см та підорного горизонту, де розміщена основна маса кореневої системи рослин, що і зумовило суттєве зниження урожайності на 0,4–0,71 т/га у 2024 році та на 0,42–0,52 т/га у 2025 році в порівнянні з оранкою.

Таким чином, найбільш ефективним способом основного обробітку ґрунту для вирощування соняшнику є традиційна оранка на глибину 20–22 см. Усі альтернативні способи основного обробітку ґрунту (мінімальний та глибокий безполицевий обробіток) призвели до суттєвого зниження врожайності в порівнянні з нею.

Висновки. За результатами досліджень розроблені способи основного обробітку ґрунту під просапні культури для умов Північно-Східного Лісостепу. Урожайність соняшнику значно залежить від типу обробітку ґрунту. Зокрема, показники структури врожаю, такі як діаметр кошика та маса

насіння з одного кошика, у 2025 році були кращими при оранці на глибину 20–22 см. У цьому вегетаційному сезоні було зафіксовано середній діаметр кошика 17,6 см і масу насіння 56,4 г. Водночас, при застосуванні поверхневих обробітків, виконаних культиватором або дисковими знаряддями, ці показники виявилися меншими: діаметр коливався в межах 16,6–17,5 см, а маса насіння становила 47,2–48,6 г.

Найвищу врожайність у 2025 році також отримали за умови оранки на 20–22 см і вона сягнула 3,03 т/га. Безполицевий обробіток ґрунту важким культиватором та дисковими знаряддями на глибині 12–14 см призвів до зниження врожайності на 0,42–0,52 т/га.

У 2024 році також спостерігалася залежність врожаю від способу обробітку. При оранці на глибину 20–22 см маса насіння з одного кошика становила 58,6 г, що перевищував відповідний показник для безполицевого дискового обробітку на глибині 12–14 см на 12,7 г. Відповідно, максимальна врожайність була зафіксована при застосуванні оранки – 3,28 т/га. Глибокий безполицевий обробіток ґрунту на 35–40 см і мілкий на 12–14 см спричинили суттєве зниження врожайності насіння соняшнику в межах 0,4–0,71 т/га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Пташнік М.М., Собко М.Г., Медвідь С.І. Раціональні способи основного обробітку ґрунту під просапні культури для умов північно-східного Лісостепу. *Сад.* 2024. 40 с.
2. Троценко В. І. Стан і перспективи культури соняшнику в зоні Північно-східного Лісостепу та Полісся України. *Матеріали науково-практичної конференції викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ.* 2018. С. 151–152.

3. Тищенко А.В., Степанов С.С., Тищенко О.Д., Коновалова В.М., Очкала О.С. Реакція гібридів соняшника середньоранньої групи стиглості на дефіцит вологи в умовах Півдня України. *Аграрні інновації*. 2024. № 2. С. 198–209.

4. Колосок І.О. Адаптивність та особливості формування продуктивності гібридів соняшнику в умовах північно-східного Лісостепу України. Суми. 2022. 202 с.

5. Мазур В.А., Колісник О.М. Вплив технологічних прийомів вирощування на насінневу продуктивність соняшнику. *Сільське господарство та лісівництво*. 2021. № 4(23). С. 5–15.

6. Бондаренко М.П., Собко М.Г. Рекомендації з обробітку ґрунту весняного періоду 2020 року. *Сад: Сумський інститут АПВ*. 2020.

7. Борисенко В.В. Вплив елементів технології вирощування на продуктивність різностиглих гібридів соняшника. *Таврійський науковий вісник*, 2022. Вип. 123. С. 15–21.

8. Малієнко А.М., Гаврилов С.О., Тараріко Н.М., Брухаль Ф.Й., Зведенюк Т.Б., Красюк Л.М., Коломієць В.М. Методичні рекомендації і програма досліджень з обробітку ґрунту. *Київ: Аграрна наука*. 2017. 84 с.

9. Малієнко А.М., Коломієць М.В., Брухаль Ф.Й., Пташник М.М., Красюк Л.М., Заяць П.С. Методика польових досліджень з обробітку ґрунту. *Вінниця: ТОВ «Твори»*. 2020. 84 с. <https://zemlerobstvo.com/wp-content/uploads/2021/04/17-methods-of-field-research-on-tillage.pdf>

10. Kysylchuk A., Zacharchenko E., Rudska N., Bolshakov Y., Tkachenko R. The share of sunflower in the structure of cultivated areas of Ukraine in pre-war and wartime. *Modern Phytomorphology*. 2024. № 18. P. 18–22.

11. Baylis A.D., Dicks J.W. Investigations into the use of plant-growth regulators in oil-seed sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Husbandry journal of agricultural science*. 2020. № 100. P. 723–730.

12. Yankov P., Drumeva M. Effects of different main soil tillage methods on the vertical distribution of sunflower seeds in the soil layer and plant development. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*. 2021. № 31(2). P. 396–407. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.764441>

REFERENCES:

1. Ptashnik M.M., Sobko M.G., Medvid S.I. Rationalni sposoby osnovnoho obrobittku gruntu pid prosapni kultury dlia umov pivnichno-skhidnoho Lisostepu [Rational methods of basic soil cultivation for row crops for the conditions of the North-Eastern Forest-Steppe]. *Sad*. 2024. 40 s. [in Ukrainian].

2. Trotsenko V.I. [State and prospects of sunflower cultivation in the zone of the North-Eastern Forest-Steppe and Polissya of Ukraine]. *Materialy nauково-praktychnoi konferentsii vykladachiv, aspirantiv ta studentiv Sumskoho NAU*. 2018. S. 151–152. [in Ukrainian].

3. Tyshchenko A.V., Stepanov S.S., Tyshchenko O.D., Konvalova V.M., Ochkala O.S. Reaktsiia hibrydiv soniashnyka serednoranoi hrupy styhlosti na defitsyt volohy v umovakh Pivdnia Ukrainy [Reaction of sunflower hybrids of the mid-early maturity group to moisture deficiency in the conditions of the South of Ukraine]. *Ahrarni innovatsii*. 2024. № 2. S. 198–209. [in Ukrainian].

4. Kolosok I.O. Adaptivnist ta osoblyvosti formuvannia produktyvnosti hibrydiv soniashnyku v umovakh pivnichno-skhidnoho Lisostepu Ukrainy [Adaptability and features of the formation of productivity of sunflower hybrids in the conditions of the northeastern Forest-Steppe of Ukraine]. *Sumy*. 2022. 202 s. [in Ukrainian].

5. Mazur V.A., Kolisnyk O.M. Vplyv tekhnolohichnykh pryimov vyroshchuvannia na nasinnievu produktyvnist soniashnyku [The influence of technological methods of cultivation on the seed productivity of sunflower]. *Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo*. 2021. № 4(23). S. 5–15. [in Ukrainian].

6. Bondarenko M.P., Sobko M.G. Rekomendatsii z obrobittku gruntu vesnianoho periodu 2020 roku [Recommendations for soil cultivation in the spring period of 2020]. *Sad: Sumskyi instytut APV*. 2020. [in Ukrainian].

7. Borisenko V.V. Vplyv elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia na produktyvnist riznostyglykh hibrydiv soniashnyka [The influence of elements of cultivation technology on the productivity of different-ripening sunflower hybrids]. *Tavriyskyi naukovyi visnyk*, 2022. № 123. S. 15–21. [in Ukrainian].

8. Malienko A.M., Gavrylov S.O., Tarariko N.M., Brukhal F.Y., Zvedenyuk T.B., Krasnyuk L.M., Kolomiyets V.M. Metodichni rekomendatsii i prohramadoslidzhenz obrobittku gruntu [Methodological recommendations and research program on soil cultivation]. *Kyiv: Ahrarna nauka*. 2017. 84 s.

9. Malienko A.M., Kolomiyets M.V., Brukhal F.Y., Ptashnik M.M., Krasnyuk L.M., Zayats P.S. Metodyka polovykh doslidzhen z obrobittku gruntu [Methodology of field research on soil cultivation]. *Vinnitsya: TOV «Tvor»*. 2020. 84 s.

10. Kysylchuk A., Zacharchenko E., Rudska N., Bolshakov Y., Tkachenko R. (2024). The share of sunflower in the structure of cultivated areas of Ukraine in pre-war and wartime. *Modern Phytomorphology*. 18. 18–22. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14598031>

11. Baylis A.D., Dicks J.W. (2020). Investigations into the use of plant-growth regulators in oil-seed sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Husbandry journal of agricultural science*. 100. 723–730.

12. Yankov P., Drumeva M. (2021). Effects of different main soil tillage methods on the vertical distribution of sunflower seeds in the soil layer and plant development. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*. 31(2). 396–407. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.764441>

Бутенко Є.Ю., Ткаченко Р.С., Медвідь С.І. Вплив способів основного обробітку ґрунту на показники структури врожаю соняшнику

Мета. Розробка способів основного обробітку ґрунту під соняшник, що передбачають покращення агрофізичних властивостей, які б впливали на водний режим ґрунту та забур'яненість посівів, що в подальшому дозволить отримувати високий урожай.

Результати. Нашими дослідженнями встановлено рівень впливу способу основного обробітку ґрунту на елементи структури врожаю соняшнику. Аналіз за способами обробітку встановив, що проведення оранки (глибина 20–22 см) виявило найкращі результати за досліджуваними показниками. Діаметр кошика зріс з 15,0 см у 2024 р. до 17,6 см

у 2025 р. Маса насіння була найвищою – 58,6 г (2024 р.) та 56,4 г (2025 р.), що свідчить про створення найбільш сприятливих умов для формування врожаю. У 2025 році спостерігається збільшення діаметра кошика за всіма варіантами порівняно з 2024 роком, що може вказувати на кращі погодні умови в період цвітіння. Показник найменшої істотної різниці (НІР) складав 0,04 т/га для 2024 року та 0,30 т/га для 2025 року. Оскільки різниця між усіма варіантами та контролем перевищує ці значення, отримані дані вважаються статистично достовірними.

Отже, способи основного обробітку ґрунту під соняшник без обертання скиби зумовлював підвищення щільності ґрунту в горизонті 0-20 см та підорного горизонту, де розміщена основна маса кореневої системи рослин, що і зумовило суттєве зниження урожайності на 0,4-0,71 т/га у 2024 році та на 0,42-0,52 т/га у 2025 році в порівнянні з оранкою.

Висновки. За результатами досліджень розроблені способи основного обробітку ґрунту під просапні культури для умов Північно-Східного Лісостепу. Урожайність соняшнику значно залежала від типу обробітку ґрунту. Зокрема, показники структури врожаю, такі як діаметр кошика та маса насіння з одного кошика, у 2025 році були кращими при оранці на глибину 20-22 см. У цьому вегетаційному сезоні було зафіксовано середній діаметр кошика 17,6 см і масу насіння 56,4 г. Водночас, при застосуванні поверхневих обробітків, виконаних культиватором або дисковими знаряддями, ці показники виявилися меншими: діаметр кошика становив 16,6-17,5 см, а маса насіння становила 47,2-48,6 г.

Найвищу врожайність у 2025 році також отримали за умови оранки на 20-22 см і вона сягнула 3,03 т/га. Безполицевий обробіток ґрунту важким культиватором та дисковими знаряддями на глибині 12-14 см призвів до зниження врожайності на 0,42-0,52 т/га. У 2024 році також спостерігалася залежність врожаю від способу обробітку. Максимальна врожайність була зафіксована при застосуванні оранки – 3,28 т/га. Глибокий безполицевий обробіток ґрунту на 35-40 см і мілкий на 12-14 см спричинили суттєве зниження врожайності насіння соняшнику в межах 0,4-0,71 т/га.

Ключові слова: основний обробіток ґрунту, урожайність, структура врожаю, соняшник, воднофізичні властивості ґрунту.

Butenko E.Yu., Tkachenko R.S., Medvid S.I. The influence of methods of basic soil cultivation on the indicators of the structure of sunflower yield

Purpose. Development of methods of basic soil cultivation for sunflower, which involve improving agro-

physical properties that would affect the water regime of the soil and weediness of crops, which will subsequently allow for high yields.

Results. Our research has established the level of influence of the main tillage method on the elements of the sunflower yield structure. Analysis by tillage methods has established that plowing (depth 20–22 cm) showed the best results according to the studied indicators. The diameter of the basket increased from 15.0 cm in 2024 to 17.6 cm in 2025. The seed mass was the highest – 58.6 g (2024) and 56.4 g (2025), which indicates the creation of the most favorable conditions for the formation of the crop. In 2025, an increase in the diameter of the basket is observed for all options compared to 2024, which may indicate better weather conditions during the flowering period. The least significant difference indicator (LSD) was 0.04 t/ha for 2024 and 0.30 t/ha for 2025. Since the difference between all options and the control exceeds these values, the obtained data are considered statistically reliable. Therefore, the methods of basic tillage for sunflower without rotation of the furrow caused an increase in soil density in the 0-20 cm horizon and the subsoil horizon, where the bulk of the plant root system is located, which caused a significant decrease in yield by 0.4-0.71 t/ha in 2024 and by 0.42-0.52 t/ha in 2025 compared to plowing.

Conclusions. According to the results of the research, methods of basic tillage for row crops for the conditions of the North-Eastern Forest-Steppe were developed. Sunflower yield significantly depended on the type of tillage. In particular, crop structure indicators, such as basket diameter and seed mass per basket, were better in 2025 when plowing to a depth of 20-22 cm. In this growing season, an average basket diameter of 17.6 cm and a seed mass of 56.4 g were recorded. At the same time, when using surface tillage performed by a cultivator or disk tools, these indicators turned out to be lower: the diameter ranged from 16.6-17.5 cm, and the seed mass was 47.2-48.6 g. The highest yield in 2025 was also obtained when plowing at 20-22 cm and it reached 3.03 t/ha. Tillage without a tiller with a heavy cultivator and disk tools at a depth of 12-14 cm led to a decrease in yield by 0.42-0.52 t/ha. In 2024, the dependence of the yield on the method of cultivation was also observed. The maximum yield was recorded when plowing was used – 3.28 t/ha. Deep tillage without a tiller at 35-40 cm and shallow tillage at 12-14 cm caused a significant decrease in the yield of sunflower seeds within 0.4-0.71 t/ha.

Key words: basic tillage, yield, crop structure, sunflower, water-physical properties of soil.



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 23.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.04.2026

A COMPUTATIONAL FRAMEWORK FOR PRECISION SPRAY-TANK ACIDIFICATION: AN INTEGRATION OF CHEMICAL EQUILIBRIUM MODELING AND INFORMATION TECHNOLOGIES TO ENSURE CHEMICAL STABILITY OF PESTICIDES

VOZHEHOVA R.A. – Doctor of Agricultural Sciences

orcid.org/0000-0002-3895-5633

Institute of Climate-Smart Agriculture of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

LYKHOVYD P.V. – Doctor of Agricultural Sciences

orcid.org/0000-0002-0314-7644

Institute of Climate-Smart Agriculture of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

LAVRENKO S.O. – Candidate of Agricultural Sciences

orcid.org/0000-0003-3491-1438

Kherson State Agrarian and Economic University

MAKSYMOV D.O. – Candidate of Agricultural Sciences

orcid.org/0009-0001-7461-6321

Institute of Climate-Smart Agriculture of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

Problem statement. Changes in agroecological conditions related to global warming have significantly shifted the reality of crop protection. Rapidly changing environmental conditions resulted in the aggravation of crop diseases, insects and weeds infestation. For example, increased air temperature and prolonged warm periods result in more rapid and intense propagation of various insects, because they have better winter dormance conditions (results in higher rates of overwinter survival), as well as faster passing main development stages and having more generations per season. Besides, higher temperatures result in intense migration of insects to new agroclimatic zones, widening the specter of host crops, making plant protection measures less effective and phytosanitary situation less predictable [14]. The combination of ecological factors and related changes in the biology of plant pathogens and weeds results in significant decrement of conventional plant protection measures.

Literature analysis. Mutation of the harmful insects also takes place at faster than usual pace, making traditional pesticides less effective to control them. In addition, some chemicals, e.g., popular pyrethroid insecticides, lose their efficiency in the conditions of hot weather (when air temperature rises above +25°C) that makes efficient control of insects even more complicated [11].

As for diseases, the situation is quite similar. Elevated levels of carbon dioxide in the atmosphere exacerbate the interactions between the host plants and pathogens (fungal, viral, etc.) that in its turn result in more complicated interactions in the “plant – pathogen” chain. Additionally, climate change resulted in dramatic shifts in pathogens spreading, and nowadays agrarians are facing the pandemic of recently unknown in their vicinity plant pathogens, which are aggressive, and difficult to control. New strains of pathogens are

more resistant to available chemicals, as well as more virulent and dangerous for crops. Also, changes in air humidity and precipitation distribution, which accompany increased air temperature, alter usual pathways of pathogens spreading, infestation rates and patterns of disease manifestation [8]. Besides, some fungicides also may become less effective in new agroclimatic conditions that will make disease control tricky and challenging. According to recent scientific studies, this is mainly true for contact fungicides, especially in the agroclimatic zones where prediction of heavy showers and intense drought is complicated [16]. However, now there is no as convincing scientific evidence for fungicides efficiency decrease as for pyrethroids [7].

Weeds are another nightmare of plant protection specialists. They can cause yield losses up to 34%, which is almost twice as high as average losses from insects (18%) and diseases (16%) [13]. In the conditions of climate change, there is strong scientific evidence for the increased weed-related threats, as they tend to grow and spread faster. This makes weed control more challenging, especially taking into account that unfavorable weather conditions will make many popular herbicides less effective due to the modified activity and stability of chemical substances [5]. For example, recent research demonstrated the decreased efficiency of glyphosate herbicides [17]. And the reason is not only in the air temperature increase and moisture deficit (it is critical for some ground herbicides and those herbicides that require moist leaves surface for better penetration into the weed tissues) but is also related to the CO₂ concentration in the atmosphere because carbon dioxide has tremendous effects on weeds tolerance to chemical treatment [15]. That is why weed control is extremely complicated and require agrotechnological measures to enhance the efficiency of herbicides application in the challenging weather conditions.

Taking into account the mentioned above facts, it is evident that today effective plant protection has become more complicated and challenging as ever before. Besides, the concerns around massive pesticide application for crop protection are increasingly growing, and most people tend to be reluctant to consume plant products if they know that they were cultivated under heavy pesticide usage, as general awareness about harmful effects of chemicals on health and environment becomes deeper. In this regard, the simplest solution – increase frequency and dosage of pesticides to ensure appropriate level of pest control – is not considered as a way of improving the situation in plant protection. Modern crop protection faces two major challenges: effective control of phytopathogens and weeds in the context of global warming, and simultaneous need to minimize pesticide usage as much as possible [6].

In addition to general challenges, which were described earlier, Ukrainian farmers face another complication that is related to water quality used for spray-tank mixture preparation. It is a well-established fact that most traditional chemical pesticides require neutral or slightly acid pH of the tank mixture to provide the best efficiency. In alkaline water, they tend to degrade through hydrolysis, and as a result, lose their effectiveness [2]. Most farmers, especially those in the South of Ukraine, who are working on the Igulets irrigation land array, have no option but use the alkaline water (with pH values about 8.0 and even higher in some periods of the growing season) to prepare spray-tank mixture [9]. Therefore, this is an additional source of pesticide efficiency decrease. To mitigate adverse effects of alkaline water on pesticides, one can use safe amendment – physiologically acid fertilizers. They are safe for plants and environment, and in proper doses will reduce the pH of spray-tank to the required levels. The only drawback of this method is that agricultural practitioners have no idea about what amount of the fertilizer of certain type they must add to the spray-tank mixture to improve its chemical reaction.

Therefore, the main **purpose** of this study is to provide a scientific methodology for the usage of traditional physiologically acid fertilizers to acidify spray-tank mixture to the required pH levels based on the initial water pH and other influential factors, and develop a practical tool in the form of web and mobile application entitled AquaTune for farmers to make complicated chemical balance calculations automated and accessible for everyone.

Materials and methods. The development of the AquaTune application framework was divided into three primary phases: the establishment of a theoretical chemical equilibrium model, the curation of a stoichiometric fertilizer database, and the implementation of a cross-platform computational engine using modern programming technological stack for web and mobile development.

The core of the system relies on the quantitative assessment of water buffering capacity and the prediction of pH shifts following the introduction of acidifying fertilizers.

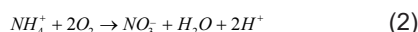
To account for the buffering capacity of alkaline carrier water, the model implements the Henderson-

Hasselbalch equation adapted for the carbonate-bicarbonate system [10]. The primary equilibrium considered is the dissociation of carbonic acid H_2CO_3 using the following equation (1):

$$pH = pK_{a1} + \log_{10} \left(\frac{HCO_3^-}{CO_{2(aq)}} \right) \quad (1),$$

where pK_{a1} is adjusted according to the temperature-dependent reaction kinetics described by the Van't Hoff equation [3], ensuring accuracy across diverse field conditions.

For long-term acidification (24-hour and extended-release modes), the engine incorporates a biological oxidation model. The model calculates the release of protons (H^+) resulting from the two-step nitrification process of ammonium-based fertilizers (NH_4^+):



The framework estimates the potential pH drop based on the stoichiometric release of two moles of acidity per mole of oxidized nitrogen, adjusted for the theoretical rate of microbial activity in the spray tank or soil-water interface.

A comprehensive library of physiologically acidic fertilizers was compiled. For each entry, the following “Materials” parameters were recorded:

- 1) Acidity Coefficients: Defined as the centimoles of H^+ produced per gram of fertilizer;
- 2) Solubility Products (K_{sp}): The index used to evaluate the risk of sedimentation, especially for calcium phosphate and calcium sulfate;
- 3) Purity and Nutrient Density: Standard molecular weights and nutrients content in percents;
- 4) Tentative Price: Used to determine the economic effectiveness of the fertilizer for spray-tank mixture acidification.

The AquaTune software was developed to solve a multi-objective optimization problem: identifying the fertilizer combination that achieves the target pH at the lowest economic cost while remaining below the safety threshold for phytotoxicity and precipitation.

The technological stack of AquaTune engine was implemented in TypeScript (for the React 18 web interface) and Kotlin (for the Android Jetpack Compose application). To ensure scientific consistency, both platforms utilize an identical algorithmic core, preventing “platform drift” in recommendations. The system utilizes a conditional logic gate to flag incompatible mixtures (e.g., mixing calcium-based fertilizers with sulfates or phosphates) based on documented chemical compatibility charts.

To validate the computational outputs, a standardized “Jar Test” protocol was integrated into the workflow. This allows for empirical verification of the model's predictions:

Baseline Measurement: Determination of initial water pH and alkalinity.

Simulated Application: Addition of the AquaTune-calculated dosage to a 1L sample.

Kinetic Observation: pH measurement at $T=0$ (immediate) and $T=24h$ (biological) to correlate field results with theoretical models.

Results. The AquaTune framework demonstrates a significant advancement in digital precision agriculture

by operationalizing complex chemical models into a real-time decision-support tool for plant protection efficiency enhancement. Unlike traditional “rule-of-thumb” methods – such as the manual “eyedropper jar test” commonly recommended by extension services – AquaTune utilizes a non-linear Henderson-Hasselbalch engine to predict pH shifts with high precision.

A key functional advantage is the dual-mode acidification approach. While most commercial acidifiers focus on immediate pH reduction, AquaTune accounts for biological acidification via nitrification. This is critical for fertilizers like Ammonium Nitrate (NH_4NO_3), where the secondary release of protons (H^+) during the oxidation of NH_4^+ can lead to unintended over-acidification if not accounted for by the initial dosage [1].

The results of the software implementation show a highly accessible interface that accommodates varying levels of technical expertise (Fig. 1):

Progressive Disclosure: The “Simple” vs. “Expert” modes ensure that entry-level farmers can achieve safe results, while researchers can adjust advanced parameters like temperature-dependent reaction kinetics.

Cross-Platform Performance: The synchronized engine between React/TypeScript and Kotlin ensures zero discrepancy in scientific outputs across devices, a common failure point in multi-platform agricultural software.

Global Localisation: By supporting four languages (English, German, Spanish, Ukrainian) and localized fertilizer pricing, the tool bridges the gap between theoretical chemistry and regional economic realities.

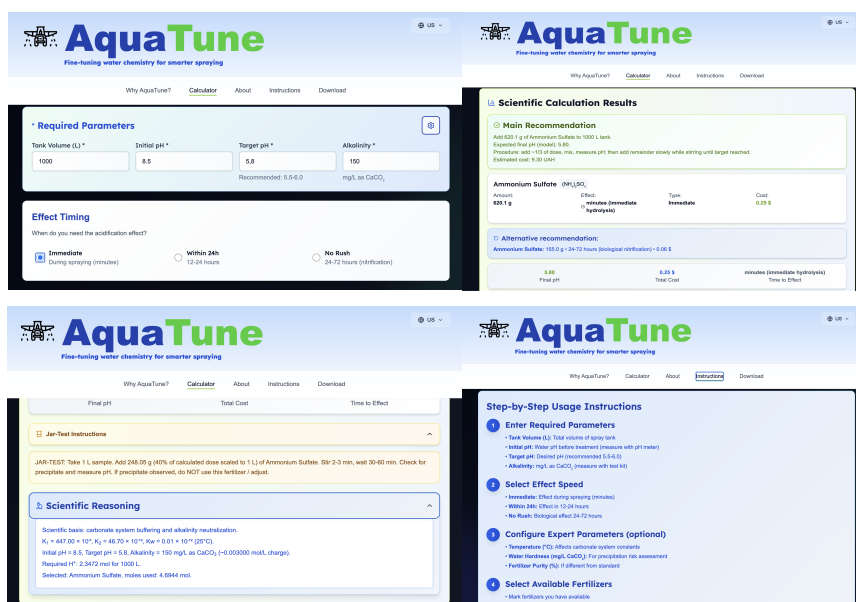


Fig. 1. AquaTune web application user interface

Current study and its results highlight a critical “knowledge-action gap” in spray-tank mixture’s pH management. While scientific literature extensively documents the risks of alkaline hydrolysis – where pesticide half-lives can drop from days to minutes in water with $\text{pH} > 8$ and diminish their effectiveness in plant pathogens, insects and weeds control [4] – the available digital tools have remained remarkably simplistic.

A review of the current market and literature reveals that AquaTune is a unique application with no direct scientific analogues available.

For example, Tank Mix Calculator application available for smartphones provides farmers with a simple instrument for building compatible pesticide mixtures for spraying but has nothing to do with adjustment of spray-tank water pH to optimize the efficiency of pesticides application.

Similarly, academic models of the carbonate system are typically confined to complex laboratory software rather than field-ready decision support mobile platforms. Notwithstanding the fact that various research

showed the importance of spray-tank mixture pH optimization to ensure the best chemical protection effectiveness [12], there were no ready-to-use solutions until now. AquaTune effectively synthesizes agricultural and chemical science with farming practices and information technologies, providing the first integrated tool that combines chemical equilibrium, biological kinetics, and economic optimization for precision spraying.

Conclusions. The development of the AquaTune application represents reaching a significant milestone in the digital transformation of precision agriculture. By successfully integrating complex carbonate equilibrium chemistry and nitrification kinetics into a user-friendly mobile and web interface, this study demonstrates that sophisticated chemical modeling can be made accessible for daily on-farm decision-making. The use of the Henderson-Hasselbalch equation and temperature-corrected constants provides a statistically superior method for calculating target pH compared to conventional volumetric estimations. This prevents the chemi-

cal degradation of pesticides and maximizes their effectiveness. The automated precipitation risk assessment, based on solubility products and chemical compatibility logic, significantly reduces the likelihood of nozzle clogging and phytotoxicity. This ensures that the optimization of water chemistry does not come at the expense of equipment longevity or crop safety. By optimizing fertilizer combinations based on real-time pricing and stoichiometric efficiency, AquaTune enables farmers to achieve the desired water pH in a spray-tank at the lowest possible cost. Furthermore, by reducing chemical waste through improved application efficiency, the tool contributes to a more sustainable and environmentally responsible agricultural footprint. The synchronized cross-platform architecture (React/Kotlin) proves that high-fidelity scientific engines can operate reliably in offline environments, ensuring that advanced decision support is available even in remote agricultural regions. To sum up, AquaTune fills a critical void in the current agricultural software market. It moves beyond simple dosage calculators to provide a comprehensive, science-based solution for spray-tank management.

BIBLIOGRAPHY:

1. NH₄⁺ association and proton transfer reactions with a series of organic molecules / E. Canaval et al. *Frontiers in Chemistry*. 2019. № 7. P. 191. DOI: <https://doi.org/10.3389/fchem.2019.00191>
2. Dyguda-Kazimierowicz E., Roszak S., Sokalski W. A. Alkaline hydrolysis of organophosphorus pesticides: the dependence of the reaction mechanism on the incoming group conformation. *The Journal of Physical Chemistry B*. 2014. Vol. 118. № 26. P. 7277–7289. DOI: <https://doi.org/10.1021/jp503382j>
3. Stoichiometry validation of supramolecular complexes with a hydrocarbon cage host by van't Hoff analyses / T. M. Fukunaga et al. *Nature Communications*. 2023. Vol. 14. № 1. P. 8246. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43979-5>
4. Halcomb M. The pH of the spray water is very important. *The University of Tennessee*. US, 2012. 4 p.
5. Five potential consequences of climate change for invasive species / J. J. Hellmann et al. *Conservation Biology*. 2008. Vol. 22. № 3. P. 534–543. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00951.x>
6. Iriti M., Vitalini S. Sustainable crop protection, global climate change, food security and safety – plant immunity at the crossroads. *Vaccines*. 2020. Vol. 8. № 1. P. 42. DOI: <https://doi.org/10.3390/vaccines8010042>
7. A review on the potential effects of temperature on fungicide effectiveness / P. Juroszek et al. *Plant Pathology*. 2022. Vol. 71. № 4. P. 775–784. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppa.13531>
8. Effects of climate change on plant pathogens and host-pathogen interactions / R. Lahlali et al. *Crop and Environment*. 2024. Vol. 3. № 3. P. 159–170. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crope.2024.05.003>
9. Lykhovyd P. V., Kozlenko Y. V. Assessment and forecast of water quality in the River Ingulets irrigation system. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. Vol. 8. № 1. P. 350–355. DOI: https://doi.org/10.15421/2018_221
10. pH determination of acetic acid-sodium acetate buffer: an application of Henderson-Hasselbalch equation

at room temperature / S. P. Mishra et al. *Chemical Science International Journal*. 2024. Vol. 33. № 6. P. 32–38. DOI: <https://dx.doi.org/10.9734/CSJI/2024/v33i6922>

11. Могиліюк Н., Шматковська К., Булах А. Ефективність комбінованих неонікотиніодно-піретроїдних інсектицидів у контролі популяцій *Scutotrhynchus assimilis* Payk. на посівах ріпаку озимого. *Карантин і захист рослин*. 2025. Вип. 283. № 4. С. 26–30. DOI: <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2025.4.26-30>
 12. Mueller T. C., Steckel L. E. Spray mixture pH as affected by dicamba, glyphosate, and spray additives. *Weed Technology*. 2019. Vol. 33. № 4. P. 547–554. DOI: <https://doi.org/10.1017/wet.2019.40>
 13. Oerke E. C. Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*. 2006. Vol. 144. № 1. P. 31–43. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>
 14. The impact of climate change on agricultural insect pests / S. Skendžić et al. *Insects*. 2021. Vol. 12. № 5. P. 440. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects12050440>
 15. Growth of weeds and their chemical control under climate change conditions / N. Tursun et al. *Journal of Plant Protection Research*. 2025. Vol. 65. № 1. P. 78–88. DOI: <https://doi.org/10.24425/jppr.2025.153822>
 16. Zayan S. A. Impact of climate change on plant diseases and IPM strategies. *Plant Diseases – current threats and management trends*. IntechOpen, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.87055>
 17. Ziska L. H., Teasdale J. R. Sustained growth and increased tolerance to glyphosate observed in a C3 perennial weed, quackgrass (*Elytrigia repens*), grown at elevated carbon dioxide. *Australian Journal of Plant Physiology*. 2000. Vol. 27. № 2. P. 159–166. DOI: <https://doi.org/10.1071/PP99099>
- #### REFERENCES:
1. Canaval, E., Hyttinen, N., Schmidbauer, B., Fischer, L., & Hansel, A. (2019). NH₄⁺ association and proton transfer reactions with a series of organic molecules. *Frontiers in Chemistry*, 7, 191. <https://doi.org/10.3389/fchem.2019.00191>
 2. Dyguda-Kazimierowicz, E., Roszak, S., & Sokalski, W. A. (2014). Alkaline hydrolysis of organophosphorus pesticides: the dependence of the reaction mechanism on the incoming group conformation. *The Journal of Physical Chemistry B*, 118(26), 7277–7289. <https://doi.org/10.1021/jp503382j>
 3. Fukunaga, T. M., Onaka, Y., Kato, T., Ikemoto, K., & Isobe, H. (2023). Stoichiometry validation of supramolecular complexes with a hydrocarbon cage host by van't Hoff analyses. *Nature Communications*, 14(1), 8246. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43979-5>
 4. Halcomb, M. (2012). The pH of the spray water is very important. *The University of Tennessee*, 4 p.
 5. Hellmann, J. J., Byers, J. E., Bierwagen, B. G., & Dukes, J. S. (2008). Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conservation Biology*, 22(3), 534–543. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.00951.x>
 6. Iriti, M., & Vitalini, S. (2020). Sustainable crop protection, global climate change, food security and safety – plant immunity at the crossroads. *Vaccines*, 8(1), 42. <https://doi.org/10.3390/vaccines8010042>

7. Juroszek, P., Laborde, M., Kleinhenz, B., Mellenthin, M., Racca, P., & Sierotzki, H. (2022). A review on the potential effects of temperature on fungicide effectiveness. *Plant Pathology*, 71(4), 775–784. <https://doi.org/10.1111/ppa.13531>

8. Lahlali, R., Taoussi, M., Laasli, S. E., Gachara, G., Ezzougari, R., Belabess, Z., ... & Ait Barka, E. (2024). Effects of climate change on plant pathogens and host-pathogen interactions. *Crop and Environment*, 3(3), 159–170. <https://doi.org/10.1016/j.crope.2024.05.003>

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

10. Mishra, S. P., Pandey, V. K., Yadav, A. S., & Singh, R. P. (2024). pH determination of acetic acid-sodium acetate buffer: an application of Henderson-Hasselbalch equation at room temperature. *Chemical Science International Journal*, 33(6), 32–38. <https://dx.doi.org/10.9734/CSJI/2024/v33i6922>

11. Mohyliuk, N., Shmatkovska, K., & Bulakh, A. (2025). Efektyvnist kombinovanykh neonikotynoidno-pyretroidnykh insektytsydiv u kontroli populatsii Ceutorhynchus assimilis Payk. na posivakh ripaku ozymoho [Effectiveness of combined neonicotinoid-pyretroid insecticides in controlling Ceutorhynchus assimilis Payk. populations on winter oilseed rape crops]. *Karantyn i zakhyst roslyn*, 283(4), 26–30. <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2025.4.26-30> [in Ukrainian].

12. Mueller, T. C., & Steckel, L. E. (2019). Spray mixture pH as affected by dicamba, glyphosate, and spray additives. *Weed Technology*, 33(4), 547–554. <https://doi.org/10.1017/wet.2019.40>

13. Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31–43. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>

14. Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I. P., Lešić, V., & Lemić, D. (2021). The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*, 12(5), 440. <https://doi.org/10.3390/insects12050440>

15. Tursun, N., Jabran, K., Bozdogan, O., & Karaman, Y. (2025). Growth of weeds and their chemical control under climate change conditions. *Journal of Plant Protection Research*, 65(1), 78–88. <https://doi.org/10.24425/jppr.2025.153822>

16. Zayan, S. A. (2019). Impact of climate change on plant diseases and IPM strategies. *Plant Diseases – current threats and management trends*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.87055>

17. Ziska, L. H., & Teasdale, J. R. (2000). Sustained growth and increased tolerance to glyphosate observed in a C3 perennial weed, quackgrass (*Elytrigia repens*), grown at elevated carbon dioxide. *Australian Journal of Plant Physiology*, 27(2), 159–166. <https://doi.org/10.1071/PP99099>

Вожегова Р.А., Лиховид П.В., Лавренко С.О., Максимов Д.О. Обчислювальний фреймворк для точного підкислення бакової суміші: інтеграція моделі хімічної рівноваги та інформаційних технологій для забезпечення хімічної стабільності пестицидів

Мета. Запропонувати наукову методику використання традиційних фізіологічно кислих добрив

для підкислення бакової суміші обприскувача до потрібного рівня рН виходячи з початкового рН води та інших факторів впливу, а також розробити практичний інструмент у форматі веб та мобільного додатку під назвою AquaTune для фермерів, щоб зробити складні розрахунки хімічного балансу автоматизованими та доступними для кожного.

Методи. В основі системи лежить алгоритмізація рівняння Гендерсона-Гассельбаха та температурно-залежної кінетики реакцій для формування стратегій високоточного підкислення. Виходячи за межі стандартних статичних калькуляторів, AquaTune унікально інтегрує кінетику нітрифікації, враховуючи біологічне вивільнення протонів (H⁺) з часом для забезпечення довгострокової стабільності рівня рН. Платформа оперує базою даних розповсюджених фізіологічно кислих добрив, використовуючи стехіометричні константи та аналіз добутку розчинності для мінімізації ризиків випадання в осад поживних речовин та поломки обладнання. Для розробки використано сучасний веб та мобільний стек технологій програмування.

Результати. Завдяки синхронізованим обчислювальним механізмам із можливістю автономної роботи та багатомовному інтерфейсу, AquaTune забезпечує глобально доступне рішення для економічної та хімічної оптимізації бакових сумішей. Наші результати демонструють, що такий комплексний підхід не лише запобігає дороговартісній деградації хімічних компонентів, а й підвищує екологічну стійкість програм захисту рослин. AquaTune постає як унікальний, науково обґрунтований аналог традиційних об'ємних методів, що перетворює складне моделювання хімічної рівноваги на ефективний, готовий до використання в полі інструмент підтримки прийняття рішень.

Висновки. Розроблений додаток AquaTune інтегрує складні хімічні моделі карбонатної рівноваги та кінетики нітрифікації у зручний інтерфейс для точного землеробства. Це дозволяє фермерам оптимізувати склад робочих розчинів, запобігаючи деградації пестицидів і засміченню обладнання, що підвищує ефективність та екологічну стійкість господарства.

Ключові слова: кислотність, лужність, цифрове сільське господарство, застосування пестицидів, захист рослин, якість води.

Vozhehova R.A., Lykhovyd P.V., Lavrenko S.O., Maksymov D.O. A computational framework for precision spray-tank acidification: An integration of chemical equilibrium modeling and information technologies to ensure chemical stability of pesticides

Purpose. To propose a scientific methodology for utilizing traditional physiologically acidic fertilizers to acidify sprayer tank mixtures to the required pH level – based on initial water pH and other influencing factors – and to develop a practical web and mobile tool named AquaTune to automate complex chemical balance calculations for farmers.

Methods. The system is centered on the algorithmization of the Henderson-Hasselbalch equation and temperature-dependent reaction kinetics to formulate high-precision acidification strategies. Moving beyond standard static calculators, AquaTune uniquely integrates nitrification kinetics, accounting for the biological release of protons (H⁺) over time to ensure long-term pH stability. The platform operates using a database

of common physiologically acidic fertilizers, employing stoichiometric constants and solubility product analysis to minimize the risks of nutrient precipitation and equipment failure. Modern web and mobile programming stacks were utilized for the development.

Results. Featuring synchronized computational engines with offline capabilities and a multilingual interface, AquaTune provides a globally accessible solution for the economic and chemical optimization of tank mixtures. Our results demonstrate that this comprehensive approach not only prevents the costly degradation of chemical components but also enhances the environmental sustainability of plant protection programs. AquaTune emerges as

a unique, science-based alternative to traditional volumetric methods, transforming complex chemical equilibrium modeling into an efficient, field-ready decision support tool.

Conclusions. The developed AquaTune application integrates complex chemical models of carbonate equilibrium and nitrification kinetics into a user-friendly interface for precision agriculture. This enables farmers to optimize the composition of working solutions, preventing pesticide degradation and equipment clogging, thereby increasing the efficiency and environmental sustainability of the farm.

Key words: acidity, alkalinity, digital agriculture, pesticide application, plant protection, water quality.



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 18.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.04.2026

ВПЛИВ СТРОКІВ СІВБИ НА ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ВРОЖАЮ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ КУКУРУДЗИ

ЗАЙКА В.К. – доктор біологічних наук, професор

orcid.org/0000-0002-2206-772X

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника

СІМЧУК А.П. – доктор біологічних наук, професор

orcid.org/0000-0002-1762-144X

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника

ШЕЛЕНКО Д.І. – доктор економічних наук, професор,

orcid.org/0000-0002-9214-7258

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника

ДМИТРИК П.М. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент,

orcid.org/0000-0003-1973-391X

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника

КОЛЯДЖИН І.Ф. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент,

orcid.org/0000-0001-8045-5678

Карпатський національний університет імені Василя Стефаника

ДУШКО П.М. – кандидат сільськогосподарських наук,

старший науковий співробітник відділу охорони ландшафтів,

збереження біорізноманіття і природозаповідання,

orcid.org/0000-0002-1408-0342

Інститут агроекології і природокористування

Національної академії аграрних наук України

Постановка проблеми. У сучасних умовах вирощування кукурудзи як однієї з провідних зернових культур має суттєве економічне та продовольче значення. За даними Комітету з питань аграрної та земельної політики Верховної Ради України, у 2025 році посівні площі під кукурудзою склали близько 4 млн га, що становить значну частку площ сільськогосподарських культур у країні [9]. Це підкреслює стратегічну роль кукурудзи для аграрного сектору та національної продовольчої безпеки України у складних кліматичних і економічних умовах.

Водночас сучасні зміни агрометеорологічних умов та кліматична мінливість висувають нові вимоги до технології вирощування кукурудзи, зокрема до вибору оптимальних строків сівби. Результати польових досліджень українських вчених свідчать про те, що строки сівби істотно впливають на формування продуктивності культури. Недостатньо прогрітий ґрунт за раннього строку сівби може сповільнювати появу сходів та зменшувати врожайність гібридів кукурудзи, тоді як оптимальні строки (середина квітня – початок травня) сприяли підвищенню урожайності зерна за рахунок кращого забезпечення вологи та теплових ресурсів у період росту й розвитку рослин [4]. Також строки сівби мали значний вплив на масу 1000 насінин та рівень урожайності середньостиглих гібридів, де оптимальні строки забезпечували найкращі показники продуктивності культури [7, 9].

Незважаючи на численні дані про вплив строків сівби на продуктивність кукурудзи, залишається недостатньо дослідженим механізм форму-

вання окремих елементів структури врожаю зерна (кількість рядів зерен, кількість зерен у ряду, маса 1000 насінин) саме в умовах змін кліматичних і агрометеорологічних факторів останніх років в Україні. Це зумовлює необхідність подальших досліджень з метою виявлення оптимальних строків сівби для підвищення стабільності та ефективності формування врожаю кукурудзи в сучасних умовах господарювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Кукурудза (*Zea mays* L.) є третьою за значенням зерновою культурою після пшениці та рису. Великі площі її вирощування знаходяться у помірних, тропічних і субтропічних регіонах світу. Зерно кукурудзи є цінним джерелом білка (10,4 %), жиру (4,5 %), крохмалю (71,8 %), вітамінів і мінеральних речовин, таких як кальцій, фосфор і сірка. Воно також є сировиною для виробництва крохмалю та використовується для приготування багатьох продуктів [11]. Визначальними чинниками, що впливають на врожайність кукурудзи, є строк сівби та вибір сорту, а також родючість ґрунту, температурний режим і кількість опадів [22]. Терміни посіву відіграють вирішальну роль у максимізації врожайності та якості зерна кукурудзи [20, 23], оскільки затримка строків посівів може призвести до зниження продуктивності [1, 21].

Останніми роками в Україні суттєво активізувалися дослідження, спрямовані на вивчення впливу строків сівби на продуктивність кукурудзи та формування її структури врожаю в умовах змін клімату. Більшість наукових праць підтверджують, що строки сівби є одним із ключових агротехнічних чинників,

який визначає польову схожість, розвиток генеративних органів і кінцеву урожайність [5].

За результатами досліджень Гангур В. В. та Пелих М. В. встановлено, що оптимальні строки сівби (20–30 квітня) забезпечували формування більшої маси 1000 зерен та вищої урожайності середньостиглих гібридів кукурудзи порівняно з ранніми й пізніми строками. Відхилення від оптимальних строків призводило до погіршення умов формування генеративних органів і зниження продуктивності рослин [6, 8].

Дослідженнями Дудки М. І., Ковтун О. В. та Дудки А. М. підтверджено значний вплив строків сівби на формування врожаю кукурудзи. Ранні строки сівби (14–25 квітня) забезпечували вищу врожайність зерна гібридів різних груп стиглості, тоді як пізні строки супроводжувалися зменшенням маси зерна та кількості зерен з качана, що негативно впливало на загальний рівень урожайності [10].

В умовах Західного Лісостепу України встановлено, що правильний вибір строків сівби для гібридів різних груп стиглості сприяє ефективнішому використанню теплових і водних ресурсів регіону, що забезпечує формування вищої продуктивності та стабільної урожайності культури [19].

Ащенко Ю., Пашенко Н., Лобко Т. і Базиленко Є. у дослідженнях гібридів кукурудзи дійшли висновку, що строки сівби істотно впливали на формування продуктивності, причому оптимальні строки забезпечували кращі умови для проростання насіння, формування сходів та розвитку генеративних органів. Науковці довели – ранні строки сівби сприяють ефективнішому використанню запасів ґрунтової вологи та формуванню вищої індивідуальної продуктивності рослин. Водночас встановлено, за надмірної густоти стояння рослин у поєднанні з пізніми строками сівби спостерігається погіршення структури врожаю, що проявляється у зменшенні маси зерна та зниженні виповненості качанів [2, 3, 14, 15]. Разом із тим, аналіз наукових публікацій свідчить, що переважна більшість досліджень зосереджена на оцінці загальної урожайності та окремих агрономічних показників, тоді як детальне вивчення впливу строків сівби на формування елементів структури врожаю у взаємозв'язку з сучасними кліматичними умовами залишається недостатнім, особливо для умов Західного Лісостепу України.

Мета статті. Метою дослідження було вивчення впливу строків посіву на продуктивність рослин кукурудзи в умовах західного регіону України.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводили упродовж 2023–2025 років на чорноземі опідзоленому. Схема досліду передбачала вивчення двох факторів: строків сівби та гібридів кукурудзи різних груп стиглості. Ранні строки сівби здійснювали за температури ґрунту 8 °С, середні – за 10 °С, пізні – за 12 °С на глибині загортання насіння. У дослідженнях використовували ранньостиглий гібрид MAS 20A FAO 230, середньоранній MAS 25F FAO 250 та середньостиглий MAS 36A FAO 300.

Ґрунт – чорнозем опідзолений з вмістом гумусу в орному шарі (0 – 20 см) 4,2 %, є добре забезпеченим фосфором і азотом та помірно – калієм, а також має горіхувато-зернисту структуру з вмістом водотривких агрегатів до 80 %. Коефіцієнт структурності становить 2,6, загальна шпаруватість ґрунту сягає 55 %, що зумовлює формування сприятливого водно-повітряного режиму.

Технологія вирощування кукурудзи загальноприйнята для ґрунтово-кліматичної зони. Попередником кукурудзи була озима пшениця. Система основного обробітку ґрунту включала лущення стерні та зяблеву оранку з внесенням фосфорно-калійних добрив. Азотні добрива вносили дробно, з урахуванням фаз розвитку рослин. Норма висіву насіння становила 75 тис. схожих насінин на гектар. Захист посівів від бур'янів забезпечували ґрунтовим гербіцидом Харнес (2,0 л/га).

Експериментальні роботи передбачали проведення польових досліджень згідно з методикою Державного сортопробування сільськогосподарських культур і «Методики польового досліду» [12,13].

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження показали, що строки сівби істотно впливали на тривалість міжфазних періодів кукурудзи незалежно від групи стиглості гібридів. Найдовший інтервал періоду від сівби до появи сходів спостерігався у середньостиглого гібриду MAS 25F (FAO 250) – 11 днів, а також у гібриду MAS 20A (FAO 230) за раннього строку сівби (табл.1).

За перенесення сівби на пізніші строки тривалість періоду до появи сходів, незалежно від групи стиглості, зменшувалася в середньому на 2 дні. Зокрема, за середнього строку сівби масові сходи з'являлися на 10-й день, а за пізнього – на 7 – 8 - й день.

Аналіз періоду від сходів до цвітіння качана засвідчив, що ранньостиглий гібрид MAS 20A (FAO 230) проходив фази вегетації швидше й мав середню тривалість періоду 56 днів незалежно від строку сівби. Середньоранній та середньостиглий гібриди відставали від нього за тривалістю на 13 %. У міжфазний період «цвітіння качана – повна стиглість» ранньостиглий гібрид перевищував інші варіанти досліду, забезпечуючи перевагу в 9 діб.

Водночас вирішальним показником технологічних особливостей гібриду є тривалість періоду від сходів до повної стиглості, що відображає взаємодію біологічних властивостей гібриду, ґрунтово-кліматичних умов і технології вирощування кукурудзи на зерно.

У наших дослідженнях ранньостиглий гібрид сформував урожай, придатний до збирання в найкоротші строки за пізнього посіву (07.05), коли повний цикл розвитку рослин становив 115 днів. За перенесення строків сівби на більш ранні тривалість вегетації зростала: за середнього строку – на 3 доби, а за раннього (22.04) – на 6 діб.

Найдовшим вегетаційним періодом в наших дослідженнях характеризувався середньоранній гібрид MAS 25F (FAO 250), у якого тривалість міжфазного періоду «сходи – фізична стиглість» становила 144 доби за раннього строку сівби, 136 – за

Таблиця 1 – Тривалість міжфазних періодів залежно від групи стиглості гібридів та строків посіву, діб

Гібрид кукурудзи	Термін посіву	Сівба- сходи	Сходи- цвітіння качана	Цвітіння качана- повна стиглість	Сходи- повна стиглість
Ранньостиглий: MAS 20A FAO 230	22.04	12	57	51	121
	01.05	10	56	51	118
	07.05	8	56	51	115
Середньоранній: MAS 25F FAO 250	22.04	10	66	67	144
	01.05	9	66	60	136
	07.05	8	65	60	132
Середньостиглий: MAS 36.A FAO 300	22.04	11	66	61	140
	01.05	10	65	59	136
	07.05	7	63	60	131

середнього та 132 – за пізнього. Середньостиглий гібрид несуттєво відрізнявся від середньораннього, оскільки тривалість зазначеного міжфазного періоду була меншою на 1 – 4 доби залежно від строку сівби.

Морфологічні показники рослин також зазначали зміни залежно від строків сівби. Висота рослин кукурудзи відображає всю сукупність технології вирощування з факторами зовнішнього середовища. Низькі температури на період сходів та високі температури повітря в період інтенсивного росту, наявність бур'янів зумовлюють трансформацію лінійних розмірів рослин, підвищують висоту закладання качанів [4, 6, 16–18].

За результатами проведених досліджень встановлено, що за ранніх строків посіву висота рослин у гібридів усіх груп стиглості мали максимальне значення. Так, висота гібриду MAS 20A FAO 230 становила 258,1 см, середньораннього 282,5 см і середньостиглого – 274,3 см. Тоді як, при пізніх термінах посіву висота рослин скорочувалась відповідно на 7,4 %; 3,6 %; 3,4 % (табл. 2).

Ранньостиглий гібрид характеризувався оптимальною висотою прикріплення качанів у межах від 62,1 до 81,1 см, при чому на ранніх строках сівби висота прикріплення була вища в середньому на 20 см, що пов'язано із більшою висотою рослин кукурудзи. Середньоранній і середньостиглі гібриди характеризуються більш вищим прикріпленням

качанів на висоті від 88,2 до 104 см і знаходяться в межах оптимальної висоти для збирання.

Загалом відмічається тенденція, що при ранніх строках сівби незалежно від групи дозрівання гібридів формується найбільша висота рослин, а відповідно і кріплення качанів. Середньоранній та середньостиглі гібриди істотно не відрізняються за висотою рослин та висотою кріплення качанів кукурудзи.

Вивчаючи елементи структури врожаю нами встановлено, кількість рядів залежала від групи стиглості гібридів, строків посіву. У ранньостиглого гібриду максимальна кількість рядів 14 спостерігається при пізньому посіві, ранньому і середньому їх кількість становила відповідно 13,7 та 13,6 шт (табл. 3).

Гібрид середньоранньої групи також сформував максимальну кількість рядів зерна у качані при пізньому посіві 14,5 шт., тоді як при ранньому посіві кількість рядів складала 14,0 штук. Середньостиглий гібрид MAS 36.A FAO 300 максимальну кількість рядів сформував при ранньому посіві (22 квітня), при середньому та пізніх строках кількість рядів істотно не відрізнялася хоча була дещо нижчою. Кількість зерен у рядах всіх варіантів з різностиглими гібридами спостерігалась найбільша при ранньому строку посіву. У гібрида MAS 20A FAO 230 кількість зерен становила 40,8 штук в одному ряді при посіві 22.04, зі зміщенням посіву на пізні-

Таблиця 2 – Морфологічні ознаки гібридів кукурудзи залежно від строків сівби (середнє за 2023 – 2025 рр.)

Гібрид кукурудзи	Термін посіву	Висота рослин, см	Висота кріплення качана, см
Ранньостиглий: MAS 20A FAO 230	22.04	258,1	81,1
	01.05	245,2	72,6
	07.05	240,4	62,1
Середньоранній: MAS 25F FAO 250	22.04	282,5	104
	01.05	274,9	95,3
	07.05	272,8	91,7
Середньостиглий: MAS 36.A FAO 300	22.04	274,3	102,0
	01.05	269,6	99,2
	07.05	265,2	88,2

Таблиця 3 – Формування структури урожаю гібридів кукурудзи залежно від досліджуваних факторів

Гібрид кукурудзи	Термін посіву	Кількість рядів зерна, шт	Кількість зерен у ряді, шт	Маса 1000 насінин, г
Ранньостиглий: MAS 20A FAO 230	22.04	13,6	40,8	260,8
	01.05	13,7	40,3	246,6
	07.05	14,0	35,6	227,1
Середньоранній: MAS 25F FAO 250	22.04	14,0	38,7	315,2
	01.05	13,6	36,5	290,4
	07.05	14,5	35,8	246,5
Середньостиглий: MAS 36.A FAO 300	22.04	16,2	41,5	291,7
	01.05	15,9	40,1	271,2
	07.05	16,1	38,7	254,3
НІР _{0,5} групи стиглості		0,24	0,41	5,07
НІР _{0,5} строк сівби		0,18	0,48	6,31

ший термін 07.05 кількість зерен скоротилося на 5,2 штуки.

Така ж тенденція спостерігалась у гібридів середньоранньої та середньостиглий групи. Слід зазначити, що кількість зерен у качані гібриду MAS 25F FAO 250 була нижчою в середньому на 5,4 % по відношенню до гібридів ранньостиглої та середньостиглої групи.

Проведений аналіз маса 1000 насінин показав, що вирощування гібриду MAS 36.A FAO 300 при ранньому посіві забезпечував формування маси зерна на рівні 291,7 г, тоді як при посіві гібридів кукурудзи 1 травня вона знижувалася на 7,5 %, а при посіві 7 травня на 14,7 %. Гібрид MAS 25F FAO 250 характеризувався найбільшою масою тисячі насінин 315,2 г при ранньому посіві, за середнього строку посіву – 290,4 г, а при пізніх строках знижувався до 246,5 г.

Ранньостиглий гібрид характеризувався значно нижчою масою насіння по відношенню до гібридів інших груп стиглості. Найбільша маса 1000 насінин спостерігалась при ранньому посіві і становила 260,8 г, середньому – 246,6 г, пізньому – 227,1 г.

Формування елементів структури урожаю відбувалося з урахуванням біологічних особливостей

гібридів і строків сівби. Максимальна кількість рядів зерна в качані частіше формувалася за пізніх строків сівби, тоді як найбільша кількість зерен у ряді та найбільша маса 1000 насінин спостерігалися за ранніх строків. Це свідчить про те, що ранні строки сівби сприяють кращому наливу зерна та формуванню його маси, що є вирішальним фактором продуктивності культури.

Високою урожайністю характеризувався середньостиглий гібрид MAS 36.A FAO 300, де у варіанті з раннім строком посіву продуктивність склала 11,4 т/га. Середні строки посіву гібриду забезпечили урожайність 10 т/га, пізні – 9,6 т/га. Як ми бачимо, від термінування строків посіву на п'ять днів даного гібриду призвело до зниження урожайності в середньому на 14 % (рис. 1).

Середньоранній гібрид MAS 25F FAO 250 забезпечував урожайність при ранніх та середніх строках посіву 9,9 та 9,2 т/га. При пізньому строку посіву вона знизилась на 22 %. Найменш продуктивним в умовах наших досліджень виявився гібрид MAS 20A FAO 230, урожайність якого при ранніх строках посіву була нижчою по відношенню до середньостиглого гібриду на 35,5 %, при середніх термінах посіву відповідно на 28,2 %, пізніх на 37,6 %.

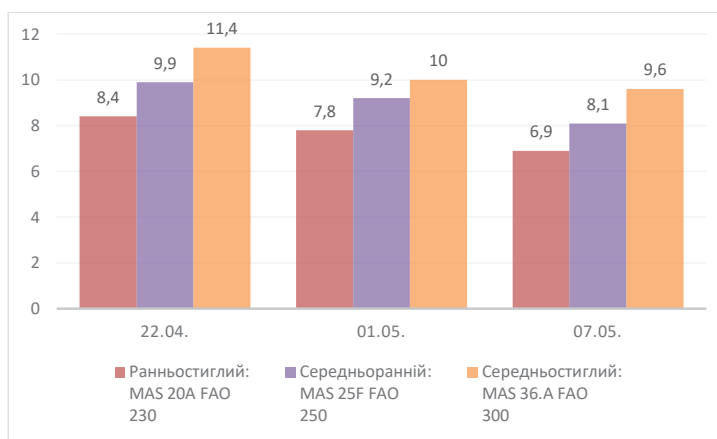


Рис.1. Урожайність гібридів кукурудзи за різних строків посіву, т/га (середнє за 2023 – 2025 рр.)

Урожайність кукурудзи істотно коливалася залежно від досліджуваних факторів і становила від 6,9 до 11,4 т/га. Найвищу продуктивність забезпечував середньостиглий гібрид за ранніх строків сівби, де урожайність досягала 11,4 т/га. Зміщення строків сівби на пізніші терміни призводило до поступового зниження урожайності у всіх варіантах досліджу. Середньоранній гібрид забезпечував стабільно високі врожаї за ранніх і середніх строків сівби, тоді як ранньостиглий гібрид характеризувався нижчим рівнем продуктивності незалежно від строків.

Висновки. Встановлено, що строки сівби є одним із визначальних факторів формування продуктивності кукурудзи в умовах Західного Лісостепу України. Найвищу продуктивність (11,4 т/га) забезпечив середньостиглий гібрид MAS 36.A (FAO 300) за раннього строку сівби. Зміщення строків посіву на пізніші терміни призводило до поступового зниження урожайності, зокрема в середньому на 14 % у цього гібриду.

Середньоранній гібрид MAS 25F (FAO 250) формувал стабільно високі врожаї за ранніх і середніх строків сівби, однак за пізнього строку посіву урожайність знижується до 22 %. Найменш продуктивним виявився ранньостиглий гібрид MAS 20A (FAO 230), який поступався середньостиглому гібриду за всіма строками сівби. Для забезпечення максимальної реалізації потенціалу продуктивності кукурудзи доцільно використовувати середньостиглі гібриди та дотримуватися ранніх строків сівби, оскільки їх зміщення негативно впливає на рівень урожайності незалежно від групи стиглості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Аргунова К. В., Жук О. Г. Вплив строків сівби і густоти стояння на урожайність гібридів кукурудзи різних груп стиглості в умовах Криму на зрошенні. *Бюлетень Інституту зернового господарства УААН*. 2010. № 38. С. 170–174.
2. Ащенко Ю. М., Пащенко Н. О., Лобко Т. К. Строки сівби і густота стояння рослин гібридів кукурудзи в посушливому степу. *Вісник ДДАЕУ*. 2016. № 2(40). С. 14–18.
3. Базиленко Є. О., Марченко Т. Ю. Урожайність та збиральна вологість зерна гібридів кукурудзи за різних строків сівби. *Аграрні інновації*. 2024. № 23 С. 7–15
4. Бараболя О. В., Косенко І. В. Вплив строків сівби на врожайність кукурудзи. *Scientific Progress & Innovations*. 2024. 27(1), С. 41–46. <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.01.07>
5. Бомба М., Бомба М., Дудар І., Литвин О., Дудар О. Вирощування кукурудзи в Зональному землеробстві. *Вісник Львівського національного аграрного університету*. 2021. № 25. С. 55–59. <http://dx.doi.org/10.31734/agronomy2021.01.055>
6. Гангур В.В. Кукурудза на зерно – кращі строки сівби і оптимальна густота стояння рослин для Лівобережного Лісостепу. *Агробізнес сьогодні*. 2021. № 07 (446). С. 24–25.
7. Гангур В. В., Руденко В. В. Біометричні параметри рослин та продуктивність кукурудзи (*Zea mays* L.) залежно від строків сівби. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. № 26(3). С. 36–41. doi: 10.31210/spi2023.26.03.07
8. Гангур В. В., Тоцький В. М., Лень О. І. Врожайність гібридів кукурудзи залежно від строків сівби. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2014. № 6. С. 138–142.
9. Гангур В. В., Пелих М. А. Вплив строків сівби та густоти рослин на урожайність гібридів кукурудзи в умовах Лівобережного Лісостепу. *Scientific Progress Innovations*, 2025. 28(1), С.75 – 80. <https://doi.org/10.31210/spi2025.28.01.13>
10. Дудка М. І., Ковтун О. В., Дудка А. М. Формування врожайності зерна кукурудзи залежно від строків сівби в умовах Північного Степу України. *Зернові культури*. 2023. Т. 7. № 2. С. 112–119.
11. Жемела Г. П., Бараболя О. В., Ліщенко В. В., Ліщенко Ю. С., Подоляк В. А. Формування врожайності зерна гібридів кукурудзи залежно від норми висіву. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. №1. С. 97 – 105. <https://doi.org/10.31210/vishnyk2021>
12. Методика проведення експертизи сортів рослинної групи зернових, круп'яних та зернобобових на придатність до розширення в Україні / за ред. С.О. Ткачик. Вінниця : ФОП Корзун Д. Ю., 2016. 82 с.
13. Методика проведення польових дослідів з кукурудзою. Лебідь Є. М., Циков В. С., Пащенко Ю. М. та ін. Дніпропетровськ, 2008. 27 с.
14. Пащенко Ю. М., Борисов В. М., Шишкіна О. Ю. Адаптивні і ресурсозбереженні технології вирощування гібридів кукурудзи: монографія. Дніпропетровськ: АРТ-ПРЕС, 2009. 224 с.
15. Пащенко Ю. М., Кордін О. І. Строки сівби різних за холодостійкістю гібридів кукурудзи. *Бюлетень Ін-ту зерн. госп-ва НААН*. Дніпропетровськ. 2015. № 23–24. С. 154–158.
16. Рудацька Н. М., Глива В. В. Формування продуктивності гібридів кукурудзи в умовах Лісостепу Західного. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2018. Вип. 64. С. 120–123.
17. Центилю Л. В. Продуктивність кукурудзи залежно від строку сівби на чорноземах типових. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2011. № 1. С. 69–75.
18. Юрченко С. О., Степаненко Б. В., Хачатурян А. Е. Урожайність гібридів кукурудзи на зерно залежно від їх групи стиглості. *Scientific Progress & Innovations*. 2024. № 27 (4). С. 66–71.
19. Ящук Т. С. та ін. Ефективність строків посіву гібридів кукурудзи різних груп стиглості в умовах Західного лісостепу України. *Зернові культури*. 2023. Т. 7. № 2. С. 96–103.
20. Abaza A. S. D., Elshamly A. M. S., Alwahibi M. S., Elshikh M. S., & Ditta A. Impact of different sowing dates and irrigation levels on NPK absorption, yield and water use efficiency of maize. *Scientific Reports*. 2023. 13 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40032-9>
21. Anapalli S. S., Ma L., Nielsen D. C., Vigil M. F. & Ahuja L. R. Simulating planting date effects on corn production using RZWQM and CERES-Maize models. *Agronomy Journal*. 2005. 97 (1), 58–70
22. Ramankutty N., Foley J. A., Norman J. & McSweeney K. The global distribution of cultivable lands: current patterns and sensitivity to possible climate change. *Global Ecology and Bio-geography*. 2002.

11 (5), 377 – 392. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822x.2002.00294.x>

23. Zakaria O. E., El-Rouby M. M., & Hemeid M. M. Grain quality of maize cultivar Giza 168 as affected by levels of irrigation, sowing date, plant density and macronutrients. *Alexandria Science Exchange Journal*. 2020. 41 (6), С. 455–470. <https://doi.org/10.21608/asejaiqsae.2020.127606>

REFERENCES:

1. Arhunova K. V., Zhuk O. H. (2010) Vplyv strokiv sivby i hustoty stoiannia na urozhainist hibrydiv kukurudzy riznykh hrup styhlosti v umovakh Krymu na zroshenni [Influence of sowing dates and plant density on the yield of maize hybrids of different maturity groups under irrigation in Crimea]. *Biuletyn Instytutu zernovoho hospodarstva UAAN*. № 38. S. 170–174. [in Ukrainian].

2. Ashchenko Yu. M., Pashchenko N. O., Lobko T. K. (2016) Stroky sivby i hustota stoiannia roslyn hibrydiv kukurudzy v posushlyvom stepu [Sowing dates and plant density of maize hybrids in the arid steppe]. *Visnyk DDAEU*. № 2(40). S. 14–18. [in Ukrainian].

3. Bazylenko Ye. O., Marchenko T. Yu. (2024) Urozhainist ta zbyralna volohist zerna hibrydiv kukurudzy za riznykh strokiv sivby [Yield and harvest grain moisture of maize hybrids at different sowing dates]. *Ahrarni innovatsii*. № 23. S. 7–15. [in Ukrainian].

4. Barabolia O. V., Kosenko I. V. (2024) Vplyv strokiv sivby na vrozhaunist kukurudzy [Influence of sowing dates on maize yield]. *Scientific Progress & Innovations*. 27(1). S. 41–46. <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.01.07> [in Ukrainian].

5. Bomba M., Bomba M., Dudar I., Lytvyn O., Dudar O. (2021) Vyroshchuvannia kukurudzy v zonalnomu zemlerobstvi [Maize cultivation in zonal farming]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu*. № 25. S. 55–59. <http://dx.doi.org/10.31734/agronomy2021.01.055> [in Ukrainian].

6. Hanhur V. V. (2021) Kukurudza na zerno – krashchi stroky sivby i optymalna hustota stoiannia roslyn dlia Livoberezhnoho Lisostepu [Grain corn – best sowing dates and optimal plant density for the Left-Bank Forest-Steppe]. *Ahrobiznes sohodni*. № 07 (446). S. 24–25. [in Ukrainian].

7. Hanhur V. V., Rudenko V. V. (2023) Biometrychni parametry roslyn ta produktyvnist kukurudzy (*Zea mays* L.) zalezno vid strokiv sivby [Biometric parameters of plants and productivity of maize (*Zea mays* L.) depending on sowing dates]. *Scientific Progress & Innovations*. № 26(3). S. 36–41. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.07> [in Ukrainian].

8. Hanhur V. V., Totskyi V. M., Len O. I. (2014) Vrozhaunist hibrydiv kukurudzy zalezno vid strokiv sivby [Yield of maize hybrids depending on sowing dates]. *Biuletyn Instytutu silskoho hospodarstva stepovoi zony NAAN Ukrainy*. № 6. S. 138–142. [in Ukrainian].

9. Hanhur V. V., Pelykh M. A. (2025) Vplyv strokiv sivby ta hustoty roslyn na urozhainist hibrydiv kukurudzy v umovakh Livoberezhnoho Lisostepu [Influence of sowing dates and plant density on the yield of maize hybrids in the Left-Bank Forest-Steppe conditions]. *Scientific Progress & Innovations*. 28(1). S. 75–80. <https://doi.org/10.31210/spi2025.28.01.13> [in Ukrainian].

10. Dudka M. I., Kovtun O. V., Dudka A. M. (2023) Formuvannia vrozhaunisti zerna kukurudzy zalezno vid strokiv sivby v umovakh Pivnichnoho Stepu Ukrainy [Formation of maize grain yield depending on sowing dates in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine]. *Zernovi kultury*. Vol. 7. № 2. S. 112–119. [in Ukrainian].

11. Zhemela H. P., Barabolia O. V., Liashenko V. V., Liashenko Yu. S., Podoliak V. A. (2021) Formuvannia vrozhaunisti zerna hibrydiv kukurudzy zalezno vid normy vysivu [Formation of grain yield of maize hybrids depending on seeding rate]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*. № 1. S. 97–105. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021> [in Ukrainian].

12. Metodyka provedennia ekspertyzy sortiv roslynnoi hrupy zernovykh, krupianykh ta zernobobovykh na prydatnist do poshyrennia v Ukraini / za red. S. O. Tkachyk. (2016) [Methodology for the examination of cereal, groat and legume plant varieties for suitability for distribution in Ukraine]. *Vynnytsia: FOP Korzun D. Yu.* 82 p. [in Ukrainian].

13. Lebid Ye. M., Tsykov V. S., Pashchenko Yu. M. et al. (2008) Metodyka provedennia polovykh doslidiv z kukurudzoiu [Methodology for conducting field experiments with maize]. *Dnipropetrovsk*. 27 p. [in Ukrainian].

14. Pashchenko Yu. M., Borysov V. M., Shyshkyna O. Yu. (2009) Adaptivni i resursozbezhechni tekhnologii vyroshchuvannia hibrydiv kukurudzy: monohrafiia [Adaptive and resource-saving technologies for growing maize hybrids: monograph]. *Dnipropetrovsk: ART-PRES*. 224 p. [in Ukrainian].

15. Pashchenko Yu. M., Kordin O. I. (2015) Stroky sivby riznykh za kholodostiikisti hibrydiv kukurudzy [Sowing dates of maize hybrids differing in cold resistance]. *Biuletyn Instytutu zernovoho hospodarstva NAAN*. № 23–24. S. 154–158. [in Ukrainian].

16. Rudavska N. M., Hlyva V. V. (2018) Formuvannia produktyvnosti hibrydiv kukurudzy v umovakh Lisostepu Zakhidnoho [Formation of productivity of maize hybrids in the conditions of the Western Forest-Steppe]. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnytstvo*. Issue 64. S. 120–123. [in Ukrainian].

17. Tsentylo L. V. (2011) Produktyvnist kukurudzy zalezno vid stroku sivby na chornozemakh typovykh [Productivity of maize depending on sowing date on typical chernozems]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy*. № 1. S. 69–75. [in Ukrainian].

18. Yurchenko S. O., Stepanenko B. V., Khachaturian A. E. (2024) Urozhainist hibrydiv kukurudzy na zerno zalezno vid yikh hrupy styhlosti [Grain yield of maize hybrids depending on their maturity group]. *Scientific Progress & Innovations*. № 27(4). S. 66–71. [in Ukrainian].

19. Yashchuk T. S. et al. (2023) Efektyvnist strokiv posivu hibrydiv kukurudzy riznykh hrup styhlosti v umovakh Zakhidnoho Lisostepu Ukrainy [Efficiency of sowing dates of maize hybrids of different maturity groups in the Western Forest-Steppe of Ukraine]. *Zernovi kultury*. Vol. 7. № 2. S. 96–103. [in Ukrainian].

20. Abaza A. S. D., Elshamly A. M. S., Alwahibi M. S., Elshikh M. S., Ditta A. (2023) Impact of different sowing dates and irrigation levels on NPK absorption, yield and

water use efficiency of maize. *Scientific Reports*. 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40032-9>.

21. Anapalli S. S., Ma L., Nielsen D. C., Vigil M. F., Ahuja L. R. (2005) Simulating planting date effects on corn production using RZWQM and CERES-Maize models. *Agronomy Journal*. 97(1). P. 58–70.

22. Ramankutty N., Foley J. A., Norman J., McSweeney K. (2002) The global distribution of cultivable lands: current patterns and sensitivity to possible climate change. *Global Ecology and Biogeography*. 11(5). P. 377–392. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822x.2002.00294.x>.

23. Zakaria O. E., El-Rouby M. M., Hemeid M. M. (2020) Grain quality of maize cultivar Giza 168 as affected by levels of irrigation, sowing date, plant density and macronutrients. *Alexandria Science Exchange Journal*. 41(6). P. 455–470. <https://doi.org/10.21608/asejaiqsae.2020.127606>.

Заїка В.К., Сімчук А.П., Шеленко Д.І., Дмитрик П.М., Коляджин І.Ф., Душко П.М. Вплив строків сівби на формування структури врожаю та продуктивності кукурудзи

Мета. Метою дослідження було вивчення впливу строків посіву на продуктивність рослин кукурудзи в умовах західного регіону України.

Методи. Застосовували польові методи для оцінки біометричних показників і врожайності, лабораторні для визначення елементів продуктивності рослин та статистичні методи для аналізу результатів експерименту.

Результати. Дослідження елементів структури врожаю показали, що кількість рядів у качані залежала від групи стиглості гібридів та строків посіву. У ранньостиглого гібрида максимальна кількість рядів (14) спостерігалася за пізнього посіву, тоді як при ранньому та середньому посіві їх кількість становила відповідно 13,7 та 13,6 шт. Середньоранній гібрид також сформував максимальну кількість рядів зерна (14,5 шт.) за пізнього посіву, тоді як при ранньому посіві їх було 14,0 шт. Встановлено, що середньостиглий гібрид MAS 36.A (FAO 300) мав максимальну кількість рядів при ранньому посіві (22 квітня), при середніх та пізніх строках кількість рядів суттєво не відрізнялася, проте була дещо нижчою. Кількість зерен у рядах у всіх гібридів була найбільшою при ранньому строку посіву. Так, у гібрида MAS 20A (FAO 230) кількість зерен становила 40,8 шт. у ряді при посіві 22.04, а при зміщенні посіву на пізніший термін (07.05) кількість зерен скоротилася на 5,2 шт.

Встановлено, що урожайність кукурудзи суттєво коливалася залежно від досліджуваних факторів, варіюючи від 6,9 до 11,4 т/га. Найвищу продуктивність показав середньостиглий гібрид за ранніх строків сівби, де урожайність сягала 11,4 т/га. Змі-

щення строків сівби на пізніші призводило до поступового зниження врожайності. Середньоранній гібрид забезпечував стабільно високі врожаї за ранніх та середніх строків сівби, тоді як ранньостиглий гібрид характеризувався нижчим рівнем продуктивності, незалежно від термінів посіву.

Висновки. Рекомендовано вирощувати середньостиглий гібрид MAS 36.A (FAO 300) з раннім строку сівби.

Ключові слова: біометричні показники рослин, урожайність, групи стиглості, елементи продуктивності, західний регіон.

Zaika V.K., Simchuk A.P., Shelenko D.I., Dmitrik P.M., Kolyadzin I.F., Dushko P.M. The influence of sowing dates on the formation of crop structure and productivity of maize

Objective. The aim of the study was to investigate the effect of sowing dates on the productivity of corn plants in the western region of Ukraine. Methods. Field methods were used to assess biometric indicators and yield, laboratory methods to determine plant productivity elements, and statistical methods to analyse the results of the experiment.

Results. Studies of the elements of the yield structure showed that the number of rows in the cob depended on the maturity group of the hybrids and the sowing dates. In the early-maturing hybrid, the maximum number of rows (14) was observed with late sowing, while with early and medium sowing, their number was 13.7 and 13.6, respectively. The medium-early hybrid also formed the maximum number of rows of grain (14.5) during late sowing, while during early sowing there were 14.0 rows. It was found that the mid-season hybrid MAS 36.A (FAO 300) had the maximum number of rows during early sowing (22 April), while during medium and late sowing, the number of rows did not differ significantly, but was slightly lower. The number of grains in rows for all hybrids was highest during early sowing. Thus, in the MAS 20A (FAO 230) hybrid, the number of grains was 40.8 pcs. per row when sown on 22 April, and when sowing was shifted to a later date (7 May), the number of grains decreased by 5.2 pcs.

It was found that corn yield varied significantly depending on the factors studied, ranging from 6.9 to 11.4 t/ha. The mid-season hybrid showed the highest productivity at early sowing dates, where the yield reached 11.4 t/ha. Shifting the sowing dates to later ones led to a gradual decrease in yield. The medium-early hybrid provided consistently high yields at early and medium sowing dates, while the early-maturing hybrid was characterised by lower productivity, regardless of the sowing dates.

Conclusions. It is recommended to grow the mid-season hybrid MAS 36.A (FAO 300) with early sowing.

Key words: biometric indicators of plants, yield, ripeness groups, productivity elements, western region.



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 25.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.04.2026

ОЦІНКА СОРТОВОЇ СТІЙКОСТІ ГОРОХУ ПІДЗИМНЬОГО СТРОКУ СІВБИ ДО ЗБУДНИКІВ КОРЕНЕВИХ ГНИЛЕЙ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

КРИВЕНКО А.І. – доктор сільськогосподарських наук, професор
orcid.org/0000-0002-2133-3010
Одеський державний аграрний університет
УСОВ Р.М. – аспірант
orcid.org/0009-0003-2282-7025
Одеський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Горох (*Pisum sativum* L.) є однією з провідних зернобобових культур України, що має важливе продовольче, кормове та агроекологічне значення. У структурі посівних площ Лісостепу України ця культура займає вагоме місце, забезпечуючи господарства високобілковою сировиною та відіграючи суттєву роль у біологізації землеробства завдяки здатності до азотофіксації. Водночас реалізація продуктивного потенціалу сортів гороху, значною мірою, обмежується поширенням комплексу ґрунтових фітопатогенів, зокрема збудників кореневих гнилей.

Кореневі гнилі є одними з найпоширеніших і найшкідливіших хвороб гороху як в Україні, так і за її межами. Ураження рослин у фазі сходів становить 13–45%, у фазі цвітіння – 33–80%, призводить до втрати врожаю, що можуть досягати 30–50% і більше, залежно від погодних умов та рівня розвитку хвороби. За даними досліджень, коефіцієнт шкідливості фузаріозної кореневої гнилі в умовах Лісостепу України, перевищує 60%, що супроводжується істотним зниженням маси насіння, маси 1000 насінин та погіршенням його посівних і технологічних якостей. Ураження кореневої системи патогенами, призводить до порушення водного та мінерального живлення рослин, змін у перебігу фізіологічного-біохімічних процесів, зменшення фотосинтетичної активності та, як наслідок, до недобору врожаю [1].

Етіологічна структура кореневих гнилей гороху є складною і представлена переважно грибами родів *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia*, а за умов надмірного зволоження – *Aphanomyces euteiches*. Тривале збереження інфекції в ґрунті у вигляді міцелію, хламідіоспор, склероціїв та уражених рослинних решток ускладнює контроль захворювання. Ефективність хімічних та агротехнічних заходів захисту є обмеженою, а їх застосування не завжди забезпечує стабільний фітосанітарний ефект, особливо за повторного вирощування зернобобових культур у сівозміні [1].

Особливої актуальності проблема, набуває за впровадження підзимніх строків сівби гороху. Осіння сівба, дозволяє раціональніше використовувати ґрунтову вологу, уникати весняних посух і формувати вищий рівень урожайності, однак супроводжується зміною умов перезимівлі, температурного та вологісного режимів ґрунту, що може впливати

на інтенсивність розвитку ґрунтової інфекції. Низькі температури в осінньо-зимовий період, тривале перебування насіння і проростків у ґрунті, а також підвищена вологість створюють передумови для посилення ураження рослин збудниками кореневих гнилей на ранніх етапах органогенезу.

У зв'язку з цим, зростає значення створення та добору сортів, адаптованих до підзимнього строку сівби й одночасно стійких до комплексу збудників кореневих гнилей. Сортова стійкість є найбільш економічно доцільним і екологічно безпечним елементом інтегрованого захисту рослин, що дозволяє зменшити інфекційне навантаження, підвищити стабільність агроценозів та забезпечити формування високоякісного врожаю без надмірного застосування пестицидів.

Проте питання оцінки сортової стійкості гороху підзимнього строку сівби до збудників кореневих гнилей в умовах Лісостепу України залишаються недостатньо вивченими, що зумовлює необхідність проведення комплексних фітопатологічних досліджень із урахуванням регіональних ґрунтово-кліматичних особливостей та видового складу патогенів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасних наукових дослідженнях проблема кореневих гнилей гороху, набула особливої актуальності у зв'язку з їх широким поширенням у різних агрокліматичних зонах світу – зокрема в країнах Європи, Північної Америки та Азії – та значними втратами врожаю, спричиненими комплексом ґрунтових патогенів (*Fusarium* spp., *Aphanomyces euteiches*, *Pythium* spp., *Didymella pinodella* тощо). За даними сучасних міжнародних досліджень, ураження *Aphanomyces euteiches* може зумовлювати суттєве зниження продуктивності культури навіть за відсутності виражених надземних симптомів [2, 3].

Однією з провідних тенденцій останніх років є застосування сучасних молекулярних і геномних технологій для ідентифікації генів та локусів, що визначають часткову стійкість до кореневих гнилей у гороху. Так, у дослідженні, опублікованому у 2024 році, за допомогою транскриптомного аналізу було виявлено 39 генів-кандидатів, які можуть бути залучені до імунної відповіді рослин на інфекцію *Aphanomyces euteiches*, одному з найагресивніших збудників кореневої гнилі. Ці гени асоційовані зі шляхами сигналізації жовчної та абсцизової кислот і включають рецептор-кіназу з LRR-доменною

структурою, що може бути перспективною мішенню для селекції стійких генотипів [4].

Крім того, генетичне картографування кількісних ознак (QTL) показало, що стійкість до *Aphanomyces euteiches* є полігенним ознакою, з ключовими локусами, що локалізуються на декількох хромосомах, включно з хромосомою 4 та іншими регіонами геному гороху [3, 4].

Ще одне генетичне дослідження, що з'явилося у 2025 році, застосовує асоціативну генетику та GWAS-методи для виявлення маркерів, пов'язаних із стійкістю до корневих гнилей. Ці результати, підкреслюють складну генетичну природу ознаки та потенціал використання маркерів у селекційних програмах для прискорення добору стійких сортів [5].

Однією з актуальних тенденцій є впровадження високопродуктивних технологій фенотипування для раннього виявлення корневих гнилей. Так, дослідження останніх років продемонстрували можливість використання гіперспектральної візуалізації для ранньої діагностики *Aphanomyces* у рослин гороху ще до появи явних симптомів, що має важливе значення для швидкої оцінки реакції генотипів на інфекцію та підвищення ефективності селекційних відборів [5].

Сучасні дослідження дедалі більше акцентують увагу на ролі кореневої мікробіоти у формуванні стійкості рослин. Встановлено, що різні генотипи гороху по-різному модулюють склад ризосферних мікробних спільнот під час інфекції, а окремі таксони корелюють із підвищеною толерантністю до патогенів [4].

Такі результати свідчать про перспективність мікробіом-орієнтованих підходів у селекції та інтегрованому захисті рослин, що поєднують генетичні та біологічні механізми стійкості

Польові та лабораторні дослідження у Франції виявили, що новий патоген *Didymella pinodella* може відігравати важливу роль у комплексі корневих гнилей гороху, і більшість сучасних сортів є сприйнятливими до цього збудника. Ці дані, підкреслюють необхідність розширення спектра оцінки стійкості сортів не лише до класичних збудників (*Fusarium*, *Aphanomyces*, *Pythium*), але й до нових патогенів, що з'являються у посівах [3].

У лабораторних оцінках 2024-2025 років, було виділено 15 ізолятів *Fusarium* з високою агресивністю та оцінено 66 зразків гороху за стійкістю до фузаріозної кореневої гнилі, що дало змогу виявити окремі резистентні генотипи, придатні для подальшого використання у селекції [2].

Практичні агрономічні дослідження в Північній Америці 2025 р. підтверджують, що інтегроване управління – комбінація вибору стійких сортів, оптимальних строків посіву, обробки насіння фунгіцидами та сівозміни – підвищує ефективність проти дії корневим гнилям. Ці стратегії забезпечують значне зменшення втрат врожаю, що підкреслює важливість поєднання генетичних і агротехнічних заходів [6].

Аналіз сучасної літератури показує динамічний розвиток досліджень у сфері корневих гнилей гороху, з особливим акцентом на генетичну основу

стійкості, нові підходи до фенотипування та молекулярної діагностики, а також на інтегровані управлінські стратегії. Попри значний прогрес, питання адаптації сортів до конкретних умов підзимних строків посіву, а також їх стійкості до різноманітного комплексу ґрунтових патогенів у контексті Лісостепу України потребують подальшого поглибленого вивчення.

Метою статті є комплексна оцінка сортової стійкості гороху підзимнього строку сівби до збудників корневих гнилей в умовах Лісостепу України, встановлення рівня ураження рослин залежно від генотипу та визначення перспективних сортів як джерел підвищеної резистентності для використання в селекційних програмах і технологіях інтегрованого захисту культури.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження проводили упродовж 2023–2025 рр. в умовах ТОВ «СИЛКАТ-1» Черкаської області (зона Правобережного Лісостепу України), а також у лабораторії з рослинної діагностики та насінневої експертизи Агробіотехного факультету Одеського державного аграрного університету.

Об'єктом досліджень були посіви гороху підзимового строку сівби, а також збудники корневих гнилей (*Fusarium* spp., *Pythium* spp., *Rhizoctonia solani*, *Aphanomyces euteiches*). У лабораторних дослідженнях вивчали насіння сортів Мороз, Ендуро, Балтрап і ФЕРО.

Поширеність і розвиток корневих гнилей, шкідливість та порогові значення шкодочинності визначали за загальноприйнятими фітопатологічними методиками шляхом маршрутних обстежень посівів у фазах сходів і цвітіння. Зразки відбирали по діагоналі поля у 20 точках, у кожній з яких аналізували по 10 рослин. Після промивання кореневої системи оцінювали ступінь ураження за чотирибальною шкалою (0–4 бали).

Оцінку ураженості модельних рослин проводили кожні 10 днів після сівби. Показники розвитку хвороби співставляли з гідротермічними умовами: сумою ефективних температур ґрунту й повітря (вище +5 °C), середньодобовою температурою ґрунту на глибині 0–10 см, кількістю опадів та вологістю ґрунту (%). На основі отриманих даних побудовано кореляційно-регресійні моделі прогнозування розвитку корневих гнилей.

Виділення патогенів із уражених рослин, здійснювали на поживних середовищах із подальшим виділенням чистих культур. Ідентифікацію грибів проводили за морфолого-культуральними ознаками відповідно до класичних мікологічних визначників. Патогенні властивості ізолятів перевіряли методом штучного зараження.

Для оцінки патогенності видів *Fusarium* використовували стерильний ґрунт, зволожений до 60% повної вологоємності та простерилізований протягом 2 годин під тиском 2 атм. У кожную посудину (5 кг ґрунту) вносили по 200 мг міцеліальної маси гриба, вирощеного на стерильному зерні вівса. Висівали по 10 продезінфікованих (0,5% розчин перманганату калію, 20 хв) насінин. Ступінь ураження визначали на 10-й день після появи сходів.

Вплив строків сівби на розвиток хвороби вивчали шляхом висівання насіння районowanego сорту Мороз у три строки з інтервалом 10 днів. Площа облікової ділянки – 10 м², повторність – чотириразова. Норма висіву – 1,4 млн насінин/га, міжряддя – 15 см.

Стійкість сортів оцінювали на природному та штучному інфекційних фонах шляхом внесення інкулюму (70 г на 2 м рядка) перед сівбою. Визначали поширеність, розвиток хвороби, біометричні показники та елементи структури врожаю.

Експериментальні дані аналізували із застосуванням сучасних комп'ютерних статистичних пакетів R (версія 4.x), Python (SciPy, StatsModels), SPSS 26 та Statistica 13. Розраховували середні значення, похибки, коефіцієнти кореляції та рівняння лінійної регресії для прогнозування розвитку хвороби.

Результати досліджень Дослідження поширення кореневих гнилей гороху, має важливе економічне значення для розробки ефективних заходів захисту культури. В Україні ураження гороху кореневими гнилями спостерігається щороку: від 13 до 45% рослин страждають у фазі сходів, а від 33 до 80% – у період цвітіння [7, 8]. Літературні дані свідчать, що хвороба проявляється вже на стадії появи сходів і поступово посилюється до завершення вегетації. Поширеність і інтенсивність ураження залежать від погодних умов, ґрунтових характеристик, сорту гороху, видової належності та патогенності збудників.

Протягом 2024–2025 рр. було проведено обстеження посівів гороху підзимнього строку сівби в умовах ТОВ «СІЛКАТ-1» Черкаської області. Аналіз результатів досліджень показав, що кореневі гнилі негативно впливають на морфологічні показники рослин гороху, причому інтенсивність ураження безпосередньо корелює зі зниженням ростових і продуктивних параметрів культури. Встановлено, що коренева гниль вражає кореневу шийку та нижню частину стебла і у подальшому проявляється на етапі проростків насіння та може призводити до загибелі сходів, ще до їх появи на поверхні ґрунту. Так, у результаті наших досліджень, встановлено, що на сорті Мороз висота стебла рослин зменшувалася зі збільшенням ступеня ураження кореневими гнилями від 66,2 см у здорових рослин до 50,0 см при максимальному ураженні (4 бали). Різниця між ступенями ураження 0–1 (8,2 см) перевищує НІР₀₅ (6,6 см), що свідчить про статистично достовірне пригнічення росту стебла вже при першому

ступені ураження. Аналогічно, відмінності між 0–2 та 0–3 бали також є достовірними.

Довжина кореня з масою та об'єм бульбочок зменшується від 15,8 см до 10,7 см у рослин із максимальним ураженням. Помітне скорочення кореневої системи вже при 2–3 балах ураження (13,8–11,8 см), вказує на критичний вплив патогенів на формування кореневої маси, що безпосередньо знижує здатність рослин до поглинання води та поживних речовин (табл. 1).

Маса стебла та кореня також істотно знижувалася у міру підвищення ступеня ураження. Так, маса стебла зменшилася від 18,1 г у здорових рослин до 7,6 г при 4 балах ураження, що перевищує НІР₀₅ (1,8 г) і свідчить про значне пригнічення вегетативної маси рослин. Маса кореня зменшувалася від 3,7 г до 1,7 г. Досліджено, що відмінності між здоровими рослинами та 3–4 балами ураження, перевищують НІР₀₅ (0,37 г) та підтверджують істотне порушення розвитку кореневої системи при сильному розвитку хвороби.

Таким чином, отримані дані підкреслюють, необхідність впровадження інтегрованих заходів захисту гороху від кореневих гнилей, що включають не лише хімічні методи, такі як обробка насіння фунгіцидами, але й агротехнічні заходи: оптимізацію сівозміни, дотримання строків та технології посіву, а також використання стійких сортів у селекційних програмах. Отримані результати, дозволяють не тільки оцінити шкодочинність кореневих гнилей, але й прогнозувати зниження продуктивності рослин залежно від ступеня ураження, що має важливе практичне значення для підвищення ефективності виробництва гороху.

За результатами розрахунків, встановлено тісний зворотний кореляційний зв'язок між ступенем ураження кореневими гнилями та біометричними показниками рослин сорту Мороз: висота стебла: $r = -0,961$; довжина кореня: $r = -0,991$; маса стебла: $r = -0,933$ та маса кореня: $r = -0,953$. Ці значення свідчать про сильну негативну залежність, тобто зі збільшенням балу ураження всі показники суттєво знижуються (рис. 1.).

Графік наочно демонструє, що особливо критично страждають коренева система та маса стебла при 3–4 балах ураження, тоді як при слабкому ураженні (1–2 бали) відбувається поступове зменшення висоти стебла та маси. Це підтверджує високу шкодочинність кореневих гнилей для озимого гороху та необхідність превентивних заходів захисту.

Таблиця 1 – Вплив ураження гороху кореневими гнилями на біометричні показники рослин (Мороз, ТОВ «СІЛКАТ – 1», 2024–2025 рр.)

Біометричні показники	Бал ураження					НІР ₀₅
	0	1	2	3	4	
Висота стебла, см	66,2	58,0	56,0	53,5	50,0	6,6
Довжина кореня, см	15,8	14,9	13,8	11,8	10,7	1,6
Маса стебла, г	18,1	16,5	14,8	13,8	7,6	1,8
Маса кореня, г	3,7	3,4	3,1	1,8	1,7	0,37

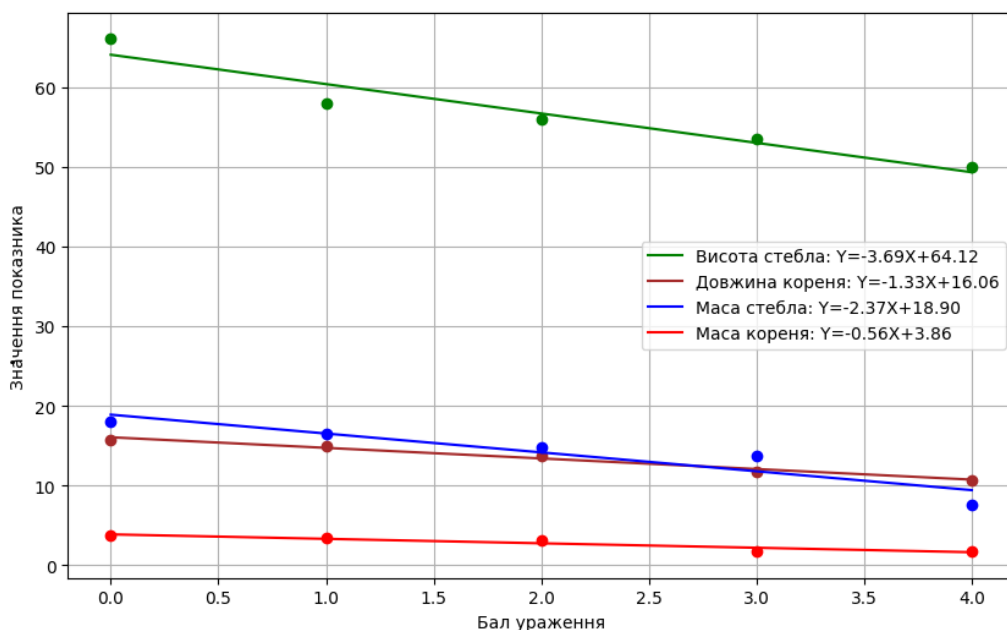


Рис. 1. Регресійний аналіз залежності біометричних показників гороху сорту Мороз від ураження кореневими гнилями

Всі біометричні показники рослин, мають сильну зворотну кореляційну залежність зі ступенем ураження (г від $-0,933$ до $-0,991$). Найбільш критично це відображається на показниках довжини кореня та маси стебла, особливо при сильному ураженні (3–4 бали), що може істотно знижувати врожайність. Навіть при помірному ураженні (1–2 бали), спостерігається достовірне зменшення ростових показників, що свідчить про високу шкодочинність кореневих гнилей на рослинах.

Отримані результати, дозволяють кількісно прогнозувати втрати продуктивності рослин у залежності від інтенсивності розвитку хвороби, що є важливим для розробки системи превентивного захисту та селекційної роботи з підвищення стійкості сортів. Ураження гороху кореневими гнилями, статистично достовірно знижує всі основні морфофізіологічні показники рослин гороху підзимнього строку сівби.

З огляду на сучасні вимоги щодо підвищення продуктивності та стійкості зернових бобових культур, було проведено комплексне обстеження посівів гороху підзимнього строку сівби сортів Мороз, Ендуро, Балтрап, Балкан та Фєро. Метою дослідження, було визначення динаміки поширення та розвитку кореневих гнилей на різних етапах онтогенезу рослин, що дозволяє оцінити їх сортову стійкість та прогнозувати потенційні втрати урожаю.

Поширення і розвиток кореневих гнилей, оцінювали на етапах сходів та цвітіння, що відображає ключові фази формування продуктивності. Результати показали, що всі сорти зазнають значного впливу патогенів у міру росту рослин, однак відзначаються різні рівні стійкості в ранній та пізній фазах розвитку (рис. 2).

Поширення хвороби на сходях сорту Мороз сягав $40,3\%$, при цьому розвиток патогену ста-

новив $18,6\%$, що свідчить про помірну початкову уразливість. На етапі цвітіння поширення досягло $98,0\%$, а розвиток хвороби зріс до $44,7\%$, що свідчить про значний прогрес патології в процесі генеративного розвитку рослин.

Сорт Ендуро проявив найнижчий рівень ураженості на сходях серед досліджуваних сортів – $33,6\%$, з розвитком хвороби $11,6\%$, що свідчить про відносно високий початковий імунітет. Однак, у фазі цвітіння поширення хвороби збільшилось до $97,4\%$, а розвиток – до $46,6\%$, демонструючи, що під час активного росту рослин, патоген значно впливає на продуктивність.

Високий рівень поширення хвороби на сходях мав сорт Балтрап – $54,8\%$, а розвиток кореневих гнилей становив $34,5\%$, що свідчить про високу початкову ураженість. На етапі цвітіння поширення досягло 100% , а розвиток підвищився до $59,8\%$, підкреслюючи значний інфекційний тиск та потенційну загрозу втрат урожаю без застосування ефективних заходів захисту.

На сорті Балкан поширення кореневих гнилей на сходях, становило близько $37,7\%$, а розвиток патогену – $15,6\%$, що свідчить про відносну початкову стійкість. У фазі цвітіння поширення зросло до $98,5\%$, а розвиток – до $41,9\%$, демонструючи середню стійкість у ранніх фазах росту та підвищену сприйнятливість у фазі інтенсивного розвитку рослин.

Сорт Фєро мав на сходях поширення кореневих гнилей $49,8\%$, а розвитком – $24,9\%$, що вказує на середній рівень початкової стійкості. У фазі цвітіння поширення досягло 100% , розвиток хвороби сягав до $56,9\%$, що характеризує цей сорт, як сприйнятливий до патогенів у період активного формування генеративних органів.

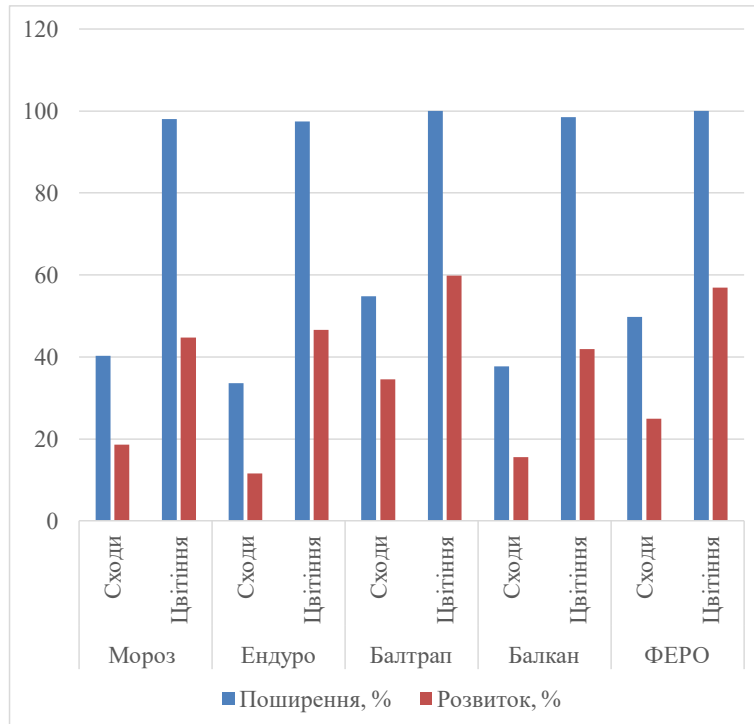


Рис. 2. Поширення кореневих гнилей на сортах гороху підзимнього строку сівби в умовах ТОВ «СИЛІКАТ-1» Черкаської області, середнє 2023 – 2025 рр.

Аналіз проведених досліджень свідчить, що всі сорти підзимнього строку сівби, зазнають суттєвого інфекційного тиску в період цвітіння, однак на етапі сходів відносно стійкішими виявились Ендуро та Балкан. Ці результати, підкреслюють важливість врахування сортових особливостей при підборі посівного матеріалу для підзимнього посіву та плануванні інтегрованих заходів захисту рослин. Своєчасне застосування агротехнічних та хімічних методів контролю кореневих гнилей, дозволяє мінімізувати втрати врожаю та забезпечити високу продуктивність сорту

Детальний аналіз отриманих даних показав, що серед досліджуваних сортів не виявлено повністю стійких до збудників кореневих гнилей. Усі сорти, незалежно від їх генетичних особливостей, у тій чи іншій мірі піддавалися ураженню хоча б одним патогеном. Це свідчить, про відсутність донорів стійкості серед районуваних сортів гороху ТОВ «СИЛІКАТ-1» Черкаської області та підкреслює необхідність пошуку нових джерел імунітету.

На основі отриманих результатів, доцільно рекомендувати подальший пошук генетичних ресурсів стійкості у інших сортах або видах роду *Pisum*, які можна використовувати в селекційних програмах. Інтеграція таких генів у селекційний процес, дозволить підвищити рівень імунітету гороху до збудників, що у свою чергу, сприятиме підвищенню продуктивності культури та стабільності врожаю в умовах високого інфекційного тиску.

Через небезпеку, яку становлять кореневі гнилі гороху, виникає потреба у розробці заходів для запобігання їх розвитку. Найбільш екологічно без-

печним і економічно вигідним способом протидії цій хворобі, є впровадження у виробництво стійких сортів.

Проте значна мінливість погодних умов та різний інфекційний фон, ускладнюють можливість практичного застосування отриманих результатів досліджень в умовах України. У зв'язку з цим, протягом двох років ми вивчали стійкість районуваних і перспективних сортів гороху до кореневих гнилей.

Дослідження урожайності зерна гороху різних сортів, проведені у ТОВ «СИЛІКАТ-1» Черкаської області протягом 2024–2025 рр., показали, що продуктивність рослин значною мірою, залежала від рівня ураження збудниками хвороб. При цьому, сорти з більшою стійкістю до захворювань формували вищу врожайність, більше бобів і насінин на рослину та мали крупніше насіння, що свідчить про їх високий потенціал генеративного розвитку (табл. 2).

Серед досліджуваних сортів, найвищу продуктивність продемонстрували Балкан, Ендуро та Мороз, які характеризувались оптимальним співвідношенням кількості бобів, насінин та маси 1000 насінин. Урожайність цих сортів становила від 2,96 до 3,32 т/га, що перевищує врожайність менш продуктивних сортів Балтрап та Фєро (2,81–2,94 т/га) на 0,15–0,51 т/га, підтверджуючи їх продуктивну перевагу в умовах Черкаської області.

Особливу увагу, слід звернути на кількість насінин з однієї рослини, яка у сортів Балкан і Ендуро досягала 271–274 шт., що на 6–10 шт. перевищує менш продуктивні сорти. Крім того, маса 1000 насінин у цих сортів була більшою на 6–16 г у порівнянні

Таблиця 2 – Показники урожайності гороху різних сортів ТОВ «СИЛІКАТ-1» Черкаської області, Середнє 2024–2025 рр.)

Сорт	Кількість бобів з рослини, шт.	Кількість насінин з рослини, шт.	Маса 1000 насінин, г.	Урожайність, ц/га
Мороз (ст)	7,6	22,5	266,4	2,96
Ендуро	7,8	23,8	271,8	3,26
Балтрап	6,8	22,1	258,3	2,81
Балкан	8,1	24,3	274,8	3,32
Феро	6,9	22,6	262,4	2,94

з Балтрап та Феро, що свідчить про формування крупного, щільного та якісного насіння, придатного для посіву та переробки.

Результати аналізу показав, що сорти з високою врожайністю та великою масою насінин, відзначались найменшою сприйнятливістю до захворювань, що підтверджує наявність прямого зв'язку між стійкістю до хвороб і продуктивністю рослин. Це є важливим критерієм для селекційної роботи, підбору високопродуктивних сортів і вдосконалення технологій вирощування.

Таким чином, Балкан, Ендуро та Мороз, можуть бути рекомендовані для широкого вирощування у регіонах із подібними агрокліматичними умовами завдяки поєднанню високої врожайності, стійкості до хвороб та високої якості насіння. Сорти Балтрап та Феро також можуть використовуватись у виробництві, але з урахуванням їх нижчого потенціалу продуктивності та дещо більшої сприйнятливості до захворювань.

Висновки. Проведені дослідження показали, що ураження кореневими гнилями є одним із ключових чинників, що обмежує продуктивний потенціал гороху підзимнього строку сівби в умовах Лісостепу України. Встановлено, що інтенсивність розвитку хвороби, зростає у міру росту рослин: на сходах поширення патогенів коливалось від 33,6 до 54,8 %, а на фазі цвітіння – від 97,4 до 100 %. Розвиток хвороби на сходах складав 11,6–34,5 %, тоді як у фазі цвітіння він підвищувався до 41,9–59,8 %.

Аналіз сортової стійкості показав, що серед досліджуваних сортів відносно стійкими на ранніх етапах росту були Ендуро та Балкан, тоді як сорти Балтрап та Феро проявили високий рівень початкової уразливості. Сорт Мороз, характеризувався помірною стійкістю на сходах, однак на етапі цвітіння, показав значне підвищення інтенсивності ураження.

Дослідження урожайності показали прямий взаємозв'язок між стійкістю сортів до корневих гнилей та продуктивністю. Найвищі показники врожайності за середніх гідротермічних умов Черкаської області продемонстрували сорти Балкан (3,32 т/га), Ендуро (3,26 т/га) та Мороз (2,96 т/га). Вони формували більшу кількість бобів і насінин на рослину, а також крупніше насіння (маса 1000 насінин – 266–275 г), що свідчить про високий потенціал генеративного розвитку та якість насіння. Менш продуктивні сорти Балтрап (2,81 т/га) та Феро (2,94 т/га), мали нижчі значення продуктивних ознак і більш високу сприйнятливість до хвороб. На основі

отриманих результатів, можна рекомендувати сорти Балкан, Ендуро та Мороз для широкого вирощування у Лісостепу України завдяки оптимальному поєднанню високої врожайності, стійкості до корневих гнилей та високої якості насіння. Сорти Балтрап та Феро, можуть застосовуватися за умов контролю інфекційного тиску та удосконалення агротехнічних заходів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Мороз Є. О., Поспелова Г. Д., Коваленко Н. П. Захист гороху від корневих гнилей фузаріозної етіології. *Урожайність та якість продукції рослинництва за сучасних технологій вирощування* : матеріали міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. Полтава : ПДАУ, 2024. С. 75–77.
2. Kälin C., Piombo E., Bourras S. et al. Transcriptomic analysis identifies candidate genes for Aphanomyces root rot resistance in pea. *BMC Plant Biology*. 2024. Vol. 24. P. 18.
3. Ariza-Suarez D., Wille L., Hohmann P. et al. Association genetics and genomic prediction for resistance to root rot in pea. *BMC Plant Biology*. 2025. Vol. 26(1) P. 131. doi: 10.1186/s12870-025-07803-0.
4. Rodriguez-Mena S., Rubiales D., González M. Identification of sources of resistance to Aphanomyces root rot in Pisum. *Plants*. 2024. Vol. 13(17). P. 2454.
5. Chatterton S., Singh K. D. High-throughput imaging system for early detection of root rot disease in field peas (*Pisum sativum* L.). *Agriculture and Agri-Food Canada Research Report*. 2025. 14 p.
6. Suzuki T., Kitazawa Y., Motohashi T. et al. First report of bacterial brown root rot in pea sprouts (*Pisum sativum* L.) caused by a *Pseudomonas* species. *Journal of General Plant Pathology*. 2023. Vol. 89. P. 347–351.
7. Головне управління аграрної освіти МОН України. Кореневі гнилі гороху: поширення, збудники, шкідливість : навч.-метод. посіб. 2024. С. 12–15.
8. Державна служба України з питань безпеки харчових продуктів. Прогноз фітосанітарного стану на 2021 рік : метод. рек. Київ, 2021. С. 3–6.

REFERENCES:

1. Moroz, Ye. O., Pospelova, H. D., & Kovalenko, N. P. (2024). Zakhyst horokhu vid korenevyykh hnylei fuzarioznoi etiologii [Protection of peas from root rot of fusarium etiology]. *Urozhainist ta yakist produktsii roslynnytstva za suchasnykh tekhnologii vyroshchuvannia* : materialy mizhnar. nauk.-prakt. internet-konf. Poltava : PDAU, 75–77 [in Ukrainian].

2. Kälin, C., Piombo, E., & Bourras, S. (2024). Transcriptomic analysis identifies candidate genes for Aphanomyces root rot resistance in pea. *BMC Plant Biology*, 24(144), 18.

3. Ariza-Suarez, D., Wille, L., & Hohmann, P. (2025). Association genetics and genomic prediction for resistance to root rot in pea. *BMC Plant Biology*, 26(1), 131. doi: 10.1186/s12870-025-07803-0.

4. Rodriguez-Mena, S., Rubiales, D., & González, M. (2024). Identification of sources of resistance to Aphanomyces root rot in Pisum. *Plants*, 13(17), 2454.

5. Chatterton, S., & Singh, K.D. (2025). High-throughput imaging system for early detection of root rot disease in field peas (*Pisum sativum* L.). *Agriculture and Agri-Food Canada Research Report*, 14.

6. Suzuki, T., Kitazawa, Y., & Motohashi, T. (2023). First report of bacterial brown root rot in pea sprouts (*Pisum sativum* L.) caused by a *Pseudomonas* species. *Journal of General Plant Pathology*, 89, 347–351.

7. Korenevi hnyli horokhu: poshyrennia, zbudnyky, shkidlyvist [Pea root rot: distribution, pathogens, harmfulness]. (2024). *Holovne upravlinnia ahrarnoi osvity MON Ukrainy*, 12–15 [in Ukrainian].

8. Prohnoz fitosanitarnoho stanu na 2021 rik [Forecast of phytosanitary conditions for 2021]. (2021). *Derzhavna sluzhba Ukrainy z pytan bezpeky kharchovykh produktiv*, 3–6 [in Ukrainian].

Кривенко А.І., Усов Р.М. Оцінка сортової стійкості гороху підзимнього строку сівби до збудників кореневих гнилей в умовах Лісостепу України

Мета. Комплексна оцінка сортової стійкості гороху підзимнього строку сівби до збудників кореневих гнилей в умовах Лісостепу України, встановлення рівня ураження рослин залежно від генотипу та визначення перспективних сортів як джерел підвищеної резистентності для використання в селекційних програмах і технологіях інтегрованого захисту культури. **Методи досліджень:** польовий; лабораторний; статистичний – для оцінки достовірності даних. **Результати.** Протягом 2024–2025 рр. було проведено обстеження посівів гороху підзимнього строку сівби в умовах ТОВ «СИЛІКАТ-1» Черкаської області. Аналіз результатів досліджень показав, що кореневі гнилі негативно впливають на морфофізіологічні показники рослин гороху, причому інтенсивність ураження безпосередньо корелює зі зниженням ростових і продуктивних параметрів культури. Встановлено, що коренева гниль вражає кореневу шийку та нижню частину стебла і у подальшому проявляється на етапі проростків насіння та може призводити до загибелі сходів, ще до їх появи на поверхні ґрунту. Так, у результаті наших досліджень, встановлено, що на сорті Мороз висота стебла рослин зменшувалася зі збільшенням ступеня ураження кореневими гнилями від 66,2 см у здорових рослин до 50,0 см при максимальному ураженні (4 бали). Різниця між ступенями ураження 0–1 (8,2 см) перевищує NIP_{05} (6,6 см), що свідчить про статистично достовірне пригнічення росту стебла вже при першому ступені ураження. Аналогічно, відмінності між 0–2 та 0–3 бали також є достовірними. **Висновки.** Проведені дослідження показали, що ураження кореневими гнилями є одним із ключових чинників, що обмежує

продуктивний потенціал гороху підзимнього строку сівби в умовах Лісостепу України. Встановлено, що інтенсивність розвитку хвороби, зростає у міру росту рослин: на сходах поширення патогенів коливалося від 33,6 до 54,8 %, а на фазі цвітіння – від 97,4 до 100 %. Розвиток хвороби на сходах складав 11,6–34,5 %, тоді як у фазі цвітіння він підвищувався до 41,9–59,8 %. Аналіз сортової стійкості показав, що серед досліджуваних сортів відносно стійкими на ранніх етапах росту були Ендуро та Балкан, тоді як сорти Балтрап та Феро проявили високий рівень початкової уразливості. Сорт Мороз, характеризувався помірною стійкістю на сходах, однак на етапі цвітіння, показав значне підвищення інтенсивності ураження. Дослідження урожайності показали прямий взаємозв'язок між стійкістю сортів до корневих гнилей та продуктивністю. Найвищі показники врожайності за середніх гідротермічних умов Черкаської області продемонстрували сорти Балкан (3,32 т/га), Ендуро (3,26 т/га) та Мороз (2,96 т/га). Вони формували більшу кількість бобів і насінин на рослину, а також крупніше насіння (маса 1000 насінин – 266–275 г), що свідчить про високий потенціал генеративного розвитку та якості насіння. Менш продуктивні сорти Балтрап (2,81 т/га) та Феро (2,94 т/га), мали нижчі значення продуктивних ознак і більш високу сприйнятливості до хвороб. На основі отриманих результатів, можна рекомендувати сорти Балкан, Ендуро та Мороз для широкого вирощування у Лісостепу України.

Ключові слова: горох підзимнього строку сівби, кореневі гнилі, інфекційні фони, врожайність, сортова стійкість, кількість бобів на рослину, кількість насінин на рослину.

Kryvenko A.I., Usov R.M. Assessment of varietal resistance of winter-sown peas to root rot pathogens in the forest-steppe conditions of Ukraine

Purpose. Comprehensive assessment of varietal resistance of winter-sown peas to root rot pathogens in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine, establishment of the level of plant damage depending on the genotype and identification of promising varieties as sources of increased resistance for use in breeding programs and technologies of integrated crop protection. **Research methods:** field; laboratory; statistical – to assess the reliability of the data. **Results.** During 2024–2025, a survey of winter-sown pea crops was conducted in the conditions of LLC "SILIKAT-1" of Cherkasy region. Analysis of the research results showed that root rots negatively affect the morphophysiological indicators of pea plants, and the intensity of damage directly correlates with a decrease in growth and productive parameters of the crop. It was found that root rot affects the root collar and the lower part of the stem and subsequently manifests itself at the stage of seed sprouts and can lead to the death of seedlings, even before they appear on the soil surface. Thus, as a result of our research, it was found that in the Moroz variety, the height of the stem of plants decreased with an increase in the degree of root rot damage from 66.2 cm in healthy plants to 50.0 cm at maximum damage (4 points). The difference between the degrees of damage 0–1 (8.2 cm) exceeds the NIP_{05} (6.6 cm), which indicates a statistically significant inhibition of stem growth already at the first degree of damage. Similarly, the differences between 0–2 and 0–3 points are also significant. **Conclusions.** The conducted studies showed that root rot infection is one of the key

factors limiting the productive potential of peas of the winter sowing period in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine. It was established that the intensity of disease development increases as plants grow: on seedlings, the spread of pathogens ranged from 33.6 to 54.8%, and in the flowering phase – from 97.4 to 100%. The development of the disease on seedlings was 11.6–34.5%, while in the flowering phase it increased to 41.9–59.8%. The analysis of varietal resistance showed that among the studied varieties, Enduro and Balkan were relatively resistant in the early stages of growth, while the varieties Baltrap and Fero showed a high level of initial vulnerability. The variety Moroz was characterized by moderate resistance on seedlings, however, at the flowering stage, it showed a significant increase in the intensity of the lesion. Yield studies have shown a direct relationship between the

resistance of varieties to root rot and productivity. The highest yield indicators under average hydrothermal conditions of the Cherkasy region were demonstrated by the varieties Balkan (3.32 t/ha), Enduro (3.26 t/ha) and Moroz (2.96 t/ha). They formed a greater number of beans and seeds per plant, as well as larger seeds (weight of 1000 seeds – 266–275 g), which indicates a high potential for generative development and seed quality. Less productive varieties Baltrap (2.81 t/ha) and Fero (2.94 t/ha) had lower values of productive traits and higher susceptibility to diseases. Based on the results obtained, the varieties Balkan, Enduro and Moroz can be recommended for widespread cultivation in the Forest-Steppe of Ukraine.

Key words: winter-sown peas, root rot, infectious backgrounds, yield, varietal resistance, number of beans per plant, number of seeds per plant.



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 18.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.04.2026

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕНСИВНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ПОЛЕЗАХИСНИХ ЛІСОСМУГ АГРОЛАНДШАФТІВ ЛІСОСТЕПУ

ПАНКОВА С.О. – доктор філософії з агрономії

orcid.org/0000-0002-5975-5251

Навчально-науковий інститут агротехнологій та природокористування
Вінницького національного аграрного університету

Постановка проблеми. Інтенсифікація землеробства в Україні супроводжується суттєвим зростанням антропогенного навантаження на агроландшафти, що проявляється у підвищенні рівня хімізації виробництва, розорюванні земель, зменшенні частки природних екосистем та активізації деградаційних процесів ґрунтового покриву. Серед основних негативних явищ відзначають розвиток водної та вітрової ерозії, дегуміфікацію ґрунтів, їх закислення та накопичення токсичних речовин.

Важливу роль у стабілізації агроєкосистем виконують полезахисні лісосмуги, які забезпечують захист ґрунтів від ерозії, регулювання мікроклімату, підвищення біорізноманіття та екологічну стабільність агроландшафтів. Однак у сучасних умовах їх екологічний стан значно погіршується через старіння насаджень, відсутність належного догляду, несанкціоновані рубки, забруднення побутовими відходами та негативний вплив агротехнологій.

Особливо актуальним є дослідження біоіндикаційних реакцій деревних рослин полезахисних лісосмуг як інтегрального показника стану агроєкосистем, що дозволяє оцінити рівень техногенного навантаження та своєчасно виявити деградаційні процеси.

Аналіз останніх досліджень. Проблематика екологічного стану агроландшафтів та ролі полезахисних лісосмуг активно досліджується вітчизняними і зарубіжними науковцями. Встановлено, що лісосмуги виконують важливі ґрунтозахисні, кліматорегулюючі та біоценотичні функції, сприяють підвищенню врожайності сільськогосподарських культур та стабілізації агроєкосистем.

Разом з тим сучасні дослідження свідчать про погіршення їх стану внаслідок інтенсивного землеробства, що проявляється у зменшенні біорізноманіття, деградації ґрунтів, накопиченні важких металів та порушенні структури насаджень. Перспективним напрямом є використання біоіндикаційних методів, заснованих на оцінці морфофізіологічних змін рослин, які чутливо реагують на антропогенне навантаження [4,5].

Однак питання комплексної оцінки біоіндикаційних реакцій полезахисних лісосмуг у зв'язку з інтенсивним землеробством залишаються недостатньо вивченими, що зумовлює актуальність проведених досліджень.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження проводили у 2024–2025 рр. у межах природної зони Правобережного Лісостепу України (Вінницька область). Об'єктом дослідження були

полезахисні лісосмуги різної конструкції та видового складу, розміщені в межах сільськогосподарських угідь [1].

Методика досліджень включала:

- 1) польові обстеження стану лісосмуг;
- 2) аналіз їх конструкції, видового складу та біометричних параметрів;
- 3) оцінку агроєкологічного стану ґрунтів;
- 4) визначення вмісту важких металів;
- 5) біоіндикаційні дослідження стану листя деревних порід.

Біоіндикаційна оцінка проводилася за показниками прояву хлорозу, некрозу, плямистостей, передчасного пожовтіння листя та загальної деградації рослинності. Паралельно аналізували агротехнології вирощування сільськогосподарських культур, що межували з полезахисними лісосмугами [2,3].

Результати досліджень. Встановлено, що у Правобережному Лісостепу переважають щільні полезахисні лісосмуги (56%), тоді як найбільш ефективні продувні становлять лише 17%. Основними деревними породами є клен звичайний та ясен звичайний. Одними із найтиповіших реакцій дерев на забруднення внаслідок інтенсифікації землеробства є прояв на листі рослин хлорозу та некрозу. Нашими спостереженнями серед деревочагарникової рослинності основних полезахисних лісосмуг прояв некрозу був виявлений на листках рослин жимолості татарської у кількості 1-12% листків, клена звичайного – на 12-30% листків, ясену звичайного – на 12-15% листків. На листках дерев допоміжних полезахисних лісосмуг некроз був поширений на 15% листя дубу звичайного та на 5-8% листя ясену звичайного [6].

Нашими дослідженнями встановлено, що найбільша площа некрозу на листі насаджень жимолості татарської проявлялася у полезахисних лісосмугах, що примикали до посівів пшениці озимої, найменша площа некрозу була виявлена на листі жимолості татарської, лісосмуги з якою примикали до посівів овочевих культур та картоплі, а середня – до посівів кукурудзи. Тому інтенсивні заходи хімізації, що застосовуються при вирощуванні пшениці озимої, найбільш чітко проявляються на реакції листя жимолості татарської у вигляді некрозу [7].

Дослідження агроєкологічного стану ґрунтів показало, що вони переважно представлені високопродуктивними чорноземами з високим вмістом гумусу та поживних речовин. Водночас виявлено перевищення гранично допустимих концентрацій свинцю

у 1,4–33,3 раза, що свідчить про значний антропогенний вплив.

Найбільш типовими біоіндикаційними реакціями деревних рослин були:

- 1) некроз листя (найчастіше у клена звичайного – до 30%);
- 2) хлороз листя (особливо у акації білої – до 100%);
- 3) плямистість листя;
- 4) передчасне пожовтіння листя клена звичайного.

Найбільший прояв некрозу на листі дерев клену звичайного був виявлений у полезахисних лісосмуг, які примикали до посівів кукурудзи, а найменший прояв некрозу листя на деревах клену звичайного спостерігався у лісосмугах, що примикали до посівів пшениці озимої.

Хлороз дерево-чагарникової рослинності у наших дослідженнях основних полезахисних лісосмуг був поширений на усьому листі акації білої, на 80% листя грабу звичайного, на 4-85% листя клену звичайного та на 7-85% листя ясену звичайного. На деревах допоміжних полезахисних лісосмуг хлороз був виявлений лише на листі ясену звичайного з часткою ураженого 8%. Частка ураження хлорозом листя акації білої та грабу звичайного становила по 20%, клену звичайного та ясену звичайного – по 10-15%, а ясену звичайного допоміжних полезахисних лісосмуг – 12% площі листка [8,9].

Чіткими біоіндикаторами інтенсивної хімізації землеробства за проявом хлорозу на листі дерев, відповідно до результатів наших досліджень, можуть бути акація біла, граб звичайний, клен звичайний та ясен звичайний. Масовий хлороз листя акації білої був виявлений у полезахисних лісосмугах, які примикали до посівів пшениці озимої, грабу звичайного – у лісосмугах, які примикали до посівів кукурудзи. Значний прояв хлорозу на листі ясену звичайного та клену звичайного спостерігався у полезахисних лісосмугах, що примикали до посівів соняшнику, а найменший – до посівів пшениці озимої.

Встановлено залежність прояву біоіндикаційних реакцій від вирощування культур. Зокрема:

- 1) посіви кукурудзи спричиняли найінтенсивніші прояви некрозу та хлорозу;
- 2) вирощування пшениці озимої асоціювалося з хлорозом акації білої та некрозом жимолості татарської;
- 3) соняшник зумовлював значний хлороз клена та ясеня.

Виявлено, що 25,1% дерев у полезахисних лісосмугах втрачені через вирубування, засихання та пошкодження шкідниками. Основні полезахисні лісосмуги характеризуються більшим ступенем деградації порівняно з допоміжними [10].

Висновки. Інтенсифікація землеробства виступає суттєвим чинником деградації полезахисних лісосмуг та забруднення ґрунтів агроєкосистем, що проявляється у погіршенні їх екологічного стану та зниженні природоохоронної ефективності. Встановлено, що біоіндикаційні ознаки, зокрема хлороз, некроз і плямистість листя, є інформативними показ-

никами екологічного стану лісосмуг і дозволяють своєчасно виявляти негативні антропогенні впливи. Найбільш чутливими біоіндикаторами забруднення визначено клен звичайний, ясен звичайний, акацію білу та жимолость татарську, які чітко реагують на техногенне навантаження змінами морфологічного стану листя.

Дослідження ґрунтів полезахисних лісосмуг засвідчили перевищення гранично допустимих концентрацій свинцю, що підтверджує техногенний вплив інтенсивних агротехнологій на агроландшафти. З метою підвищення ефективності функціонування полезахисних лісосмуг доцільним є проведення регулярних доглядових заходів, оптимізація їх конструкції та впровадження систематичного біоіндикаційного моніторингу екологічного стану.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Павленко А.П., Орлов О.О., Ландін В.П., Чоботько Г.М., Тищенко О.Г., Мусич О.Г., Фещенко В.П. Біоіндикація забруднення лісових екосистем ¹³⁷Cs за використання тест-об'єктів. *Агроєкологічний журнал*, 2020. № 1, С. 19-27.
2. Пузріна Н.В., Мешкова В.Л., Миронюк В.В., Бондар А.О., Токарева О.В., Бойко Г.О. Моніторинг шкідливих організмів лісових екосистем: навчальний посібник. Київ: НУБіП України, 2021. 274 с.
3. Pankova S. O., Kutsenko M. I. Assessment of the current ecological state of forest shelterbelt ecosystems in the Right-Bank Forest-Steppe. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2025. Ч. 2. № 142. С. 43–49. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.142.2.6>.
4. Pankova S., Bondar A., Razanova A., Kutsenko M. The condition and prospects for the restoration of protective forest belts in the Vinnytsia region under conditions of increasing climate risks. *Сільське господарство та лісівництво*. 2025. № 2 (37). С. 100–108. DOI: [10.37128/2707-5826-2025-2-10](https://doi.org/10.37128/2707-5826-2025-2-10).
5. Нейко О.В. Сучасний стан та ефективність використання ліщини деревовидної (*Corylus colurna* L.) в умовах Поділля. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «*Edukacja i nauka leśna: stan, problemy i perspektywy rozwoju*». Том. 3. *Łomża –Małyn*. 36-40.
6. Neyko, I., Matusiak, M., Neyko, O. Forest genetic resources in situ of broad-leaved species of the right-bank forest-steppe of Ukraine: current state and prospects for using. In *Ecology, Biotechnology, Agriculture and Forestry in the 21st century: problems and solutions*. Monograph. Edited by S. Stankevych, O. Mandych. – Tallinn: Teadmus OÜ, 2024. P. 281-313.
7. Нейко І.С., Мудрак Г.В., Нейко О.В., Дідур І.М., Матусяк М.В., Козак Ю.В. Лісові генетичні ресурси у контексті збереження біорізноманіття Вінниччини. Монографія. – Вінниця: ТВОРИ, 2022. – 500 с.
8. Leugner J., Jurásek A., Martincová J. Evaluation of the growth and health status of selected clone mixtures in comparison with ordinary planting stock. *CAAS Agricultural Journals*. 2010. Vol. 56(7). P. 314-322. DOI: <https://doi.org/10.17221/92/2009-JFS>.
9. Ткачук О.П., Вітер Н.Г. Перспективи функціонування полезахисних лісосмуг у Вінницькій області в

умовах глобальної зміни клімату. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 129.

10. Ткачук О.П., Панкова С.О. Екологічна стійкість дерев полезахисних лісосмуг до атмосферних забруднень. *Збалансоване природокористування*. 2021. № 1. С. 81-91. С. 146-153.

REFERENCES:

1. Pavlenko, A.P., Orlov, O.O., Landin, V.P., Chobotko, H.M., Tyshchenko, O.H., Musych, O.H., & Feshchenko, V.P. (2020). Bioindikatsiia zabrudnennia lisovykh ekosystem 137Cs za vykorystannia test-obyektiv [Bioindication of forest ecosystem contamination by 137Cs using test objects]. *Ahroekolohichniy zhurnal*, 1, 19–27 [in Ukrainian].

2. Puzrina, N.V., Meshkova, V.L., Myroniuk, V.V., Bondar, A.O., Tokarieva, O.V., & Boiko, H.O. (2021). Monitorynh shkidlyvykh orhanizmiv lisovykh ekosystem: navchalnyi posibnyk [Monitoring of harmful organisms of forest ecosystems: textbook]. Kyiv: NUBiP Ukrainy 274 [in Ukrainian].

3. Pankova, S.O., & Kutsenko, M.I. (2025). Assessment of the current ecological state of forest shelterbelt ecosystems in the Right-Bank Forest-Steppe. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriya: Silskohospodarski nauky*, 2(142), 43–49. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.142.2.6>

4. Pankova, S., Bondar, A., Razanova, A., & Kutsenko, M. (2025). The condition and prospects for the restoration of protective forest belts in the Vinnytsia region under conditions of increasing climate risks. *Sil'ske gospodarstvo ta lisivnytstvo*, 2(37), 100–108. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2025-2-10>

5. Neiko, O.V. (n.d.). Suchasnyi stan ta efektyvnist vykorystannia lishchyny derevovydnoi (*Corylus colurna* L.) v umovakh Podillia [Current state and efficiency of the use of Turkish hazel (*Corylus colurna* L.) in Podillia conditions]. In *Edukacija i nauka leśna: stan, problemy i perspektyvy rozvoju* (Vol. 3, pp. 36–40). Łomża–Małyn [in Ukrainian].

6. Neyko, I., Matusiak, M., & Neyko, O. (2024). Forest genetic resources in situ of broad-leaved species of the right-bank forest-steppe of Ukraine: current state and prospects for using. In S. Stankevych & O. Mandych (Eds.), *Ecology, Biotechnology, Agriculture and Forestry in the 21st century: problems and solutions* (pp. 281–313). Tallinn: Teadmus OÜ.

7. Neiko, I.S., Mudrak, H.V., Neyko, O.V., Didur, I.M., Matusiak, M.V., & Kozak, Yu.V. (2022). Lisovi henetychni resursy u konteksti zberezhenia bioriznomanittia Vinnychchyny [Forest genetic resources in the context of biodiversity conservation in Vinnytsia region]. *Vinnytsia: TVORY 500* [in Ukrainian].

8. Leugner, J., Jurásek, A., & Martinová, J. (2010). Evaluation of the growth and health status of selected clone mixtures in comparison with ordinary planting stock. *Journal of Forest Science*, 56(7), 314–322. <https://doi.org/10.17221/92/2009-JFS>

9. Tkachuk, O.P., & Viter, N.H. (2023). Perspektyvy funkcionuvannia polezakhysnykh lisosmuh u Vinnytskii oblasti v umovakh hlobalnoi zminy klimatu [Prospects for the functioning of shelterbelt forest strips in Vinnytsia region under global climate change]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*, 129 [in Ukrainian].

10. Tkachuk, O.P., & Pankova, S.O. (2021). Ekolohichna stiikest derev polezakhysnykh lisosmuh do atmosferynykh zabrudnen [Ecological resistance of shelterbelt trees to atmospheric pollution]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia*, 1, 81–91 [in Ukrainian].

Панкова С.О. Вплив технологій інтенсивного землеробства на екологічний стан полезахисних лісосмуг агроландшафтів Лісостепу

У статті висвітлено результати дослідження впливу технологій інтенсивного землеробства на екологічний стан полезахисних лісосмуг агроландшафтів Правобережного Лісостепу України. Актуальність роботи зумовлена зростанням антропогенного навантаження на агроєкосистеми внаслідок застосування високих норм мінеральних добрив, багаторазового використання засобів хімізації та інтенсивного обробітку ґрунту.

Метою дослідження було встановлення причинно-наслідкових зв'язків між агротехнологіями вирощування сільськогосподарських культур та біоіндикаційними реакціями деревних рослин полезахисних лісосмуг. Дослідження проводили у 2024–2025 рр. у межах Вінницької області. Використано польові обстеження, агроєкологічну оцінку ґрунтів, аналіз конструкції та видового складу лісосмуг, а також біоіндикаційні методи оцінки стану листя деревних порід.

Встановлено, що у структурі полезахисних лісосмуг переважають щільні конструкції (56%), які характеризуються зниженим рівнем екологічної ефективності. Виявлено перевищення гранично допустимих концентрацій свинцю у ґрунтах у 1,4–33,3 рази. Найбільш типовими біоіндикаційними ознаками антропогенного впливу є хлороз, некроз та плямистість листя. Найвищий рівень некрозу зафіксовано у клена звичайного (19,3%), дуба звичайного (15,0%) та ясеня звичайного (13,5%). Поширення хлорозу досягало 100% у акації білої та 80% у граба звичайного.

Встановлено залежність проявів біоіндикації від типу прилеглих сільськогосподарських культур. Найбільш інтенсивний вплив на стан лісосмуг здійснювали посіви кукурудзи та пшениці озимої, що супроводжувалися вираженими морфофізіологічними змінами листового апарату.

Отримані результати підтверджують доцільність використання біоіндикаційного моніторингу як ефективного інструменту оцінки екологічного стану агроландшафтів та обґрунтування заходів оптимізації функціонування полезахисних лісосмуг.

Ключові слова: інтенсивне землеробство, агроєкосистеми, полезахисні лісосмуги, біоіндикація, хлороз, некроз, важкі метали, агроєкологія.

Pankova S.O. Impact of Intensive Farming Technologies on the Ecological Condition of Shelterbelt Forest Strips in the Agro-Landscapes of the Forest-Steppe.

The article presents the results of a study on the impact of intensive farming technologies on the ecological condition of shelterbelt forest strips within agro-landscapes of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. The relevance of the research is обусловлена increasing anthropogenic pressure on agroecosystems caused by the application of high rates of mineral fertilizers, repeated use of chemical plant protection products, and intensive soil tillage.

The aim of the study was to establish cause-and-effect relationships between agricultural cultivation technologies and bioindicative responses of woody plants in shelterbelt forest strips. The research was conducted during 2021–2023 within Vinnytsia region. Field surveys, agroecological soil assessment, analysis of shelterbelt structure and species composition, and bioindication methods based on leaf condition assessment were applied.

It was found that dense shelterbelt structures predominate (57%), which are characterized by reduced ecological effectiveness. Exceedance of maximum permissible concentrations of lead in soils by 1.4–33.3 times was detected. The most typical bioindicative signs of anthropogenic impact were chlorosis, necrosis, and leaf spotting. The highest necrosis levels were recorded in Norway maple (19.3%), pedunculate oak

(15.0%), and common ash (13.5%). Chlorosis distribution reached 100% in black locust and 80% in hornbeam.

A relationship between bioindicative manifestations and adjacent crop types was established. The most intensive impact on shelterbelts was associated with maize and winter wheat cultivation, accompanied by pronounced morphophysiological changes in leaf tissues.

The obtained results confirm the feasibility of using bioindicative monitoring as an effective tool for assessing the ecological condition of agro-landscapes and substantiating measures to optimize the functioning of shelterbelt forest strips.

Key words: intensive agriculture, agroecosystems, shelterbelt forest strips, bioindication, chlorosis, necrosis, heavy metals, agroecology.



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 25.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.04.2026

BIBLIOGRAPHIC ANALYSIS OF RISK IDENTIFICATION AND MANAGEMENT IN TREATED WASTEWATER REUSE FOR AGRICULTURAL IRRIGATION AS A METHOD FOR IMPLEMENTING BEST PRACTICES IN UKRAINE

PILIARSKA O.O. – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher
orcid.org/0000-0001-8649-0618

Institute of Climate-Smart Agriculture of the National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine

ZHEREBCHUK S.V. – Research Fellow
orcid.org/0000-0002-0212-7107

Institute of Climate-Smart Agriculture of the National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine

SHABLIA O.S. – Candidate of Economic Sciences, Senior Researcher
orcid.org/0000-0002-2669-0711

Institute of Climate-Smart Agriculture of the National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine

POLAHENKO O.S. – Research Fellow
orcid.org/0009-0002-4416-4835

Institute of Climate-Smart Agriculture of the National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine

Introduction. The increasing scarcity of freshwater resources has become a pressing global concern, particularly under the combined pressures of climate change, population growth, and rising agricultural demand. Conventional water sources are no longer sufficient in many arid and semi-arid regions, compelling policymakers and researchers to seek alternative solutions. Among these, the reuse of treated wastewater for irrigation has gained recognition as a promising, cost-effective, and environmentally sustainable practice [11, 14].

A substantial body of research has highlighted the agronomic and environmental benefits of reclaimed wastewater use. When adequately treated, effluents can supply both irrigation water and essential nutrients, thereby reducing the need for synthetic fertilizers [32, 20]. However, wastewater reuse is not without challenges. Numerous studies have demonstrated the persistence of microbiological hazards such as pathogenic bacteria, viruses, and helminths [10, 26], as well as chemical contaminants including heavy metals, pharmaceuticals, and pesticides [19, 17]. These risks may affect food safety, soil fertility, and human health, and are exacerbated in regions where monitoring and treatment infrastructure remain underdeveloped.

Beyond health and environmental considerations, wastewater reuse also entails socio-economic complexities. Farmers may benefit from lower irrigation costs, but consumer perception of “wastewater-grown” products can negatively influence market acceptance [18]. Infrastructure costs for advanced treatment, such as nanofiltration or ozonation, can further limit implementation in low- and middle-income countries [21]. At the same time, cost-benefit analyses in southern Europe suggest that reuse projects can achieve both environmental and financial sustainability when designed with strong regulatory backing [15].

The regulatory landscape is evolving rapidly. In Europe, the adoption of **Regulation (EU) 2020/741** introduced harmonized minimum requirements for agricultural wastewater reuse, emphasizing a risk-based approach [16]. Other key frameworks, such as the **Urban Wastewater Treatment Directive 91/271/EEC** and the **Water Framework Directive 2000/60/EC**, provide the broader context for water quality and resource management. These policies stand in contrast to the fragmented regulatory systems in many non-EU countries, where guidelines remain incomplete or inconsistent [6].

Recent reviews highlight a notable diversification of research directions. Some scholars have developed quantitative microbial risk assessment (QMRA) models to estimate infection probabilities under different irrigation scenarios [14, 28]. Others emphasize soil and plant responses to long-term irrigation with treated wastewater, including effects on salinity, nutrient cycling, and microbial community dynamics [13, 22, 30]. Still others underscore socio-environmental dimensions, exploring consumer attitudes, governance models, and One Health perspectives [18, 28]. Collectively, these works reveal that while the potential of wastewater reuse is widely acknowledged, significant research gaps persist regarding integrated risk assessment and context-specific regulatory adaptation.

In Ukraine, studies are emerging on wastewater reuse as part of national climate adaptation and irrigation strategies [27, 29, 34]. These efforts are still at an early stage, but they highlight the importance of aligning Ukrainian practice with EU regulatory standards, particularly in the framework of the national Irrigation and Drainage Strategy through 2030.

Building on this body of literature, we hypothesize that wastewater reuse in agriculture, when governed by integrated risk-based frameworks and adapted to

regional contexts, can provide a sustainable and resilient solution to water scarcity while minimizing public health and environmental risks.

The purpose of this article is to conduct a comprehensive bibliographic analysis of scholarly publications addressing the risks associated with reclaimed wastewater use in agriculture. By mapping thematic trends, identifying methodological approaches, and highlighting research gaps, this study seeks to contribute evidence for developing regulatory frameworks and best practices tailored to both European and Ukrainian contexts.

Materials and Methods. This study adopted a structured bibliographic and qualitative analysis to examine the current scientific discourse on risk identification and management in the reuse of treated wastewater for agricultural irrigation. The methodology was designed to balance global perspectives with regional specificity, ensuring that the findings are both internationally relevant and directly applicable to the Ukrainian context.

The analytical process began with the careful selection of data sources. Three bibliographic databases were identified as most appropriate for the task: Scopus, the Web of Science Core Collection, and the Open Ukrainian Citation Index (OUCI). Scopus and Web of Science were chosen due to their broad international coverage, stringent indexing criteria, and advanced functionalities that allow for the detection of research trends and highly cited contributions across disciplines. OUCI, developed and maintained by the State Scientific and Technical Library of Ukraine, was included to ensure that Ukrainian-language publications and other regionally significant works, which are often underrepresented in international indices, were not overlooked. The combination of these resources made it possible to capture both the global state of the art and the local scientific response to wastewater reuse challenges.

The search process was conducted between March and May 2025. To maintain consistency, a predefined set of keywords was applied across all databases. These included terms such as *treated wastewater*, *wastewater reuse*, *agricultural irrigation*, *risk assessment*, *microbiological risk*, *chemical contamination*, *antibiotic resistance genes*, *environmental risk*, *constructed wetlands*, and *socio-economic barriers*. Boolean operators (AND, OR) were employed to combine related concepts and refine results. The search was limited to peer-reviewed journal articles, review papers, and conference proceedings published between 2004 and 2024. No language restrictions were introduced, although the majority of the final dataset consisted of English-language works.

After the initial collection, the records were carefully processed through a multi-step procedure. Duplicate entries retrieved from multiple databases were first removed. The remaining titles and abstracts were then screened to assess their alignment with the study's objective—namely, the identification and management of risks associated with treated wastewater reuse in agriculture. Studies focusing exclusively on industrial reuse, desalination, or drinking water supply were excluded at this stage. Those publications that

passed the screening were subsequently examined in full text to confirm thematic relevance and methodological soundness. Particular emphasis was placed on works that implemented quantitative microbial risk assessment (QMRA), chemical contaminant profiling, or socio-technical analyses of stakeholder engagement and regulatory frameworks.

The final dataset, which comprised 115 publications, was imported into the qualitative data analysis software NVivo 14 (QSR International, <https://www.qsrinternational.com/nvivo-qualitative-data-analysis-software/home>). Using NVivo allowed for systematic coding and in-depth thematic exploration. The coding strategy combined deductive and inductive approaches: pre-established categories such as microbial risk, heavy metal contamination, regulatory frameworks, and technological innovations were complemented by emergent codes that arose from the data itself. This dual approach ensured that established risk domains were represented while also leaving space for the identification of novel or cross-cutting issues.

To strengthen the interpretative dimension of the study, co-occurrence analysis was applied to detect thematic clusters and map interdisciplinary linkages across the literature. In addition, citation data drawn from OUCI were analyzed manually to assess the integration of Ukrainian research into the international academic landscape. This included tracking citation flows, identifying institutional affiliations, and comparing thematic overlaps between national and international publications. By combining automated tools with manual verification, the analysis ensured both comprehensiveness and contextual sensitivity.

Overall, the methodological workflow can be summarized as follows: the study began with database selection and keyword-driven searches, followed by deduplication, abstract and title screening, full-text review, qualitative coding in NVivo, and finally, comparative analysis between international and Ukrainian data sources. Each stage built logically upon the previous one, forming a coherent sequence that transformed raw bibliographic records into a structured body of evidence.

This approach not only enabled the identification of global trends in wastewater reuse research but also highlighted the specific contributions and challenges faced by Ukrainian scholars. In this way, the methods ensured that the resulting findings are grounded in a solid empirical base, bridging international experience with regional realities and offering practical recommendations for advancing sustainable agricultural practices in Ukraine.

Results. Analysis of the literature over the past two decades reveals a clear upward trajectory in research addressing the risks associated with agricultural wastewater reuse. Initially, studies were predominantly descriptive, focusing on the fundamental microbiological and chemical characteristics of treated effluents [11]. However, from approximately 2015 onward, research shifted toward more complex and integrated approaches, including risk assessment, predictive modeling, and socio-economic evaluations [2, 28]. This growth reflects the increasing global awareness of

water scarcity and the impact of climate change, as well as the implementation of regulatory frameworks such as the European Union's Regulation 2020/741, which established minimum quality standards for water reuse [41]. The increasing number of publications indicates both the scientific and policy-driven impetus to evaluate wastewater reuse comprehensively. Early work was limited by methodological constraints, often relying on single-parameter analyses, while recent studies incorporate multi-factorial assessments encompassing microbiological, chemical, and socio-economic dimensions (Fig. 1).

Geographically, research has been concentrated in regions with acute water scarcity, including Southern Europe and the Middle East. Mediterranean countries such as Spain and Italy have generated extensive studies examining compliance with EU directives and the implications of treated wastewater irrigation on soil and crop health [5, 15]. The Middle East, including Jordan, Israel, and Saudi Arabia, reflects long-term dependence on wastewater as an agricultural resource, often incorporating modeling approaches to predict supply-demand scenarios and risk outcomes [7, 3]. Asian countries, particularly India and China, contribute research focusing on chemical contaminants, heavy metal accumulation, and socio-economic impacts of irrigation practices [19, 20]. Notably, Eastern Europe, including Ukraine, remains significantly underrepresented, which underscores both a gap in localized knowledge and an opportunity for region-specific investigations [29, 34]. The uneven distribution indicates that the urgency of water reuse research correlates closely with water stress intensity, policy frameworks, and available scientific infrastructure, rather than purely agricultural necessity (Fig. 2).

The literature demonstrates a gradual evolution in thematic focus. Microbiological risks remain central, with a particular emphasis on pathogens such as

Escherichia coli, *Salmonella*, and protozoans like *Giardia* and *Cryptosporidium*. Quantitative Microbial Risk Assessment models are increasingly used to translate contamination levels into actionable risk estimates, reflecting a methodological maturation from simple presence-absence studies to probabilistic and exposure-based frameworks [18, 24]. Chemical contamination, particularly by heavy metals, pharmaceuticals, and persistent organic pollutants, represents another focal area, where studies assess soil accumulation, plant uptake, and potential human health implications [25, 19]. These studies reveal that conventional tertiary treatments often fail to completely remove contaminants, raising concerns for long-term soil fertility and crop safety. Emerging contaminants, including antibiotic resistance genes, represent a growing scientific frontier, highlighting risks that extend beyond immediate human consumption to broader ecological and evolutionary consequences [17, 4].

Socio-economic and governance considerations are increasingly integrated into risk analyses. Research shows that public perception, cultural attitudes, and regulatory enforcement significantly influence both the adoption and safety of wastewater reuse practices [2, 18]. Cost considerations remain a major barrier; advanced treatment technologies, while effective, are often inaccessible to low-resource regions, limiting the practical implementation of recommended safety standards [14, 23]. Thus, the literature increasingly recognizes that technical solutions alone are insufficient without concurrent governance and social engagement strategies.

Technological approaches to mitigating risk have diversified. Multistage treatment trains combining biological, chemical, and physicochemical processes are standard in high-resource settings, while constructed wetlands and other nature-based solutions offer cost-effective alternatives in resource-limited contexts [7].

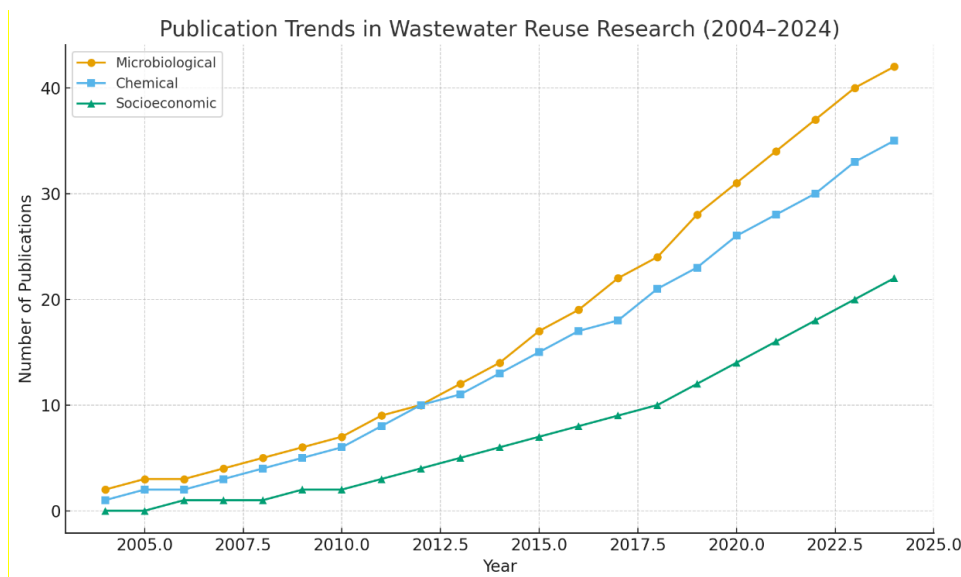


Fig. 1. Publication Trends Graph shows the annual number of publications from 2004 to 2024 across microbiological, chemical, and socio-economic focus areas

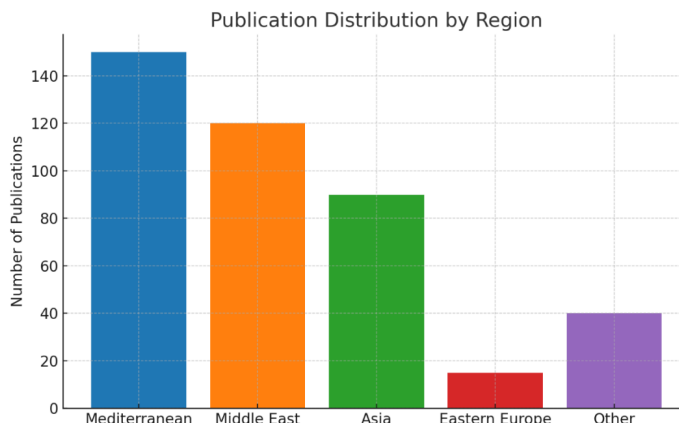


Fig. 2. Publication Distribution by Region illustrates geographic concentration of research publications

Studies indicate that short-term variations in treated wastewater quality can significantly affect soil microbial communities, which in turn influence nutrient cycling and crop metabolism [22, 8]. These interactions are complex: some effluent characteristics enhance soil fertility by providing additional organic matter and nutrients, while others, particularly residual chemical contaminants, pose long-term risks to soil health and crop quality. Such findings demonstrate that wastewater reuse cannot be evaluated solely from a contaminant removal perspective; ecological and agronomic outcomes must be considered simultaneously (Fig. 3).

The analysis highlights a striking gap in localized research in Ukraine. While international methodologies are adapted in preliminary Ukrainian studies [29, 27], comprehensive risk assessments that consider local agricultural practices, soil types, and post-conflict infrastructure vulnerabilities are largely absent. Addressing these gaps is critical for developing evidence-based national strategies that safely integrate wastewater reuse into agricultural water management. Furthermore, the limited body of research constrains

policymakers' ability to evaluate potential ecological, health, and socio-economic risks, emphasizing the need for interdisciplinary studies that combine environmental sciences, agronomy, and socio-economic analyses.

The literature illustrates a maturing research landscape, with increasing methodological sophistication and integrated approaches. Despite this progress, significant challenges remain, including the management of emerging contaminants, the translation of scientific evidence into regulatory frameworks, and the incorporation of socio-economic and cultural factors into risk mitigation strategies. Moreover, the geographic and contextual gaps particularly in Eastern Europe highlight the importance of localized, multidisciplinary research to inform safe and sustainable wastewater reuse practices.

Discussion. Within the European Union, the reuse of treated wastewater for agricultural irrigation is governed by a well-defined and comprehensive legal framework. The central piece of legislation in this domain is Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council of 25 May 2020 on mini-

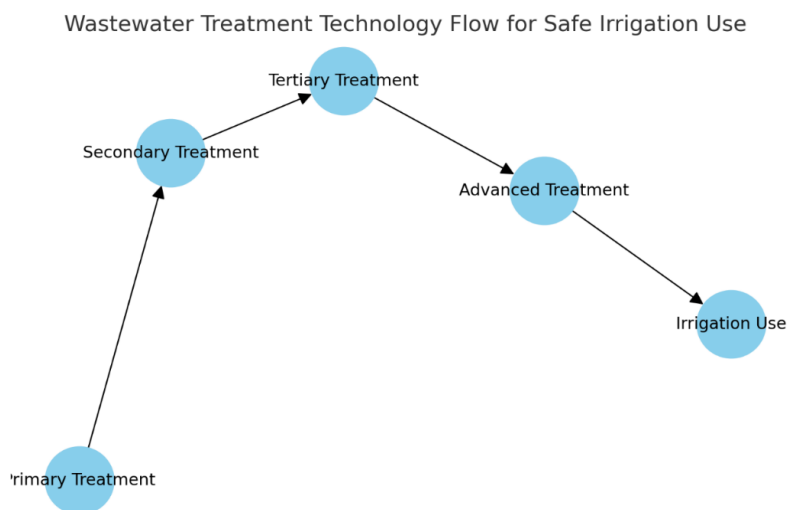


Fig. 3. Wastewater Treatment Technology Diagram flow of treatment processes leading to safe irrigation use

mum requirements for water reuse, which came into effect on June 26, 2023 [41]. From that date, its provisions became legally binding in all EU Member States. The regulation seeks not only to facilitate the safe and sustainable use of treated wastewater but also to harmonize water reuse standards across the EU, ensuring a high level of public health protection, environmental safety, and support for the circular economy, particularly in the face of growing freshwater scarcity.

Unlike permissive or advisory guidelines, this regulation sets mandatory requirements for water quality, usage conditions, monitoring protocols, and risk management measures. Its primary focus is on a specific use case: the reuse of treated urban wastewater for the irrigation of agricultural crops. Other forms of water reuse, such as for industrial purposes or landscape irrigation (e.g., parks or golf courses), fall outside the scope of this regulation and are instead addressed by national or regional legislation.

A central objective of the regulation is to reduce dependency on freshwater sources by encouraging the reuse of appropriately treated wastewater in agriculture. To that end, it introduces stringent quality classes A, B, C, and D based on the type of crop being irrigated and the degree of potential contact between the water and edible parts of the plant. For example, Class A, which applies to crops consumed raw with high water contact, imposes strict microbiological standards, including a limit of fewer than 10 colony-forming units (CFU) of *E. coli* per 100 ml. Moreover, for this category, daily monitoring is required. Alongside microbiological criteria, each class also specifies physico-chemical indicators, such as biochemical oxygen demand (BOD₅), total suspended solids (TSS), and turbidity, and includes additional requirements for situations involving aerosolized water exposure, such as testing for *Legionella* spp.

One of the most crucial elements introduced by the regulation is the requirement for a Risk Management Plan (RMP). Every operator responsible for supplying treated wastewater must develop and submit such a plan to the competent regulatory authority. The plan must include:

- A detailed identification and assessment of potential risks to human health, the environment, soil integrity, and crop safety;
- Clearly defined monitoring procedures and emergency response protocols for cases in which parameters exceed safety thresholds;
- Specification of responsible actors at each stage of the treatment, distribution, and application chain;
- Scenario-based planning for system failures or incidents of substandard water quality;
- Public communication strategies, particularly for populations located in or near areas where reclaimed water is applied.

The risk management plan must be regularly updated, based on the latest hazard assessments and include geospatial mapping of potential threats. In this way, the regulation promotes not only technical robustness but also transparency and stakeholder engagement.

Moreover, the regulation mandates the establishment of a rigorous monitoring system. This includes:

- Regular sampling of treated water at the outlet of wastewater treatment plants;
- Monitoring along distribution routes to irrigation sites;
- Verification of compliance with established microbiological and chemical standards;
- Proper record-keeping and public access to monitoring results.

The frequency of monitoring is also standardized and varies depending on the quality class of the water ranging from daily to weekly or monthly, depending on the associated risk levels.

Importantly, Member States are required to submit annual reports to the European Commission detailing the quantities of reused water, compliance statistics, and any violations. Additionally, the public must have access to relevant data, including summaries of risk management plans, monitoring results, and corrective actions taken. This approach fosters accountability and public trust, which are essential for the broader societal acceptance of wastewater reuse practices.

Regulation 2020/741 is not an isolated policy but rather an integral component of a broader EU water governance framework, which includes: the Water Framework Directive (2000/60/EC) [36]; the Urban Wastewater Treatment Directive (91/271/EEC) [35]; the REACH Regulation (1907/2006/EC) [40]; and the Food Hygiene Regulation (852/2004/EC) [39]. Together, these legal instruments form a coherent and enforceable policy architecture aimed at ensuring that the reuse of treated wastewater is not only technically feasible, but also safe, transparent, and socially acceptable.

A particularly influential document in shaping the European Union's regulatory approach to water reuse is the technical report issued by the Joint Research Centre (JRC) titled Minimum Quality Requirements for Water Reuse in Agricultural Irrigation and Aquifer Recharge [16]. This report served as the foundational scientific and technical basis for the formulation of Regulation (EU) 2020/741, particularly in defining the water quality classes, parameter thresholds, monitoring protocols, and risk management procedures. Drawing on a wide range of international sources—including guidelines from the World Health Organization (WHO), International Organization for Standardization (ISO) standards, the Australian Guidelines for Water Recycling, and numerous peer-reviewed scientific studies—the report represents a synthesis of global best practices contextualized for implementation within the EU policy framework.

What distinguishes the EU model is its integration of scientific evidence into legally binding instruments, thereby ensuring that policy decisions are not only politically legitimate but also technically robust and empirically grounded. The JRC's recommendations, for instance, underscore the importance of differentiated water quality requirements based on crop type and exposure risk, which was directly translated into the four-category classification system (A to D) now

embedded in the EU regulation. Moreover, the JRC advocated for a multi-barrier approach to risk mitigation emphasizing the use of complementary safety measures such as source control, advanced treatment technologies, buffer zones, and continuous monitoring which has been reflected in both regulatory text and accompanying implementation guidelines.

The resulting EU regulatory framework can be seen as a comprehensive and multi-dimensional governance system that combines: legal enforceability, ensuring compliance through standardized obligations across Member States; scientifically validated quality benchmarks, which align with international health and environmental safety standards; mandatory monitoring procedures, including high-frequency sampling and public access to results; detailed risk management planning, tailored to site-specific conditions and operational realities; strong emphasis on transparency and stakeholder accountability, recognizing the role of public trust in the successful adoption of reclaimed water in agriculture.

This model does more than merely permit water reuse it institutionalizes it through a framework of trust, built on technical precision and administrative openness. Importantly, Member States are not only required to monitor and report annually to the European Commission, but also to ensure that farmers, consumers, and local communities are informed of water quality, risk measures, and any deviations from safety thresholds. Such transparency mechanisms serve a dual purpose: they enable public oversight and they strengthen the legitimacy of the policy itself.

In this way, the EU demonstrates how water reuse often regarded with skepticism due to concerns about health, safety, or consumer acceptance can be transformed into a mainstream component of sustainable water management. The system's robustness stems not only from its legal and technical architecture, but also from the way it encourages alignment among stakeholders, from regulatory authorities and water utilities to farmers and the general public.

As the impacts of climate change intensify and water security becomes an increasingly urgent issue across Europe and beyond, the EU's framework offers a replicable model for other jurisdictions seeking to balance resource efficiency, environmental protection, and public health considerations. Its emphasis on risk-based thinking, cross-sectoral coordination, and adaptive governance makes it particularly well-suited for responding to complex and evolving challenges in the water sector.

In their 2023 article "Wastewater Reuse in Agriculture: Prospects and Challenges", published in the journal *Environmental Research*, a team of international researchers presents an in-depth, interdisciplinary review of the environmental, sanitary, and technological dimensions of using treated wastewater for agricultural irrigation [14]. Drawing on a wide range of scientific literature, the authors offer a critical analysis of current wastewater treatment practices and the associated risks posed to ecosystems, human health, soils, and crops.

A central theme of the article is the quality of treated wastewater intended for reuse in agriculture, and the

potential hazards that arise when treatment processes are inadequate or outdated. The authors examine the spectrum of pollutants that can persist in wastewater particularly microbial pathogens such as viruses and bacteria, as well as chemical contaminants including toxic salts, heavy metals, persistent organic pollutants, pharmaceutical residues, and microplastics. These elements, even in trace concentrations, can accumulate over time in soils and crops, with implications that may not become evident until after prolonged exposure.

The authors argue that conventional treatment approaches mechanical, biological, and chemical must increasingly be complemented by advanced technologies. These include membrane filtration, nitrogen removal through anoxic processes, the use of nanomaterials, and the incorporation of microalgae-based systems. While such integrated methods can achieve a high degree of water purification and pathogen removal, they also demand substantial financial investment, technical capacity, and continuous monitoring infrastructure resources that may be scarce in many regions where water scarcity is most acute.

Importantly, the study does not limit itself to technical analysis. It also engages with the socio-economic realities that drive the use of wastewater in agriculture, particularly in low-income countries and arid regions. The authors note that over 20 million hectares of agricultural land globally are irrigated with treated or in many cases, untreated wastewater. These areas are often situated near major urban centers, providing farmers with relatively easy access to water but also exposing them to heightened contamination risks. In many such contexts, farmers have no viable alternative sources of water, making the reuse of wastewater a necessity rather than a choice. This, however, raises urgent concerns about public health, as inadequately treated water often contains dangerous pathogens and hazardous chemicals.

A critical insight from the article concerns the global regulatory landscape, which the authors describe as fragmented and insufficiently harmonized. There is a lack of universally accepted standards for wastewater reuse, especially with regard to long-term environmental and health risks. For instance, few regulations address the cumulative impact of low-level contaminants on soil quality or their transfer through food chains. The article emphasizes the need for evidence-based guidelines that take into account not only immediate safety thresholds but also the long-term sustainability of wastewater reuse practices.

Framing their analysis within the broader context of the United Nations Sustainable Development Goals particularly SDG 6 on clean water and sanitation the authors contend that the reuse of treated wastewater should not merely be seen as an environmental imperative. Rather, it should be recognized as a strategic solution to the global freshwater crisis. However, they caution that this potential can only be realized under stringent safety protocols, robust institutional frameworks, and sustained scientific oversight.

Looking to the future, the authors highlight emerging trends in water treatment technology. They advocate for the adoption of integrated purification systems

that combine biological, physicochemical, and membrane-based techniques, sometimes enhanced with microalgae or nanofiltration processes. In parallel, they stress the importance of developing standardized analytical methodologies capable of detecting emerging contaminants such as microplastics and pharmaceutical residues substances that are not yet adequately monitored in many parts of the world.

In light of accelerating climate change, rapid urbanization, and increasing competition for freshwater resources, the reuse of treated wastewater in agriculture is poised to play a pivotal role in ensuring water security. Nevertheless, the article makes clear that this approach is not without risks. Its success depends on a careful balance between technological innovation, economic feasibility, social acceptance, and regulatory coherence backed by rigorous, ongoing scientific research.

The article "Treated Wastewater Reuse for Crop Irrigation: A Comprehensive Health Risk Assessment", published in *Environmental Science: Advances* (2024), represents one of the most thorough and up-to-date investigations into the health implications of using treated wastewater (TWW) for agricultural irrigation (Ofori et al., 2024). Authored by an international team of scientists, including experts from the Czech Republic and Italy, the study focuses on evaluating potential health risks for consumers of vegetables irrigated with TWW, considering three major categories of concern: heavy metals, pathogenic microorganisms, and emerging contaminants such as pharmaceutical residues and antibiotic resistance genes (ARGs).

The experimental component of the study was conducted in a controlled greenhouse environment, where researchers examined the impact of irrigating three common crops tomatoes, carrots, and cabbage with secondary-treated municipal wastewater sourced from a treatment facility in the Czech Republic. A control group of the same crops was irrigated using standard tap water. Throughout the experiment, detailed analyses were conducted on the composition of the water, soil, and plant biomass, focusing particularly on concentrations of copper, zinc, cadmium, lead, and arsenic.

The findings revealed that copper levels in tomatoes irrigated with TWW were 25 mg/kg, in carrots 30 mg/kg, and in cabbage 20 mg/kg. Notably, these concentrations did not exceed those found in the control group irrigated with tap water; in fact, copper levels in cabbage from the control group were as high as 65 mg/kg. Concentrations of highly toxic elements such as lead, cadmium, and arsenic in all samples were below detection limits. Based on these results, the authors concluded that there was no significant toxicological risk to adult consumers. Health risk assessments, calculated using the hazard quotient (HQ) and hazard index (HI), yielded values well below the safety threshold of one, indicating that the detected contaminant levels do not pose health concerns.

A critical element of the study was the assessment of microbiological safety. The researchers tested tomato fruits for the presence of pathogens such as *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens*, and thermo-

tolerant coliforms. None of these microorganisms were detected, suggesting that when secondary-treated wastewater is properly disinfected, the risk of microbial contamination in edible crops is minimal.

Particularly noteworthy is the study's attention to pharmaceutical residues and ARGs. While common pharmaceuticals like carbamazepine and sulfamethoxazole were not detected in any crop samples, trace amounts of gabapentin (3 µg/kg) were found in tomatoes irrigated with TWW. However, this level is well below thresholds considered to pose a toxicological risk. Metagenomic DNA extracted from cabbage samples revealed the presence of several ARGs *tetA*, *ermB*, *blaTEM*, *sul2*, *sul3*, and *qnrS*. Importantly, these resistance genes were also detected in control samples irrigated with tap water. This suggests that the mere use of treated wastewater is not necessarily the primary driver of ARG dissemination in agricultural systems, and that other environmental and anthropogenic factors may be at play.

A key takeaway from the study is the recognition that risk assessment in the context of TWW irrigation must go beyond analyzing the water itself. The properties of the receiving soil such as pH, organic matter content, and microbial activity play a crucial role in determining the bioavailability and uptake of contaminants by plants. The researchers emphasize that a holistic approach is needed one that combines epidemiological, ecological, and chemical methodologies to accurately assess and mitigate health risks associated with wastewater reuse in agriculture.

Furthermore, the authors argue that safe and sustainable reuse of treated wastewater requires strict adherence to good agricultural and sanitary practices throughout the entire production chain. From irrigation to post-harvest handling, each stage must be guided by evidence-based protocols to ensure food safety. In light of growing water scarcity, climate pressures, and the need for resilient agricultural systems, the study provides a strong case for integrating TWW reuse into agricultural strategies provided it is supported by rigorous monitoring and cross-disciplinary risk evaluation.

The article "Co-contaminant Risks in Water Reuse and Biosolids Application for Agriculture" explores the multifaceted and often overlooked risks associated with using treated wastewater and sewage sludge (biosolids) in farming practices [17]. While returning water, nutrients, and organic matter to agricultural systems is seen as a cornerstone of circular economy strategies, the authors caution that these benefits come with serious trade-offs. Specifically, they highlight the presence of chemical pollutants (such as pharmaceuticals, pesticides, and PFAS), physical particles (including microplastics and engineered nanomaterials), and biological agents like antibiotic-resistant bacteria and resistance genes.

These contaminants make their way into the environment through reused water and biosolid applications, gradually building up in soils, entering plant tissues, and potentially passing into food chains. Such exposure pathways raise concerns not only for environmental integrity but also for public health.

One of the core arguments in the article is that current approaches to risk assessment are too narrow.

Most scientific studies focus on individual substances or types of contaminants, rarely accounting for how complex mixtures behave once released into ecosystems. However, in reality, pollutants are rarely present in isolation. Chemical interactions, as well as the influence of environmental factors such as temperature, soil type, and microbial activity, can amplify their impact in unpredictable ways. Failing to consider these interactions may significantly underestimate the true scale of the risks.

The issue of microplastics receives particular attention. Increasingly found in agricultural soils due to the land application of biosolids, these particles can interfere with soil aeration, water retention, and biological processes. Laboratory experiments especially those conducted in hydroponic systems have shown that small plastic particles can infiltrate plant roots and move into stems and leaves. Though these results suggest a possible exposure route, the authors advise caution when interpreting such data, as hydroponic conditions do not accurately mirror the complexity of real soils where interactions with organic matter and mineral particles can limit plastic mobility.

Antibiotic resistance is another urgent issue raised in the article. Despite treatment processes, both resistance genes and resistant bacteria persist in effluents and sludge. In some cases, the conditions during treatment may even enhance horizontal gene transfer, potentially facilitating the evolution of new, drug-resistant pathogens. This is particularly concerning given that wastewater treatment plants receive a constant influx of waste from households, livestock operations, food processing facilities, and hospitals making them potential breeding grounds for resistance.

The authors emphasize that the solid fraction of treated waste the sludge tends to hold the highest concentration of emerging contaminants. When applied to fields as fertilizer, this sludge becomes a vehicle for distributing pollutants across farmland. To manage these risks effectively, they argue for more robust monitoring frameworks, including tools to identify and prioritize contamination hotspots.

What emerges from the article is a call for coordinated global action. The authors stress the need to upgrade treatment technologies, modernize regulations, and harmonize safety standards worldwide. Without these measures, the risks associated with reuse could undermine its potential as a sustainable solution to water scarcity and declining soil fertility.

In conclusion, the paper sheds light on the intricacies and interdependencies of risks tied to water reuse and biosolid application. It makes a strong case for moving beyond single-contaminant assessments and adopting a multidisciplinary approach one that brings together expertise from environmental science, public health, agronomy, and policy. Only through such collaboration, they argue, can we ensure that the reuse of resources in agriculture supports both human well-being and environmental resilience in the long term.

The review article "Risks Associated with Wastewater Reuse in Agriculture: Investigating the Effects of Contaminants in Soil, Plants, and Insects", developed under the PRIMA-SAFE project and published in Fron-

tiers in Environmental Science, offers a comprehensive and nuanced examination of both the benefits and the risks linked to the use of treated wastewater in agricultural irrigation [30]. The authors focus on a dual reality while treated wastewater can be a valuable source of nutrients for crops, it may also carry a host of residual contaminants that pose threats to soil ecosystems, plant health, insects, and, ultimately, human wellbeing.

On the positive side, irrigation with treated effluent can improve soil fertility, enhance crop productivity especially for short-cycle crops like lettuce and tomatoes and reduce reliance on synthetic fertilizers. Treated wastewater often contains plant-available forms of nitrogen, phosphorus, and potassium, making it a potential input in circular agriculture. This resource recovery aspect aligns with broader sustainability goals and can contribute to closing nutrient loops in regions facing growing water stress.

However, the authors caution that alongside these agronomic advantages, there are critical risks stemming from contaminants that are not always fully removed during conventional treatment processes. These include persistent organic pollutants, pesticide residues, heavy metals, pathogenic microorganisms, pharmaceuticals, and a particularly concerning class of compounds: N-nitrosamines recognized for their carcinogenic properties. Once introduced into agroecosystems, these substances can accumulate in soils, be taken up by crops, affect insect biodiversity, and facilitate the spread of antimicrobial resistance.

The presence of pharmaceutical compounds and antibiotics in irrigation water is a source of particular concern. Their repeated introduction into the soil can disrupt microbial communities and exert selective pressure that promotes the survival and transmission of resistant strains. This, in turn, may have wide-reaching consequences not only for soil health and agricultural output but also for public health systems struggling to combat antibiotic resistance.

To mitigate these risks, the article underscores the importance of implementing advanced water treatment solutions, such as tertiary purification, biofiltration, and precision irrigation methods like drip systems. These approaches reduce the direct contact between edible plant parts and reclaimed water, thereby limiting contaminant transfer into the food chain. In addition, they contribute to more targeted and efficient water use, which is particularly valuable in arid and semi-arid regions.

A key takeaway from the review is the need for integrated, interdisciplinary strategies to manage water reuse safely. The authors call for collaboration across a wide range of fields—including ecology, agronomy, environmental engineering, microbiology, medicine, and legal studies. Closing regulatory gaps and directing investment into treatment technologies specifically designed to remove high-risk pollutants is viewed as essential. This becomes even more urgent in light of climate change and the increasing scarcity of freshwater in many parts of the world.

In summary, while treated wastewater has great potential to support more sustainable agricultural practices, its use must be accompanied by rigorous risk

assessment and governance frameworks. The article provides a strong argument for aligning scientific knowledge, technological innovation, and policy development to ensure that water reuse practices not only conserve resources but also protect ecosystems and human health in the long term.

In Ukraine, comprehensive research on the reuse of treated wastewater and biosolids in agriculture remains relatively limited compared to the growing international body of literature. A few notable studies have addressed this topic, often focusing on adapting foreign technologies and evaluating environmental risks under local conditions.

For example, Oleksandr Shkvirko, I. Tymchuk, and M. Malovanyy from Lviv Polytechnic have explored the feasibility of applying international experience in wastewater sludge management to Ukrainian agricultural systems [29]. Their findings suggest that using sludge as fertilizer could be a promising solution, but they emphasize the need for further investigation to ensure environmental safety and optimize application practices under local agroecological conditions.

Researchers in Poltava, including V. Pysarenko, I. Samoylik, L. Dychenko, and O. Korchahin, have studied the phytotoxic effects of wastewater from waste disposal sites on common wheat [27]. Their experiments revealed significant adverse impacts: a reduction in germination rates and stunted development of both the aerial and root parts of the plants by 16%, 22%, and 44%, respectively compared to the control group. Plant biomass also decreased markedly, underscoring the risks of using insufficiently treated or contaminated wastewater in crop production.

At Kharkiv Polytechnic Institute, Zinchenko, Bukatenko, and Misyak investigated vermifiltration technology in 2024 [34]. Their research demonstrated that earthworm-based biofiltration systems can effectively treat both domestic and industrial wastewater. In addition to removing contaminants and pathogens, this method produces organic-mineral vermicompost suitable for use as a fertilizer in agriculture. While still in the early stages of development, the approach shows considerable promise as a low-cost, ecologically sound solution.

Among Ukrainian institutions, the Institute of Climate-Smart Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences (NAAS) stands out as the leading organization systematically addressing the reuse of wastewater and biosolids in agriculture. The Institute conducts interdisciplinary research focused on sustainable water and nutrient management under conditions of climate change and increasing resource scarcity. Its scientists are developing practical guidelines for the use of treated wastewater in crop irrigation and exploring the agronomic potential of sewage sludge as a soil amendment.

In collaboration with national and international partners, the Institute carries out field trials to assess the impact of treated effluents on crop yields, soil properties, and food safety. It also monitors the accumulation of heavy metals and pharmaceutical residues in soils and plants to determine acceptable application thresholds. Furthermore, the Institute is actively involved in

drafting policy recommendations for regulating wastewater use in agriculture, with a strong emphasis on aligning Ukrainian practices with European environmental standards.

By integrating agronomy, soil science, environmental engineering, and risk assessment, the Institute of Climate-Smart Agriculture plays a central role in shaping the scientific and policy discourse on safe and efficient water reuse in Ukraine's agricultural sector. Nonetheless, as the global interest in wastewater reuse continues to grow, there is a pressing need for broader national research efforts and more robust institutional coordination in Ukraine.

In Ukraine, the legislative basis for wastewater management is fragmented and remains insufficient to support large-scale reuse in agriculture. The Water Code of Ukraine (1995, with subsequent amendments) and the Law "On Drinking Water, Drinking Water Supply and Sewerage" (2002) establish general provisions on water use and wastewater treatment. However, they do not contain detailed standards governing the reuse of reclaimed wastewater for irrigation. Sanitary norms developed under the Ministry of Health provide certain restrictions on the use of untreated or partially treated effluents but do not set out a comprehensive risk-based approach comparable to the EU Regulation (EU) 2020/741.

The absence of clear quality classes, monitoring procedures, and operational guidelines creates regulatory uncertainty for utilities and farmers alike. For instance, wastewater treatment plants in southern Ukraine, particularly in Odesa and Kherson regions, have occasionally considered the reuse of treated effluents for irrigating industrial crops such as maize and sunflower. Yet, without binding sanitary standards and legal guarantees, such initiatives remain experimental rather than systemic.

Institutionally, responsibilities are dispersed. The Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine oversees water resource management, while the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine plays a role in agricultural water use. The Ministry of Health is responsible for sanitary and epidemiological oversight. However, coordination between these bodies is limited, and no single authority currently acts as the regulator for agricultural wastewater reuse. This stands in contrast to the EU model, where centralized regulation provides clarity and consistency across member states.

Despite the legislative gaps, Ukrainian research institutions are increasingly engaging with this issue. The Institute of Climate-Smart Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences (NAAS) has been at the forefront of studying sustainable irrigation practices, including the potential of reclaimed wastewater use under conditions of water scarcity and climate change. These efforts are part of the state-funded research program PND NAAS 5 "Formation of Balanced Farming Systems on Irrigated Lands under Climate Change" (Irrigated Agriculture). Within this framework, Task 05.00.02.08П specifically addresses the development of directions for additional treatment of domestic wastewater efflu-

ents to make them suitable for irrigation in line with European legislation.

Recent studies led by Ukrainian scholars have highlighted both the opportunities and the challenges of reclaimed wastewater use. For example, research by Piliarska, Shablia, and colleagues [42] has examined the application of treated wastewater for irrigating agricultural crops, providing preliminary assessments of agronomic potential, soil impact, and compliance gaps with EU regulatory requirements. These studies confirm that while reclaimed wastewater could significantly reduce pressure on freshwater resources, Ukraine still lacks robust standards for monitoring microbial and chemical contaminants.

Other research organizations, such as regional universities and specialized institutes under NAAS, are also contributing to the scientific evidence base. Investigations have been carried out on the effects of treated municipal wastewater on soil chemical properties and crop quality, providing important data that could inform future national guidelines. Collaboration with international partners has further enriched this field, bringing in methodologies for risk assessment, One Health perspectives, and emerging contaminant monitoring.

Ukraine's ongoing process of European integration provides a strategic window for developing a modern regulatory framework for wastewater reuse. Alignment with the principles of Regulation (EU) 2020/741 would enable the country to adopt risk-based management, define water quality classes, and establish monitoring protocols that could support both food safety and environmental sustainability. Ukrainian scientific institutions, particularly the Institute of Climate-Smart Agriculture of NAAS, can play a key role in adapting EU best practices to local agro-climatic conditions and in providing the evidence base for national standards.

Conclusions. This study demonstrates that the reuse of treated wastewater and biosolids holds significant potential for strengthening agricultural resilience in Ukraine at a time when the country faces overlapping challenges of freshwater scarcity, climate change, and war-related destruction of infrastructure. The bibliographic analysis makes clear that these resources can provide substantial agronomic benefits, supplying essential nutrients, reducing dependency on costly synthetic fertilizers, and improving the long-term fertility of soils. At the same time, the risks associated with their use are complex and multifaceted. They include microbiological hazards, chemical contaminants, and, no less importantly, socio-economic barriers related to consumer acceptance and the absence of regulatory clarity.

The analysis also shows that regulatory and institutional frameworks remain underdeveloped. In Ukraine, harmonized standards for wastewater and biosolid reuse in agriculture are still lacking, despite the fact that European directives and regulations already offer clear benchmarks. The absence of such standards creates uncertainty both for farmers and for investors, limiting the opportunities for scaling up new practices. Furthermore, while technological solutions exist, they are not universally applicable. Each context—whether a drought-prone southern region or

a war-affected area where infrastructure has been damaged—requires different approaches, ranging from low-cost natural treatment systems to advanced multi-stage technologies capable of ensuring pathogen and contaminant removal.

Another critical gap concerns knowledge and monitoring. Emerging pollutants such as pharmaceutical residues, microplastics, and antibiotic resistance genes remain insufficiently studied in Ukraine, and there is little systematic surveillance to track their accumulation in soils and crops. Without robust monitoring and risk assessment frameworks, it is impossible to guarantee safety or to build long-term confidence in these practices. Taken together, these findings confirm the central hypothesis of this study: although wastewater and biosolids reuse offers a viable alternative to conventional water and fertilizer sources, its safe and effective application demands a comprehensive risk management system that integrates international standards with Ukraine's specific recovery and climate adaptation needs.

In light of these results, several priorities emerge for Ukraine. The modernization of regulatory frameworks must be placed at the center of national policy, with the development of clear standards that reflect both conventional and emerging risks while aligning with European legislation, particularly Regulation 2020/741. Alongside regulatory reform, pilot projects are urgently needed in war-affected and drought-prone regions to test treatment technologies, evaluate risk mitigation strategies, and generate the practical evidence required for broader adoption. These efforts should be closely linked to the selection of adaptive technologies that balance cost, context, and safety, ranging from precision irrigation methods such as drip systems to advanced disinfection techniques like ozonation or ultraviolet treatment for high-risk effluents.

Equally important is the creation of national monitoring systems capable of tracking chemical, microbial, and ecotoxicological parameters, not only individually but in terms of their cumulative and interactive effects. Expanding this type of monitoring will provide a more accurate picture of long-term risks to human health and ecosystem integrity. At the same time, success will depend on building the knowledge and trust of those who will ultimately implement these practices. Training programs for farmers, utilities, and local authorities, combined with broader public awareness campaigns, can help establish a culture of safe reuse while reducing societal resistance.

Finally, the reuse of treated wastewater and biosolids should not be seen in isolation, but as part of Ukraine's broader recovery and climate adaptation strategy. Integrating these practices into national policies on agriculture, food security, and environmental protection supported by coordination across ministries and active international cooperation can transform what has often been considered a waste problem into a valuable resource. By embracing this approach, Ukraine can move closer to building a resilient agricultural system that not only meets immediate needs but also lays the foundation for long-term sustainability.

BIBLIOGRAPHY:

1. Agnelo L. et al. Effects of wastewater disinfectants on the soil: Implications for soil microbial and chemical attributes. *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 706. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136007>
2. Akhoundi A., Nazif S. Sustainability assessment of wastewater reuse alternatives using the evidential reasoning approach. *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 195. P. 1350–1376. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.220>
3. Al-Shutayri A. S., Al-Juaidi A. E. M. Assessment of future urban water resources supply and demand for Jeddah City based on the WEAP model. *Arabian Journal of Geosciences*. 2019. Vol. 12, no. 14. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4594-7>
4. Albolafio S. et al. Strategies for mitigating chlorinated disinfection byproducts in wastewater treatment plants. *Chemosphere*. 2022. Vol. 288. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132583>
5. Alcaide Zaragoza C. et al. Spatio-temporal analysis of nitrogen variations in an irrigation distribution network using reclaimed water for irrigating olive trees. *Agricultural Water Management*. 2022. Vol. 262. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107353>
6. Alcalde-Sanz L., Gawlik B. M. Water reuse in Europe: Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation / European Commission, Joint Research Centre. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2014.
7. Almanaseer N., Hindiyeh M., Al-assaf R. Hydrological and environmental impact of wastewater treatment and reuse on Zarqa river basin in Jordan. *Environments*. 2020. Vol. 7, no. 2. Art. 14. DOI: <https://doi.org/10.3390/environments7020014>
8. Alvarez-Holguin A. et al. The impact of treated wastewater irrigation on the metabolism of barley grown in arid and semi-arid regions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. Vol. 19, no. 4. Art. 2345. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19042345>
9. Amiard J. C., Amiard-Triquet C. Conventional risk assessment of environmental contaminants. *Aquatic ecotoxicology: Advancing tools for dealing with emerging risks*. Elsevier, 2015. P. 25–49. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800949-9.00002-4>
10. Amoah I. D. et al. Impact of informal settlements and wastewater treatment plants on helminth egg contamination of urban rivers and risks associated with exposure. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2020. Vol. 192, no. 11. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08660-0>
11. Angelakis A. N., Snyder S. A. Wastewater treatment and reuse: Past, present, and future. *Water*. 2015. Vol. 7, no. 9. P. 4887–4895. DOI: <https://doi.org/10.3390/w7094887>
12. Ansari S., Alavi J., Ghafoori M. A technical model for reclaimed water reuse in agricultural irrigation: A case study in Kordkuy, Iran. *Environmental Earth Sciences*. 2018. Vol. 77, no. 3. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7259-z>
13. Aragüés R. et al. Soil salinization as a threat to the sustainability of deficit irrigation under present and expected climate change scenarios. *Irrigation Science*. 2015. Vol. 33, no. 1. P. 67–79. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00271-014-0449-x>
14. Al-Hazmi H. E. et al. Wastewater reuse in agriculture: Prospects and challenges. *Environmental Research*. 2023. Vol. 229. Art. 116711. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116711>
15. Arena C., Genco M., Mazzola M. R. Environmental benefits and economical sustainability of urban wastewater reuse for irrigation—a cost-benefit analysis of an existing reuse project in Puglia, Italy. *Water*. 2020. Vol. 12, no. 10. Art. 2926. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12102926>
16. Benedetti L. et al. Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge: Towards a second EU regulation? : JRC Tech. Rep. / European Commission. 2018. URL: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC109291>
17. Carter L. J. et al. Co-contaminant risks in water reuse and biosolids application for agriculture. *Environmental Pollution*. 2025. Vol. 325. Art. 126219. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.126219>
18. Lahlou F.-Z., Mackey H. R., Al-Ansari T. Wastewater reuse for livestock feed irrigation as a sustainable practice: A socio-environmental-economic review. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 294. Art. 126331. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126331>
19. Mehmood A. et al. Spatial distribution of heavy metals in crops in a wastewater irrigated zone and health risk assessment. *Environmental Research*. 2019. Vol. 168. P. 382–388. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.09.020>
20. Mendes Reis M. et al. Use of treated wastewater in irrigation: Productive and nutritional aspects of millet and chemical properties of clay and sandy loam soils. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2021. Vol. 67, no. 14. P. 2063–2076. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1820489>
21. Mendret J. et al. Urban wastewater reuse using a coupling between nanofiltration and ozonation: Techno-economic assessment. *Chemical Engineering Research and Design*. 2019. Vol. 145. P. 19–28.
22. Moulia V. et al. Short-term effect of reclaimed wastewater quality gradient on soil microbiome during irrigation. *Science of the Total Environment*. 2023. Vol. 901. Art. 166028. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166028>
23. Musazura W., Odindo A. O. Suitability of the decentralised wastewater treatment effluent for agricultural use: Decision support system approach. *Water*. 2021. Vol. 13, no. 18. Art. 2454. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13182454>
24. Nahim-Granados S. et al. Solar processes and ozonation for fresh-cut wastewater reclamation and reuse: Assessment of chemical, microbiological and chlorosis risks of raw-eaten crops. *Water Research*. 2021. Vol. 203. Art. 117532. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117532>
25. Natasha et al. Health risks of arsenic buildup in soil and food crops after wastewater irrigation. *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 772. Art. 145266. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145266>
26. Ofori S. et al. Treated wastewater reuse for crop irrigation: A comprehensive health risk assessment. *Envi-*

ronmental Science: Advances. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1039/D4VA00274A>

27. Оцінка фітотоксичної дії стічних вод місць захоронення відходів на стійкість *Triticum aestivum* / П. В. Писаренко та ін. *Scientific Progress & Innovations*. 2019. № 2. С. 77–84. DOI: <https://doi.org/10.31210/visnyk2019.02.09>

28. Penserini L., Cantoni B., Antonelli M. Modelling the impacts generated by reclaimed wastewater reuse in agriculture: From literature gaps to an integrated risk assessment in a One Health perspective. *Journal of Environmental Management*. 2024. Vol. 371. Art. 122715. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122715>

29. Адаптація світового досвіду утилізації осадів стічних вод до екологічних умов України / О. М. Шківрко та ін. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Т. 29, № 2. С. 82–87. DOI: <https://doi.org/10.15421/40290216>

30. Trotta V., Baaloudj O., Brienza M. Risks associated with wastewater reuse in agriculture: Investigating the effects of contaminants in soil, plants, and insects. *Frontiers in Environmental Science*. 2024. Vol. 12. Art. 1358842. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1358842>

31. Tran Q. K., Jassby D., Schwabe K. A. The implications of drought and water conservation on the reuse of municipal wastewater: Recognizing impacts and identifying mitigation possibilities. *Water Research*. 2017. Vol. 124. P. 472–481. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.069>

32. Vergine P. et al. Closing the water cycle in the agro-industrial sector by reusing treated wastewater for irrigation. *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 164. P. 587–596. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.239>

33. Vergine P. et al. Reuse of ultrafiltered effluents for crop irrigation: On-site flow cytometry unveiled microbial removal patterns across a full-scale tertiary treatment. *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 718. Art. 137298. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137298>

34. Рециклінг побутових та промислових стічних вод з використанням технології верміфільтрації / М. Г. Зінченко та ін. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія*. 2024. № 2 (12). С. 50–56.

35. Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban waste-water treatment. *Official Journal of the European Communities*. 1991. L 135. P. 40–52. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1991/271/oj>

36. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*. 2000. L 327. P. 1–73. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj>

37. European Commission. A Blueprint to safeguard Europe's water resources. COM (2012) 673 final. 2012. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52012DC0673>

38. European Commission. Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy. COM (2015) 614 final. 2015. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614>

39. Regulation (EC) No 852/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the

hygiene of foodstuffs. *Official Journal of the European Union*. 2004. L 139. P. 1–54. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2004/852/oj>

40. Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH). *Official Journal of the European Union*. 2006. L 396. P. 1–849. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2006/1907/oj>

41. Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse. *Official Journal of the European Union*. 2020. L 177. P. 32–55. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/741/oj>

42. Використання очищених стічних вод для зрошення сільськогосподарських культур / О. О. Пілярська та ін. *Зрошуване землеробство*. 2025. № 83. DOI: <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2025.83.4>

REFERENCES:

1. Agnelo, L., Leonel, L.P., Silva, N. B., Candello, F.P., Schneider, J., & Tonetti, A.L. (2020). Effects of wastewater disinfectants on the soil: Implications for soil microbial and chemical attributes. *Science of the Total Environment*, 706. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136007>

2. Akhoundi, A., & Nazif, S. (2018). Sustainability assessment of wastewater reuse alternatives using the evidential reasoning approach. *Journal of Cleaner Production*, 195, 1350–1376. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.220>

3. Al-Shutayri, A. S., & Al-Juaidi, A.E.M. (2019). Assessment of future urban water resources supply and demand for Jeddah City based on the WEAP model. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(14). <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4594-7>

4. Albolafio, S., et al. (2022). Strategies for mitigating chlorinated disinfection byproducts in wastewater treatment plants. *Chemosphere*, 288. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132583>

5. Alcaide Zaragoza, C., Fernández García, I., Martín García, I., Camacho Poyato, E., & Rodríguez Díaz, J.A. (2022). Spatio-temporal analysis of nitrogen variations in an irrigation distribution network using reclaimed water for irrigating olive trees. *Agricultural Water Management*, 262. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107353>

6. Alcalde-Sanz, L., & Gawlik, B.M. (2014). European Commission. Joint Research Centre. *Water reuse in Europe: Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation*. Publications Office of the European Union.

7. Almanaseer, N., Hindiyeh, M., & Al-assaf, R. (2020). Hydrological and environmental impact of wastewater treatment and reuse on Zarqa river basin in Jordan. *Environments*, 7(2), 14. <https://doi.org/10.3390/environments7020014>

8. Alvarez-Holguin, A., et al. (2022). The impact of treated wastewater irrigation on the metabolism of barley grown in arid and semi-arid regions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(4), 2345. <https://doi.org/10.3390/ijerph19042345>

9. Amiard, J.C., & Amiard-Triquet, C. (2015). Conventional risk assessment of environmental contaminants. In *Aquatic ecotoxicology: Advancing tools for dealing*

- with emerging risks (pp. 25–49). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800949-9.00002-4>
10. Amoah, I. D., Kumari, S., Reddy, P., Stenström, T.A., & Bux, F. (2020). Impact of informal settlements and wastewater treatment plants on helminth egg contamination of urban rivers and risks associated with exposure. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(11). <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08660-0>
11. Angelakis, A.N., & Snyder, S.A. (2015). Wastewater treatment and reuse: Past, present, and future. *Water*, 7(9), 4887–4895. <https://doi.org/10.3390/w7094887>
12. Ansari, S., Alavi, J., & Ghafoori, M. (2018). A technical model for reclaimed water reuse in agricultural irrigation: A case study in Kordkuy, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 77(3). <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7259-z>
13. Aragüés, R., Medina, E. T., Zribi, W., Clavería, I., Álvaro-Fuente, J., & Faci, J. (2015). Soil salinization as a threat to the sustainability of deficit irrigation under present and expected climate change scenarios. *Irrigation Science*, 33(1), 67–79. <https://doi.org/10.1007/s00271-014-0449-x>
14. Al-Hazmi, H.E., Mohammadi, A., Hejna, A., Majtacz, J., Esmaeili, A., Habibzadeh, S., Saeb, M.R., Badawi, M., Lima, E.C., & Maqinia, J. (2023). Wastewater reuse in agriculture: Prospects and challenges. *Environ. Res.*, vol. 229, 116711. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116711>
15. Arena, C., Genco, M., & Mazzola, M. R. (2020). Environmental benefits and economical sustainability of urban wastewater reuse for irrigation—a cost-benefit analysis of an existing reuse project in Puglia, Italy. *Water*, 12(10), 2926. <https://doi.org/10.3390/w12102926>
16. Benedetti, L., Heinonen-Tanski, H., McArdell, C.S., Wintgens, T., & Marcucci, M. (2018). Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge: Towards a second EU regulation? *JRC Tech. Rep., European Commission*. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC109291>
17. Carter, L.J., Adams, B., Berman, T., Cohen, N., Cytryn, E., Elder, F.C.T., Garduño-Jiménez, A.-L., Greenwald, D., Kasprzyk-Hordern, B., Korach-Rechtman, H., Lahive, E., Martin, I., Ben Mordechay, E., Murray, A.K., Murray, L.M., Nightingale, J., Radian, A., Rubin, A.E., Sallach, B., & Chefetz, B. (2025). Co-contaminant risks in water reuse and biosolids application for agriculture. *Environ. Pollut.*, vol. 325, 126219. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.126219>
18. Lahlou, F.-Z., Mackey, H. R., & Al-Ansari, T. (2021). Wastewater reuse for livestock feed irrigation as a sustainable practice: A socio-environmental-economic review. *Journal of Cleaner Production*, 294, 126331. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126331>
19. Mehmood, A., et al. (2019). Spatial distribution of heavy metals in crops in a wastewater irrigated zone and health risk assessment. *Environmental Research*, 168, 382–388. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.09.020>
20. Mendes Reis, M., et al. (2021). Use of treated wastewater in irrigation: Productive and nutritional aspects of millet and chemical properties of clay and sandy loam soils. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 67(14), 2063–2076. <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1820489>
21. Mendret, J., Azais, A., Favier, T., & Brosillon, S. (2019). Urban wastewater reuse using a coupling between nanofiltration and ozonation: Techno-economic assessment. *Chemical Engineering Research and Design*, 145, 19–28.
22. Moulia, V., et al. (2023). Short-term effect of reclaimed wastewater quality gradient on soil microbiome during irrigation. *Science of the Total Environment*, 901, 166028. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166028>
23. Musazura, W., & Odindo, A. O. (2021). Suitability of the decentralised wastewater treatment effluent for agricultural use: Decision support system approach. *Water*, 13(18), 2454. <https://doi.org/10.3390/w13182454>
24. Nahim-Granados, S., et al. (2021). Solar processes and ozonation for fresh-cut wastewater reclamation and reuse: Assessment of chemical, microbiological and chlorosis risks of raw-eaten crops. *Water Research*, 203, 117532. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117532>
25. Natasha, et al. (2021). Health risks of arsenic buildup in soil and food crops after wastewater irrigation. *Science of the Total Environment*, 772, 145266. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145266>
26. Ofori, S., Di Leto, Y., Smrčková, Š., Lopez Marin, M.A., Gallo, G., Růžicková, I., Wanner, J. (2024). Treated wastewater reuse for crop irrigation: A comprehensive health risk assessment. *Environ. Sci. Adv.* <https://doi.org/10.1039/D4VA00274A>
27. Pysarenko, P.V., Samoylik, M.S., Dychenko, O.Yu., Korchahin, O.P., Molchanova, A.V. (2019). Otsinka fitotoksychnoi dii stichnykh vod mists zakhoronennia vidk-hodiv na stiikist Triticum aestivum [Assessment of the phytotoxic effect of wastewater from waste disposal sites on the stability of Triticum aestivum]. *Sci. Progr. Innov.*, no. 2, pp. 77–84. <https://doi.org/10.31210/visnyk2019.02.09> [in Ukrainian].
28. Penserini, L., Cantoni, B., & Antonelli, M. (2024). Modelling the impacts generated by reclaimed wastewater reuse in agriculture: From literature gaps to an integrated risk assessment in a One Health perspective. *Journal of Environmental Management*, 371, 122715. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122715>
29. Shkvirko, O.M., Tymchuk, I.S., & Malovanyy, M.S. (2019). Adaptatsiya svitovoho dosvidu utylizatsiyi osadiv stichnykh vod do ekolohichnykh umov Ukrainy [Adaptation of world experience in wastewater sludge utilization to the environmental conditions of Ukraine]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, vol. 29, no. 2, pp. 82–87. <https://doi.org/10.15421/40290216> [in Ukrainian].
30. Trotta, V., Baaloudj, O., & Brienza, M. (2024). Risks associated with wastewater reuse in agriculture: Investigating the effects of contaminants in soil, plants, and insects. *Front. Environ. Sci.*, vol. 12, 1358842. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1358842>
31. Tran, Q. K., Jassby, D., & Schwabe, K. A. (2017). The implications of drought and water conservation on the reuse of municipal wastewater: Recognizing impacts and identifying mitigation possibilities. *Water Research*, 124, 472–481. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.069>
32. Vergine, P., et al. (2017). Closing the water cycle in the agro-industrial sector by reusing treated wastewater for irrigation. *Journal of Cleaner Production*, 164, 587–596. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.239>
33. Vergine, P., Amalfitano, S., Salerno, C., Berardi, G., & Pollice, A. (2020). Reuse of ultrafiltered effluents for crop irrigation: On-site flow cytometry

unveiled microbial removal patterns across a full-scale tertiary treatment. *Science of the Total Environment*, 718, 137298. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137298>

34. Zinchenko, M.H., Bukatenko, N.O., & Misiak, Ya.T. (2024). Retsykling pobutovykh ta promyslovykh stichnykh vod z vykorystanniam tekhnolohii vermifiltratsii [Recycling of domestic and industrial wastewater using vermifiltration technology]. *Visnyk NTU KhPI. Ser. Khimiya, Khim. Tekhnol. Ekol.*, no. 2(12), pp. 50–56.

35. Council of the European Communities (1991). Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991 concerning urban waste-water treatment. *Off. J. Eur. Communities*, L 135, pp. 40–52. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/1991/271/oj>

36. European Commission (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*, L 327, pp. 1–73. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj>

37. European Commission (2012). A Blueprint to safeguard Europe's water resources, COM(2012) 673 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52012DC0673>

38. European Commission (2015). Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy, COM(2015) 614 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614>

39. European Parliament and Council (2004). Regulation (EC) No 852/2004 of 29 April 2004 on the hygiene of foodstuffs. *Official Journal of the European Union*, L 139, pp. 1–54. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2004/852/oj>

40. European Parliament and Council (2006). Regulation (EC) No 1907/2006 of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH). *Official Journal of the European Union*, L 396, pp. 1–849. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2006/1907/oj>

41. European Parliament and Council (2020). Regulation (EU) 2020/741 of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse. *Official Journal of the European Union*, L 177, pp. 32–55. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/741/oj>

42. Piliarska, O.O., Shablia, O. S., Petriv, L.M., Zhrebchuk, S.V., & Polahenko, O.S. (2025). Vykorystannia ochyshchenykh stichnykh vod dlia zroshennia silskohospodarskykh kultur [Use of treated wastewater for irrigation of agricultural crops]. *Zroshuvane zemlerobstvo*, (83), 4. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2025.83.4> [in Ukrainian].

Пілярська О.О., Жеребчук С.В., Шабля О.С., Полагенько О.С. Бібліографічний аналіз визначення ризиків та управління ними при повторному використанні очищених стічних вод для сільськогосподарського зрошення як метод імплементації найкращих практик для України

Стаття має на меті провести комплексний бібліографічний аналіз існуючих досліджень щодо ідентифікації та управління ризиками, пов'язаними з повторним використанням очищених стічних вод для сільськогосподарського зрошення, з метою формування рекомендацій для впровадження най-

кращих практик, адаптованих до специфіки України з урахуванням екологічних, соціальних та нормативних аспектів. **Методи.** Проведено систематичний огляд наукових публікацій із міжнародних баз даних за останні два десятиліття. Аналізувалися ключові тематичні напрями, зокрема біологічні, хімічні, фізичні, екологічні та соціально-економічні ризики. Особлива увага приділялася технологіям очищення, нормативній базі, методам моніторингу та стратегіям зниження ризиків, а також виявленню прогалин і викликів, актуальних для України. **Результати.** Аналіз показує, що повторне використання очищених стічних вод має суттєві переваги, такі як циркуляція поживних речовин і збереження водних ресурсів, але також пов'язане з різноманітними ризиками. Біологічні загрози представлені патогенними мікроорганізмами, які можуть зберігатися після очищення. Хімічні забруднювачі включають важкі метали, залишки фармацевтичних препаратів, мікропластик і гени антибіотикорезистентності. Фізичні ризики стосуються засолення та накопичення осадів. Ефективне управління ризиками базується на багаторівневих процесах очищення, ретельному моніторингу та гармонізації нормативної бази. В Україні досліджень у цій сфері небагато, що підкреслює необхідність локалізованих досліджень і адаптації міжнародних практик. **Висновки.** Для України впровадження безпечного та сталого використання очищених стічних вод у сільському господарстві вимагає міждисциплінарного підходу, що поєднує сучасні технології очищення, системи моніторингу, чіткі регуляторні стандарти, які відповідають директивам ЄС, та навчальні програми для зацікавлених сторін. Бібліографічний огляд підкреслює важливість індивідуальних рішень, що враховують регіональні виклики, зокрема дефіцит води та відновлення інфраструктури у постконфліктних регіонах. Ця робота є важливим кроком до науково обґрунтованої політики та практичних рекомендацій для стійкого управління водними ресурсами в аграрному секторі України.

Ключові слова: повторне використання очищених стічних вод, сільськогосподарське зрошення, оцінка ризиків, управління ризиками, біосоліди, якість води, екологічне здоров'я, Україна, стале сільське господарство.

Piliarska O.O., Zhrebchuk S.V., Shablia O.S., Polahenko O.S. Bibliographic Analysis of Risk Identification and Management in Treated Wastewater Reuse for Agricultural Irrigation as a Method for Implementing Best Practices in Ukraine

This article aims to provide a comprehensive bibliographic analysis of existing research on risk identification and management related to the reuse of treated wastewater for agricultural irrigation, with the goal of informing the implementation of best practices adapted for Ukraine's specific environmental, social, and regulatory context. **Methods.** A systematic review of scholarly publications from international databases was conducted, focusing on studies published in the last two decades. Key thematic areas including biological, chemical, physical, environmental, and socio-economic risks were examined. The analysis emphasizes treatment technologies, regulatory frameworks, monitoring approaches, and risk mitigation strategies, identifying gaps and challenges relevant to Ukraine. **Results.** The analysis reveals that treated wastewater reuse offers significant benefits such as nutrient recycling and

water resource sustainability but also presents diverse risks. Biological hazards mainly involve pathogenic microorganisms that may persist despite treatment. Chemical contaminants include heavy metals, pharmaceutical residues, and emerging pollutants such as microplastics and antibiotic resistance genes. Physical risks include salinization and sediment accumulation. Effective risk management relies on multi-barrier treatment processes, rigorous monitoring, and harmonized regulations. Few studies focus on Ukrainian conditions, highlighting the need for localized research and adaptation of international best practices. **Conclusions.** For Ukraine, implementing safe and sustainable treated wastewater reuse in agriculture requires an interdis-

iplinary approach integrating advanced treatment technologies, robust monitoring, clear regulatory standards aligned with EU directives, and capacity-building programs for stakeholders. Bibliographic synthesis underscores the importance of tailored solutions addressing regional challenges such as water scarcity and post-conflict infrastructure recovery. This review serves as a foundational step toward evidence-based policy-making and practical guidelines that support resilient agricultural water management in Ukraine.

Key words: treated wastewater reuse, agricultural irrigation, risk assessment, risk management, biosolids, water quality, environmental health, Ukraine, sustainable agriculture.



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 27.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.04.2026

ВПЛИВ УДОБРЕННЯ НА УРОЖАЙНІСТЬ БОБОВО-ЗЛАКОВОГО СІНОКОСУ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ ЗАХІДНОГО

СЕНИК І.І. – доктор сільськогосподарських наук, с.н.с.

orcid.org/0000-0003-4756-7824

Західноукраїнський національний університет

ЗУБОВ В.В. – аспірант

orcid.org/0009-0002-1150-4290

Західноукраїнський національний університет

Постановка проблеми. В умовах повномасштабної війни, яка триває уже більше чотирьох років, однією із небагатьох галузей економіки, яка забезпечує добробут і продовольчу безпеку населення, а також валютні надходження в бюджет країни є сільськогосподарське виробництво [5, 13, 16, 17].

Незважаючи на те, що основу експорту аграрної продукції становить зерно та соняшникова олія, а молоко та м'ясо займають незначну частину, роль галузі тваринництва важко переоцінити, враховуючи його значення у харчуванні людей. Однак, кількості продукції галузі тваринництва, яка виробляється в Україні недостатньо як для задоволення внутрішніх потреб населення так і для експорту на зовнішні ринки [4, 6, 11, 14].

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває питання збільшення обсягів виробництва молока та м'яса за рахунок підвищення продуктивності сільськогосподарських тварин та зростання чисельності їх поголів'я. Вирішальне значення при цьому належить високоякісним кормам, що зазначено у Концепції Державної цільової економічної програми розвитку тваринництва до 2033 року, а важливим джерелом їх надходження є зокрема посіви багаторічних бобових і злакових трав та їх сумішок [12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багаторічними дослідженнями вчених-лукивників встановлено, що вирішальним фактором підвищення урожайності багаторічних агроценозів різного цільового призначення є удобрення [1, 7-9, 18-19].

На сьогоднішній день при розробці системи удобрення багаторічних агрофітоценозів основна увага приділялася виключно макроелементам – азот, фосфор та калій [2, 7-9]. В той же час застосування мезо- та мікроелементів є менш поширеним. Проте, як свідчать літературні дані, важливу роль у живлення рослин, в тому числі і багаторічних трав відіграє сірка [2]. Разом із нітрогеном вона входить до складу амінокислот, білків та інших життєвонеобхідних речовин.

Вміст сульфуру в більшості ґрунтів України є дуже низьким (≤ 7 ppm), що потребує обов'язкового його внесення під вирощувані сільськогосподарські культури [15].

Встановлено, що особливо висока ефективність застосування сірковмісних добрив спостерігається при їх поєднанні з азотом, фізіологічна роль якого полягає у забезпеченні вегетативного росту рослин та накопиченні біомаси [2].

Проте, в науковій літературі практично відсутня інформація про застосування добрив із вмістом сірки в посівах багаторічних трав. На сьогоднішній день в Державний реєстр пестицидів і агрохімікатів дозволених до використання в Україні [3] включено значну кількість препаратів для ґрунтового внесення які забезпечують потребу в сульфурі сільськогосподарських культур.

У зв'язку з цим вивчення питання сумісного застосування азотних і сірчаних добрив при вирощуванні сіяних багаторічних агрофітоценозів є актуальним та потребує всебічного дослідження.

Мета статті полягала у вивченні впливу удобрення на урожайність бобово-злакового сінокошу в умовах Лісостепу західного.

Матеріали та методика досліджень. Виходячи із поставленої мети досліджень, вирішення намічених програмою завдань проводилось однофакторному польовому досліді, де на багаторічній бобово-злаковій травосумішці сінокісного використання вивчалися різні азотно-сірчани добрива. Схема досліді включала в себе дев'ять варіантів удобрення (табл. 1).

Таблиця 1 – Схема досліді

№ варіанту	Зміст варіанту
1	Контроль без добрив
2	$P_{60}K_{60}$
3	N_{90} (аміачна селітра) $P_{60}K_{60}$
4	N_{90} (YaraBela SULFAN NS 24-6) $P_{60}K_{60}$
5	N_{90} (карбамід) $P_{60}K_{60}$
6	N_{90} (YaraVera AMIDAS) $P_{60}K_{60}$
7	N_{90} (сульфат амонію AS21macro) $P_{60}K_{60}$
8	N_{90} (КАС32) $P_{60}K_{60}$
9	N_{90} (КАС32+ Thio-Sul) $P_{60}K_{60}$

Розміри облікових ділянок – 30 м². Повторність в досліді – триразова.

Бобово-злакова травосумішка складалася із люцерни посівної сорту Синюха, костриці очеретяної сорту Людмила, стоколосу безостого сорту Всеслав.

В досліді використовувалися такі мінеральні добрива: суперфосфат потрійний (TSP) 46% P₂O₅; хлористий калій 60% K₂O; аміачна селітра 34,4 N; YaraBela SULFAN NS 24-6; карбамід – 46% N; YaraVera AMIDAS – 40% N, 5,6% S; сульфат амо-

нію AS21macro – 21% N, 24% S; KAC-32; Тіосульфат Thio-Sul 26% S. KAC-32 змішувався з тіосульфатом у співвідношенні 90:10.

Всі добрива, які використовувалися в досліді включені в Державний реєстр пестицидів і агрохімікатів дозволених до використання в Україні.

Фосфорні добрив вносилися перед сівбою багаторічних трав, а азотні кожного року на початку відростання кожного укусу.

Всі дослідження проводилися відповідно до загальноприйнятих методик з кормовиробництва і лівництва [10].

Результати досліджень. Встановлено позитивний вплив удобрення на формування продуктивності бобово-злакового сінокошу, (табл. 2)

В перший рік досліджень на контрольному варіанті без добрив відмічено найнижчі показники продуктивності за сухою речовиною – 5,56 т/га. Застосування фосфорно-калійних добрив в нормі $P_{60}K_{60}$ сприяло зростанню урожайності до 5,95 т/га, що більш від неудошеного контролю на 0,39 т/га.

Азотне живлення N_{90} у формі аміачної селітри на фосфорно-калійному фоні забезпечило зростання урожайності сіяного сінокошу до 8,60 т/га. Внесення сірки одночасно із нітратним та амонійним нітрогеном (YaraBela SULFAN NS 24-6) завдяки синергетичному впливу на рослини сприяло зростанню виходу сухої речовини до 8,85 т/га.

Амідний азот, виявився дещо гіршим порівняно із нітратно-амонійним, оскільки рівень урожайності при його застосуванні знаходився на рівні 8,35 т/га. При внесенні YaraVera AMIDAS, який містить своєму складі амідний нітроген із сіркою вихід сухої речовини становив 8,76 т/га.

Амонійна форма нітрогену у поєднанні із високим вмістом сульфору в сульфаті амонію (AS21 macro) виявилася дещо гіршою порівняно із попередніми, оскільки урожайність сухої речовини становила при цьому 7,84 т/га, що є найнижчим показником серед варіантів азотного удобрення в досліді.

Серед досліджуваних способів удобрення сіяних багаторічних бобово-злакових агрофітоценозів найвищі показники продуктивності за сухою речовиною – 9,52 та 9,85 т/га відмічено на варіантах із

використанням KAC-32 як самостіно так і в поєднанні із тіосульфатом Thio-Sul.

Завдяки сприятливим погоднім умовам вегетаційного періоду в другий рік досліджень (2025 рік), урожайність багаторічних сінокошів була вищою порівняно із попереднім. Залежно від варіанту удобрення вихід сухої речовини становив 6,10-11,0 т/га.

На контрольному варіанті урожайність знаходилася на рівні 6,10 т/га, а при застосуванні фосфорних та калійних добрив 6,67 т/га.

Аміачна селітра і відповідно присутній в ній амонійний та нітратний нітроген забезпечили зростання виходу сухої речовини до 9,0 т/га, а додаткове внесення сульфору у формі YaraBela SULFAN NS 24-6 сприяло підвищенню урожайності до 9,25 т/га.

При застосуванні амідного азоту як самостійно (карбамід) так і у поєднанні із сіркою (YaraVera AMIDAS) продуктивність агрофітоценозу за сухою речовиною виявилася нижчою, порівняно із амонійним та нітратним нітрогеном – відповідно 8,95 та 9,15 т/га

Сульфат амонію, як найбільш фізіологічно кисле добрив із використовуваних в досліді, зумовив зниження урожайності до рівня 8,45 т/га, що хоча і забезпечує приріст порівняно із контролем, але є найнижчим показником в досліді.

При використанні KAC-32, який містить у своєму складі всі три форми нітрогену вихід сухої речовини становив 10,8 т/га, а при додаванні сірки у формі тіосульфату – 11,0 т/га.

В середньому за роки досліджень, урожайність бобово-злакового агрофітоценозу на контролі без добрив становила 5,83 т/га сухої речовини. Внесення фосфорних та калійних добрив сприяло зростанню урожайності на 0,48 т/га або 8,23%.

Залежно від варіанту азотного живлення приріст урожаю порівняно із контрольним варіантом становив 2,32-4,60 т/га або 39,71-78,82%.

При застосуванні N_{90} (аміачна селітра) $P_{60}K_{60}$ вихід сухої речовини становив 8,80 т/га, а що вище неудошеного контролю на 2,97 т/га або 50,94%. На варіанті із N_{90} (YaraBela SULFAN NS 24-6) $P_{60}K_{60}$ урожайність становила 9,05 т/га, а приріст при цьому знаходиться на рівні 3,22 т/га або 55,23%.

Таблиця 2 – Вихід сухої речовини сіяного лучного агрофітоценозу залежно від удобрення, т/га

Варіанти досліді	Роки			Приріст до контролю	
	2024	2025	середнє	т/га	%
Контроль без добрив	5,56	6,10	5,83	-	-
$P_{60}K_{60}$	5,95	6,67	6,31	0,48	108,23
N_{90} (аміачна селітра) $P_{60}K_{60}$	8,60	9,00	8,80	2,97	150,94
N_{90} (YaraBela SULFAN NS 24-6) $P_{60}K_{60}$	8,85	9,25	9,05	3,22	155,23
N_{90} (карбамід) $P_{60}K_{60}$	8,35	8,95	8,65	2,82	148,37
N_{90} (YaraVera AMIDAS) $P_{60}K_{60}$	8,76	9,15	8,96	3,13	153,60
N_{90} (сульфат амонію AS21macro) $P_{60}K_{60}$	7,84	8,45	8,15	2,32	139,71
N_{90} (KAC32) $P_{60}K_{60}$	9,52	10,8	10,16	4,33	174,27
N_{90} (KAC32+ Thio-Sul) $P_{60}K_{60}$	9,85	11,0	10,43	4,60	178,82
HIP ₀₅ , т/га	0,15	0,13			

Амідний азот, внесений на фосфорно-калійному фоні у формі карбаміду та YaraVera AMIDAS сприяв підвищенню продуктивності агрофітоценозів за сухою речовиною відповідно на 2,82 або 48,37% і 3,13 або 53,6% порівняно із контролем. Фактичні показники виходу сухої речовини знаходилися на рівні 8,65 та 9,96 т/га

Сульфат амонію AS21масго забезпечив вихід сухої речовини 8,15 т/га, що порівняно із контрольним варіантом більше на 2,32 т/га або 39,71%.

При застосуванні $N_{90(KAC32)}P_{60}K_{60}$ та $N_{90(KAC32+Thio-Sul)}P_{60}K_{60}$ продуктивність сінокошу за сухою речовиною становила відповідно 10,16 та 10,43 т/га. Приріст урожаю порівняно із контрольним варіантом становив відповідно 4,33 або 74,27% та 4,60 або 78,82%.

Висновки. Проведеними дослідженнями встановлено позитивний вплив удобрення на формування продуктивності сіяних бобово-злакових сінокошів в умовах Лісостепу західного. Найвищою продуктивністю за сухою речовиною відзначився варіант дослідів, на якому система удобрення складалася із внесення фосфорно-калійних добрив $P_{60}K_{60}$ під передпосівну культивування, а азотних N_{90} у формі KAC-32 в поєднанні із тиосульфатом (Thio-Sul) у пропорції 90:10.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Бегей С.С., Карасевич Н.В. Агротехнічні заходи з підвищення сталості агросистем Передкарпаття. *Вісник аграрної науки*. 2023. №3 (840). С 71–76. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202303>
2. Господаренко Г. М. Агрохімія: підручник, Київ: ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2018. 560 с.
3. Державний реєстр пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні. URL: <https://mepr.gov.ua/upravlinnya-vidhodamy/derzhavny-reyestr-pestytsydiv-i-agrohimiaktiv-dozvolenyh-dovykorystannya-v-ukrayini/>
4. Експорт продукції АПК з України у 2025 році склав 22,53\$ млрд, що на 2\$ млрд менше показника 2024 року. UCAB. URL: <https://ucab.ua/ucab-survey/eksport-produktsiyi-apk-z-ukrayiny-u-2025-roczis-klav-2253-mlrd-shho-na-2-mlrd-menshe-pokaznyka-2024-roku/>
5. Зеліско Н. Продовольча безпека як економічний пріоритет аграрної політики України. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія : Економіка АПК*. 2019. № 26. С. 77-80.
6. Зовнішня торгівля України товарами у 2025 році. Державна служба статистики України. URL: <https://stat.gov.ua/>
7. Карасевич Н.В. Вплив удобрення на продуктивність конюшино-тимофіївкової сумішки в умовах Передкарпаття. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. Вип. 74 (1). 2023. С. 50–62. 10. [https://doi.org/10.32636/01308521.2023-\(74\)-1](https://doi.org/10.32636/01308521.2023-(74)-1)
8. Карасевич Н.В. Формування сіяного фітоценозу залежно від компонентного складу травосумішей. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2022. Вип. 71/1. С. 96–109. DOI: 10.32636/01308521.2022-(71)-1-6
9. Кургак В., Гавриш Ю., Шарова Л. Продуктивність люцерни, люцерново-злакових та

злакових агрофітоценозів. *Корми та кормовиробництво*. 2025. №99. С. 147-160. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202599-13>

10. Методика проведення дослідів з кормовиробництва і годівлі тварин / під редакцією А. О. Бабича. Вінниця, 1998. 78 с.

11. Місюк М. В., Заходим М. В. Розвиток ринку молока в контексті забезпечення продовольчої безпеки країни. *Економіка АПК*. 2021. № 1. С. 34-42. <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202101034>

12. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 31 січня 2025 р. № 76-р Київ Про схвалення Концепції Державної цільової економічної програми розвитку тваринництва на період до 2033 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/76-2025-%D1%80#Text>

13. Свиноус І. В. Ібатуллин М. І. Артімонова І. В., Гаврик О. Ю. Організаційні підходи до формування системи продовольчої безпеки країни. *Сталий розвиток економіки*. 2025. № 2 (53). С. 71-77. <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2025-53-10>

14. Сегеда С.А. Статистичний аналіз споживання м'яса та м'ясопродуктів в Україні. *Економіка АПК*. 2020. № 3. С. 36-46. <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202003036>

15. Сенік І.І., Сидорук Г.П., Мазур С.С. Сірка в ґрунтах України: як покращити врожайність сільгоспкультур. *Агробізнес сьогодні*. 2025. №2. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/31794-sirka-v-gruntakh-ukrainy-iyak-pokrashchytyv-rozhainist-silhospkultur.html>

16. Талавиря М. П., Костюк Т. О. Продовольча безпека в умовах сучасних економічних викликів. *Економічні науки: збірник наукових праць Луцького національного технічного університету. Серія "Регіональна економіка"*. 2021. Випуск 18 (71). С. 203-214. [https://doi.org/10.36910/2707-6296-2021-18\(71\)-22](https://doi.org/10.36910/2707-6296-2021-18(71)-22)

17. Тарасовський Ю. Україна в 2024 році експортувала агропродукції на \$24,5 млрд, що є другим результатом після рекорду 2021-го. *Forbes Ukraine*. URL: <https://forbes.ua/news/ukraina-u-2024-rotsi-eksportovala-agroproduksii-na-245-mlrd-shho-e-drugim-rezultatompislya-rekordu-2021-go-03012025-26034>

18. Sladkovska T., Moisiienko V. Economic assessment of the elements of the technology of the growth of the perennial grasses on the seed. *Scientific Horizons*. 2019. 22(1), 40-45. <https://doi.org/10.332491/2663-2144-2019-74-1-40-45>

REFERENCES:

1. Behei, S.S., & Karasevych, N.V. (2023). Ahrotekhnichni zakhody z pidvyshchennia stalosti ahrosystem Peredkarpattia [Agrotechnical measures to increase the sustainability of agricultural systems in the Ciskarpattia region] *Visnyk ahronoi nauky*, 3 (840), 71–76. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202303> [in Ukrainian].
2. Hospodarenko, H. M. (2018). *Ahrokhimiia [Agrochemistry]*. Kyiv: TOV «SIK HRUP UKRAINA», 560 [in Ukrainian].
3. Derzhavnyi reiestr pestytsydiv i ahrokhimiaktiv, dozvolenykh do vykorystannia v Ukraini [State Register of Pesticides and Agrochemicals Allowed for Use in Ukraine]. URL: <https://mepr.gov.ua/upravlinnya-vidhodamy/>

derzhavnyj-reyestr-pestytsydiv-i-agrohimiaktiv-dozvolenyh-do-vykorystannya-v-ukrayini/ [in Ukrainian].

4. Eksport produktiv APK z Ukrainy u 2025 rotsi sklav 22,53\$ mlrd, shcho na 2\$ mlrd menshe pokaznyka 2024 roku [Exports of agricultural products from Ukraine in 2025 amounted to \$22.53 billion, which is \$2 billion less than in 2024] *UCAB*. URL: <https://ucab.ua/ucab-survey/eksport-produktsiyi-apk-z-ukrayiny-u-2025-rotsi-sklav-2253-mlrd-shho-na-2-mlrd-menshe-pokaznyka-2024-roku/> [in Ukrainian].

5. Zelisko, N. (2019). Prodovolcha bezpeka yak ekonomichnyi priorytet ahraryoi polityky Ukrainy [Food security as an economic priority of Ukraine's agrarian policy]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahraryoho universytetu. Seriya : Ekonomika APK*, 26, 77-80 [in Ukrainian].

6. Zovnishnia torhivlia Ukrainy tovaramy u 2025 rotsi [Ukraine's foreign trade in goods in 2025]. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy*. URL: <https://stat.gov.ua/>

7. Karasevych, N.V. (2023). Vplyv udobrennia na produktyvnist koniushyno-tymofiivkovoii sumishky v umovakh Peredkarpattia [The effect of fertilizer on the productivity of clover-timothy mixture in the conditions of the Ciskarpattia region]. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnytstvo*, 74 (1), 50–62. [https://doi.org/10.32636/01308521.2023-\(74\)-1](https://doi.org/10.32636/01308521.2023-(74)-1) [in Ukrainian].

8. Karasevych, N.V. (2022). Formuvannia siianoho fitotsenozu zalezho vid komponentnoho skladu travosumishei [Formation of sown phytocenosis depending on the component composition of grass mixtures]. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnytstvo*, 71/1, 96–109. DOI: 10.32636/01308521.2022-(71)-1-6 [in Ukrainian].

9. Kurhak, V., Havrysh, Yu., & Sharova, L. (2025). Produktyvnist liutserny, liutsernovo-zlakovykh ta zlakovykh ahrofitotsenoziv [Productivity of alfalfa, alfalfa-cereal and cereal agrophytocenoses]. *Kormy ta kormovyrobnytstvo*, 99, 147-160. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202599-13> [in Ukrainian].

10. Babycha A.O. (Ed.). (1998). *Metodyka provedennia doslidiv z kormovyrobnytstva i hodivli tvaryn [Methodology for conducting experiments on feed production and animal feeding]*. Vinnytsia, 78 [in Ukrainian].

11. Misiuk, M.V., & Zakhodym, M.V. (2021). Rozvytok rynku moloka v konteksti zabezpechennia prodovolchoi bezpeky krainy [Development of the milk market in the context of ensuring the country's food security]. *Ekonomika APK*, 1, 34-42. <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202101034> [in Ukrainian].

12. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 31 sichnia 2025 r. № 76-r Kyiv Pro skhvalennia Kontseptsii Derzhavnoi tsilovoi ekonomichnoi prohramy rozvytku tvarynnytstva na period do 2033 roku [Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated January 31, 2025 №. 76-r Kyiv On approval of the Concept of the State Targeted Economic Program for the Development of Livestock Breeding for the Period Until 2033]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/76-2025-%D1%80#Text> [in Ukrainian].

13. Svyinous, I.V., Ibatullin, M.I., Artimonova, I.V., & Havryk, O.Yu. (2025). Orhanizatsiini pidkhody do formuvannia systemy prodovolchoi bezpeky krainy. [Organizational approaches to the formation of the

country's food security system]. *Stalyi rozvytok ekonomiky*, 2 (53), 71-77. <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2025-53-10> [in Ukrainian].

14. Sehedra S.A. (2020). Statystychnyi analiz spozhyvannia miasa ta miasoproduktiv v Ukraini. [Statistical analysis of meat and meat product consumption in Ukraine]. *Ekonomika APK*, 3, 36-46. <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202003036> [in Ukrainian].

15. Senyk, I.I., Sydoruk, H.P., & Mazur, S.S. (2025). Sirka v gruntakh Ukrainy: yak pokrashchyty vrozhaunist silhospokultury [Sulfur in Ukrainian soils: how to improve crop yields]. *Ahrobiznes sohodni*, 2. URL: <https://agrobusiness.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/31794-sirka-v-gruntakh-ukrainy-iak-pokrashchyty-vrozhaunist-silhospokultury.html> [in Ukrainian].

16. Talavyria, M.P., & Kostyuk, T.O. (2021). Prodovolcha bezpeka v umovakh suchasnykh ekonomichnykh vyklykiv. [Food security in the face of modern economic challenges]. *Ekonomichni nauky: zbirnyk naukovykh prats Lutskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Seriya "Rehionalna ekonomika"*, 18, 203-214. [https://doi.org/10.36910/2707-6296-2021-18\(71\)-22](https://doi.org/10.36910/2707-6296-2021-18(71)-22) [in Ukrainian].

17. Tarasovskiy Yu. Ukraina v 2024 rotsi eksportovala ahroproduktiv na \$24,5 mlrd, shcho ye druhym rezultatom pislia rekordy 2021-ho. [Ukraine exported agricultural products worth \$24.5 billion in 2024, which is the second highest result after the record of 2021]. *Forbes Ukraine*. URL: <https://forbes.ua/news/ukraina-u-2024-rotsi-eksportovala-agroproduktiv-na-245-mlrd-shcho-e-drugim-rezultatom-pislya-rekordu-2021-go-03012025-26034> [in Ukrainian].

18. Sladkovska, T., & Moisiienko, V. (2019). Economic assessment of the elements of the technology of the growth of the perennial grasses on the seed. *Scientific Horizons*, 22(1), 40-45. <https://doi.org/10.332491/2663-2144-2019-74-1-40-45>

Сеник І.І., Зубов В.В. Вплив удобрення на урожайність бобово-злакового сінокошу в умовах Лісостепу західного

Мета. Дослідження впливу удобрення на урожайність бобово-злакового сінокошу в умовах Лісостепу західного. **Методи.** Польовий, розрахунково-порівняльний, математичної статистики. Дослідження проводилися на багаторічній бобово-злаковій травосумішці сінокісного використання (люцерна посівна, костриця очеретяна, стоколос безостий). Схема досліду включала в себе дев'ять варіантів удобрення. **Результати.** В середньому за роки досліджень, урожайність бобово-злакового агрофітоценозу на контролі без добрив становила 5,83 т/га сухої речовини. Внесення фосфорних та калійних добрив сприяло зростанню урожайності на 0,48 т/га або 8,23%. При застосуванні $N_{90}^{(аміачна\ селітра)}P_{60}K_{60}$ вихід сухої речовини становив 8,80 т/га, а що вище неудобреного контролю на 2,97 т/га або 50,94%. На варіанті із $N_{90}(YaraBela\ SULFAN\ NS\ 24-6)P_{60}K_{60}$ урожайність становила 9,05 т/га, а приріст при цьому знаходиться на рівні 3,22 т/га або 55,23%. Амідний азот, внесений на фосфорно-калійному фоні у формі карбаміду та YaraVera AMIDAS сприяв підвищенню продуктивності агрофітоценозів за сухою речовиною відповідно на 2,82 або 48,37% і 3,13 або 53,6% порівняно із контролем. Фактичні показники виходу сухої речовини знаходилися на рівні 8,65 та 9,96 т/га. Сульфат амонію AS21масло забезпечив вихід сухої речовини 8,15 т/га, що порівняно із контроль-

ним варіантом більше на 2,32 т/га або 39,71%. При застосуванні $N_{90(KAC32)}P_{60}K_{60}$ та $N_{90(KAC32+Thio-Sul)}P_{60}K_{60}$ продуктивність сінокошу за сухою речовиною становила відповідно 10,16 та 10,43 т/га. Приріст урожаю порівняно із контрольним варіантом становив відповідно 4,33 або 74,27% та 4,60 або 78,82%. **Висновки.** Проведеними дослідженнями встановлено позитивний вплив удобрення на формування продуктивності сіяних бобово-злакових сінокосів в умовах Лісостепу західного. Найвищою продуктивністю за сухою речовиною відзначився варіант досліду, на якому система удобрення складалася із внесення фосфорно-калійних добрив $P_{60}K_{60}$ під передпосівну культивуацію, а азотних N_{90} у формі KAC-32 в поєднанні із тиосульфатом (Thio-Sul) у пропорції 90:10.

Ключові слова: багаторічні трави, люцерна посівна, костиця очеретяна, стоколос безостий, удобрення, урожайність.

Senyk I.I., Zubov V.V. The effect of fertilizer on the yield of legume-cereal haymaking in the conditions of the Western Forest-Steppe

Objective. Study of the effect of fertilizer on the yield of legume-cereal haymaking in the conditions of the Western Forest-Steppe. **Methods.** Field, computational and comparative, mathematical statistics. The studies were conducted on a perennial legume-cereal grass mixture for haymaking (alfalfa, reed fescue, awnless wheatgrass). The experimental scheme included nine fertilizer options. **Results.** On average over the years of research, the yield of legume-cereal agrophytocenosis in the control without fertilizers was 5.83 t/ha

of dry matter. The application of phosphorus and potassium fertilizers contributed to an increase in yield by 0.48 t/ha or 8.23%. When using $N_{90(ammonium\ nitrate)}P_{60}K_{60}$, the dry matter yield was 8.80 t/ha, which is higher than the unfertilized control by 2.97 t/ha or 50.94%. In the variant with $N_{90(YaraBela\ SULFAN\ NS\ 24-6)}P_{60}K_{60}$, the yield was 9.05 t/ha, and the increase was at the level of 3.22 t/ha or 55.23%. Amide nitrogen, applied on a phosphorus-potassium background in the form of urea and YaraVera AMIDAS, contributed to an increase in the productivity of agrophytocenoses in terms of dry matter by 2.82 or 48.37% and 3.13 or 53.6%, respectively, compared to the control. The actual dry matter yield was at the level of 8.65 and 9.96 t/ha. Ammonium sulfate AS21macro provided a dry matter yield of 8.15 t/ha, which is 2.32 t/ha or 39.71% more than the control option. When using $N_{90(KAC32)}P_{60}K_{60}$ and $N_{90(KAC32+Thio-Sul)}P_{60}K_{60}$, the haymaking productivity in terms of dry matter was 10.16 and 10.43 t/ha, respectively. The yield increase compared to the control option was 4.33 or 74.27% and 4.60 or 78.82%, respectively. **Conclusions.** The conducted studies have established a positive effect of fertilizer on the formation of the productivity of sown legume-cereal haymaking in the conditions of the Western Forest-Steppe. The highest productivity in terms of dry matter was achieved in the experiment variant in which the fertilization system consisted of applying phosphorus-potassium fertilizers $P_{60}K_{60}$ for pre-sowing cultivation, and nitrogen N_{90} in the form of KAS-32 in combination with thiosulfate (Thio-Sul) in a ratio of 90:10.

Key words: perennial grass, alfalfa seed, reed fescue, awnless fescue, fertilizer, yield.



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 27.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.04.2026

ВПЛИВ КОМПЛЕКСНИХ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ПОЗАКОРЕНЕВОГО ПІДЖИВЛЕННЯ РОСЛИН НА СТРУКТУРУ ВРОЖАЮ СОРТІВ ТА ЛІНІЙ СОЧЕВИЦІ

СЕРГЄВ Л.А. – кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник
orcid.org/0000-0003-4169-8938

Одеська державна сільськогосподарська дослідна станція
Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

КОГУТ І.М. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент
orcid.org/0000-0002-4418-5954

Одеська державна сільськогосподарська дослідна станція
Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

МАРЧЕНКО Т.Ю. – доктор сільськогосподарських наук, професор
orcid.org/0000-0001-6994-3443

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України
Одеський державний аграрний університет

ХОМЕНКО Т.М. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент
orcid.org/0000-0001-9199-6664

Український інститут експертизи сортів рослин

МАРЧЕНКО В.Д. – студентка
orcid.org/0009-0009-8010-8284

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Постановки проблеми. З підвищенням уваги до продовольчої безпеки та зростаючою негативною дією змін клімату постає стратегічне завдання посилення ефективності аграрного сектору, що передбачає застосування сучасних інноваційних методів та сталих практик.

У ряді агротехнологічних заходів вирощування агрокультур важливе місце займають технології живлення рослин, що дають змогу підвищити врожайність та якість вирощеної продукції, поліпшити агрохімічні показники ґрунту, знизити негативний вплив на навколишнє природне середовище [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із технологічних рішень підвищення врожайності та якості вирощеної продукції із мінімальним негативним впливом на навколишнє природне середовище є позакореневе підживлення, що використовується для доповнення за основного удобрення рослин, гарантуючи більш ефективне рішення проблеми дефіциту поживних речовин [2].

Серед переваг позакореневого внесення добрив є швидке та легке проникнення і засвоєння поживних речовин рослинами, низькі концентрації добрив, можливість поєднання із засобами захисту рослин [3].

Застосування позакореневого внесення добрив не лише позитивно впливає на рослину, а також зменшує негативний вплив на навколишнє середовище та підвищує рентабельність виробництва [4].

Дослідженнями Ferrari M. та ін., Visioli G. та ін., встановлено, що вирощування пшениці м'якої і твердої із позакореневим підживленням азотом гарантувало отримання максимальних урожаїв із високим вмістом білка в зерні [5, 6].

Blandino M. та ін. встановили, що додавання помірних доз азоту по вегетації рослин стримує старіння листків та подовжує період наливу зерна [7]. Незначна кількість азоту, що потрапляє в ґрунт за позакореневого підживлення, підтримує високу ефективність засвоєння та використання азоту з ґрунту рослинами пшениці. Це також має позитивний вплив на навколишнє середовище через зменшення на 25–40% азотного навантаження на агроценози [8].

Jarecki W. та Czernicka M. встановили, що у критичні фази розвитку рослин кукурудзи (цвітіння та налив зерна) позакореневе підживлення посилило вміст вуглеводів та білка в зерні, рівень ліпідів, збільшило масу 1000 зерен та їх розмір [9].

Польові досліді Вожегова Р.А. та інші, показали ефективність позакореневого підживлення рослин рису комплексом мікроелементів. Зокрема, обприскування рослин комплексним препаратом Препарат Блу™ N зафіксувало позитивний вплив на висоту та накопичення біомаси, показники структури врожаю (кількість волоті на рослину, кількість зерен на волоть, відсоток дозрілих зерен та їх масу) та загальну врожайність [10].

B. Stadnik із співавт. підтвердили значний економічний та екологічний аспект вирощування ячменю із позакореневим внесенням мікродобрив, до складу яких включено мікроелементи Cu, Mn, Mo або Zn. Результати показали, що такий агрозахід зумовив покращання окремих елементів структури врожаю [11].

Дослідники Мусіч В. та Присяжнюк О. встановили, що вирощування проса на малопродуктив-

них ґрунтах із застосуванням позакореневого підживлення гуматами та антистресантом дає змогу отримати максимальну врожайність сухої біомаси, уміст клітковини у листках і стеблах та вихід енергії з отриманим урожаєм. Досліджувані технологічні елементи позитивно вплинули на якість сировини, що свідчить про зменшення інтенсивності поглинання деяких важких металів і їх накопичення в сухій речовині [12, 13].

Аналіз наукових публікацій показав, що використання позакореневого підживлення рослин є поширеною практикою у виробництві культур в усьому світі. Цей спосіб забезпечення агрокультур мікро-, мезо- і макроелементами є економічно й екологічно виправданим, розглядається як сталий метод управління мінеральним живленням рослин та є складовою сучасних агротехнологій. В умовах виснаження ґрунту і дефіциту ресурсів застосування позакореневого підживлення в доповненні з мікроелементами у критичні фази розвитку рослин покращує поглинання поживних речовин із ґрунту, стимулює фізіологічні й біохімічні процеси в рослинах, підвищує стійкість до біотичних та абіотичних стресів, врожайність, а також якісні показники зерна.

Тому дослідження впливу комплексних мікроелементів для позакореневого підживлення рослин на структуру врожаю сортів та ліній сочевиці є актуальним та своєчасним.

Матеріали та методика досліджень. Польовий – для спостереження за ростом і розвитком рослин, погодно-кліматичними умовами навколишнього середовища та іншими досліджуваними чинниками; вимірально-ваговий – параметрів структури врожаю, урожайності; математично-статистичний – для проведення дисперсійного аналізу і статистичної обробки даних з метою оцінки достовірності отриманих результатів досліджень.

Польові дослідження проведено на дослідному полі Одеської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН у 2023-2025 роках з метою оптимізації технології вирощування сочевиці на півдні України в умовах змін клімату. Дослідне поле розташоване у смт. Хлібодарське, Біляївського (нині Одеський) район, Одеської області. Вміст доступних макроелементів у ґрунті під час років дослідження було: N (легкогідролізований) – 2,60 мг/100г ґрунту (відповідно до чинного ДСТУ 7863:2015); P₂O₅ – 6,25 мг/100 г ґрунт; і K₂O – 17,4 мг/100 г ґрунту (відповідно до чинного ДСТУ 4115:2002).

Розмір ділянок та розташування: ділянки 15 м² (10 x 1,5 м). Захисна смуга: 6 м. Повторність досліді – чотириразова.

В дослідженнях використовували інноваційні комплексні добрива вітчизняного виробництва.

«Ярило Активний старт PRO» (компанія ТОВ «Ярило») – спеціальне добриво призначене для позакореневого внесення та обробки посівного матеріалу. Всі складові добрива відповідають фізіологічним потребам більшості культур та здатні задовольнити потреби сходів у період, коли коренева система ще не здатна у повній мірі забезпе-

чити повноцінне живлення. В складі продукту поряд з основними макро- і мікроелементами є амінокислоти та фітогормони. Фосфор забезпечує розвиток кореневої системи та є необхідним для живлення рослин на ранніх етапах росту і розвитку. Амінокислоти підвищують стійкість до несприятливих умов зовнішнього середовища, скорочують енергетичні витрати, які рослина витрачає на виробництво білків. Збалансоване співвідношення фітогормонів ауксину та цитокініну направлене на стимулювання клітинного поділу у коренях та пагонах. Прилипач у складі добрива забезпечує утворення гідрофобного поверхневого шару навколо обробленого насіння який утримує компоненти бакової суміші на поверхні та захищає його від «провокаційних» опадів. Гумати підсилюють коренеутворення та стимулюють ріст і розвиток рослин.

«Авангард Комплекс Бобові» (компанія Ukravit) – комплексне концентроване легкозасвоюване бобовими культурами добриво, яке містить збалансоване співвідношення макро-, мезо- та мікроелементів. За хімічним складом відповідає фізіології мінерального живлення бобових культур – сої, гороху, квасолі, бобів, нуту та ін.

Для здійснення фенологічних спостережень, а також для обліку густоти рослин на етапі сходів і перед збиранням врожаю, була використана «Методика державного сортовипробування сільськогосподарських культур (2001)».

Дослідження проводили за загальною визначеною методикою польового досліді за авторства Ушкаренка В.О. та співавторів [14, 15] з допомогою комп'ютерних програм, таких як AGROSTAT NEW та ANOVA.

Результати дослідження. Результати досліджень свідчать, що застосування комплексних мікроелементів позитивно впливає на основні структурні елементи врожаю сочевиці – кількість бобів і насінин на рослині та масу 1000 насінин. Виявлено суттєві відмінності в реакції сортів і селекційних ліній на різні варіанти підживлення, що зумовлено їх біологічними особливостями та рівнем адаптивності до мікроелементного живлення.

Кількість бобів на одній рослині та кількість насіння на рослині є важливими характеристиками структури врожаю. Найменша кількість бобів на рослині спостерігалася на контрольних ділянках – 13,4 шт. (сорт Антоніна), 15,3 шт. (сорт Серпанок), 15,9 шт. (сорт Даринка) (табл 1).

Під впливом позакореневого підживлення препаратами «Ярило активний старт PRO» і «Авангард Комплекс Бобові», а також їх комбінацією спостерігалася збільшення кількості бобів на рослині в середньому на 1,2–2,5 шт., кількості насінин – на 3–6 шт., а маси 1000 насінин – на 2,0–4,8 г порівняно з контролем.

Покращення умов живлення сочевиці позитивно впливало на утворення бобів на рослині. Найвища їх кількість відмічена у варіанті експерименту за «Ярило активний старт PRO» + «Авангард Комплекс Бобові» – 16,1–16,9 шт. на рослині, тобто зростання у порівнянні з контролем склало 1,0–2,7 шт./рослину, що становить 6,3–20 %. Най-

Таблиця 1 – Вплив комплексних мікроелементів для позакореневого підживлення рослин на структуру врожаю сортів та ліній сочевиці (середнє за 2023-2025 рр.)

Комплексні мікроелементи	Кількість бобів на рослині, шт.	Кількість насінин на рослині, шт.	Урожайність, т/га	Маса 1000 насінин, г
Антоніна				
Контроль I (без обробки)	13,4	53,4	1,15	55,6
Контроль II (обробка водою)	13,5	53,9	1,17	55,7
Ярило активний старт PRO	13,8	54,5	1,31	50,4
Авангард Комплекс Бобові	14,0	55,8	1,46	56,0
Ярило активний старт PRO + Авангард Комплекс Бобові	16,1	57,8	1,97	57,2
Серпанок				
Контроль I (без обробки)	15,3	54,4	1,61	39,2
Контроль II (обробка водою)	15,4	54,5	1,62	39,3
Ярило активний старт PRO	15,5	55,6	1,73	42,3
Авангард Комплекс Бобові	15,6	56,1	1,91	41,5
Ярило активний старт PRO + Авангард Комплекс Бобові	16,2	58,4	2,16	49,1
Даринка				
Контроль (без обробки)	15,9	58,5	1,89	40,1
Контроль II (обробка водою)	16,0	58,6	1,90	40,4
Ярило активний старт PRO	16,2	58,9	2,12	42,2
Авангард Комплекс Бобові	16,3	59,0	2,34	42,3
Ярило активний старт PRO + Авангард Комплекс Бобові	16,9	63,2	2,47	42,9
Лінія Яр 03–23				
Контроль I (без обробки)	15,7	54,8	1,92	59,7
Контроль II (обробка водою)	15,8	54,9	1,93	60,2
Ярило активний старт PRO	15,9	56,2	2,14	60,7
Авангард Комплекс Бобові	16,2	57,5	2,44	61,5
Ярило активний старт PRO + Авангард Комплекс Бобові	16,5	58,7	2,53	62,4
Лінія Яр 05–23				
Контроль I (без обробки)	14,6	54,6	1,91	56,9
Контроль II (обробка водою)	14,8	54,7	1,92	56,9
Ярило активний старт PRO	14,9	55,9	2,18	58,8
Авангард Комплекс Бобові	15,9	56,7	2,46	58,9
Ярило активний старт PRO + Авангард Комплекс Бобові	16,7	59,9	2,56	62,4
Лінія Яр 07–23				
Контроль I (без обробки)	13,6	53,6	1,26	45,9
Контроль II (обробка водою)	13,7	53,7	1,28	45,9
Ярило активний старт PRO	14,1	54,9	1,50	47,8
Авангард Комплекс Бобові	14,4	56,3	1,87	48,6
Ярило активний старт PRO + Авангард Комплекс Бобові	16,3	58,8	2,00	51,4
Лінія Яр 11–23				
Контроль I (без обробки)	15,1	54,3	1,96	49,4
Контроль II (обробка водою)	15,2	54,4	1,97	49,7
Ярило активний старт PRO	15,7	56,1	2,15	50,5
Авангард Комплекс Бобові	15,9	57,6	2,49	51,1
Ярило активний старт PRO + Авангард Комплекс Бобові	16,8	58,4	2,55	52,3
Лінія Яр 15–23				
Контроль I (без обробки)	16,0	59,5	1,97	62,1
Контроль II (обробка водою)	16,1	59,6	1,98	62,3
Ярило активний старт PRO	16,2	59,2	2,18	62,6
Авангард Комплекс Бобові	16,4	59,5	2,47	63,7
Ярило активний старт PRO + Авангард Комплекс Бобові	16,9	64,2	2,54	64,9

вищу кількість бобів на рослині виявлено у сорту Антоніна – 16,1 шт./рослину, у сорту Серпанок – 16,2 шт./рослину та у сорту Даринка – 16,9 шт./рослину за внесення «Ярило активний старт PRO» + «Авангард Комплекс Бобові».

Збільшення показника «кількість бобів на рослині» було досягнуто внаслідок оптимального живлення. У середньому у сорті Антоніна за використання препаратів, цей параметр зріс у порівнянні з контрольним варіантом на 0,4–2,7 шт./рослину, у сорті Серпанок – 0,2–0,9, у сорті Даринка – 0,2–1,0 шт./рослину. Використання окремо препаратів «Ярило активний старт PRO» + «Авангард Комплекс Бобові» відстає за показником «кількість бобів на рослині» за використання суміші цих препаратів.

Кількість насінин на рослині, як суттєвий елемент структури урожаю, склала 53,4–64,2 шт. залежно від варіанту експерименту. У контрольному кількості насінин була найнижчою, дорівнюючи 53,4–59,5 шт., що на 18–19 % нижчою за кращі варіанти експерименту.

Маса 1000 насінин сочевиці залежно від варіанту досліду становила 39,2–64,9 г. Найдрібнішим було насіння у контрольному варіанті – маса 1000 насінин склала 39,2–62,1 г. Варіанти досліду, за внесенням суміші «Ярило активний старт PRO» + «Авангард Комплекс Бобові», забезпечували найвищу масу 1000 насінин – 42,9–64,9 г.

Серед способів застосування препаратів найефективнішим є використання суміші «Ярило активний старт PRO» + «Авангард Комплекс Бобові».

Найвища врожайність насіння сочевиці сорту Даринка була отримана на дослідних ділянках, де здійснювалося застосування суміші «Ярило активний старт PRO» + «Авангард Комплекс Бобові». Середня врожайність за період досліджень при застосуванні суміші «Ярило активний старт PRO» + «Авангард Комплекс Бобові» врожайність склала 2,47 т/га, що на 0,58 т/га більше за контрольний варіант. Найвищий показник врожайності насіння сорту Даринка спостерігався на ділянці суміші «Ярило активний старт PRO» + «Авангард Комплекс Бобові» – 2,55 т/га, приріст – 0,62 т/га.

Максимальні значення показників «кількість бобів на рослині», «кількість насінин на рослині», «маса 1000 насінин» у сорту Даринка спостерігалось за внесення суміші «Ярило активний старт PRO» + «Авангард Комплекс Бобові»: 16,9 шт., 63,2 шт., 42,9 г. відповідно.

Максимальна врожайність насіння сочевиці сорту Антоніна була досягнута на ділянках, де застосовували суміші «Ярило активний старт PRO» + «Авангард Комплекс Бобові». У середньому протягом досліджень рівень врожайності за застосування суміші «Ярило активний старт PRO» + «Авангард Комплекс Бобові» склав 1,97 т/га, що перевищує контрольну ділянку на 0,82 т/г.

Максимальні значення показників «кількість бобів на рослині», «кількість насінин на рослині», «маса 1000 насінин» у сорту Антоніна спостерігалось за внесення суміші «Ярило активний старт PRO» + «Авангард Комплекс Бобові»: 16,1 шт., 57,8 шт., 57,2 г. відповідно.

Максимальна врожайність насіння сочевиці сорту Серпанок була досягнута на ділянках, де застосовували суміші «Ярило активний старт PRO» + «Авангард Комплекс Бобові». У середньому протягом досліджень рівень врожайності за застосування суміші «Ярило активний старт PRO» + «Авангард Комплекс Бобові» склав 2,16 т/га, що перевищує контрольну ділянку на 0,55 т/г.

Максимальні значення показників «кількість бобів на рослині», «кількість насінин на рослині», «маса 1000 насінин» у сорту Серпанок спостерігалось за внесення суміші Ярило активний старт PRO + Авангард Комплекс Бобові: 16,2 шт., 58,4 шт., 49,1 г. відповідно.

Серед селекційних ліній найбільшу позитивну реакцію на мікроелементні підживлення продемонстрували Яр 03–23, Яр 11–23 та Яр 15–23.

У лінії Яр 03–23 за внесення суміші препаратів Ярило активний старт PRO + Авангард Комплекс Бобові кількість бобів зросла з 15,7 до 16,5 шт., кількість насінин – з 54,8 до 58,7 шт., маса 1000 насінин – із 59,7 до 62,4 г.

Лінія Яр 05–23 характеризувалася підвищенням маси 1000 насінин із 46,9 до 52,4 г (+5,5 г) при поєднанні препаратів, що свідчить про інтенсивне формування зерна.

У лінії Яр 07–23 кількість насінин збільшилася на 5,2 шт., а маса 1000 насінин – на 5,5 г, що вказує на істотне поліпшення структури врожаю.

Лінія Яр 11–23 мала стабільне підвищення всіх елементів структури врожаю при комбінованій обробці: 16,8 бобів, 58,4 насінини, маса 1000 насінин – 52,3 г.

Найвищі показники зафіксовано у лінії Яр 15–23 за внесення суміші препаратів – 16,9 бобів, 64,2 насінини та 64,9 г маси 1000 насінин, що перевищує контроль відповідно на 0,9 шт., 4,7 шт. і 2,8 г. На контрольному варіанті ця лінія показала максимальні по дослідженню показники, тому ця лінія може бути рекомендована як донор високої продуктивності для подальшої селекційної роботи.

Для з'ясування кореляцій маса насінин з рослини та кількості насінин на рослині сортів та лінії сочевиці було розраховано тісноту кореляційного зв'язку.

На рисунку наведено кореляційно-регресійні моделі залежності між кількістю насінин з рослини (вісь X) та масою насіння з рослини (вісь Y) у сортів і селекційних ліній сочевиці. Аналіз графіка свідчить про наявність прямого лінійного зв'язку між досліджуваними показниками в усіх генотипів. Зі збільшенням кількості насінин на рослині спостерігається закономірне зростання маси насіння з рослини, що підтверджується додатними значеннями коефіцієнтів кореляції ($r = 0,67–0,97$).

Найтисніший позитивний кореляційний зв'язок встановлено у лінії Яр 03–23 ($r = 0,97$) та лінії Яр 05–23 ($r = 0,95$), що свідчить про майже функціональну залежність між кількістю насінин і масою насіння. Високі показники кореляції також характерні для сорту Даринка ($r = 0,85$), лінії Яр 11–23 ($r = 0,82$), лінії Яр 15–23 ($r = 0,78$) та сорту Серпанок ($r = 0,77$), що вказує на стабільний і тісний зв'язок між елементами продуктивності.

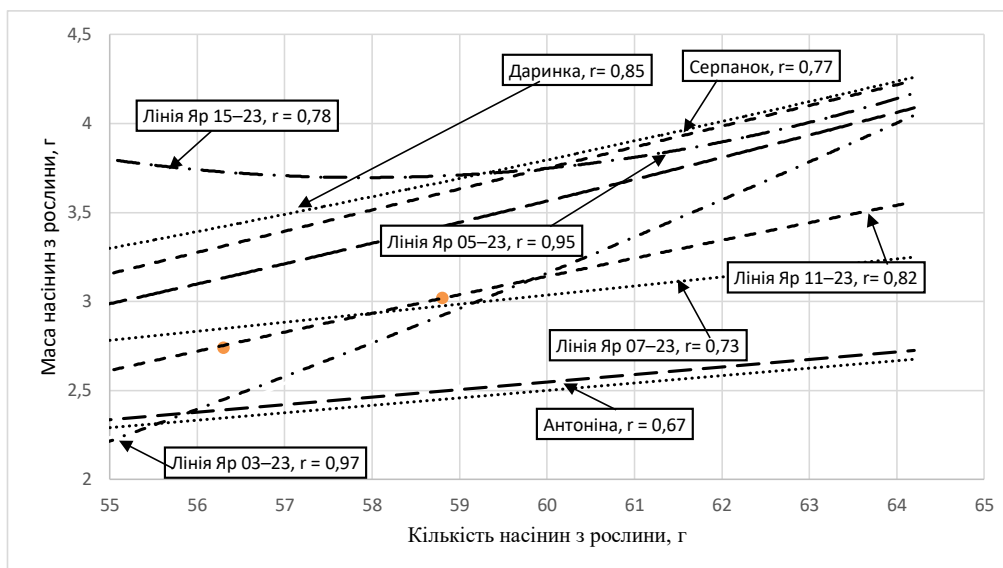


Рис. Кореляційно-регресійні моделі залежності маси насінин з рослини та кількості насінин на рослині у сортів та ліній сочевиці

У лінії Яр 07–23 ($r = 0,73$) та сорту Антоніна ($r = 0,67$) виявлено помірний позитивний зв'язок, що може свідчити про більший вплив умов середовища або генотипових особливостей на формування структури врожаю.

Кут нахилу регресійних ліній відображає інтенсивність приросту маси насіння зі збільшенням кількості насінин. Більш крутий нахил характерний для ліній Яр 03–23 та Яр 05–23, свідчить про ефективніше формування складових врожаю за рахунок зростання кількості насінин. Отже, досліджені лінії з високими значеннями коефіцієнта кореляції є перспективними для використання в селекції на підвищення індивідуальної продуктивності сочевиці.

Графік демонструє, що збільшення кількості насінин на рослині здебільшого супроводжується підвищенням продуктивності рослин, однак сила цього зв'язку залежить від генотипу сорту або лінії.

Висновки. Під впливом позакореневого підживлення препаратами «Ярило активний старт PRO» і «Авангард Комплекс Бобові», а також їх комбінацією спостерігалось збільшення кількості бобів на рослині в середньому на 1,2–2,5 шт., кількості насінин – на 3–6 шт., а маси 1000 насінин – на 2,0–4,8 г порівняно з контролем. Найвищі показники отримано у варіанті комбінованого застосування обох препаратів, що вказує на синергічну дію елементів живлення (бору, молібдену, цинку, заліза та ін.), які стимулюють процеси фотосинтезу, асиміляції азоту та формування генеративних органів.

Серед селекційних ліній найбільшу позитивну реакцію на мікроелементні підживлення продемонстрували Яр 03–23, Яр 11–23 та Яр 15–23. Збільшення кількості насінин на рослині здебільшого супроводжується підвищенням урожайності, однак сила цього зв'язку залежить від генотипу сорту або лінії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Hernandez L. E., Ruiz J. M., Espinosa F., Alvarez Fernandez A., Carvajal M. Plant nutrition challenges for a sustainable agriculture of the future. *Physiologia plantarum*. 2024. №176(6). e70018. <https://doi.org/10.1111/ppl.70018>.
- Niu J., Liu C., Huang M., Liu K., Yan D. Effects of foliar fertilization: a review of current status and future perspectives. *J. Soil Sci. Plant Nutr*, 2021. № 21. P. 104–118. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00346-3>.
- Patil B., Chetah H. T. Foliar fertilization of nutrients; A review. *Marumegh*. 2018. № 3. P. 49–53.
- Гангур В. В., Кочерга А. А., Пипк О. С., Лень О. І. Ефективність мікродобрив за умови обробки насіння та листового підживлення посівів пшениці озимої. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 2. P. 46–51. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.05>.
- Ferrari M., Dal Cortivo C., Panozzo A. et al. Comparing soil vs. foliar nitrogen supply of the whole fertilizer dose in common wheat. *Agronomy*. 2021. № 11(11). P.2138. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112138>.
- Visioli G., Bonas U., Dal Cortivo C. et al. Variations in yield and gluten proteins in durum wheat varieties under late-season foliar versus soil application of nitrogen fertilizer in a northern Mediterranean environment. *J. Sci. Food Agric*. 2018. № 98(6). P. 2360–2369. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8727>.
- Blandino M., Visioli G., Marando S., Marti A., Reyneri A. Impact of late-season N fertilisation strategies on the gluten content and composition of high protein wheat grown under humid Mediterranean conditions. *J. Cereal Sci*. 2020. № 94. P. 102995. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102995>.
- Ferrari M., Bertin V., Bolla P. K., Valente F., Panozzo A., Giannelli G., Vamerali T. Application of the full nitrogen dose at decreasing rates by foliar spraying versus conventional soil fertilization in common wheat. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2025. Vol. 19, 101602.

9. Jarecki W., Czernicka M. Reaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) depending on the multi-component foliar fertilization. *Chem. Proc.* 2022. № 10. P. 68. <https://doi.org/10.3390/IOAG2022-12292>.

10. Вожегова Р. А., Марченко Т. Ю., Боровик В. О., Пілярська О.О. Вплив елементів технології на продуктивність сортів рису (*Oryza sativa* L.). *Зрошуване землеробство*. 2025. № 84. С.41–46. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2025.84.6>

11. Stadnik B., Tobiasz-Salach R., Migut D. Influence of foliar application of microelements on yield and yield components of spring malting barley. *Agriculture*. 2024. № 14(3). P. 505. <https://doi.org/10.3390/agriculture14030505>.

12. Мусіч В. В., Присяжнюк О. І. Особливості формування продуктивності та якості біомаси проса прутоподібного на кислих ґрунтах. *Новітні агро-технології*. 2022. № 10(1). <https://doi.org/10.47414/na.10.1.2022.265661>.

13. Присяжнюк О. І., Мусіч В. В., Костина Т. П. та ін. Формування врожайності та якості проса прутоподібного за багаторічного його вирощування на малопродуктивних ґрунтах Правобережного Лісостепу України. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2023. № 31. С.110–125. <https://doi.org/10.47414/np.31.2023.292403>.

14. Ушкаренко В. О., Вожегова Р. А., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Методика польового дослідження (Зрошуване землеробство): навчальний посібник. Херсон: Грін Д.С., 2014. 448 с.

15. Ушкаренко В. О., Вожегова Р. А., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Статистичний аналіз результатів польових дослідів у землеробстві. Херсон: Айлант, 2013. 381 с.

REFERENCES:

1. Hernandez, L.E., Ruiz, J.M., Espinosa, F., Alvarez, Fernandez A., & Carvajal, M. (2024). Plant nutrition challenges for a sustainable agriculture of the future. *Physiologia plantarum*, 176(6), e70018. <https://doi.org/10.1111/ppl.70018>.

2. Niu, J., Liu, C., Huang, M., Liu, K., & Yan, D. (2021). Effects of foliar fertilization: a review of current status and future perspectives. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 21, 104–118. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00346-3>.

3. Patil, B., & Chetah, H.T. (2018). Foliar fertilization of nutrients; A review. *Marumegh*, 3, 49–53.

4. Hanhur, V.V., Kocherha, A.A., Pypk, O.S., & Len, O.I. (2021). Efektyvnist mikrodobryv za umovy obrobky nasinnia ta lystkovoho pidzhyvlennia posiviv pshenytsi ozymoi [The effectiveness of microfertilizers under the condition of seed treatment and foliar feeding of winter wheat crops]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi aharnoi akademii*, 2, 46–51. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.05>. [in Ukrainian].

5. Ferrari, M., Dal Cortivo, C., Panozzo, A., Barion, G., Visioli, G., Giannelli, G., & Vamerali, T. (2021). Comparing soil vs. foliar nitrogen supply of the whole fertilizer dose in common wheat. *Agronomy*, 11(11), 2138. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112138>.

6. Visioli, G., Bonas, U., Dal Cortivo, C., Pasini, G., Marmiroli, N., Mosca, G., & Vamerali, T. (2018). Varia-

tions in yield and gluten proteins in durum wheat varieties under late-season foliar versus soil application of nitrogen fertilizer in a northern Mediterranean environment. *J. Sci. Food Agric.*, 98(6), 2360–2369. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8727>.

7. Blandino, M., Visioli, G., Marando, S., Marti, A., & Reyneri, A. (2020). Impact of late-season N fertilisation strategies on the gluten content and composition of high protein wheat grown under humid Mediterranean conditions. *J. Cereal Sci.*, 94, 102995. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102995>.

8. Ferrari, M., Bertin, V., Bolla, P. K., Valente, F., Panozzo, A., Giannelli, G., ... & Vamerali, T. (2025). Application of the full nitrogen dose at decreasing rates by foliar spraying versus conventional soil fertilization in common wheat. *Journal of Agriculture and Food Research*, 19, 101602.

9. Jarecki, W., & Czernicka, M. (2022). Reaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) depending on the multi-component foliar fertilization. *Chem. Proc.*, 10, 68. <https://doi.org/10.3390/IOAG2022-12292>.

10. Vozhehova, R.A., Marchenko, T.Yu., Boryuk, V.O., & Piliarska, O.O. (2025). Vplyv elementiv tekhnologii na produktyvnist sortiv rysu (*Oryza sativa* L.) [The influence of technology elements on the productivity of rice varieties (*Oryza sativa* L.)]. *Zroshuvane zemlerobstvo*, 84, 41–46. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2025.84.6> [in Ukrainian].

11. Stadnik, B., Tobiasz-Salach, R., & Migut, D. (2024). Influence of foliar application of microelements on yield and yield components of spring malting barley. *Agriculture*, 14(3), 505. <https://doi.org/10.3390/agriculture14030505>.

12. Musich, V.V., & Prysiazhniuk, O.I. (2022). Osoblyvosti formuvannia produktyvnosti ta yakosti biomasy prosa prutopodibnoho na kyslykh gruntakh [Peculiarities of the formation of productivity and quality of rod-shaped millet biomass on acidic soils]. *Novitni ahrotekhnologii*, 10(1), <https://doi.org/10.47414/na.10.1.2022.265661> [in Ukrainian].

13. Prysiazhniuk, O.I., Musich, V.V., Kostyna, T.P., Kononiuk, N.O., Cherniak, M.O., Honcharuk, O.M., & Kachura, Ye.V. (2023). Formuvannia vrozhaivosti ta yakosti prosa prutopodibnoho za bahatorichnoho yoho vyroshchuvannia na maloproduktyvnykh gruntakh Pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Formation of yield and quality of rod-shaped millet during its long-term cultivation on low-yielding soils of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Naukovi pratsi Instytutu bioenergetychnykh kultur i tsukrovyykh buriakiv*, 31, 110–125. <https://doi.org/10.47414/np.31.2023.292403> [in Ukrainian].

14. Ushkarenko, V.O., Vozhehova, R.A., Holoborodko, S.P., & Kokovikhin, S.V. (2014). *Metodyka polovoho doslidu (Zroshuvane zemlerobstvo) [Field experiment methodology (Irrigated agriculture)]*. Kherson: Hrin D.S., 448 [in Ukrainian].

15. Ushkarenko, V.O., Vozhehova, R.A., Holoborodko, S.P., & Kokovikhin, S.V. (2013). *Statystychnyi analiz rezultativ polovykh doslidiv u zemlerobstvi [Statistical analysis of field experiment results in agriculture]*. Kherson: Ailant, 381 [in Ukrainian].

Сергєєв Л.А., Когут І.М., Марченко Т.Ю., Хоменко Т.М., Марченко В.Д. Вплив комплексних мікроелементів для позакореневого підживлення рослин на структуру врожаю сортів та ліній сочевиці

Метою досліджень було дослідити вплив комплексних мікроелементів для позакореневого підживлення рослин на структуру врожаю сортів та ліній сочевиці. **Результати досліджень** показали, що під впливом позакореневого підживлення препаратами «Ярило активний старт PRO» і «Авангард Комплекс Бобові», а також їх комбінацією спостерігалось збільшення кількості бобів на рослині в середньому на 1,2–2,5 шт., кількості насінин – на 3–6 шт., а маси 1000 насінин – на 2,0–4,8 г порівняно з контролем. Максимальні значення показників «кількість бобів на рослині», «кількість насінин на рослині», «маса 1000 насінин» у сорту Даринка спостерігалось за внесення суміші «Ярило активний старт PRO» + «Авангард Комплекс Бобові»: 16,9 шт., 63,2 шт., 42,9 г. відповідно. Максимальні значення показників «кількість бобів на рослині», «кількість насінин на рослині», «маса 1000 насінин» у сорту Антоніна спостерігалось за внесення суміші «Ярило активний старт PRO» + «Авангард Комплекс Бобові»: 16,1 шт., 57,8 шт., 57,2 г. відповідно. Максимальні значення показників «кількість бобів на рослині», «кількість насінин на рослині», «маса 1000 насінин» у сорту Серпанок спостерігалось за внесення суміші Ярило активний старт PRO + Авангард Комплекс Бобові: 16,2 шт., 58,4 шт., 49,1 г. відповідно. **Висновки.** Серед селекційних ліній найбільшу позитивну реакцію на мікроелементні підживлення продемонстрували Яр 03–23, Яр 11–23 та Яр 15–23. Найвищі показники зафіксовано у лінії Яр 15–23 за внесення суміші препаратів – 16,9 бобів, 64,2 насінини та 64,9 г маси 1000 насінин, що перевищує контроль відповідно на 0,9 шт., 4,7 шт. і 2,8 г. На контрольному варіанті ця лінія показала максимальні по дослідженню показники, тому вона може бути рекомендована як донор високої продуктивності для подальшої селекційної роботи. Збільшення кількості насінин на рослині здебільшого супроводжується підвищенням урожайності, однак сила цього зв'язку залежить від генотипу сорту або лінії.

Ключові слова: сочевиця, кількість бобів на рослині, кількість насінин на рослині, маса 1000 насінин, кореляція, урожайність.

Serhieiev L.A., Kohut I.M., Marchenko T.Yu., Khomenko T.M., Marchenko V.D. The influence of complex microelements for foliar feeding of plants on the yield structure of lentil varieties and lines

The purpose of the research is to investigate the effect of complex microelements for foliar feeding of plants on the yield structure of lentil varieties and lines. **The results** of the research showed that under the influence of foliar feeding with the preparations "Yarylo Active Start PRO" and "Avangard Complex Legumes", as well as their combination, an increase in the number of beans per plant was observed on average by 1.2–2.5 pcs., the number of seeds – by 3–6 pcs., and the mass of 1000 seeds – by 2.0–4.8 g compared to the control. The maximum values of the indicators "number of beans per plant", "number of seeds per plant", "mass of 1000 seeds" in the Darynka variety were observed when applying the mixture "Yarylo Active Start PRO" + "Avangard Complex Legumes": 16.9 pcs., 63.2 pcs., 42.9 g. respectively. The maximum values of the indicators "number of beans per plant", "number of seeds per plant", "weight of 1000 seeds" in the Antonina variety were observed when applying the mixture "Yarylo Active Start PRO" + "Avangard Complex Legumes": 16.1 pcs., 57.8 pcs., 57.2 g. respectively. The maximum values of the indicators "number of beans per plant", "number of seeds per plant", "weight of 1000 seeds" in the Serpanok variety were observed when applying the mixture Yarylo Active Start PRO + Avangard Complex Legumes: 16.2 pcs., 58.4 pcs., 49.1 g. respectively. Among the breeding lines, the greatest positive response to micronutrient supplementation was demonstrated by Yar 03–23, Yar 11–23 and Yar 15–23. The highest indicators were recorded in the Yar 15–23 line with the application of a mixture of drugs – 16.9 beans, 64.2 seeds and 64.9 g of 1000-seed mass, which exceeds the control by 0.9 pcs., 4.7 pcs. and 2.8 g, respectively. In the control variant, this line showed the maximum experimental indicators, therefore this line can be recommended as a donor of high productivity for further selection work. An increase in the number of seeds per plant is usually accompanied by an increase in yield, but the strength of this relationship depends on the genotype of the variety or line.

Key words: lentils, number of beans per plant, number of seeds per plant, mass of 1000 seeds, correlation, yield.



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 27.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.04.2026

ДОСЛІДЖЕННЯ ОБРОБКИ БУЛЬБ КАРТОПЛІ АЗОТФІКСУЮЧИМИ БАКТЕРІЯМИ ТА БІОЛОГІЧНИМИ ПРЕПАРАТАМИ З МІКОРИЗНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ: ДОСВІД ТА ПЕРСПЕКТИВИ

СЕРДЮК П.В. – аспірант кафедри біотехнології та хімії
orcid.org/0009-0002-9654-8267

КОВАЛЕНКО В.М. – кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри біотехнології та хімії
orcid.org/0000-0002-9830-3370
Сумський національний аграрний університет

Постановка проблеми. Значення культури ранньостиглої картоплі охоплює її критичну роль у продовольчій безпеці та економічній стабільності аграрного сектору. Завдяки своїй адаптивності та поживним властивостям, рання картопля залишається одним із ключових інструментів боротьби з голодом та основою раціонального харчування. Ранньостиглі сорти здатні сформувати товарний урожай за короткий термін (45–60 днів), що дозволяє швидко поповнювати продовольчі ресурси в умовах дефіциту.

Суть проблеми полягає у потребі вдосконалення технологій вирощування та створення нових стресостійких сортів. Це необхідно для підвищення врожайності, яка в Україні зараз становить у середньому лише 20 т/га, хоча потенційно вона може досягати 37–39 т/га і більше. Наукове обґрунтування постановки проблем вирощування ранньостиглої картоплі базується на необхідності адаптації агротехнологій до змін клімату та оптимізації фізіологічних процесів для отримання врожаю в максимально стислі терміни.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ранньостиглі сорти картоплі повинні займати не менше 30% посівних площ цієї культури. Кожне господарство, яке вирощує картоплю повинно мати не менше трьох сортів різної групи стиглості тобто з різними біологічними властивостями [1, 2].

Як відомо, що всі бульби при тривалому зберіганні втрачають вітаміни, вологу і крохмаль та багато інших корисних сполук. Варто зазначити, що ранні сорти картоплі ранніх строків збирання після тривалого зберігання мають кращі смакові якості і поживну цінність у порівнянні з іншими сортами [3].

Визнаючи нагальну потребу в більш поживних, стійких до хвороб продовольчих культурах, селекціонери використовують найновіші наукові знання та інструменти для створення кращих сортів картоплі: скоростиглих, стресостійких та стійких до хвороб з характеристиками, бажаними для споживачів та переробників [1, 5].

Ранньостигла картопля дозволяє вирощувати культуру під паровими періодами в зернових системах. Це знімає навантаження на дефіцитні земельні та водні ресурси, допомагає підвищити економічну та харчову цінність, а також полегшує навантаження, пов'язане з інфляцією цін на продукти хар-

чування. Стійкі до стресу та хвороб сорти картоплі дозволяють фермерам успішно долати труднощі, які, як очікується, виникатимуть в умовах зміни клімату. Вони також зменшують потребу у використанні агрохімікатів, що заощаджує гроші та зменшує вплив на навколишнє середовище [4].

Вплив обробки бульб картоплі азотфіксуючими бактеріями та біологічними препаратами з мікоризними властивостями є важливим аспектом досліджень, особливо в умовах Північно-східного Лісостепу України. Такі заходи спрямовані на покращення якості вирощування картоплі та збільшення її врожайності через використання екологічно безпечних і природних методів.

Використання азотфіксуючих бактерій у поєднанні з біологічними препаратами, які підтримують розвиток мікоризи, створює синергетичний ефект. Це не лише сприяє підвищенню доступності поживних речовин для рослин, а й покращує стійкість до стресових умов [3, 6, 8].

У кліматичних та ґрунтових умовах Північно-східного Лісостепу помітно зростає актуальність таких рішень, що відповідають сучасним вимогам сталого землеробства. Делегування цим технологіям важливої ролі дозволяє досягати стабільного врожаю навіть за несприятливих умов [2, 7].

Мета статті обґрунтувати використання біопрепаратів, що дозволяє не лише підвищити врожайність, а й покращити якісні показники бульб картоплі, особливо в контексті сучасного переходу до сталого землеробства та зменшення пестицидного навантаження. Вивчення синергії азот фіксаторів та мікоризи саме для Північно-східного Лісостепу України, що є важливим через специфіку місцевих чорноземів та кліматичні зміни (дефіцит вологи в критичні фази росту).

Результати досліджень. Ранній урожай бульб визначається енергетичною цінністю та більшими корисними властивостями. Бульби, зібрані через 60–70 днів після садіння, містять до 50 мг вітаміну С у 100 г бульбової маси. Такі бульби містять високий білок, біологічна цінність якого складає 80% від білка курячого яйця, а також важливі мінеральні речовини, дуже потрібні людському організму [2, 9].

Ранні сорти картоплі можуть з успіхом використовуватись для одержання екологічно чистої продукції. Дуже ранні посіви пророщеними буль-

бами встигають дати повноцінний урожай до появи фітофторозу та основної стадії шкідників, що дозволить суттєво знизити пестицидне навантаження в процесі її вирощування [1].

Динаміка росту і накопичення врожаю досліджується у два чітко виражені періоди: 1-й – ріст і розвиток вегетативної маси, кореневої системи та початок бульбоутворення; 2-й – накопичення маси бульб за рахунок утворення наземного листового апарату і підземної маси коріння [10].

Мінливість умов вирощування в кожному з періодів та реакція сортів картоплі суттєво впливають на кінцевий результат. Тому, лише часткова реалізація в залучених у дослідження сортів показників урожайності та потенційних можливостей залежить від реакції на зовнішні фактори, як основний показник екологічної пластичності. Чим вища реалізація показника продуктивності сорту, тим вища його пластичність [1, 4].

Дані таблиці 1 щодо динаміки врожайності ранньостиглих форм дозволяють проаналізувати даний показник та дослідити реакцію генотипу на кліматичні умови відповідно до своїх властивостей.

За даними таблиці 1 можна відмітити що спостерігається суттєва різниця в динаміці за строками вегетації на 60-й та 70-й дні, що у відсотковому відношенні склала 32%, а у період від 80-100 показник склав від 4 до 8%.

Утворення на додаткових коренях у звичайному порядку, з перичиклу навпроти променів первинної ксилеми, в акропетальному порядку називаються боковими корінцями. За рахунок різного розвитку бічних корінців їх форма і будова різні [6, 24].

У випадку якщо точки закладання коріння зближені, тоді кореневі зачатки можуть зливатися і називаються вони здвоєними коріннями. В деяких випадках спостерігаються роздвоєння верхівки корінця в інших вона єдина, але спостерігається подвоєний осьовий і приплюснутий циліндр.

При тривалому витримуванні окремих сортів бульб на розсіяному світлі з'являються внутрішньо-бульбові корені. Виникають ці корені у нижній частині паростка, таким чином паростки проростають у власній бульбі [2, 23].

Добре розвинена коренева система на початкових етапах розвитку рослин картоплі відіграє важливу роль в проходженні основних макростадій, що впливають на бульбоутворення ранніх сортів. Особливо слід відзначити макростадію 4: початок утворення бульб, набухання кінців столонів, які стають в двічі більші їх діаметра, механічна щільність шкірки бульб 95%. Також важливо відзначити і наступні макростадії: 5 – утворення квіток, 6 – цвітіння, особливо для ранньо стиглих форм картоплі [7, 12].

Дослідження впливу азотфіксуючих бактерій та мікоризних препаратів на картоплю є одним із найбільш перспективних напрямків сучасного органічного та ресурсоощадного землеробства [2, 8, 14].

Узагальнені результати наукових досліджень (зокрема українських установ, таких як Інститут картоплярства НААН та ІСГ Полісся) за цією тематикою свідчать про:

найкращі результати (синергетичний ефект) вчені фіксують при сумісному використанні азотфіксаторів та мікоризи. це дозволяє отримати приріст врожаю навіть на бідних піщаних ґрунтах (Полісся);

– використання препаратів на основі *azotobacter*, *azospirillum* або *agrobacterium* демонструє підвищення врожайності: в середньому врожайність зростає на 10–22% залежно від сорту;

– сортова реакція: сорти ранньої групи стиглості (рів'єра, беллароза) краще реагують на бактерізацію, оскільки це дає швидкий старт вегетації;

– економія добрив: бактерії здатні фіксувати з повітря від 20 до 40 кг/га діючої речовини азоту, що дозволяє знизити норму мінеральних добрив на 15–20% без втрати продуктивності;

– якість бульб: спостерігається підвищення вмісту крохмалю (на 0,5–1,2%) та вітаміну С [5].

Вплив мікоризних препаратів. мікориза (гриби роду *Glomus*) створює симбіоз із корінням, розширюючи площу поглинання вологи та мінералів.

Фосфорне живлення: мікориза переводить важкодоступні форми фосфору в ґрунті у засвоювані для картоплі. Це критично важливо для розвитку потужної кореневої системи [25].

Стійкість до посухи: рослини, інокульовані мікоризою, значно краще переносять дефіцит вологи завдяки глибшому та густішому розгалуженню грибних гіфів [1, 12].

Фітосанітарний ефект: знижується рівень ураження грибокними хворобами (фузаріоз, ризоктоніоз) на 15–30%, оскільки мікориза створює механічний та хімічний бар'єр для патогенів [13, 22].

До складу мікоризних інокулянтів входять спори мікоризотворних грибів. Потрапивши у сприятливі умови, вони починають розвиватися, утворюючи гіфи грибного міцелію, що формують розгалужену мережу тонких ниток. Міцелій, поєднуючись із корінням рослин, утворює симбіоз, який отримав назву «мікориза» (у перекладі з грецької мови це слово означає «грибокорінь»). Завдяки мікоризі відбувається збільшення всмоктуючої поверхні кореневої системи. Відповідно, рослини поглинають з ґрунту більшу кількість вологи та поживних елементів, включаючи мінеральні солі та особливо фосфор [9, 14].

Мікориза приносить користь різним рослинам: мікоризоване насіння має кращу схожість, менше

Таблиця 1 – Динаміка врожайності ранньостиглих форм картоплі, г/кущ [2]

Скоростиглість форм картоплі	Урожайність бульб картоплі (г/кущ) за строками вегетації, у днях				
	60	70	80	90	100
Надранні	420	615	698	760	785
Ранні	405	690	770	863	882
Середньоранні	272	480	705	809	910

уражається кореневими гнилями. Саджанці плодівих рослин краще приживаються на новому місці та активніше розвиваються. Під час вегетації мікоризовані рослини мають більш розвинену кореневу систему, завдяки чому отримують більше поживних речовин та вологи, ніж немікоризовані [2, 16, 21].

Мікориза забезпечує рослини вітамінами, мінералами, ферментами і гормонами. Завдяки міцелію коренева система рослин збільшує площу поглинання корисних елементів, таких як фосфор, калій і інших стимулюючих речовин. Гриби, утворюючи мікоризу з коренями рослин, виступають захисниками від деяких хвороб останніх, таких як, наприклад фітофтороз [1, 4].

Велику роль в обміні речовин відіграє забезпечення рослинного організму елементами мінерального живлення [15, 19, 20].

Біодобрива містять у своєму складі корисні бактерії або гриби (існують також комбіновані засоби, що включають і ті, й інші). Біодобрива покликані відновлювати природний цикл поживних елементів, що відбувається у ґрунті, покращуючи при цьому продуктивність родючого шару та підвищуючи в ньому кількість органічних речовин [8, 13, 17].

Для виробництва біодобрив використовуються симбіотичні та асоціативні азотфіксатори, а також фосформобілізуючі бактерії, що підвищують біологічну доступність фосфатів, фітатів та пов'язаних металів, включаючи магній, кальцій, залізо, цинк та інші мікроелементи [11, 17, 18].

Дослідження впливу біопрепаратів на врожайність та якість картоплі в умовах Північно-східного Лісостепу України (зокрема Сумська, Чернігівська та Полтавська області) показують стабільно позитивну динаміку [2, 4].

Використання азотфіксуючих бактерій (на основі *Azotobacter* або *Azospirillum*) та мікоризних грибів (арбускулярна мікориза) дозволяє рослинам краще адаптуватися до нестабільного зволоження, характерного для цього регіону останніми роками [7, 19].

Висновки. На основі проведених досліджень щодо впливу передпосадкової обробки бульб азотфіксуючими бактеріями та мікоризними препаратами на продуктивність різних сортів картоплі в умовах Північно-східного Лісостепу України, можна зробити наступні висновки:

1. Застосування біологічних препаратів є ефективним агротехнічним заходом, що сприяє активізації мікробіологічних процесів у ризосфері. Азотфіксуючі бактерії забезпечують рослини додатковим біологічним азотом, що особливо важливо на початкових етапах органогенезу.

Мікоризні препарати значно розширюють площу поглинання кореневої системи, покращуючи фосфорне живлення та водний обмін, що підвищує стійкість картоплі до періодичних посух, характерних для даного регіону.

2. Встановлено, що реакція картоплі на інокуляцію має чітко виражений сортовий характер: ранньостиглі сорти краще реагують на обробку азотфіксаторами, що пришвидшує формування раннього врожаю та накопичення сухої речовини. Середньостиглі та пізньостиглі сорти демонструють вищу

симбіотичну спорідненість з мікоризними грибами, що дозволяє їм довше зберігати вегетаційну активність та формувати більшу товарну фракцію бульб.

3. Комплексна дія біопрепаратів забезпечує: підвищення врожайності в середньому на 12–25% залежно від сорту та погодних умов року. Покращення якісних показників: збільшення вмісту крохмалю та вітаміну С у бульбах. Зниження рівня накопичення нітратів завдяки оптимізації азотного живлення.

4. Використання мікробіологічних препаратів у технології вирощування картоплі в умовах Північно-східного Лісостепу дозволяє знизити дози мінеральних добрив на 15–20% без втрати продуктивності, що сприяє екологізації виробництва та зменшенню собівартості продукції.

Для досягнення максимального ефекту в господарствах Північно-східного Лісостепу рекомендовано підбирати біопрепарат відповідно до групи стиглості сорту, надаючи перевагу сумісному застосуванню азотфіксуючих та мікоризних агентів для забезпечення стабільної врожайності в умовах мінливого клімату.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Волкогон В.В. Мікробні препарати у землеробстві. Теорія і практика. *Аграрна наука*. 2012. 504 с.
2. Грицаєнко З.М., Грицаєнко А.О., Карпенко В.П. Біологічно активні речовини в рослинництві. *Здоров'я*. 2003. 312 с.
3. Когут О.В. Вплив передсадивної обробки бульб біопрепаратами на фоні різних норм добрив на урожайність картоплі. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2016. № 2. С. 132–138.
4. Шерстобоева О.В. Еколого-мікробіологічне обґрунтування технологій застосування засобів захисту рослин і біопрепаратів. *Агроекологічний журнал*. 2014. № 1. С. 75–80.
5. Діхтяр О.В. Формування продуктивності картоплі залежно від біологічних препаратів та добрив в умовах Правобережного Лісостепу України: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук. *Вінниця*. 2021.
6. Молоцький М.Я. Картопля: Навчальний посібник. *Біла Церква*. 2007. 184 с.
7. Токмаков О.В. Ефективність застосування мікоризного гриба *Glomus sp.* при вирощуванні картоплі. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2015. № 5.
8. Кононенко В.В. Продуктивність сортів картоплі залежно від застосування біопрепаратів та регуляторів росту в Лісостепу України. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2017. № 62. С. 78–87.
9. Бондарчук А.А., Олійник Т.О. Картоплярство: Селекція. *Вінниця: ТОВ «ТВОРИ»*. 2020. 624 с.
10. Куценко В.С. Сортові ресурси картоплі в Україні. *Довіра*. 2007.
11. Положенець В.М. Особливості формування врожаю картоплі за дії біологічних препаратів. *Вісник ЖНАЕУ*. 2013. № 1(1). С. 145–152.
12. Naqqash T., Naqqash T., Malik K.A., Imran A., Hamza M.K., Saeed A., van Elsas J.D. Differential response of potato toward inoculation with taxonomically diverse plant growth promoting rhizobacteria. *Frontiers in Plant Science*. 2016. 7. 144. DOI: 10.3389/fpls.2016.00144

13. Kundu P.K., Bhuiyan M.S.I., Akter S. Influence of bio-fertilizers on growth and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). *International Journal of Current Advanced Research*. 2020. 9(01). 21102-21105.

14. Lone R., Shuab R., Sharma V., Kumar V., Mir R., Koul, K.K. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and development of potato (*Solanum tuberosum*) plant. *Asian Journal of Crop Science*. 2015. 7(3). 233–243. DOI: 10.3923/ajcs.2015.233.243

15. Sood S. Mycorrhizal association in potato: a review. *Potato Journal*. 2018. Vol. 45(1). P. 1–15.

16. Douds D.D., Volpato S., Masoero G., Giovannetti G., Nuti M. Arbuscular Mycorrhizal Biofertilizers Sources in the Potato (*Solanum Tuberosum*) Plant show Interactions with Cultivars on Yield and Litter-bags Spectral Features. *Journal of Agronomy Research*. 2020. 2(4). 09–17. DOI: 10.14302/issn.2639-3166.jar-20-3185.

17. Martins J.D.L., Soratto R.P., Fernandes A.M., Dias P.H.M. Phosphorus fertilization and soil texture affect potato yield. *Revista Caatinga*. 2018. 31(3). 541–550. doi :10.1590/1983-21252018V31N302RC.

18. Cui S., Qin Y., Yu J., Shi X., Jia L., Fan M. Improving tuber yield and phosphorus use efficiency using split phosphorus application to potatoes in Inner Mongolia. *American Journal of Potato Research*. 2020. 97. 318–324. doi: 10.1007/s12230-020-09783-3.

19. Gamajunova V.V., Khonenko L.G., Girija L.M., Kovalenko O.A., Baklanova T.V. Using micronutrient in climate change. *Innovative Solutions in Modern Science*. 2020. 6(42). 124–148. doi: 10.26886/2414-634X.6(42)2020.8.

20. Myalkovsky R.O. Biochemical parameters of potato tubers for the use of microfertilizers. *Bulletin of KhNAU. Series: Crop Production, Selection and Seed Production, Fruit and Vegetable Growing and Storage*. 2018. 1. 23–31.

21. Balashova G., Vozhegova R., Lavrinenko Yu., Yuzyuk O., Yuzyuk S., Kotov, B. Formation of the yield and seed qualities of potato in the nursery of basic seed production under the conditions of the South of Ukraine. *AgroLife Scientific Journal*. 2020. 9(1). 31–38.

22. Saia S., Rappa V., Arduini I., Abenavoli M.R., Badagliacca G., Settanni L., Giambalvo D. Synergistic effects of plant growth-promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on cotton and potato. *Scientific Reports*. 2020. 10. 13481. DOI: 10.1038/s41598-020-70412-x

23. Gamajunova V., Khonenko L., Iskakova O. Optimisation of nutrition of early-maturing potato varieties on drip irrigation in the South of Ukraine. *Scientific Horizons*. 2021. 24(8). 47–55.

24. Vozhegova R., Balashova G., Boiarkina L., Yuzyuk O., Yuzyuk S., Kotov B., Kotova O. The efficiency of different moisture and nutrition conditions in early potato growing under drip irrigation in southern Ukraine. *Journal of Agricultural Sciences*. 2021. 66(1). doi: 10.2298/JAS2101001V.

25. Tedesco D., de Oliveira M.F., dos Santos A.F., Costa Silva E.H., de Souza Rolim G., da Silva R.P. Use of remote sensing to characterize the phenological development and to predict sweet potato yield in two growing seasons. *European Journal of Agronomy*. 2021. 129. 126337. doi: 10.1016/j.eja.2021.126337.

REFERENCES:

1. Volkogon V.V. (2012) Mikrobnii preparaty u zemlerobstvi. Teoriia i praktyka [Microbial preparations in agriculture. Theory and practice]. *Ahrarna nauka*. 504 s. [in Ukrainian].

2. Hrytsayenko Z.M., Hrytsayenko A.O., Karpenko V.P. (2003) Biologichno aktyvni rehovyny v roslynyystvi [Biologically active substances in crop production]. *Zdorovia*. 312 s. [in Ukrainian].

3. Kohut O.V. (2016) Vplyv peredsadyvnoi obrobky bulb biopreparatamy na foni riznykh norm dobryv na urozhainist kartopli [The influence of pre-planting treatment of tubers with biological preparations against the background of different fertilizer rates on potato yield]. *Visnyk aharnoi nauky Prychornomoria*. № 2. S. 132–138. [in Ukrainian].

4. Sherstoboeva O.V. (2014) Ekologo-mikrobiologichne obgruntuvannia tekhnologii zastosuvannia zasobiv zakhystu roslyn i biopreparativ [Ecological and microbiological justification of technologies for the use of plant protection products and biological preparations]. *Ahroekologichnyi zhurnal*. № 1. S. 75–80. [in Ukrainian].

5. Dikhtyar O.V. (2021) Formuvannia produktyvnosti kartopli zalezno vid biologichnykh preparativ ta dobryv v umovakh Pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy: avtoref. dys. ... kand. s.-h. nauk [Formation of potato productivity depending on biological preparations and fertilizers in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine: author's abstract. dissertation ... candidate of agricultural sciences]. *Vinnytsia*. [in Ukrainian].

6. Molotskyi M.Ya. (2007) Kartoplia: Navchalnyi posibnyk [Potatoes: Textbook]. *Bila Tserkva*. 184 s. [in Ukrainian].

7. Tokmakov O.V. (2015) Efektyvnist zastosuvannia mikoryznoho hryba *Glomus* sp. pry vyroshchuvanni kartopli [The effectiveness of the use of the mycorrhizal fungus *Glomus* sp. in potato cultivation]. *Naukovi zvitky NUBiP Ukrainy*. № 5. [in Ukrainian].

8. Kononenko V.V. (2017) Produktyvnist sortiv kartopli zalezno vid zastosuvannia biopreparativ ta rehulatoriv rostu v Lisostepu Ukrainy [Productivity of potato varieties depending on the use of biological preparations and growth regulators in the Forest-Steppe of Ukraine]. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo ta tvarynyystvo*. № 62. S. 78–87. [in Ukrainian].

9. Bondarchuk A.A., Oliynyk T.O. (2020) Kartopliarstvo: Seleksiia [Potato growing: Breeding]. *Vinnytsia: LLC "CREATE"*. 624 s. [in Ukrainian].

10. Kutsenko V.S. (2007) Sortovi resursy kartopli v Ukraini [Varietal resources of potatoes in Ukraine]. *Dovira*. [in Ukrainian].

11. Polozhenets V.M. (2013) Osoblyvosti formuvannia vrozhaiu kartopli za dii biologichnykh preparativ [Peculiarities of potato yield formation under the action of biological preparations]. *Visnyk ZhNAEU*. № 1(1). S. 145–152. [in Ukrainian].

12. Naqqash T., Naqqash T., Malik K.A., Imran A., Hamza M.K., Saeed A., van Elsas J.D. (2016). Differential response of potato toward inoculation with taxonomically diverse plant growth promoting rhizobacteria. *Frontiers in Plant Science*. 7. 144. DOI: 10.3389/fpls.2016.00144

13. Kundu P.K., Bhuiyan M.S.I., Akter S. (2020). Influence of bio-fertilizers on growth and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). *International Journal of Current Advanced Research*. 9(01). 21102-21105.

14. Lone R., Shuab R., Sharma V., Kumar V., Mir R., Koul, K.K. (2015). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and development of potato (*Solanum tuberosum*) plant. *Asian Journal of Crop Science*. 7(3). 233–243. DOI: 10.3923/ajcs.2015.233.243

15. Sood S. (2018). Mycorrhizal association in potato: a review. *Potato Journal*. Vol. 45(1). P. 1–15.

16. Douds D.D., Volpato S., Masoero G., Giovannetti G., Nuti, M. (2020). Arbuscular Mycorrhizal Biofertilizers Sources in the Potato (*Solanum Tuberosum*) Plant show Interactions with Cultivars on Yield and Litterbags Spectral Features. *Journal of Agronomy Research*. 2(4). 09–17. DOI: 10.14302/issn.2639-3166.jar-20-3185.

17. Martins J.D.L., Soratto R.P., Fernandes A.M., Dias P.H.M. (2018). Phosphorus fertilization and soil texture affect potato yield. *Revista Caatinga*. 31(3). 541–550. doi: 10.1590/1983-21252018V31N302RC.

18. Cui S., Qin Y., Yu J., Shi X., Jia L., Fan M. (2020). Improving tuber yield and phosphorus use efficiency using split phosphorus application to potatoes in Inner Mongolia. *American Journal of Potato Research*. 97. 318–324. doi: 10.1007/s12230-020-09783-3.

19. Gamajunova V.V., Khonenko L.G., Gijlja L.M., Kovalenko O.A., Baklanova, T.V. (2020). Using micronutrient in climate change. *Innovative Solutions in Modern Science*. 6(42). 124–148. doi: 10.26886/2414-634X.6(42)2020.8.

20. Myalkovsky R.O. (2018). Biochemical parameters of potato tubers for the use of microfertilizers. *Bulletin of KhNAU. Series: Crop Production, Selection and Seed Production, Fruit and Vegetable Growing and Storage*. 1. 23–31.

21. Balashova G., Vozhegova R., Lavrinenko Yu., Yuzyuk O., Yuzyuk S., Kotov, B. (2020). Formation of the yield and seed qualities of potato in the nursery of basic seed production under the conditions of the South of Ukraine. *AgroLife Scientific Journal*. 9(1). 31–38.

22. Saia S., Rappa V., Arduini I., Abenavoli M.R., Badagliacca G., Settanni L., Giambalvo D. (2020). Synergistic effects of plant growth-promoting rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi on cotton and potato. *Scientific Reports*. 10. 13481. DOI: 10.1038/s41598-020-70412-x

23. Gamajunova V., Khonenko L., Iskakova O. (2021). Optimisation of nutrition of early-maturing potato varieties on drip irrigation in the South of Ukraine. *Scientific Horizons*. 24(8). 47–55.

24. Vozhegova R., Balashova G., Boiarkina L., Yuzyuk O., Yuzyuk S., Kotov B., Kotova O. (2021). The efficiency of different moisture and nutrition conditions in early potato growing under drip irrigation in southern Ukraine. *Journal of Agricultural Sciences*. 66(1). doi: 10.2298/JAS2101001V.

25. Tedesco D., de Oliveira M.F., dos Santos A.F., Costa Silva E.H., de Souza Rolim G., da Silva R.P. (2021). Use of remote sensing to characterize the phenological development and to predict sweet potato yield in two growing seasons. *European Journal of Agronomy*. 129. 126337. doi: 10.1016/j.eja.2021.126337.

Сердюк П.В., Коваленко В.М. Дослідження обробки бульб картоплі азотфіксуючими бактеріями та біологічними препаратами з мікоризними властивостями: досвід та перспективи

Мета. Обґрунтувати використання біопрепаратів, що дозволяє не лише підвищити врожайність, а й покращити якісні показники бульб картоплі, особливо в контексті сучасного переходу до сталого землеробства та зменшення пестицидного навантаження. Вивчення синергії азот фіксаторів та мікоризи саме для Північно-східного Лісостепу України, що є важливим через специфіку місцевих чорноземів та кліматичні зміни (дефіцит вологи в критичні фази росту).

Результати. Ранні сорти картоплі можуть з успіхом використовуватись для одержання екологічно чистої продукції. Дуже ранні посіви пророщеними бульбами встигають дати повноцінний урожай до появи фітофторозу та основної стадії шкідників, що дозволить суттєво знизити пестицидне навантаження в процесі її вирощування. Мінливість умов вирощування в кожному з періодів та реакція сортів картоплі суттєво впливають на кінцевий результат. Тому, лише часткова реалізація в залучених у дослідження сортів показників урожайності та потенційних можливостей залежить від реакції на зовнішні фактори, як основний показник екологічної пластичності. Чим вища реалізація показника продуктивності сорту, тим вища його пластичність. Дослідження впливу азотфіксуючих бактерій та мікоризних препаратів на картоплю є одним із найбільш перспективних напрямків сучасного органічного та ресурсощадного землеробства. Мікориза приносить користь різним рослинам: мікоризоване насіння має кращу схожість, менше уражається кореневими гнилями. Саджанці плодкових рослин краще приживаються на новому місці та активніше розвиваються. Під час вегетації мікоризовані рослини мають більш розвинену кореневу систему, завдяки чому отримують більше поживних речовин та вологи, ніж немікоризовані. Дослідження впливу біопрепаратів на врожайність та якість картоплі в умовах Північно-східного Лісостепу України (зокрема Сумська, Чернігівська та Полтавська області) показують стабільно позитивну динаміку. Використання азотфіксуючих бактерій (на основі *Azotobacter* або *Azospirillum*) та мікоризних грибів (арбускулярна мікориза) дозволяє рослинам краще адаптуватися до нестабільного зволоження, характерного для цього регіону останніми роками.

Висновки. Для досягнення максимального ефекту в господарствах Північно-східного Лісостепу рекомендовано підбирати біопрепарат відповідно до групи стиглості сорту, надаючи перевагу сумісному застосуванню азотфіксуючих та мікоризних агентів для забезпечення стабільної врожайності в умовах мінливого клімату.

Ключові слова: мікориза, екологічна пластичність, ранні сорти картоплі, врожайність, стресостійкість.

Serdyuk P.V., Kovalenko V.M. Research on the treatment of potato tubers with nitrogen-fixing bacteria and biological preparations with mycorrhizal properties: experience and prospects

Purpose. To justify the use of biological products, which allows not only to increase yield, but also to improve the quality indicators of potato tubers, especially in the context of the modern transition to sustain-

able agriculture and reducing pesticide load. Studying the synergy of nitrogen fixers and mycorrhiza specifically for the North-Eastern Forest-Steppe of Ukraine, which is important due to the specifics of local black soils and climate change (moisture deficit during critical growth phases).

Results. Early potato varieties can be successfully used to obtain environmentally friendly products. Very early crops with germinated tubers manage to give a full harvest before the appearance of late blight and the main stage of pests, which will significantly reduce the pesticide load in the process of its cultivation. The variability of growing conditions in each period and the reaction of potato varieties significantly affect the final result. Therefore, only partial implementation of yield indicators and potential opportunities in the varieties involved in the study depends on the reaction to external factors, as the main indicator of ecological plasticity. The higher the implementation of the productivity indicator of the variety, the higher its plasticity. Research on the influence of nitrogen-fixing bacteria and mycorrhizal preparations on potatoes is one of the most promising areas of modern organic and resource-saving agriculture. Mycorrhiza

benefits various plants: mycorrhizal seeds have better germination, are less affected by root rot. Seedlings of fruit plants take root better in a new place and develop more actively. During the growing season, mycorrhizal plants have a more developed root system, due to which they receive more nutrients and moisture than non-mycorrhizal plants. Studies of the impact of biological products on the yield and quality of potatoes in the conditions of the North-Eastern Forest-Steppe of Ukraine (in particular, Sumy, Chernihiv and Poltava regions) show a consistently positive trend. The use of nitrogen-fixing bacteria (based on *Azotobacter* or *Azospirillum*) and mycorrhizal fungi (arbuscular mycorrhiza) allows plants to better adapt to the unstable moisture characteristic of this region in recent years.

Conclusions. To achieve maximum effect in farms of the North-Eastern Forest-Steppe, it is recommended to select a biological product according to the ripeness group of the variety, giving preference to the combined use of nitrogen-fixing and mycorrhizal agents to ensure stable yields in conditions of a changing climate.

Key words: mycorrhiza, ecological plasticity, early potato varieties, yield, stress resistance.



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 27.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.04.2026

ФІТОМЕЛІОРАЦІЯ ДЕГРАДОВАНИХ ҐРУНТІВ ВИРОЩУВАННЯМ ЛЮЦЕРНИ ПОСІВНОЇ (*MEDICAGO SATIVA L.*)¹

ТКАЧУК О.П. – доктор сільськогосподарських наук

orcid.org/0000-0002-0647-6662

Вінницький національний аграрний університет

ВЕРГЕЛІС В.І. – асистент

orcid.org/0000-0003-1699-0064

Вінницький національний аграрний університет

Постановка проблеми. Ґрунти у сільськогосподарській діяльності є основним засобом виробництва, дозволяючи забезпечувати продовольчу безпеку держави, виробляючи усю рослинницьку продукцію, а також є джерелом кормів для тваринницької галузі. Сільськогосподарські угіддя України займають близько 42 мільйонів гектарів, що становить приблизно 70 % від загальної площі земельного фонду країни. Проте після 2022 року значна частина цієї території, понад 10 мільйонів гектарів, зазнала пошкоджень через повномасштабне вторгнення, що суттєво скоротило площу земель, придатних для використання. Основну частку сільськогосподарських угідь становить рілля (близько 78 %) [1].

Основною характеристикою ґрунтового покриву України є його велика різноманітність, яка налічує близько 40 типів і майже 800 видів ґрунтів. Водночас спостерігається значна нерівномірність, а також суттєве поширення малопродуктивних, техногенно забруднених і деградованих ґрунтів, площа яких сягає 10–15 мільйонів гектарів [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Більше 60 % земельного фонду складають ґрунти чорноземного типу. Однак такі ґрунти, через інтенсивне їх використання стали вразливими до деградаційних процесів через переважання незбалансованої системи землекористування у сільському господарстві. Це перешкоджає досягненню позитивних результатів у збереженні ґрунтових ресурсів, економічній ефективності та екологічній безпеці [3].

Деградація – це сукупність природних і антропогенних процесів, які призводять до погіршення природних властивостей і режимів ґрунтів, викликаючи стійкі негативні зміни їхніх функцій, зниження стійкості та втрату родючості. У таких умовах руйнівні процеси в ґрунті відбуваються інтенсивніше, ніж його відновлення або утворення. Ґрунт, в якому екологічні функції порушені незворотно, а продуктивність сільськогосподарських культур протягом тривалого часу (10–15 років) залишається зниженою, класифікується як деградований. Найчастіше причиною деградації є надмірні антропогенні впливи, такі як механічне, хімічне чи гідротехнічне навантаження [4].

Площа деградованих земель в Україні варіюється від 6–8 до 10–15 мільйонів гектарів. Процес деградації виникає, коли вплив на ґрунти перевищує їхню природну здатність до саморегуляції – тобто здатність самостійно відновлювати характерні властивості без стороннього втручання [5].

Залежно від ступеня розвитку деградаційних процесів урожайність сільськогосподарських культур може скорочуватися на 10–20 або навіть 30–50 %, що призводить до значних економічних втрат. Лише через недоотримання продукції збитки можуть перевищувати 20 мільярдів гривень щорічно. Разом із цим спостерігається й зниження якості сільськогосподарської продукції [6].

Серед основних деградаційних проблем ґрунтів України переважає втрата гумусу (дегуміфікація) та зниження вмісту основних поживних речовин (лужногідролізованого азоту, рухомого фосфору та обмінного калію), що поширена на 43,0 % ріллі, переущільнення – на 39,0 %, заплівання і кіркутворення – на 38,0 %, водна ерозія – на 20,0 %, підкислення – на 14,0 %, вітрова ерозія – на 11,0 %, забруднення важкими металами – на 8,0 % [7].

Вирішити вказані проблеми ґрунтів України може Стратегія з охорони ґрунтів, запобігання та боротьби із деградацією земель. Вона має включати ефективне функціонування ґрунтозахисних програм і законодавчих актів, забезпечення їх суворого дотримання, постійний моніторинг стану ґрунтів, обов'язкове нормування антропогенних впливів, відповідальність органів влади та землекористувачів. Також необхідно підтримувати дотримання рекомендованих методик і впроваджувати сучасні ґрунтозахисні технології [8].

Важливо максимально адаптувати сучасні агротехнології для досягнення так званої «нейтральної деградації ґрунтів», які повинні бути пристосовані до конкретних ґрунтово-кліматичних умов регіону. Для цього необхідно оптимізувати рівень органічної речовини та рухомих форм поживних елементів у ґрунті; забезпечити бездефіцитний баланс гумусу; захистити ґрунти від ерозійних процесів; покращити кислотно-сольовий баланс ґрунтів; вирішити проблему дефіциту вологи; захистити ґрунти від забруд-

¹ Наукові дослідження виконані за рахунок коштів гранту Президента України молодим вченим та докторам наук «Розробка фітомеліоративних заходів відновлення деградованих ґрунтів внаслідок бойових дій в контексті гарантування продовольчої та енергетичної безпеки України» (грантоотримувач Олександр Ткачук), наданого Національним фондом досліджень України.

нення та ущільнення [9].

Як правило, для вирішення усіх означених деградаційних проблем ґрунтів необхідно застосовувати комплекс відновлюючих і ґрунтозберігаючих заходів, часто дорого вартісних і тривалих у часі. Проте вагомим резервом швидкого і природнього способу відновлення деградованих ґрунтів є широке використання фітомеліоративних властивостей рослин. Серед них ефективними є бобові багаторічні трави, що здатні формувати потужну надземну і підземну масу та накопичувати симбіотично фіксований азот з атмосфери. В умовах глобального потепління та нестачі вологи доцільно ширше використовувати фітомеліоративний потенціал посухостійкої і довговічної рослини – люцерни посівної (*Medicago sativa* L.) [9].

Мета. Провести комплексне дослідження фітомеліоративного потенціалу люцерни посівної (*Medicago sativa* L.) щодо вирішення найважливіших і найпоширеніших деградаційних процесів у ґрунтах України: зниження вмісту гумусу і поживних речовин, переущільнення, заплівання і кіркоутворення, поширення водної і вітрової ерозії, підкислення, забруднення ґрунтів важкими металами.

Матеріали та методика досліджень. Методологічною основою наших досліджень було закладання польового досліду на сірих опідзолених середньосуглинкових ґрунтах Науково-дослідного господарства «Агрономічне» Вінницького національного аграрного університету у 2021 році з послідовним проведенням лабораторних досліджень впродовж наступних чотирьох років. На дослідній ділянці обліковою площею 25 м² з чотириразовим повторенням висівали люцерну посівну у ранньовесняні строки безпокритим посівом із контролем поширення бур'янів у рік сівби. Впродовж наступних років вегетації жодних добрив не вносили і заходів догляду не проводили. Сформовану біомасу люцерни посівної (*Medicago sativa* L.) скошували при досягненні її фази початку цвітіння (BVCH 60).

В кінці другого та четвертого років вегетації люцерни посівної (*Medicago sativa* L.) у жовтні місяці з облікової ділянки методом діагоналі відбирали проби ґрунту на глибину орного шару (25 см) для визначення агроекологічних параметрів ґрунту. Лабораторні дослідження проводили у сертифікованій та акредитованій лабораторії Південно-Західного міжрегіонального центру Державної установи «Інститут охорони ґрунтів України». Визначали вміст гумусу за ДСТУ 26213-91; азоту лужногідролізованого – за Корнфілдом, відповідно до ДСТУ 7863:2015; фосфору рухомого та калію обмінного – за Чіріковим, відповідно до ДСТУ 4115-2002; реакцію ґрунтового розчину рН – за ДСТУ ISO 10390-2007; гідролітичну кислотність – за ДСТУ 7537:2014; рухомі форми важких металів: свинцю – за ДСТУ 4770.9-0007, кадмію – за ДСТУ 4770.7-0007, міді – за ДСТУ 4770.6-0007, цинку – за ДСТУ 4770.2-0007 [10].

Водостійкість ґрунтових агрегатів визначали крапельним методом Віленського за розмиванням агрегатів водою. Частку агрономічно цінних агрегатів визначали за структурним складом ґрунту,

використовуючи метод ситового аналізу за різними фракціями. Об'ємну масу ґрунту визначали буровим методом із застосуванням циліндрів-бурів. Розраховували коефіцієнт структурності ґрунту як відношення маси агрономічно цінних агрегатів ґрунту розміром 10-0,25 мм до маси усїєї проби. Відбір проб ґрунту для визначення динаміки об'ємної маси ґрунту проводили в кінці кожного року досліджень (1-4 років), а інших агрофізичних характеристик – в кінці першого, другого і четвертого років досліджень [11].

Результати досліджень. Вирощування люцерни посівної (*Medicago sativa* L.) має прямий вплив на підвищення родючості ґрунту. Зокрема її дворічне вирощування сприяє підвищенню вмісту гумусу на 0,03 %, а чотирирічне – на 0,1 %.

Разом з тим оптимізується реакція ґрунтового розчину рН, зростаючи у діапазоні від 0,1 до 0,3 рН, досягаючи нейтральної реакції у діапазоні 7,1–7,3 рН та зменшується гідролітична кислотність на 24,5–28,3 % за дво-чотирирічний цикл вирощування люцерни посівної (*Medicago sativa* L.) (рис. 1.).

Люцерна посівна (*Medicago sativa* L.) має позитивний вплив на накопичення у ґрунті лужногідролізованого азоту, рухомого фосфору та обмінного калію. Якщо на другий рік її вегетації вміст лужногідролізованого азоту у ґрунті після вирощування люцерни посівної (*Medicago sativa* L.) зменшився на 2,3 %, то уже на четвертий рік вегетації він зріс на 2,9 % відносно періоду до висіву. Більш динамічно збільшувався вміст у ґрунті рухомого фосфору та обмінного калію: зокрема на другий рік вегетації зростання вмісту рухомого фосфору у ґрунті становило 3,7 %, а в кінці четвертого року вегетації – 8,0 %. Подібна тенденція спостерігалась у ґрунті щодо вмісту обмінного калію: в кінці другого року вегетації він зріс на 20 %, а в кінці четвертого року вегетації – на 25,6 % (рис. 2).

Спостерігався позитивний вплив вирощування люцерни посівної (*Medicago sativa* L.) на зниження вмісту у ґрунті рухомих форм важких металів. Зокрема в кінці другого року вегетації вміст рухомих форм свинцю зменшився на 3,4 %, а в кінці четвертого року – на 39,0 %. Вміст кадмію на кінець другого року вегетації люцерни посівної (*Medicago sativa* L.) у ґрунті скоротився на 91,7 %, а на кінець четвертого року – на 96,7 %. Концентрація рухомих форм міді на другий рік вегетації люцерни посівної (*Medicago sativa* L.) у ґрунті не змінилася, а на четвертий рік – зменшилась на 98,5 %. Вміст рухомих форм цинку в кінці другого року вегетації люцерни посівної (*Medicago sativa* L.) у ґрунті не змінився, а в кінці четвертого року – зменшився на 87,9 % (рис. 3).

Зниження ерозійної небезпеки ґрунту при вирощуванні люцерни посівної (*Medicago sativa* L.) проявляється у зростанні частки агрономічно цінних агрегатів та водостійких агрегатів. Зокрема в кінці першого року вегетації люцерни посівної (*Medicago sativa* L.) частка агрономічно цінних агрегатів у ґрунті зростає на 6,7 % та досягає свого максимуму, оскільки в подальшому, впродовж наступних років вегетації люцерни посівної (*Medicago sativa* L.)

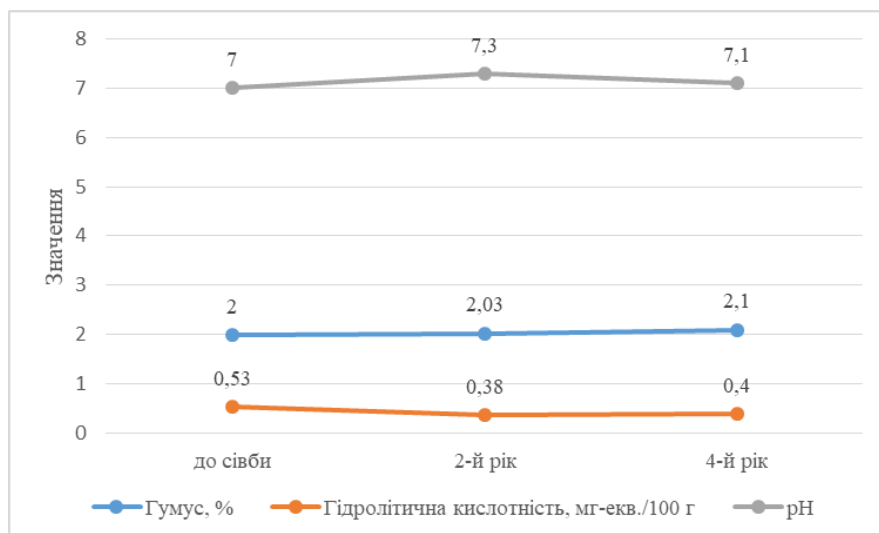


Рис. 1. Динаміка вмісту гумусу, реакції ґрунтового розчину pH та гідролітичної кислотності сірого опідзоленого ґрунту залежно від тривалості вирощування люцерни посівної (*Medicago sativa L.*)

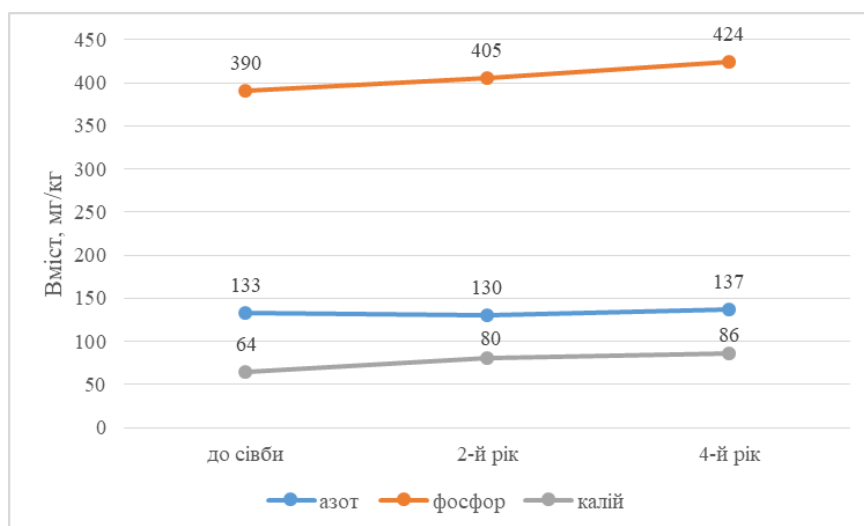


Рис. 2. Динаміка вмісту лужногідролізованого азоту, рухомого фосфору та обмінного калію у сірому опідзоленому ґрунті залежно від тривалості вирощування люцерни посівної (*Medicago sativa L.*)

ґрунт під нею стає більш брилистим, що призводить до деякого скорочення частки агрономічно цінних агрегатів ґрунту, проте їх кількість на кінець четвертого року вегетації залишилася більшою, ніж їх було до вирощування люцерни посівної (*Medicago sativa L.*). Приріст склав 4,9 %.

Подібна залежність була встановлена щодо частки водостійких агрегатів ґрунту після вирощування люцерни посівної (*Medicago sativa L.*). На кінець першого року вегетації їх частка зросла на 25,3 %, а на кінець четвертого року вегетації – на 32,2 % (рис. 4).

Важливими агроекологічними характеристиками ґрунту щодо протиерозійної його стійкості, є коефі-

цієнт структурності ґрунту та його об'ємна маса. В кінці першого року вегетації люцерни посівної (*Medicago sativa L.*) коефіцієнт структурності ґрунту зростає на 1,6, а на четвертий рік дещо зменшується, але залишається вищим, ніж до вирощування трави на 1,1.

Спостерігається зменшення величини об'ємної маси ґрунту за чотирирічний цикл вирощування люцерни посівної (*Medicago sativa L.*): в кінці першого року об'ємна маса ґрунту зменшилась на 10,0 %, в кінці другого – на 33,3 %, а на четвертий рік – дещо зросла, але залишилась на 5,0% меншою, ніж вона була до вирощування люцерни посівної (*Medicago sativa L.*). Оптимальною величиною

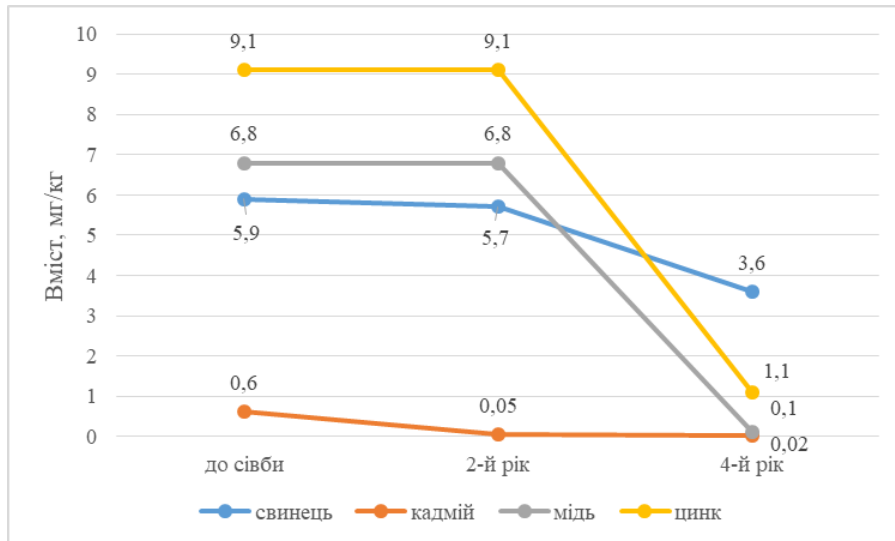


Рис. 3. Динаміка вмісту рухомих форм важких металів у сірому опідзоленому ґрунті залежно від тривалості вирощування люцерни посівної (*Medicago sativa L.*)

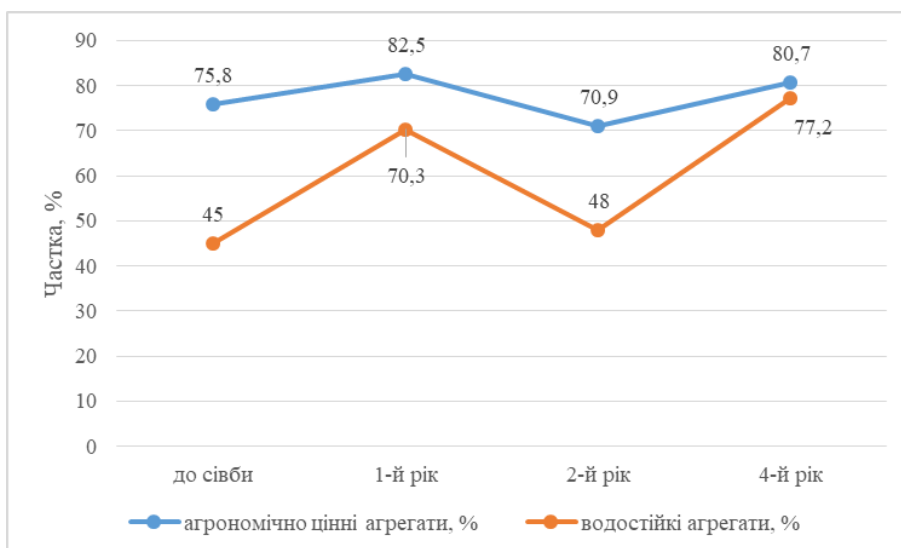


Рис. 4. Динаміка частки агрономічно цінних та водостійких агрегатів у сірому опідзоленому ґрунті залежно від тривалості вирощування люцерни посівної (*Medicago sativa L.*)

об'ємної маси ґрунту має бути не більше 1,2 г/см³. В кінці першого року вегетації люцерни посівної (*Medicago sativa L.*), а особливо в кінці другого – вона була дуже низька – 1,08–0,8 г/см³. Це призвело до дуже пухкого ґрунту. Проте в кінці четвертого року величина об'ємної маси ґрунту стабілізується на сприятливому рівні 1,14 г/см³ (рис. 5).

Отже, з отриманих результатів випливає, що посіви люцерни посівної (*Medicago sativa L.*) здатні за один рік вегетації суттєво поліпшувати протиерозійну стійкість ґрунтів. Проте недоцільно люцерну посівну (*Medicago sativa L.*), як багаторічну траву, вирощувати впродовж одного року, тому з метою підвищення протиерозійної стійкості ґрунтів люцерну посівну (*Medicago sativa L.*) доцільно вирощувати впродовж чотирьох років.

Наукові дослідження виконані за рахунок коштів гранту Президента України молодим вченим та докторам наук «Розробка фітомеліоративних заходів відновлення деградованих ґрунтів внаслідок бойових дій в контексті гарантування продовольчої та енергетичної безпеки України» (грантоотримувач Олександр Ткачук), наданого Національним фондом досліджень України.

Висновки. Люцерна посівна (*Medicago sativa L.*), як бобова багаторічна трава, за вирощування впродовж чотирьох років проявляє потужні фітомеліоративні властивості: підвищує вміст гумусу у сірому опідзоленому середньосуглинковому ґрунті на 0,1 %, лужногідролізованого азоту – на 2,9 %, рухомого фосфору – на 8,0 %, обмінного калію – на 25,6 %. Оптимізує реакцію ґрунтового розчину рН,

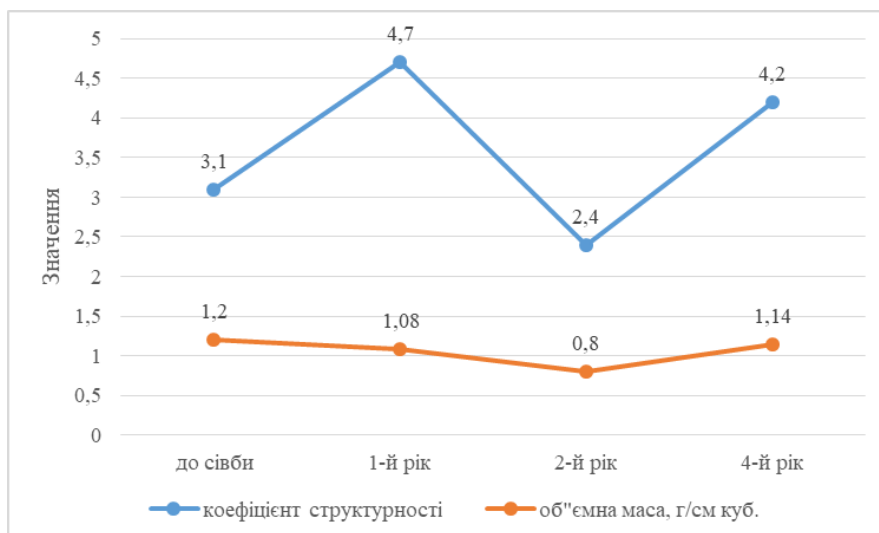


Рис. 5. Динаміка коефіцієнта структурності та об'ємної маси сірого опідзоленого ґрунту залежно від тривалості вирощування люцерни посівної (*Medicago sativa* L.)

збільшуючи її від 0,1 до 0,3 рН, досягаючи нейтральної реакції у діапазоні 7,1–7,3 рН та зменшує гідролітичну кислотність на 24,5–28,3 %. Проявляється зниження рухомості важких металів у ґрунті, що зменшує їх концентрації на 39,0 % – свинцю, на 96,7 % – кадмію, на 98,5 % – міді та на 87,9 % – цинку. Позитивна роль люцерни посівної (*Medicago sativa* L.) щодо підвищення протиерозійної стійкості ґрунту. Вона проявляється у зростанні частки агрономічно цінних агрегатів ґрунту на 4,9–6,7 %, водостійких агрегатів – на 32,2 %, коефіцієнта структурності ґрунту на 1,1–1,6. Додатковим позитивним чинником вирощування люцерни посівної є розуцільнення ґрунту, що проявляється у зниженні об'ємної маси ґрунту на 5,0–33,3 % з отриманням величини 1,14 г/см³.

Подальшим використанням одержаних результатів досліджень є вирощування люцерни посівної (*Medicago sativa* L.) на деградованих ґрунтах, які мають процеси дегуміфікації, трофічного збіднення на основні елементи живлення, ознаки підкислення, забруднені важкими металами, мають розвиток ерозійних процесів та переуцільнення ґрунту, що дозволить досягти їх нульової деградації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Балюк С. А., Медведєв В. В., Вортинцева Л. І., Шимель В. В. Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня. *Вісник аграрної науки*. 2017. Серпень. С. 5–11.
2. Медведєв В. В., Пліско І. В. Критерії і нормативи фізичної деградації орних ґрунтів (пропозиції до вдосконалення нормативної бази). *Вісник аграрної науки*. 2017. № 3. С. 11–17.
3. Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України. Мінагрополітики, Центроблдержродючість, НААНУ, ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського, НУБіП. Київ, 2010. 111 с.
4. Балюк С. А., Кучер А. В., Максименко Н. В. Ґрунтові ресурси України: стан, проблеми і стратегія ста-

лого управління. *Український географічний журнал*. 2021. № 2 (114). С. 3–11.

5. Hetman N., Karbivska U., Tkachuk O., Gamajunova V., Kurhak V., Stotska S., Kulyk R., Senyk I., Hryhoriv Y., Tytun O. The role of *Medicago sativa* L. in the ecologization of agricultural production. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2025. Vol. 26(8). P. 342–349.

6. Ткачук О. П., Вергеліс В. І. Наукове обґрунтування механізму зниження вмісту важких металів у ґрунті методом фітореMediaції бобовими багаторічними травами. *Екологічні науки*. 2023. № 4 (49). С. 131–137.

7. Ткачук О. П., Вradій О. І. Параметри кореневих систем бобових багаторічних трав як чинник впливу на агроecологічний стан ґрунту. *Екологічні науки*. 2023. № 1 (46). С. 153–161.

8. Балаєв А. Д., Ковальчук О. П., Дорoшкевич Н. Ф. Зміна вмісту та запасів гумусу в сірому лісовому ґрунті за застосування різних сидеральних культур як зеленого добрива. *Корми і кормовиробництво*. Вінниця, 2011. Вип. 70. С. 106–110.

9. Собко М. Г., Собко Н. А., Собко О. М. Роль багаторічних бобових трав у підвищенні родючості ґрунту. *Корми і кормовиробництво*. Вінниця, 2012. Вип. 74. С. 53–57.

10. Балюк С. А., Барахтян В. О., Лазебна М. Є. Методики визначення складу та властивостей ґрунтів. Х., 2004. С. 193–210.

11. Мойсейченко В. Ф., Єщенко В. О. Основи наукових досліджень в агрономії. К.: Вища школа, 1994. 334 с.

REFERENCES:

1. Baliuk, S. A., Medvediev, V. V., Vortyntseva, L. I., & Shymel, V. V. (2017). Suchasni problemy dehradatsii gruntiv i zakhody shchodo dosiahnennia neitralnoho yii rivnia. [Current problems of soil degradation and measures to achieve its neutral level]. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 5–11. [in Ukrainian].

2. Medvediev, V. V., & Plisko, I. V. (2017). Kryterii i normatyvy fizychnoi dehradatsii ornykh gruntiv (propozytsii do vdoskonalennia normatyvnoi bazy). [Criteria and standards for physical degradation of arable soils (proposals for improving the regulatory framework)]. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 3. 11–17. [in Ukrainian].

3. Natsionalna dopovid pro stan rodiuchosti gruntiv Ukrainy. [National report on the state of soil fertility in Ukraine]. *Minahropolityky, Tsentrobldierzhrodiuchist, NAANU, NNTs IHA im. O. N. Sokolovskoho, NUBiP*. Kyiv, 2010. 111. [in Ukrainian].

4. Baliuk, S. A., Kucher, A. V., & Maksymenko, N. V. (2021). Gruntovi resursy Ukrainy: stan, problemy i stratehiia staloho upravlinnia. [Soil resources of Ukraine: status, problems and sustainable management strategy]. *Ukrainskyi heohrafichniy zhurnal*. 2 (114). 3–11. [in Ukrainian].

5. Hetman, N., Karbivska, U., Tkachuk, O., Gamajunova, V., Kurhak, V., Stotska, S., Kulyk, R., Senyk, I., Hryhoriv, Y., & Tytun, O. (2025). The role of *Medicago sativa* L. in the ecologization of agricultural production. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 26 (8). 342–349. [in Poland].

6. Tkachuk, O. P., & Verhelis, V. I. (2023). Naukove obgruntuvannia mekhanizmu znyzhennia vmistu vazhkykh metaliv u grunti metodom fitoremediatsii bobovymu bahatorichnymy travamy. [Scientific substantiation of the mechanism of reducing the content of heavy metals in soil by phytoremediation with perennial leguminous grasses]. *Ekolohichni nauky*. 4 (49). 131–137. [in Ukrainian].

7. Tkachuk, O. P., & Vradii, O. I. (2023). Parametry korenykh system bobovykh bahatorichnykh trav yak chynnyk vplyvu na ahroekolohichni stan gruntu. [Parameters of root systems of perennial leguminous grasses as a factor of influence on the agroecological state of the soil]. *Ekolohichni nauky*. 1 (46). 153–161. [in Ukrainian].

8. Balaiev, A. D., Kovalchuk, O. P., & Doroshkevych, N. F. (2011). Zmina vmistu ta zapasiv humusu v siromu lisovomu grunti za zastosuvannia riznykh syderalnykh kultur yak zelenoho dobryva. [Change in the content and reserves of humus in gray forest soil with the use of various sideral crops as green manure]. *Kormy i kormovyrobnytstvo*. 70. 106–110. [in Ukrainian].

9. Sobko, M. H., Sobko, N. A., & Sobko, O. M. (2012). Rol bahatorichnykh bobovykh trav u pidvyshchenni rodiuchosti gruntu. [The role of perennial leguminous grasses in increasing soil fertility]. *Kormy i kormovyrobnytstvo*. 74. 53–57. [in Ukrainian].

10. Baliuk, S. A., Barakhtian, V. O., & Lazebna, M. Ye. (2004). Metodyky vyznachennia skladu ta vlastyvostei gruntiv. [Methods for determining the composition and properties of soils]. *Kh.* 193–210. [in Ukrainian].

11. Moiseichenko, V. F., & Yeshchenko, V. O. (1994). *Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii*. [Fundamentals of Scientific Research in Agronomy]. K.: Vyshcha shkola. 334. [in Ukrainian].

Ткачук О.П., Вергеліс В.І. Фітомеліорація деградованих ґрунтів вирощуванням люцерни посівної (*Medicago sativa* L.)

Мета. Провести комплексне дослідження фітомеліоративного потенціалу люцерни посівної щодо

вирішення найважливіших і найпоширеніших деградаційних процесів у ґрунтах України: зниження вмісту гумусу і поживних речовин, переуцільнення, заплывання і кіркоутворення, поширення водної і вітрової ерозії, підкислення, забруднення ґрунтів важкими металами.

Методи. Досліджено зміну агроекологічних показників ґрунту: вмісту гумусу, лужногідролізованого азоту, рухомого фосфору, обмінного калію, реакції ґрунтового розчину рН, гідролітичної кислотності, вмісту у ґрунті рухомих форм важких металів: свинцю, кадмію, міді та цинку; параметрів протиерозійної стійкості ґрунту: частки агрономічно цінних та водостійких агрегатів, коефіцієнта структурності та об'ємної маси сірого опідзоленого ґрунту залежно від тривалості вирощування люцерни посівної.

Результати. Люцерна посівна, як бобова багаторічна трава, за вирощування впродовж чотирьох років проявляє потужні фітомеліоративні властивості: підвищує вміст гумусу у сірому опідзоленому середньосуглинковому ґрунті на 0,1 %, лужногідролізованого азоту – на 2,9 %, рухомого фосфору – на 8,0 %, обмінного калію – на 25,6 %. Оптимізує реакцію ґрунтового розчину рН, збільшуючи її від 0,1 до 0,3 рН, досягаючи нейтральної реакції у діапазоні 7,1–7,3 рН та зменшує гідролітичну кислотність на 24,5–28,3 %. Проявляється зниження рухомості важких металів у ґрунті, що зменшує їх концентрації на 39,0 % – свинцю, на 96,7 % – кадмію, на 98,5 % – міді та на 87,9 % – цинку. Позитивна роль люцерни посівної щодо підвищення протиерозійної стійкості ґрунту. Вона проявляється у зростанні частки агрономічно цінних агрегатів ґрунту на 4,9–6,7 %, водостійких агрегатів – на 32,2 %, коефіцієнта структурності ґрунту на 1,1–1,6. Додатковим позитивним чинником вирощування люцерни посівної є розуцільнення ґрунту, що проявляється у зниженні об'ємної маси ґрунту на 5,0–33,3 % з отриманням величини 1,14 г/см³.

Висновки. Подальшим використанням одержаних результатів досліджень є вирощування люцерни посівної на деградованих ґрунтах, які мають процеси дегуміфікації, трофічного збіднення на основні елементи живлення, ознаки підкислення, забруднені важкими металами, мають розвиток ерозійних процесів та переуцільнення ґрунту, що дозволить досягти їх нульової деградації.

Ключові слова: багаторічні трави, гумус, азот, фосфор, калій, кислотність, важкі метали, агрофізичні властивості.

Ткачук О.П., Vergelis V.I. Phytoamelioration of degraded soils by growing alfalfa (*Medicago sativa* L.)

Objective: To conduct a comprehensive study of the phytoremediation potential of alfalfa seed to address the most important and common degradation processes in Ukrainian soils: reduction in humus and nutrient content, compaction, flooding and crusting, spread of water and wind erosion, acidification, and soil contamination with heavy metals.

Methods. The changes in agroecological soil parameters were studied: humus content, alkaline hydrolyzed nitrogen, mobile phosphorus, exchangeable potassium, soil solution pH, hydrolytic acidity, soil content of mobile forms of heavy metals: lead, cadmium, copper and zinc; soil erosion resistance parameters: the proportion of agronomically valuable and water-resistant aggregates, structural coefficient and

bulk density of gray podzolized soil depending on the duration of alfalfa cultivation.

Results. Alfalfa, as a perennial legume, exhibits powerful phyto-ameliorative properties when grown for four years: it increases the content of humus in gray podzolized medium loam soil by 0.1 %, alkaline hydrolyzed nitrogen by 2.9 %, mobile phosphorus by 8.0 %, exchangeable potassium by 25.6 %. It optimizes the pH reaction of the soil solution, increasing it from 0.1 to 0.3 pH, achieving a neutral reaction in the range of 7.1–7.3 pH, and reduces hydrolytic acidity by 24.5–28.3 %. There is a decrease in the mobility of heavy metals in the soil, which reduces their concentrations by 39.0 % for lead, 96.7 % for cadmium, 98.5 % for copper, and 87.9 % for zinc. The positive role of alfalfa in increasing soil erosion resistance. It is manifested in an increase

in the share of agronomically valuable soil aggregates by 4.9–6.7 %, water-resistant aggregates by 32.2 %, and the soil structural coefficient by 1.1–1.6. An additional positive factor in growing alfalfa is soil loosening, which is manifested in a decrease in soil bulk density by 5.0–33.3 % to a value of 1.14 g/cm³.

Conclusions. Further use of the obtained research results is the cultivation of alfalfa on degraded soils that have processes of dehumification, trophic depletion of basic nutrients, signs of acidification, are contaminated with heavy metals, have the development of erosion processes and soil compaction, which will allow achieving their zero degradation.

Key words: perennial grasses, humus, nitrogen, phosphorus, potassium, acidity, heavy metals, agro-physical properties.



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 27.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.04.2026

БРУХОФАГУСИ НА ЗЕРНОБОБОВИХ КУЛЬТУРАХ В УМОВАХ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ

ТРАНДАФІР І.В. – аспірант

orcid.org/0009-0004-9457-3527

Одеський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Збільшення площ вирощування зернобобових та кормових культур у сучасному землеробстві зумовлює формування складних агроценотичних взаємозв'язків між рослинами та комплексом шкідливих організмів. Особливе значення в системі кормовиробництва займають багаторічні бобові трави, зокрема люцерна (*Medicago sativa* L.), яка є однією з найцінніших кормових культур завдяки високій урожайності зеленої маси, значному вмісту білка та здатності покращувати родючість ґрунтів. Разом із тим насінницькі посіви люцерни часто зазнають пошкодження спеціалізованими шкідниками, серед яких важливе місце займають брухофагуси (*Bruchophagus roddi* Guss., *Bruchophagus gibbus* Boh. та *Bruchophagus platypterus* Walker.).

Bruchophagus gibbus Boh. (брухофагус) належить до родини Eurytomidae (ряд Hymenoptera) і є дрібною перетинчатокрылою комахою, личинки якої розвиваються всередині насіння бобових рослин. Основними рослинами-живителями цього виду вважаються люцерна, конюшина, лядвенець та інші представники родини Fabaceae. Пошкодження насіння відбувається в період формування бобів, коли самки відкладають яйця всередину молодих насінин. Личинка, розвиваючись у насінні, живиться його тканинами, що призводить до значного зниження маси, погіршення посівних якостей та втрати схожості насіннєвого матеріалу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Отримання високоякісних врожаїв при одночасному розв'язанні проблеми екологічної безпеки – найважливіший чинник у розвитку агропромисловості України [1, 2]. Найефективнішою системою господарювання є низькозатратна, енерго- та ресурсоощадна, що зумовлена вирощуванням багаторічних бобових трав [3]. Розширення площ посіву під бобовими травами зменшить антропогенне навантаження на агроєкосистему та забезпечить збереження навколишнього середовища [4].

У сучасних умовах господарювання виробництво насіння люцерни стає одним з найбільш рентабельних напрямів. Тому останнім часом спостерігається зростання інтересу багатьох агропромисловців до вирощування на насіння цієї важливої бобової культури. Водночас, варто зазначити, що посівні площі під люцерною в нашій країні за останні десятиріччя істотно скоротилися, а їх розширення значною мірою лімітується недостатнім виробництвом насіння. Серед низки чинників, що обмежують реалізацію потенційної продуктивності сучасних сортів, важливу роль відіграють фітофаги. З поміж яких

найбільш стали небезпеку насіннєвим посівам спричиняє брухофагус (*Bruchophagus roddi* Guss.), який є спеціалізованим фітофагом, що впливає безпосередньо на насіннєву продуктивність люцерни. Ступінь пошкодження насіння обумовлюється умовами навколишнього середовища та харчовою цінністю сорту [5].

Пошкоджує рослини люцерни *Bruchophagus roddi* Guss., що розвивається у середині насіння, залишаючи від нього одну оболонку, яка відвіюється при обмолоті та спричиняє помітне зниження виходу повноцінного насіння [3, 4]. За високої температури та низької відносної вологості повітря шкідливість збільшується внаслідок того, що підвищені потреби для фітофага у вологості компенсуються більш інтенсивним живленням генеративними органами рослин. Відмічено, що шкідливість полягає у зменшенні маси врожаю, погіршення його якості, а у зв'язку з цим і товарності. Відсутність компенсаторних реакцій рослин на пошкодження личинкою *Bruchophagus roddi* Guss. дає змогу оцінити втрати за відсотком пошкодження насіння. Втрати врожаю від фітофага в середньому становлять від 17 до 30 %, а в сприятливі роки для розмноження шкідника, можуть сягати 50 % [6].

За результатами багаторічних досліджень в умовах Правобережного Лісостепу експериментально доведено, що *Bruchophagus roddi* Guss. завдає значної шкоди посівам люцерни. Встановлено, що загальні втрати врожаю насіння від даного шкідника становлять 7,9-12,9 % [7].

У сучасних агроландшафтах бобові культури часто вирощують у безпосередній просторовій близькості одна до одної. Зокрема, посіви люцерни нерідко розміщуються поряд із посівами гороху (*Pisum sativum* L.), який є важливою зернобобовою культурою продовольчого та кормового призначення. Така структура посівних площ може створювати передумови для міграції спеціалізованих шкідників між різними культурами родини Fabaceae. У зв'язку з цим виникає питання щодо потенційної можливості переходу брухофагуса – *Bruchophagus gibbus* на інші бобові культури, зокрема горох, особливо за умов високої чисельності популяції шкідника або дефіциту основних кормових рослин.

Хоча горох не відноситься до типових рослин-живителів цього виду, близькість морфологічних та біохімічних характеристик насіння бобових культур може створювати потенційні передумови для тимчасового використання цієї культури як субстрату для розвитку личинок. У випадку такого переходу можливе формування нового елементу шкідливого

комплексу в агроценозах бобових культур, що може негативно впливати на якість насіннєвого матеріалу та продуктивність посівів гороху [8].

Мета дослідження. З огляду на це, актуальним є аналіз біологічних особливостей *Bruchophagus gibbus*, його екологічної пластичності та потенційної здатності до розширення кормової бази в умовах сучасних агроєкосистем. Вивчення можливого впливу цього шкідника на посіви гороху, розміщені поруч із люцерною, має важливе значення для прогнозування фітосанітарного стану посівів та удосконалення системи інтегрованого захисту бобових культур.

Матеріали та методика. Дослідження проводились протягом 2024–2025 рр. на полях господарств Одеської області. Вивчалися насінницькі посіви люцерни та сусідні посіви гороху.

Методика включала: моніторинг ентомофауни – відбір зразків насіння люцерни та гороху, спостереження за появою імаго та характером пошкоджень; лабораторні дослідження – визначення частки ураженого насіння, фіксація типу отворів та морфологічних ознак личинок і дорослих комах; аналіз впливу – оцінка потенційного впливу пошкодження на схожість та врожайність насіння гороху та статистичну обробку даних – розрахунок середніх значень ураження та порівняння результатів між роками.

Метою дослідження протягом 2024–2025 рр в умовах Одеської області було проведення аналізу біологічних передумов можливого пошкодження насіння гороху брухофагусом *Bruchophagus gibbus* за умов просторової близькості посівів люцерни, а також оцінка потенційних ризиків формування нового шкідливого комплексу в агроценозах бобових культур.

Залітературними даними, перелікрослин, насіння яких пошкоджується брухофагусом (*Bruchophagus gibbus* Boh.), включає: конюшину лучну (*Trifolium pratense* L.); конюшину повзучу (*Trifolium incarnatum* L.); астрагал (*Astragalus glycyphyllos* L.); лядвенець рогатий (*Lotus corniculatus* L.); люцерну (*Medicago sativa* L.); люцерну шорстку (*Medicago hispida*).

Вперше в Україні наявність брухофагусу в насінні люцерни була встановлена Полтавською сільськогосподарською дослідною станцією. У 1927–1928 роках зараженість насіння люцерни на полях Полтавщини становила від 1,3 до 25 %.

Як і у конюшини, личинка насіннеїда розвивається всередині насінини. Пошкоджене насіння відрізняється від здорового: більшою порожнистістю та бурим забарвленням.

Під час виходу дорослої комахи в оболонці насінини та в стінці боба прогризається круглий отвір.

У Європі цей вид уперше описав С. N. Boheman у 1835 році під назвою *Eurytoma gibba*. Пізніше, у 1878 році, G. Maug відніс його до роду *Bruchophagus*. У Північній Америці комаху описав L. O. Howard (1879) як *Eurytoma funebris*, вважаючи її паразитом іншого виду комах. Лише у 1896–1898 рр. A. D. Hopkins довів, що ця комаха є рослиноїдним шкідником насіння конюшини, а не паразитом інших комах.

Брухофагус *Bruchophagus gibbus* Boh. належить до дрібних перетинчастокрилих комах родини

Eurytomidae. Це спеціалізований фітофаг, розвиток якого тісно пов'язаний із насінням бобових рослин. Дорослі комахи характеризуються незначними розмірами тіла, темним забарвленням і добре вираженим статевим диморфізмом, що проявляється у формі черевця та будові вусиків.

Довжина тіла самки становить 1,3–2,2 мм. Тіло компактне, відносно міцне, злегка сплюснене у дорсовентральному напрямку. Основне забарвлення комахи чорне або темно-буре, іноді з легким металевим блиском. Ноги, особливо гомілки та лапки, мають буро-жовте або жовтувато-коричневе забарвлення, що контрастує з темним кольором тіла.

Голова відносно велика, з добре розвиненими складними очима. Лицева частина голови має характерну зморшкувату або шорсткувату структуру, що пов'язано з наявністю численних дрібних складок і мікроскульптури кутикули. Така поверхня є типовою ознакою для багатьох представників родини *Eurytomidae*.

Передньоспинка і середньоспинка характеризуються вираженою ямчастою (пунктурною) скульптурою, що утворена густо розташованими заглибленнями різного розміру. Ця особливість надає грудному відділу матового вигляду та сприяє підвищенню механічної міцності покривів.

Крила прозорі, з тонкою жилковою системою, характерною для дрібних перетинчастокрилих. Вони добре розвинені та забезпечують активне пересування комахи на невеликій відстані між рослинами.

Черевце самки яйцеподібної форми, дещо видовжене, гладке та блискуче. Воно складається з декількох сегментів, які щільно прилягають один до одного. На кінці черевця розташований яйцеклад, за допомогою якого самка проколює оболонку молодих насінин і відкладає яйця всередину. Завдяки такій будові самка здатна ефективно використовувати насіння бобових рослин як субстрат для розвитку потомства.

Самці *Bruchophagus gibbus* дещо менші за самок. Довжина їхнього тіла становить 1,2–2,0 мм. За загальним забарвленням і будовою тіла вони подібні до самок: тіло також темне, ноги буро-жовті, а грудний відділ має характерну пунктуровану скульптуру.

Водночас самці мають низку морфологічних відмінностей. Черевце у них більш округле та дещо коротше ніж у самок. Це пов'язано з відсутністю яйцеклада та відмінностями у функціональному призначенні черевного відділу.

Найбільш помітною відмінністю є будова вусиків. У самців вони довші та більш розвинені, ніж у самок, і часто мають характерні довгі волоски або щетинки на окремих члениках. Такі сенсорні структури відіграють важливу роль у пошуку самок та орієнтації в навколишньому середовищі, оскільки забезпечують сприйняття хімічних сигналів (феромонів) та інших подразників.

Дорослі особини *Bruchophagus gibbus* характеризуються типовою для дрібних паразитичних перетинчастокрилих будовою тіла, яке складається

з трьох основних відділів: голови, грудей і черевця. Голова несе ротовий апарат гризучого типу, складні очі та вусики. Грудний відділ утворений трьома сегментами, до яких прикріплені дві пари крил і три пари ніг. Черевце містить внутрішні органи та у самок закінчується яйцекладом.

Невеликі розміри тіла, темне забарвлення та здатність до активного пересування серед рослинного покриву роблять цих комах малопомітними у природних умовах. Разом з тим їхній життєвий цикл тісно пов'язаний із розвитком насіння бобових рослин, що зумовлює значну господарську шкодо-чинність виду у насінницьких посівах люцерни та інших бобових культур.

Однією з важливих біологічних особливостей брухофагуса (*Bruchophagus gibbus* Boh.) є здатність його личинок зимувати всередині насіння рослин-господарів. Личинки можуть перебувати у стані тривалої діпаузи, яка іноді триває до трьох років, не завершуючи свого розвитку до появи сприятливих умов. Така адаптивна особливість значно підвищує виживання виду та сприяє його поширенню разом із насіннєвим матеріалом, особливо у насінницьких господарствах.

У зв'язку з цим можна висунути припущення, що популяції *Bruchophagus gibbus*, які сформувалися у попередні роки в посівах люцерни, могли зберігатися у насінні, зібраному в 2022–2023 роках, і частково залишатися у стані діпаузи до 2024–2025 років. Під час висіву такого насіння або використання його в господарстві можливе поступове відродження імаго протягом кількох наступних вегетаційних сезонів. Це створює потенційні умови для повторного формування популяції шкідника навіть за відсутності значного ураження в попередній рік.

За умов сучасної структури посівних площ, коли посіви люцерни часто розміщуються поблизу посівів гороху (*Pisum sativum* L.), імаго, що відроджуються з перезимувалих личинок, можуть мігрувати на інші культури родини Fabaceae. Хоча горох не є типовою рослиною-живителем *Bruchophagus gibbus*, морфологічна подібність насіння бобових культур та близькі строки формування бобів можуть створювати передумови для випадкового або тимчасового використання гороху як субстрату для розвитку личинок.

Таким чином, у 2024–2025 роках у господарствах, де: вирощуються насінницькі посіви люцерни, використовується насіннєвий матеріал попередніх років, посіви гороху розташовані поруч із люцерною, існує потенційний ризик часткового переходу популяції насіннеїда на посіви гороху. У такому випадку

пошкодження може проявлятися у вигляді поодиноких уражених насінин з характерними округлими отворами виходу імаго.

В результаті наших досліджень проведених в ДП «Експериментальна база «ДАЧНА» СГІ – НЦНС» на дослідних ділянках посівів гороху про вивченні ентомофауни фіксували локальні ділянки ураження даним видом і як результат пошкодження ним насіння гороху (табл.1).

Наочне відображення отриманих результатів наведено на діаграмі (рис. 1), де представлено співвідношення частки пошкодженого насіння гороху та потенційного впливу пошкодження на показники схожості й урожайності у 2024–2025 роках.

Як видно з діаграми, у 2024 році рівень пошкодження насіння був вищим і становив 8,4 %, що могло спричинити зниження схожості до 10,5 % та потенційне зменшення урожайності на 5,5 %. У 2025 році рівень ураження був нижчим (4,7 %), відповідно зменшився і можливий негативний вплив на схожість (8,5 %) та урожайність (2,5 %). У середньому за роки досліджень частка пошкодженого насіння становила 6,55 %, що свідчить про локальний, але стабільний характер пошкодження насіння гороху.

За результатами спостережень встановлено, що посіви гороху (*Pisum sativum* L.) розміщені безпосередньо поруч із посівами люцерни (*Medicago sativa* L.). У попередні роки в насінницьких посівах люцерни відмічався підвищений (2024 р.) та середній (2025 р.) рівень ураження конюшинним висока чисельність брухофагуса *Bruchophagus gibbus* Boh., що свідчить про наявність сформованої популяції цього виду в агроценозі.

Відомо, що імаго *Bruchophagus gibbus* здатні активно мігрувати між рослинами родини Fabaceae, особливо у період формування бобів і насіння. Просторова близькість культур створює сприятливі умови для переміщення комах між різними видами бобових рослин, що потенційно може призводити до розширення кормової бази шкідника.

З огляду на біологічні особливості виду, зокрема здатність личинок розвиватися всередині насіння бобових рослин, а також перезимовувати у насінні та перебувати у стані тривалої діпаузи, можна припустити, що частина імаго, які відродилися з ураженого насіння люцерни, могла мігрувати на сусідні посіви гороху. У період формування насіння гороху самки потенційно могли здійснювати випадкове або експериментальне відкладання яєць у насіння цієї культури.

Виявлені на насінні гороху дрібні округлі отвори невеликого діаметра можуть свідчити про вихід дріб-

Таблиця 1 – Потенційний вплив частки пошкодженого насіння гороху на господарські показники, Одеська область

Рік дослідження	Рівень ураження	Частка пошкодженого насіння, %	Потенційний вплив на показники, %	
			схожість	урожайність
2024	підвищений	8,4	10,5	5,5
2025	середній	4,7	8,5	2,5
середнє		6,55	9,5	4,0

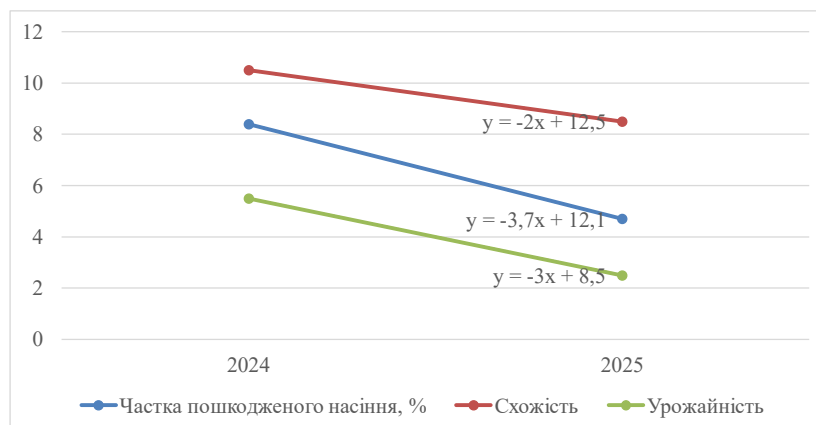


Рис. 1. Динаміка частки пошкодженого насіння гороху та потенційного впливу пошкодження на схожість і урожайність у 2024–2025 рр. (Одеська область)

них перетинчастокрилих комах, що відрізняється від типових пошкоджень, спричинених гороховим зерноїдом (*Bruchus pisorum* L.), для якого характерні значно більші вихідні отвори. Такий характер пошкодження узгоджується з морфологічними ознаками отворів, які утворюються під час виходу імаго дрібних представників родини Eurytomidae.

Одже, можна висунути гіпотезу щодо потенційного залучення насіння гороху до трофічної бази *Bruchophagus gibbus*, що може проявлятися у вигляді поодиноких або локальних пошкоджень насіння.

Також, отримані результати можуть свідчити про можливу екологічну пластичність *Bruchophagus gibbus* та його потенційну здатність використовувати альтернативні види рослин родини Fabaceae, що має важливе значення для прогнозування фітосанітарного стану посівів бобових культур у сучасних агроєкосистемах Одеської області.

Ймовірний рівень ураження, з огляду на специфічність кормової культури, найімовірніше буде невисоким і локальним, однак навіть незначна може негативно впливати на посівні якості та схожість насіннєвого матеріалу гороху, особливо у насінницьких посівах.

Отже, здатність личинок *Bruchophagus gibbus* до тривалої діпаузи та їх розвиток у насінні створюють передумови для довготривалого збереження популяції шкідника в агроєкосистемах, що підвищує ризик його поширення на інші бобові культури, включаючи горох, у наступні роки після формування первинного осередку у посівах люцерни.

Висновки. *Bruchophagus gibbus* Boh. є спеціалізованим фітофагом насіння бобових культур, здатним до тривалої діпаузи та збереження популяцій у насінні протягом кількох років. Просторове сусідство посівів люцерни та гороху в Одеській області створює умови для міграції насінної їди на горох. Пошкодження насіння гороху дрібними перетинчастокрилими комахами спостерігалось локально, зі збереженням невисокого відсотка ураження (у середньому 6,55 %). Навіть незначна частка пошкодженого насіння може негативно впливати на схожість та посівні якості насіннєвого матеріалу.

Отримані результати підкреслюють необхідність постійного моніторингу насіннєвих посівів бобових культур та розроблення інтегрованих заходів їх захисту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Крутякова В.І. Інноваційні підходи до створення системи виробництва біологічних засобів захисту рослин в Україні. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 12. С. 54–58. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201912-08>.
- Фурдичко О.І. Роль агроєкології у формуванні збалансованої агросфери. *Агроєкологічний журнал*. 2017. № 2. С. 7–14. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220026>.
- Цимбал Я.С., Кушук М.А. Продуктивність і кормова цінність люцерни порівняно з іншими багаторічними травами. *Вісник аграрної науки*. 2019. № 10. С. 24–31. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201910-04>.
- Телекало Н.В., Мельник М.В. Кормова продуктивність люцерни посівної залежно від агроєкологічних прийомів вирощування. *Агроєкологічний журнал*. 2020. № 2. С. 76–83. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2020.207684>.
- De Barro J. Living with the enemy: managing lucerne seed wasp in lucerne seed crops. *Rural Industries Research and Development Corporation*. 2001. P. 101-105.
- Whitmer T., Ditterline R., Blodgett S. et al. Alfalfa Grown For Seed. 2003. 178 p.
- Рудська Н. О. Шкідливість люцернової товстоножки (брухофагус) у посівах люцерни в Правобережному Лісостепу України. *Корми і кормовиробництво*. 2017. Вип. 83. С. 73–78.
- Терновий Ю. В., Городиська І. М., Ліщук А. М., Драга М. Я. В. Вдовиченко А. В. Вплив біологічних препаратів на урожайність та посівні якості гороху посівного (*Pisum sativum* L.) за органічного насінництва. *Агроєкологічний журнал*. 2021. № 3. С.72–81.

REFERENCES:

- Krutiakova, V.I. (2019). Innovative approaches to creating a system of production of biological plant protection products in Ukraine [Innovatsiini pidkholdy do stvorennia systemy vyrobnytstv biolohichnykh zasobiv

zakhystu roslyn v Ukraini]. *Visnyk ahrranoi nauky*, 12, 54–58. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201912-08> [in Ukrainian].

2. Furdychko, O.I. (2017). Rol ahroekolohii u formuvanni zbalansovanoi ahrosfery [The role of agroecology in the formation of a balanced agrosphere]. *Ahroekolohichniy zhurnal*, 2, 7–14. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220026> [in Ukrainian].

3. Tsybmal, Ya.S., & Kushchuk, M.A. (2019). Produktyvni i kormova tsinnist liutserny porivniani z inshymy bahatorichnymy travamy [Productivity and feed value of alfalfa compared with other perennial grasses]. *Visnyk ahrranoi nauky*, 10, 24–31. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201910-04> [in Ukrainian].

4. Telekalo, N.V., & Melnyk, M.V. (2020). Kormova produktivni liutserny posivnoi zalezho vid ahroekolohichnykh pryomiv vyroshchuvannya [Forage productivity of alfalfa depending on agroecological cultivation methods]. *Ahroekolohichniy zhurnal*, 2, 76–83. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2020.207684> [in Ukrainian].

5. De Barro, J. (2011). Living with the enemy: managing lucerne seed wasp in lucerne seed crops. *Rural Industries Research and Development Corporation*, 101-105.

6. Whitmer, T., Ditterline, R., & Blodgett, S. (2003). Alfalfa Grown For Seed. 178.

7. Rudska, N.O. (2017). Shkidlyvist liutsernovoi tovs-tonizhky (brukhofahus) u posivakh liutserny v Pravoberezhnomu Lisostepu Ukrainy [Harmfulness of the alfalfa mealybug (*Bruchophagus*) in alfalfa crops in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Kormy i kormovyrobnytstvo*, 83, 73–78 [in Ukrainian].

8. Ternovy, Yu.V., Horodyska, I.M., Lishchuk, A.M., Draga, M.Ya. V. & Vdovichenko, A.V. Vplyv biolohichnykh preparativ na urozhainist ta posivni yakosti horokhu posivnoho (*Pisum sativum* L.) za orhanichnoho nasinnytstva [The influence of biological preparations on the yield and sowing quality of field peas (*Pisum sativum* L.) under organic seed production]. *Ahroekolohichniy zhurnal*, 3, 72–81 [in Ukrainian].

Трандафір І.В. Брухофагуси на зернобобрових культурах в умовах одеської області

Мета дослідження. Вивчення впливу особливостей брухофагуса (*Bruchophagus gibbus* Boh.) на посіви гороху, розміщених поруч із люцерною. **Матеріали та методика.** Дослідження проводились протягом 2024–2025 рр. на полях господарств Одеської області. Вивчалися насінницькі посіви люцерни та сусідні посіви гороху. Методика включала: моніторинг ентомофауни – відбір зразків насіння люцерни та гороху, спостереження за появою імаго та характером пошкоджень; лабораторні дослідження – визначення частки ураженого насіння, фіксація типу отворів та морфологічних ознак личинок і дорослих комах; аналіз впливу – оцінка потенційного впливу пошкодження на схожість та врожайність насіння гороху та статистичну обробку даних – розрахунок середніх значень ураження та порівняння результатів між роками. **Результати.** За результатами спостережень встановлено, що посіви гороху (*Pisum sativum* L.) розміщені безпосередньо поруч із посівами люцерни (*Medicago sativa* L.). У попередні роки в насінницьких посівах люцерни відмічався підвищений (2024 р.) та середній (2025 р.) рівень

ураження конюшиним висока чисельність брухофагуса *Bruchophagus gibbus* Boh., що свідчить про наявність сформованої популяції цього виду в агроценозі. У 2024 році рівень пошкодження насіння був вищим і становив 8,4 %, що могло спричинити зниження схожості до 10,5 % та потенційне зменшення урожайності на 5,5 %. У 2025 році рівень ураження був нижчим (4,7 %), відповідно зменшився і можливий негативний вплив на схожість (8,5 %) та урожайність (2,5 %). У середньому за роки досліджень частка пошкодженого насіння становила 6,55 %, що свідчить про локальний, але стабільний характер пошкодження насіння гороху. Здатність личинок *Bruchophagus gibbus* до тривалої діапаузи та їх розвиток у насінні створюють передумови для довготривалого збереження популяції шкідника в агро-екосистемах, що підвищує ризик його поширення на інші бобові культури, включаючи горох, у наступні роки після формування первинного осередку у посівах люцерни. **Висновки.** *Bruchophagus gibbus* Boh. є спеціалізованим фітофагом насіння бобових культур, здатним до тривалої діапаузи та збереження популяції у насінні протягом кількох років. Просторове сусідство посівів люцерни та гороху в Одеській області створює умови для міграції насіннеїда на горох. Пошкодження насіння гороху дрібними перетинчастокрилими комахами спостерігалося локально, зі збереженням невисокого відсотка ураження (у середньому 6,55 %). Навіть незначна частка пошкодженого насіння може негативно впливати на схожість та посівні якості насіннєвого матеріалу. Отримані результати підкреслюють необхідність постійного моніторингу насіннєвих посівів бобових культур та розроблення інтегрованих заходів їх захисту.

Ключові слова: ентомофауна, *Bruchophagus gibbus* Boh., горох (*Pisum sativum* L.), рівень ураження

Трандафір І.В. Bruchophagus on grain crops in the conditions of the Odessa region

Purpose of the study. Study of the impact of the characteristics of the bruchophagus (*Bruchophagus gibbus* Boh.) on pea crops placed next to alfalfa. **Materials and methods.** The research was conducted during 2024–2025 in the fields of farms in the Odessa region. Alfalfa seed crops and neighboring pea crops were studied. The methodology included: monitoring of entomofauna – sampling of alfalfa and pea seeds, observation of the appearance of adults and the nature of damage; laboratory studies – determining the proportion of affected seeds, recording the type of holes and morphological features of larvae and adult insects; impact analysis – assessing the potential impact of damage on the germination and yield of pea seeds and statistical data processing – calculating the average damage values and comparing results between years. **Results.** According to the results of observations, it was found that pea crops (*Pisum sativum* L.) are located directly next to alfalfa crops (*Medicago sativa* L.). In previous years, alfalfa seed crops showed an increased (2024) and average (2025) level of damage by the clover leaf beetle *Bruchophagus gibbus* Boh., which indicates the presence of an established population of this species in the agrocenosis. In 2024, the level of seed damage was higher and amounted to 8.4%, which could cause a decrease in germination to 10.5% and a potential decrease in yield by 5.5%. In 2025, the level of damage was lower (4.7%), respectively, the negative impact on

germination (8.5%) and yield (2.5%) decreased. On average, over the years of research, the proportion of damaged seeds was 6.55%, which indicates a local but stable nature of damage to pea seeds. The ability of *Bruchophagus gibbus* larvae to undergo prolonged diapause and their development in seeds create the prerequisites for the long-term preservation of the pest population in agroecosystems, which increases the risk of its spread to other legumes, including peas, in the following years after the formation of the primary focus in alfalfa crops. **Conclusions.** *Bruchophagus gibbus* Boh. is a specialized phytophagous legume seed eater capable of long diapause and preservation of popula-

tions in seeds for several years. The spatial proximity of alfalfa and pea crops in the Odessa region creates conditions for the migration of the seed eater to peas. Damage to pea seeds by small hymenoptera insects was observed locally, with a low percentage of damage (on average 6.55%). Even a small proportion of damaged seeds can negatively affect the germination and sowing quality of seed material. The results obtained emphasize the need for constant monitoring of legume seed crops and the development of integrated measures for their protection.

Key words: entomofauna, *Bruchophagus gibbus* Boh., pea (*Pisum sativum* L.), level of damage



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 27.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.04.2026

ПОТЕНЦІАЛ ОТАВНО-СИДЕРАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ РЕДЬКИ ОЛІЙНОЇ З ПОЗИЦІЇ КОНТРОЛЮВАННЯ ҐРУНТОВОГО БАНКУ НАСІННЯ БУР'ЯНІВ

ЦИЦЮРА Я.Г. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент
orcid.org/0000-0002-9167-833X
Вінницький національний аграрний університет

Постановка проблеми. Бур'яни залишаються однією з основних причин, які знижують рівень продуктивності всіх без виключення сільськогосподарських культур. Загально визнано, що бур'яни – це той чинник, який пригнічує культурні рослини, ускладнює догляд за ними, висушує і виснажує ґрунт, знижує ефективність добрив, ускладнює обробіток, перешкоджає збиранню врожаю, знижує врожайність, сприяє поширенню шкідників і хвороб, гальмує впровадження прогресивних технологій, погіршує якість продукції та підвищує її вартість [1, 2].

Питання контролю рівня забур'яненості залишається гострою проблемою для України з огляду на високий потенціал запасу їх насіння в ґрунтах більшості сільськогосподарських територій України та світу, який визначає так званий ґрунтовий банк насіння [3]. Обсяг банку насіння бур'янів є ресурсом постійного поновлення видової структури забур'янення та рясності бур'янового угруповання [4]. Відмічається, що формування банку насіння може мати різноманітний характер від постійного акумулюючого типу з динамічним зростанням до спадного типу зі сталим зниженням кількісних його обсягів [5, 6].

Доцільним для агротехнологічної практики з позиції успішного контролю забур'яненості є варіант сталої понижуючої динаміки розвитку і формування банку насіння. З однієї сторони це вказує на успішність контролю бур'янів у ценозах відповідних культур з позиції зниження видової присутності до генеративної стадії, що унеможливує поповнення банку насінням нової генерації [7–9].

На сьогодні розглядаються різноманітні заходи регулювання чисельності та структури ґрунтового банку насіння, який полягає у зменшенні надходження, виживання та життєздатності насіння бур'янів завдяки комплексу біологічних і агротехнічних механізмів [10, 11]. Сидерати, при цьому, розглядаються як екологічно безпечний інструмент регулювання банку насіння бур'янів у ґрунті [12, 13] проте аспект такого регулювання має цілий ряд дискусійних та спірних моментів, особливо для територій інтенсивного сільськогосподарського використання [14, 15], що актуалізує проведені нами дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Встановлено, що редька олійна, як і більшість хрестоцвітних видів рослин маю біологічну здатність до отавного відростання за відповідних умов температури та зволоження впродовж 30–50 діб після

скошування [16, 17]. Оцінка продуктивності такого отавного відростання в умовах Вінниччини на сірих лісових ґрунтах засвідчила біопродуктивність сформованої отави залежно від фенологічної фази скошування редьки олійної в інтервалі 4,57–12,52 т/га у сирій речовині та 0,55–1,25 т/га у сухій речовині [17]. Разом із тим редька олійна належить до групи фіторекультиваційних та фіторемедіаційних культур з широкостроковим використанням як сидерат у багатьох ґрунтово-кліматичних зонах [16, 18]. При цьому, її сидеральна біопродуктивність як з позиції обсягів сформованої біомаси, так і з позиції біохімічного складу листостеблової маси вивчалась та доведена для умов нестійкого зволоження саме на сірих лісових ґрунтах [19, 20]. Проте, оцінки її у форматі біологічного регулятора загального потенціалу ґрунтового банку насіння у ракурсі повторного отавного відростання не проводились.

Мета статті. Оцінка ефективності отави редьки олійної у варіанті її сидерального використання для контролю потенціалу ґрунтового банку насіння бур'янів на сірих лісових ґрунтах в умовах нестійкого зволоження.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження були складовою частиною вивчення різноваріантного сидерального використання редьки олійної [17] та проводились в зоні північної підпровінції правобережної центральної високої провінції Лісостепу (ЛС₂₁) в період 2022–2025 рр. на дослідному полі Вінницького національного аграрного університету (N 49°11'31", E 28°22'16") на сірих лісових ґрунтах з такими показниками агрохімічних властивостей: вміст гумусу 2,68% легкогідролізного азоту 81,5 мг/кг, рухомого фосфору (за Чиріковим) 176,1 мг/кг, обмінного калію (за Чиріковим) 110,8 мг/кг за рН_{KCl} 5,8.

Дослідження проводились за використання редьки олійної як у форматі культури основного строку вирощування, так і послідууючого отавного варіанту вирощування та використання сорту Журавка за норми висіву 2,0 млн. схожих насінин/га з шириною міжрядь 30 см на фоні без добрив з метою визначення ефективності заходу у зниженні потенційної забур'яненості ґрунту на мінімально вартісній основі.

Повторність у досліді була чотирьохразова з систематичним у два яруси розміщення варіантів та площею облікової ділянки 25 м².

Для формування повноцінної отавності відповідно до рекомендацій [21] була встановлена на висоті до 12 см.

Для оцінки впливу отавно-сидерального використання редьки олійної на формування ґрунтового банку насіння бур'янів було проведено за 4 варіантів скошування у такі фенологічні фази: фаза стеблуння (ВВСН 38–40), фаза бутонізації (ВВСН 50–52), фаза цвітіння (ВВСН 60–62), фаза зеленого стручка (ВВСН 74–76), фаза жовтого стручка (ВВСН 83–85) у рамках досліджень формування отавної продуктивності агроценозів редьки олійної [17].

Облік сформованої надземної отавно-сидеральної маси проводили методом облікових ділянок (1 м² по 4 у кожному повторенні) шляхом зважування [22].

Ідентифікація феностадійного розвитку редьки олійної проводили за використання шкали ВВСН [23]. Вміст сухої речовини у сформованій отавній масі визначали стандартним термостатно-ваговим методом з ексикацією [24].

Для оцінки редуруючого потенціалу використання редьки олійної у поєднанні її функцій як полезаймаючої культури та послідуєчого сидерального використання її отавної маси (бінарний варіант використання [25]) було застосовано дослідний підхід порівняння з формуванням банку насіння після посівів кукурудзи на зерно на тому ж дослідному полі, як однієї з культур, який має негативну характеристику щодо формування динаміки ґрунтового банку насіння бур'янів за зональних технологій його вирощування в помірно-континентальних кліматичних зонах [26].

У всі роки вирощувався середньоранній гібрид Р8834 (ФАО 280) з міжряддям 60 см нормою висіву 75000 шт./га схожих насінин за дотримання зональної технології вирощування культури.

Рослини отави віком 60 діб у кожному варіанті досліді скошували та подрібнювали роторною косаркою-подрібнювачем FX-315 (Канада), після чого заробляли важкими дисковими боронами (BDN-2.4) на глибину 14–16 см. Поле після кукурудзи після його збирання дискували на цю ж глибину тими ж важкими дисковими боронами для формування умов єдиної відміни у впливу на ґрунтовий профіль та характер потенційного переміщення у ньому насіння бур'янів відповідно до вимог обліку та формування насінневого ґрунтового банку [4].

Оцінка потенційної забур'яненості у виразі кількості насіння бур'янів у банку насіння проводили за рахунок відбору ґрунтових проб. Ґрунтові проби було відібрано ґрунтовим буром Калентьєва з внутрішнім діаметром до ріжучого краю 3,5 см (площа бура 9,621 см²) за трьох глибин відбору 0–5, 5–10 та 10–15 см. При відборі враховувались базові рекомендації даного процесу [27]. За один відбір для кожного варіанту глибини та відповідного варіанту скошування формувалось 20 зразків ґрунту (по 5 у кожному повторенні рендомізованим методом (метод конверта)). Всі точкові проби з одного повторення було об'єднано у зведену пробу, яка і аналізувалась в послідуєчому з калькуляцією результатів у межах кожного повторення.

Зразки відбирались на всіх варіантах досліді за такою схемою:

– осінній (щорічний) – проводився календарно у всі роки на всіх варіантах досліді за добу до загор-

тання отави як сидерату редьки олійної у ґрунт на варіантах досліді в тому числі і на ділянках після кукурудзи (оцінка банку насіння за завершення його осіннього формування);

– весняний (щорічний) – після перезимівлі наступного року до передпосівного обробітку під відповідну культуру у сівозміні за досягненням ґрунту стану фізичної стиглості (оцінка впливу перезимівлі та сидерації на процес виживаності насіння бур'янів у ґрунті).

Екстракцію насіння бур'янів із ґрунтових зразків проводили комбінованим методом промивання на ситах з попереднім замочуванням зразка в сітчастих нейлонових мішечках беручи за основу стандартну процедуру визначення [28].

Ґрунтовий зразок після відбору подрібнювали вручну без розтирання до дрібногрудкуватого сипкого стану, видаляли рослинні та сторонні рештки (солома, коріння, камінці тощо) з підсушуванням до повітряно-сухої кондиції. Отриманий таким чином зразок поміщався у нейлоновий сітчастий мішок (меш 150 мкм) у резервуар з заповнений водою кімнатної температури на 4 години для розм'якшення та додаткового розчинення ґрунтових агрегатів. За період розчинення субстрат у мішечку обережно перемішували двічі з інтервалом у 2 години. Після завершення розчинення суспензію з мішечків пропускали з промиванням проточною водою через колонку сит з діаметром отворів 5.0 мм, 3.0, 2.0 мм, 1.0 мм, 0.25 мм та 0.16 мм з висотою обічайки 50 мм (сформовані з комплекту сит лабораторних металотканних СЛ 200 (Технічні умови України 28.7-2210200135-002:2007, Технотест, Україна)).

Фільтрат, що пройшов крізь сито 0,16 мм додатково збирався в окрему посудину та оброблявся водним розчином хлориду натрію (NaCl) (10,0% концентрації). При цьому важкі мінеральні частинки ґрунту осідали на дно, а легке насіння бур'янів та органічні рештки спливали на поверхню. Поверхню розчину разом із насінням зливали на фільтрувальний папір, після чого висувували. Насіння затримане на відповідних ситах також розміщували на фільтрувальному папері для підсушування. Ідентифікація просушених зразків насіння проводилась при застосуванні USB-мікроскопа Media-Tech USB 500X MT4096 (Media-Tech, Китай), стандартних ідентифікаторів насіння [29].

Для оцінки кількості насіння бур'янів на 1 м² (N₆) на підставі обробки сформованих проб ґрунту у кожному варіанті було застосовано модифіковану формулу 1.

$$N_6 = \frac{10000 \times N_{6n}}{n \times A} \quad (1)$$

Де: 10000 – площа 1 м² у см²; N_{6n} – кількість насіння бур'янів у пробі, шт.; n – кількість проб, з яких сформовано зразок, шт.; A – площа ріжучої кромки бура, см² (у нашому випадку 9.621 см²).

Відповідно до базової методології аналізу структури ґрунтового банку насіння бур'янів [30] кореневі паростки, кореневища багаторічних видів бур'янів та падалиця культурних рослин не включалась до подальшого аналізу.

Динаміку зміни гідротермічних умов у період досліджень було сформовано на підставі щодобових даних погодних умов по даних датчиково-логерної метеостанції Вінниця (WMO_ID=33562) (49°14'60" пн. ш. 28°31'60" сх. д.) (рис. 1)

Для аналізу отриманих показників та ймовірності істотності значень між варіантами було використано стандартні статистичні методи оцінки середніх величин з калькуляцією найменшої істотної різниці (НІР для $p < 0,05$) відповідно до стандартних методів визначення [31].

Результати досліджень. Отавна біопродуктивність редьки олійної мала істотні відмінності формування залежно від гідротермічних умов періоду серпня–жовтня за період досліджень (рис. 2, табл. 1).

За результатами багаторічної оцінки величина отави у ваговому виразі та у трансформації у суху речовину досягає свого максимуму за скошування редьки олійної у фазу бутонізації. За рахунок такого технологічного рішення отримано понад 10 т/га листостеблової маси отави (понад 1,1 т/га у сухій речо-

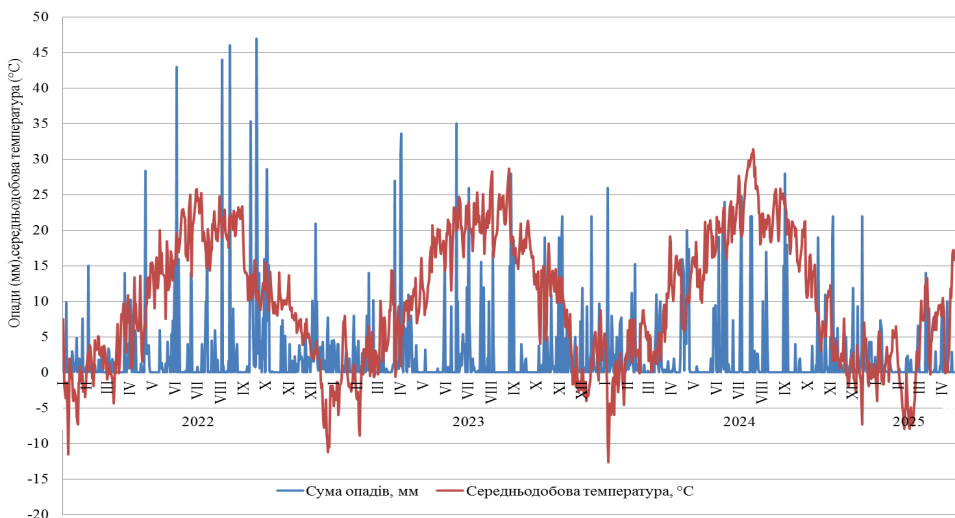


Рис. 1. Динаміка опадів та середньодобової температури за період досліджень, 2022–квітень 2025 (за даними датчиково-логерної метеостанції Вінниця (WMO_ID=33562) (49°14'60» пн. ш. 28°31'60» сх. д.)

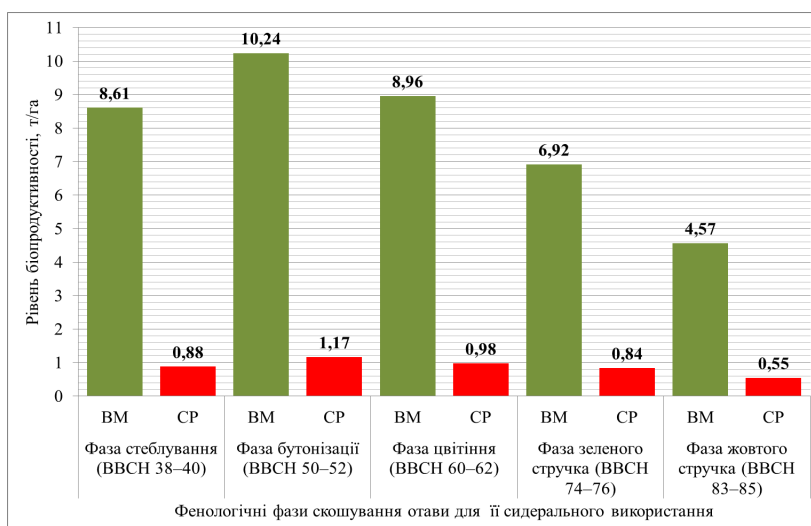


Рис.2. Показники отавної біопродуктивності редьки олійної сорту Журавка за різних термінів скошування рослин на неудобреному фоні ($N_0P_0K_0$), середнє за 2022–2024 рр., т/га (НІР₀₅, т/га для листостеблової маси між фенофазами скошування 0,97; для даного показника у сухій речовині між фенофазами скошування 0,10)

Примітка. ВМ – вихід листостеблової надземної маси; СР – вихід листостеблової надземної маси у виразі сухих речовин.

Таблиця 1 – Коефіцієнти кореляції Пірсона для залежності отавної біопродуктивності редьки олійної Журавка різних строків скошування від основних гідротермічних параметрів отавного відростання до фази скошування (у єдиному масиві даних у комбінації повторення x роки ($N=12$) за період 2022–2024 рр.)

Погодні параметри за період отавного відростання	Вихід біомаси отави за різних фаз скошування на фазу т/га									
	стеблуння (ВВСН 38–40)		бутонізації (ВВСН 50–52)		цвітіння (ВВСН 60–62)		зеленого стручка (ВВСН 74–76)		жовтого стручка (ВВСН 83–85)	
	ВМ	СР	ВМ	СР	ВМ	СР	ВМ	СР	ВМ	СР
Сума опадів, мм	0,576*	0,589*	0,689*	0,577*	0,718**	0,602*	0,791**	0,638*	0,824**	0,596*
Середньодобова температура повітря, °С	-0,512	-0,544	-0,537	-0,578*	-0,607*	-0,712**	-0,639*	-0,771**	-0,585*	-0,654*
Відносна вологість повітря	0,408	0,362	0,459	0,378	0,542	0,485	0,583*	0,544	0,552	0,507

Примітка. * – істотно на рівні значимості $p < 0,05$; ** – істотно на рівні значимості $p < 0,01$; ВМ – вихід листостеблової надземної маси; СР – вихід листостеблової надземної маси у виразі сухих речовин.

вині). Поступове зміщення від фази бутонізації до фази жовтого стручка давало у середньобагаторічному значенні стале зниження показника обох рівнів біопродуктивності у значенні 0,11 т/га за добу (у розрахунку на тривалість міжфазного періоду бутонізація–зелений стручок) для показника листостеблової маси та 0,01 т/га для її еквіваленту у сухій речовині. При цьому у співвідношенні виходу сухої речовини та сформованої листостеблової маси вміст сухої речовини коливався у межах 10,22–12,14%.

За визначених особливостей отриманої отавної надземної маси встановлено, що сума опадів за період отавного відростання є головним прямоформуючим фактором у реалізації біопродуктивного отавного потенціалу редьки олійної із зростаючим рівнем детермінації (квадрата відповідного коефіцієнту кореляції [30] в інтервалі 33,2–67,9% від фази скошування на період стеблуння до фази скошування на період жовтого стручка. Показник середньодобової температури навпаки мав сталий оберненоформуючий вплив в інтервалі показника детермінації 26,2–59,4% на обидва вивчаємі рівні біопродуктивності за сталої переваги впливу саме на показник формування сирової листостеблової маси отави та сталого зростання тісноти залежності послідовно від бази стеблуння до фази жовтого стручка. Відносна вологість повітря мала прямий формуючий вплив знову ж таки на обидва рівні отавної біопродуктивності з інтервалом детермінації впливу в інтервалі 13,1–30,5%. У результатуючому підсумку неудообрений варіант отавного відростання редьки олійної у плані потенційної сидеральної продуктивності спираючись на ряд оцінок [16, 18, 25] слід віднести до середньопродуктивних варіантів сидерації проміжного осінньо-літнього типу у сівозміні, який можна успішно використовувати за наявності полезаймаючих посівів редьки олійної під попередники нехрестоцвітої групи рослин. Такий рівень досяжної продуктивності за прямого її сидерального використання з огляду на ряд висновків та узагальнень [6, 10–12] достатній для впливу на формування потенціалу формування ґрунтового

банку насіння бур'янів на різних глибинах ґрунтового профілю, що було підтверджено нашими дослідженнями у співставленні до кукурудзи як культури з максимальним потенціалом відновлення обсягу банку насіння бур'янів [7] (табл. 2).

За результатами такої оцінки встановлено, що загальна забур'яненість шару ґрунту 0–15 см насінням бур'янів мала статистично істотні відмінності у розрізі застосованих варіантів вивчення та порівняння. Так у варіанті співставного контролю (після кукурудзи) рівень потенційною забур'яненості шару ґрунту 0–15 см був 21490 шт. насінин/м², а варіант з найнижчим його значенням – сидерація отавою редьки олійної після скошування її у фазі цвітіння (ВВСН 60–62) – 16686 шт. насінин/м². При цьому варіантом який максимально наблизений до варіанту безсидерального вирощування кукурудзи був варіант сидерації отавою редьки олійної після скошування її у фазі жовтого стручка (ВВСН 83–85) за значення кількості насіння бур'янів 19687 шт. насінин/м². На підставі таких результатів можна зробити висновок, що ефективність до редукції ґрунтового банку насіння бур'янів залежала від отавної біопродуктивності, що визначило загальний розвиток та архітектоніку надземної маси рослин, зумовило максимальне покриття та затінення поверхні ґрунту та, у підсумку, вищі рівні гербоконкуренції з суттєвим обмеженням розвитку відповідних біологічних груп бур'янів, які здатні поповнювати банк насіння до входження в зиму [16]. Щодо впливу згаданого показника з позиції її впливу на формування банку насіння, то відмічається, що така залежність наявна і має різномірний характер впливу залежно від ґрунтово-кліматичної зони, ботанічного виду рослин та строків вирощування рослин [10, 18]. При цьому такий характер впливу властивий і хрестоцвітим видам сидеральних рослин [12, 13]. Щодо біохімічних особливостей, то відмічається [16, 19–21] ефективність використання редьки олійної як у варіанті кормового чи насінневого вирощування для контролю як потенціального, так і актуального рівня забур'яненості за рахунок вмісту глюкозино-

латів та цілого ряду алелопатичних складових, які шляхом ґрунтових виділень активно інгібують проростання насіння бур'янів, зумовлюють мікоризну активізацію його розкладення в ґрунті, формують умови для зниження повторного поповнення ґрунтового банку насіння бур'янів, особливо у шарі ґрунті 0–5 см. З іншого боку більш ранні строки скошування редьки олійної формують умови для більш сприятливого періоду відростання бур'янів ярї пізньої групи [3, 6], що сприяє формуванню вищого показника забур'яненості отавного ценозу редьки олійної, особливо враховуючи, що піку гербоконкуренції редька олійна досягає на феностадії цвітіння [19, 21] і в послідовному в силу зниження облітності та фізіологічного старіння може інтенсивно забур'янюватись повторними хвилями бур'янів.

Вказані узагальнення було підтверджено мінімальним рівнем наявності насіння у всіх шарах ґрунту саме у варіантах сидерального використання отави редьки олійної сформованої після скошування у фенологічну фазу цвітіння з рівнем редукції кількості ідентифікованого насіння у співставленні до варіанту вирощування кукурудзи за обліку показника восени для шару ґрунту 0–5 см на 24,2%, для шару ґрунту 5–10 см на 23,0% та для шару ґрунту 10–15 см – на 14,9% відповідно. У підсумку загальне зниження кількості насіння бур'янів у співставленні до того ж варіанту загальне зниження кількості насіння бур'янів у шарі ґрунту 0–15 см склало для варіанту з отавним використанням редьки олійної як сидерату середньому за період досліджень у варіанті її скошування як полезаймаючої культури за її у фазі стеблуння (ВВСН 38–40) 12,5%, у фазі

бутонізації (ВВСН 50–52) – 18,9%, у фазі цвітіння (ВВСН 60–62) – 22,4%, у фазі зеленого стручка (ВВСН 74–76) – 10,6% та у фазі жовтого стручка (ВВСН 83–85) – 7,0%.

З огляду на встановлений факт зниження кількості насіння у сформованому протягом тривалого сільськогосподарського використання даної території за період перезимівлі внаслідок процесів гниття, природної загибелі, ґрунтового розкладання, захворювань та провокаційного несезонного проростання [4, 8, 9, 13] – відмічено середнє зниження кількості насіння бур'янів у ґрунтовому банку насіння на 36,9%. Згідно тривалих досліджень такий відсоток належить до середнього інтервалу редукції [6] та вказує на складний характер періоду перезимівлі з інтенсивними коливаннями температури, провокаційними відлигами та відсутності сталого снігового покриву [14], що позитивно узгоджується з представленою динамікою гідротермічних умов за період перезимівлі насіння в ґрунті (рис. 1). За цих умов сидеральне використання отави редьки олійної у всіх вивчаємих варіантах підсилювало процес такого зниження від 6,2% у відносному виразі за сидерального використання отави вирощеної після скошування редьки олійної у фазу жовтого стручка (ВВСН 83–85) до 12,4% за скошування у фазу цвітіння (ВВСН 60–62). Таким чином, відмічено істотний додатковий підсилюючий сидеральний ефект на зниження потенціалу ґрунтового банку насіння бур'янів саме за рахунок активізації мікробіологічних процесів у ґрунті, інтенсифікації процесів гниття, оптимізації комплексу агрохімічних властивостей та інтенсивного алелопатичного впливу властивого

Таблиця 2 – Кількість загального ідентифікованого насіння у банку насіння бур'янів у варіантах отавного сидерального використання редьки олійної (середнє за 2022–2025 рр.)

Варіант досліджу	Загальна кількість насіння бур'янів, шт./м ²					
	осінній облік (календарно перед сидеральним використанням отави)			весняний облік (після перезимівлі)		
	шар ґрунту					
	0–5 см	5–10 см	10–15 см	0–5 см	5–10 см	10–15 см
Кукурудза (співставний контроль ефективності)	11070	7068	3352	6318	5227	2828
Сидерація отавою редьки олійної після скошування її у фазі стеблуння (ВВСН 38–40)	9692	6082	3027	5447	4264	2479
Сидерація отавою редьки олійної після скошування її у фазі бутонізації (ВВСН 50–52)	8863	5572	2987	4897	3703	2019
Сидерація отавою редьки олійної після скошування її у фазі цвітіння (ВВСН 60–62)	8397	5437	2852	4614	3372	1944
Сидерація отавою редьки олійної після скошування її у фазі зеленого стручка (ВВСН 74–76)	9454	6358	3392	5314	4328	2532
Сидерація отавою редьки олійної після скошування її у фазі жовтого стручка (ВВСН 83–85)	10202	6384	3401	5591	4389	2604
НІР ₀₅ , тис. шт./м ²	423	267	197	141	111	93

саме хрестоцвітним видам сидератів [18], в тому числі і редьці олійній [16, 20, 21].

Стосовно структури співвідношення кількості насіння у різних аналізованих шарах за профілем ґрунту після перезимівлі та попереднього сидерального утримання ґрунту то в середньому на варіанті після кукурудзи на частку насіння в шарі ґрунту 0–5 см припадало 47,8%, а для шарів 5–10 см та 10–15 см – 32,9% та 19,3% відповідно. За цих умов застосування отавного варіанту сидерації змінювало цю структуру у середньому по варіантах такого застосунку у вказаних шарах ґрунту частка насіння бур'янів складала: 39,6%, 37,5% та 22,9% на фоні загального зниження кількості насіння в ґрунтовому банку у середньому по варіантах сидерального застосунку на 27,4%. Тобто варіант отавної сидерації інтенсивно впливав зменшенням саме на запаси насіння в шарах ґрунту 0–5 см та 5–10 см. При цьому найбільш ефективним у плані зниження потенційної забур'яненості ґрунту насінням бур'янів за період весняного обліку (після перезимівлі) був знову варіант сидерації отавою редьки олійної після скошування її у фазі цвітіння (ВВСН 60–62) за зниження кількості бур'янів у шарі 0–15 см після перезимівлі на 47,8%.

Висновки. На підставі отриманих результатів встановлена висока потенційна можливість ефективного контролю чисельності ґрунтового банку насіння бур'янів за сидерального використання отави редьки олійної за її відростання після скошування у фазу в період цвітіння (ВВСН 60–62), що дозволяє отримати зниження загальної кількості насіння бур'янів у співставленні до потенційно високого його зростання за вирощування кукурудзи на зерно у шарі 0–15 см з коефіцієнтом зниження 1,29 за обліку у період завершення вегетування рослинності у полі та з коефіцієнтом зниження 1,48 у період після перезимівлі ґрунту на початку відновлення вегетації рослинності. Це дозволяє рекомендувати дану технології у напрямку використання в біологізованих та органічних технологіях ефективного контролю сеgetальної рослинності та територіях прямого сільськогосподарського використання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Gharde Y., Singh P.K., Dubey R.P., Gupta P.K. Assessment of yield and economic losses in agriculture due to weeds in India. *Crop Protection*. 2018. Vol. 107. P. 12–18. DOI: 10.1016/j.cropro.2018.01.007
- Kubiak A., Wolna-Maruwka A., Niewiadomska A., Pilarska A.A. The Problem of Weed Infestation of Agricultural Plantations vs. the Assumptions of the European Biodiversity Strategy. *Agronomy*. 2022. Vol. 12, 1808. DOI: 10.3390/agronomy12081808
- Shevchenko S., Tkalic Yu., Shevchenko M., Kolesnykova K., Derevenets-Shevchenko K. The evaluation of total weed density and seed bank of agricultural landscapes as an example of the Steppe Zone of Ukraine. *Scientific Horizons*, 2023. Vol. 26. №11. P. 80–89. DOI: 10.48077/scihor11.2023.80
- Borgy B., Gaba S., Petit S., Reboud X. Non-random distribution of weed species abundance in arable

fields. *Weed Research*. 2012. Vol. 52. P. 383–389. DOI: 10.1111/j.1365-3180.2012.00920.x

- Schwartz-Lazaro L. M., Copes J. T. A Review of the Soil Seedbank from a Weed Scientists Perspective. *Agronomy*. 2019. Vol. 9. №7. 369. DOI: 10.3390/agronomy9070369
- Champion G.T., Grundy A.C., Jones N.E., Marshall E.J.P., Froud-Williams, R.J. Weed Seedbanks: Delimitation, Dynamics, and Management. Association of Applied Biologists, HRI, Wellesbourne, UK, 1998. 296 p.
- Hosseini P., Karimi H., Babaei S., Mashhadi H.R., Oveisi M. Weed seed bank as affected by crop rotation and disturbance. *Crop Protection*. 2014. Vol. 64. P. 1–6. DOI: 10.1016/j.cropro.2014.05.022
- Chick M.P., Nitschke C.R., Cohn J.S., Penman T.D., York A. Factors influencing above-ground and soil seed bank vegetation diversity at different scales in a quasi-Mediterranean ecosystem. *Journal of Vegetation Science*. 2018. Vol. 29. №4. P. 684–694. DOI: 10.1111/jvs.12649
- Cechin J., Schmitz M.F., Torchelsen J.S., Durigon M.R., Agostinetto D., Vargas L. Winter cover crops reduce the soil seed bank and infestations of Italian ryegrass in no-tillage system. *Crop Science*. 2022. Vol. 62. №1. P. 479–488. DOI: 10.1002/csc2.20651
- Melander B., Rasmussen I. A., Olesen J. E. Legacy effects of leguminous green manure crops on the weed seed bank in organic crop rotations. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2020. Vol. 302. 107078. DOI: 10.1016/j.agee.2020.107078
- Melander B., Rasmussen J., Sørensen P. Cover crop effects on the growth of perennial weeds in two long-term organic crop rotations. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2024. Vol. 39. e20, 1–10. DOI: 10.1017/S174217052400022X
- Nichols V., English L., Carlson S., Gailans S., Liebman M. Effects of Long-Term Cover Cropping on Weed Seedbanks. *Frontiers in Agronomy*. 2020. Vol. 2. 591091. DOI: 10.3389/fagro.2020.591091
- Zhang Y., Liu S., Du X., Chen Z., Ma Z., Mu Y. The inhibitory potential of green manure return on the germination and seedling growth of *Eleusine indica* L. *Frontiers in Plant Science*. 2024. Vol. 15. 1287379. DOI: 10.3389/fpls.2024.1287379
- James H. W., Raghavan C., Stephen O. D., Steven A. F., Pam M., David, C. S., Swanton C., Zollinger R. Weed management in 2050: perspectives on the future of weed science. *Weed Science*. 2018. Vol. 66. P. 275–285. DOI: 10.1017/wsc.2017.78
- Liu S., Ma Z., Zhang Y., Chen Z., Du X., Mu Y. The impact of different winter cover crops on weed suppression and corn yield under different tillage systems. *Agronomy*. 2022. Vol. 12. 999. DOI: 10.3390/agronomy12050999
- Tsytsiura Y., Palamarchuk V., Krychkovskiy V., Tkachuk O. Oilseed radish. Agro-potential in the system of green manure, biofumigation, phytoremediation and bioenergy use. Scientific monograph. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2025. 808 p. DOI: 10.30525/978-9934-26-605-8-1
- Цицюра Я.Г., Яковець Л.А. Потенціал отавного відростання редьки олійної для сидерального її використання залежно від строків скошування та фонового мінерального удобрення. *Зрошуване землеробство*. 2025. Вип. 84. С. 106–114. DOI: 10.32848/0135-2369.2025.84.16

18. Цицюра Я.Г., Неїлик М.М., Дідур І.М., Поліщук М.І. Сидерація як базова складова біологізації сучасних систем землеробства. Монографія. Вінниця: Видавець ТОВ «Друк», 2022. 770 с.
19. Tsytsiura Y. Evaluation of Ecological Adaptability of Oilseed Radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) Biopotential Realization in the System of Criteria for Multi-Service Cover Crop. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. Vol. 25. Iss. 7. P. 265–285. DOI: 10.12911/22998993/188603.
20. Tsytsiura Y. Potential of oilseed radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) as a multi-service cover crop (MSCC). *Agronomy Research*. 2024. Vol. 22. №2. P. 1026–1070. DOI: 10.15159/AR.24.086
21. Цицюра Я.Г., Цицюра Т.В. Редька олійна. Стратегія використання та вирощування: монографія. Вінниця: ТОВ «Нілан ЛТД», 2015. 624 с.
22. Сайко В. Ф. Особливості проведення досліджень з хрестоцвітими олійними культурами. К.: «Інститут землеробства НААН» 2011. 76 с.
23. Test Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability of Fodder Radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.). 2017. TG/178/3, UPOV, Geneva. 19 p.
24. Агрохімічний аналіз ґрунту, рослин і добрив на лабораторно-практичних заняттях з агрономічної хімії: Навч. посібник. Карасюк І. М., Геркіял О. М., Недвига М. В. та ін., за ред. І. М. Карасюка. Київ: ЗАТ «НІЧЛАВА», 2001. 192 с.
25. Clark A. Managing cover crops profitably. 3rd ed. National SARE Outreach Handbook Series Book 9. National Agricultural Laboratory, Beltsville, MD. 2007. URL: <http://www.sare.org/publications/covercrops.htm> (дата звернення 20.02.2026).
26. Davis A.S., Renner, K.A., Gross, K.L. Weed seedbank and community shifts in a long-term cropping systems experiment. *Weed Science*. 2005. Vol. 53. P. 296–306. DOI: 10.1614/WS-04-182
27. Forcella F., R.G. Wilson J. Dekker R.J. Kremer J. Cardina R.L. Anderson D., Alm K.A. Renner R.G. Harvey S. Clay, Buhler D.D. Weed seed bank emergence across the corn belt. *Weed Science*. 1997. Vol. 45. P. 67–76. DOI: 10.1017/S0043174500092493
28. Reinhardt T., Leon R. G. Extractable and Germinable Seedbank Methods Provide Different Quantifications of Weed Communities. *Weed Science*. Vol. 66. №6. P. 715–720. DOI: 10.1017/wsc.2018.56
29. Примак І.Д., Косолап М.П., Рошко В. Г., Мазуркевич І.В. Визначник сходів і насіння бур'янів. К.: КВІЦ, 2008. 150 с.
30. Hakansson S. Weeds and Weed Management on Arable Land – An Ecological Approach. Wallingford, UK: CABI Publishing. 2003, 288 p. DOI: 10.1017/S0014479704251791
31. Rumsey D.J. Statistics For Dummies. 2nd Edition. John Wiley & Sons Inc. 2016. 408 p.
2. Kubiak A., Wolna-Maruwka A., Niewiadomska A., Pilarska A.A. (2022) The Problem of Weed Infestation of Agricultural Plantations vs. the Assumptions of the European Biodiversity Strategy. *Agronomy*. Vol. 12. 1808.
3. Shevchenko S., Tkachuk O., Shevchenko M., Kolesnykova K., Derevenets-Shevchenko K. (2023) The evaluation of total weed density and seed bank of agricultural landscapes as an example of the Steppe Zone of Ukraine. *Scientific Horizons*. Vol. 26. №11. P. 80–89.
4. Borgy B., Gaba S., Petit S., Reboud X. (2012) Non-random distribution of weed species abundance in arable fields. *Weed Research*. Vol. 52. P. 383–389.
5. Schwartz-Lazarov L. M., Copes, J. T. (2019) A Review of the Soil Seedbank from a Weed Scientists Perspective. *Agronomy*. Vol. 9. №7. 369.
6. Champion G.T, Grundy A.C., Jones N.E., Marshall E.J.P. Froud-Williams R.J. (1998) Weed Seedbanks: Delimitation, Dynamics, and Maniulation. Association of Applied Biologists, HRI, Wellesbourne, UK. 296 p.
7. Hosseini P., Karimi H., Babaei S., Mashhadi H.R., Oveisi M. (2014) Weed seed bank as affected by crop rotation and disturbance. *Crop Protection*. Vol. 64. P. 1–6.
8. Chick M.P., Nitschke C.R., Cohn J.S., Penman T.D, York A. (2018) Factors influencing above-ground and soil seed bank vegetation diversity at different scales in a quasi-Mediterranean ecosystem. *Journal of Vegetation Science*. Vol. 29. №4. P. 684–694.
9. Cechin J., Schmitz M.F., Torchelsen J.S., Durigon M.R., Agostinetto D., Vargas L. (2022) Winter cover crops reduce the soil seed bank and infestations of Italian ryegrass in no-tillage system. *Crop Science*. Vol. 62. №1. P. 479–488.
10. Melander B., Rasmussen I. A., Olesen J. E. (2020) Legacy effects of leguminous green manure crops on the weed seed bank in organic crop rotations. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 302. 107078.
11. Melander B., Rasmussen J., Sørensen P. (2024) Cover crop effects on the growth of perennial weeds in two long-term organic crop rotations. *Renewable Agriculture and Food Systems*. Vol. 39. e20. P. 1–10.
12. Nichols V., English L., Carlson S., Gailans S., Liebman M. (2020) Effects of Long-Term Cover Cropping on Weed Seedbanks. *Frontiers in Agronomy*. Vol. 2. 591091.
13. Zhang Y., Liu S., Du X., Chen Z., Ma Z., Mu Y. (2024) The inhibitory potential of green manure return on the germination and seedling growth of *Eleusine indica* L. *Frontiers in Plant Science*. Vol. 15. 1287379.
14. James H. W., Raghavan C., Stephen O. D., Steven A. F., Pam M., David C. S., Swanton C., Zollinger R. (2018) Weed management in 2050: perspectives on the future of weed science. *Weed Science*. Vol. 66. P. 275–285.
15. Liu S., Ma Z., Zhang Y., Chen Z., Du X., Mu Y. (2022) The impact of different winter cover crops on weed suppression and corn yield under different tillage systems. *Agronomy*. Vol. 12. 999.
16. Tsytsiura Y., Palamarchuk V., Krychkovskiy V., Tkachuk O. (2025) Oilseed radish. Agro-potential in the system of green manure, biofumigation, phytoremediation and bioenergy use. Scientific monograph. Riga, Latvia : Baltija Publishing. 808 p.
17. Tsytsiura Ya.H., Yakovets L.A. (2025) Potentials of oilseed radish (*Raphanus sativus* L.) for weed control in crop rotation systems. *Scientific Horizons*. Vol. 28. №1. P. 1–10.

REFERENCES:

1. Gharde Y., Singh P.K., Dubey R.P., Gupta P.K. (2018) Assessment of yield and economic losses in agriculture due to weeds in India. *Crop Protection*. Vol. 07. P. 12–18.

vykorystannia zalezno vid strokiv skoshuvannia ta fonovo mineralnogo udobrennia [The potential of regrowth of oilseed radish for green manure use depending on mowing time and background mineral fertilization]. *Zroshuvane zemlerobstvo*. Vyp. 84. S. 106–114. [in Ukrainian].

18. Tsytsiura Ya.H., Neilyk M.M., Didur I.M., Polishchuk M.I. (2022) Syderatsiia yak bazova skladova biolohizatsii suchasnykh system zemlerobstva [Green manuring as a fundamental component of the biological intensification of modern farming system]. *Monohrafiia*. Vinnytsia: Vydavets TOV «Druk». 770 s. [in Ukrainian].

19. Tsytsiura Y. (2024) Evaluation of Ecological Adaptability of Oilseed Radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) Biopotential Realization in the System of Criteria for Multi-Service Cover Crop. *Journal of Ecological Engineering*. Vol. 25. № 7. P. 265–285.

20. Tsytsiura Y. (2024) Potential of oilseed radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) as a multi-service cover crop (MSCC). *Agronomy Research*. Vol. 22. №2. P. 1026–1070.

21. Tsytsiura Ya.H., Tsytsiura T.V. (2015) Redka oliina. Stratehiia vykorystannia ta vyroshchuvannia: monohrafiia [Oilseed Radish: Strategies for Use and Cultivation: Monograph]. Vinnytsia: TOV «Nilan LTD». 624 s. [in Ukrainian].

22. Saiko V. F. (2011) Osoblyvosti provedennia doslidzhen z khrestotsvitymy oliinymy kulturamy [Features of research with cruciferous oilseedseeds]. K.: «Instytut zemlerobstva NAAN». 76 s. [in Ukrainian].

23. Test Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability of Fodder Radish (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.). (2017) TG/178/3, UPOV. Geneva. 19 p.

24. Karasiuk I. M., Herkiial O. M., Nedvyha M. V. (2001) Ahrokhimichniy analiz gruntu, roslyn i dobyv na laboratornopraktychnykh zaniattiakh z ahronomichnoi khimii: Navch. posibnyk [Agrochemical Analysis of Soil, Plants, and Fertilizers in Laboratory and Practical Classes in Agronomic Chemistry: Textbook]. Kyiv: ZAT «NICH-LAVA». 192 s. [in Ukrainian].

25. Clark A. (2007) Managing cover crops profitably. 3rd ed. National SARE Outreach Handbook Series Book 9. National Agricultural Laboratory, Beltsville, MD. URL: <http://www.sare.org/publications/covercrops.htm> (data zvernennia 20.02.2026).

26. Davis A.S., Renner K.A., Gross K.L. (2005) Weed seedbank and community shifts in a long-term cropping systems experiment. *Weed Science*. Vol. 53. P. 296–306.

27. Forcella F., R.G. Wilson J., Dekker R.J., Kremer J., Cardina R.L., Anderson D., Alm K.A., Renner R.G., Clay H.S., Buhler D.D. (1997) Weed seed bank emergence across the corn belt. *Weed Science*. Vol. 45. P. 67–76.

28. Reinhardt T., Leon R. G. (2018) Extractable and Germinable Seedbank Methods Provide Different Quantifications of Weed Communities. *Weed Science*. Vol. 66. №6. P. 715–720.

29. Prymak I.D., Kosolap M.P., Roshko V. H., Mazurkevych I.V. (2008) Vyznachnyk skhodiv i nasinnia. Buriativ [Identification guide to weed seedlings and seeds]. K.: KVITs. 150 s. [in Ukrainian].

30. Hakansson S. (2003) Weeds and Weed Management on Arable Land – An Ecological Approach. Wallingford, UK: CABI Publishing. 288 p.

31. Rumsey D.J. (2016) Statistics For Dummies. 2nd Edition. John Wiley & Sons Inc. 408 p.

Цицюра Я.Г., Потенціал отавно-сидерального використання редьки олійної з позиції контролювання ґрунтового банку насіння бур'янів

Метою досліджень було встановити можливість продуктивного сидерального використання сформованої біомаси отави редьки олійної отриманої після її відростання за різних строків скошування на формування потенційного ґрунтового банку насіння бур'янів у шарах ґрунту 0–5 см, 5–10 см та 10–15 см.

Методи. Дослідження було проведено впродовж 2022–2024 років на базі дослідного поля Вінницького НАУ на сірих лісових ґрунтах з середнім потенціалом родючості. Повторність у досліді чотирьохразова. Розміщення варіантів – систематичне у два яруси. Дослід передбачав вивчення як біопродуктивності отриманої отави за виходом вегетативної надземної маси, так і сухих речовин, а також дослідження загальної чисельності насіння бур'янів у шарі ґрунту 0–15 см з кроком у 5 см у два періоди восени перед сидерацією та на весні після сидерації та періоду перезимівлі. Для оцінки ефективності пропонованого технологічного варіанту сидерації облік проводився на контролі за вирощування кукурудзи на зерно як культури з високою потенційною приростною динамікою кількості насіння бур'янів в ґрунтового його банку.

Результати. Встановлена технологічна ефективність та доцільність повторного культивування редьки олійної на високому її зрізі (10–12 см) у фенологічну стадію цвітіння що забезпечує можливість її отавного сидерального використання з метою істотного зниження чисельності насіння бур'янів як з рубіжним обліком на період завершення вегетації рослинності на полі, так і на стадії відновлення вегетації на весні.

Висновки. Доведена ефективність та сегетальнорегулююча доцільність сидерального використання отави редьки олійної за її формування при скошуванні культури у польозаймаючому варіанті у фенологічну фазу цвітіння (ВВСН 60–62) за рахунок чого досягається результат зниження загальної кількості насіння бур'янів у ґрунті у шарі 0–15 см у порівнянні з варіантом вирощування кукурудзи на зерно з коефіцієнтом зниження 1,29 на період завершення вегетування рослинності у полі та з коефіцієнтом зниження 1,48 на період після сидерації та перезимівлі ґрунту весною.

Ключові слова: біопродуктивність, отавне сидеральне використання, фази скошування, насіння бур'янів, потенційна забур'яненість ґрунту.

Tsytsiura Ya.H. The Potential of Regrowth Biomass of Oilseed Radish Use as Green Manure from the Perspective of Soil Weed Seed Bank Control

The aim of the study was to determine the possibility of productive green manure use of the biomass formed by the regrowth (aftermath) of oilseed radish obtained after mowing at different times, and its effect on the formation of the potential soil weed seed bank in soil layers of 0–5 cm, 5–10 cm, and 10–15 cm.

Methods. The study was conducted during 2022–2024 at the experimental field of Vinnytsia

National Agrarian University on grey forest soils with a medium fertility potential. The experiment was arranged in four replications. The treatments were systematically placed in two tiers. The study included assessment of the bioproductivity of the obtained regrowth in terms of aboveground vegetative biomass yield and dry matter accumulation, as well as determination of the total number of weed seeds in the 0–15 cm soil layer at 5 cm intervals in two periods: in autumn before green manure incorporation and in spring after green manuring and overwintering. To evaluate the effectiveness of the proposed green manure technology, records were taken in comparison with a control treatment where maize for grain was grown as a crop characterized by a high potential increase in the soil weed seed bank.

Results. The technological efficiency and feasibility of repeated cultivation of oilseed radish with high

cutting (10–12 cm) at the flowering phenological stage were established. This approach ensures the possibility of its aftermath green manure use, resulting in a significant reduction in the number of weed seeds, both at the final stage of vegetation in autumn and at the stage of vegetation resumption in spring.

Conclusions. The effectiveness and weed-regulating feasibility of green manure use of oilseed radish regrowth formed after mowing the crop at the flowering stage (BBCH 60–62) were proven. This practice resulted in a decrease in the total number of weed seeds in the 0–15 cm soil layer compared with maize grown for grain, with a reduction coefficient of 1.29 at the end of the vegetation period and 1.48 after green manure incorporation and soil overwintering in spring.

Key words: bioproductivity, regrowth green manure use, cutting stages, weed seeds, potential soil weed infestation.



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 24.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.04.2026

ВПЛИВ БІООРГАНІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ НА ТРИВАЛІСТЬ МІЖФАЗНИХ ПЕРІОДІВ ТА ВЕГЕТАЦІЙНОГО ЦИКЛУ СОРТІВ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

ЧОРНОМОРЕЦЬ О.О. – аспірант

orcid.org/0009-0006-6668-1875

Херсонський державний аграрно – економічний університет

Постановка проблеми. Україна, входить до першої десятки країн світу за площами зайнятими посівами пшениці озимої та характеризується сприятливими ґрунтово-кліматичними умовами для її вирощування. Завдяки цьому, держава не лише повністю забезпечує власні потреби у продовольчому зерні, а й посідає вагоме місце серед провідних експортерів на світовому ринку. Значні обсяги виробництва та експорту пшениці озимої, сприяють зміцненню економіки, формуванню валютних надходжень і підвищенню конкурентоспроможності аграрного сектору. У зв'язку з цим, пшениця озима становить особливий інтерес як для науковців, які досліджують питання підвищення врожайності, стійкості до несприятливих факторів довкілля та поліпшення якості зерна, так і для практиків-аграріїв, котрі впроваджують сучасні технології вирощування з метою отримання стабільних і економічно вигідних результатів.

Протягом останніх десятиліть, світове сільське господарство активно розвиває біологізацію рослинництва і землеробства, що включає розробку зональних альтернативних систем, безпечних для довкілля, застосування енерго- та ресурсоощадних технологій і біологічних препаратів для живлення та захисту рослин. У різних країнах світу, постійно зростає попит на органічну рослинницьку продукцію та харчові продукти, сертифіковані як екологічно безпечні.

В Україні, завдяки потужному науковому та виробничому потенціалу рослинницької галузі, є можливість масштабно впроваджувати біологічне землеробство для виробництва екологічно чистої продукції як для внутрішнього, так і для зовнішнього ринків. На прикладі сільськогосподарських підприємств Київської області, доцільно розробити стратегію та методику впровадження біологічних технологій і систем органічного землеробства, оскільки в регіоні зосереджені різнопрофільні наукові та виробничі установи, які спеціалізуються на розробці і виробництві біопрепаратів для захисту та стимуляції рослин, обладнання для розмноження біофагів і мікробних препаратів, а також спеціалізованих сільськогосподарських машин.

Найбільш актуальними на сьогодні, залишаються питання впровадження елементів біологізації у технологію вирощування пшениці озимої. Вагоме значення має добір сортів, адаптованих до конкретних ґрунтово-кліматичних умов зони, а також їх порівняльна оцінка за рівнем урожайності та показ-

никами якості зерна. З метою, часткового зменшення використання хімічних засобів захисту рослин і максимального залучення біологічних чинників підвищення родючості ґрунтів, які не мають негативного впливу на довкілля та істотно покращують умови формування врожаю, є дослідження дії біологічно активних препаратів і визначення оптимальних норм внесення добрив. Ці питання на сьогодні залишаються недостатньо вивченими й потребують подальших наукових досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні дослідження показують, що для формування високих урожаїв більшості сільськогосподарських культур, в т.ч. і пшениці озимої, вирішальне значення має отримання своєчасних і рівномірних сходів. У більшості випадків, спостерігається пряма кореляція між рівнем польової схожості насіння та урожайністю посівів. Інтенсивні технології вирощування сільськогосподарських культур, повинні забезпечувати показник польової схожості на рівні близько 90%. Зниження цього показника на 1% не лише, зумовлює надмірні витрати насінневого матеріалу, а й спричиняє зменшення врожайності озимих зернових культур у середньому на 1,0–1,5%. Сукупні втрати насіння та недобір урожаю внаслідок зниженої польової схожості, призводять до істотного зниження валового збору зерна [1, 2].

Українські дослідники зазначають, що рівень урожайності пшениці озимої, зумовлюється густрою стояння рослин, ступенем їх куцнення та іншими елементами структури врожаю. Кількість рослин на одиниці площі, які безпосередньо беруть участь у формуванні врожаю, значною мірою, визначається польовою схожістю насіння. Вагому роль, у забезпеченні високих показників схожості відіграють умови проведення сівби. Формування дружних і своєчасних сходів, є важливою передумовою одержання високих урожаїв зерна пшениці озимої. У більшості випадків, простежується тісний прямий зв'язок між рівнем польової схожості насіння та продуктивністю посівів культури [3, 4].

На показники польової схожості впливає комплекс чинників, серед яких важливе значення мають строки та спосіб сівби, сортові особливості, ґрунтові умови, а також забезпеченість посівного шару вологою. Підвищенню схожості, можуть сприяти застосування різних препаратів, зокрема регулятори росту та біологічні препарати. Дослідження А. Анішина та інших авторів, підтверджують доцільність застосування біопрепаратів для передпосівної обробки

насіння з метою підвищення показників польової схожості [5–9].

Метою досліджень було вивчення впливу передпосівної обробки насіння біологічними препаратами та внесення різних норм мінеральних добрив на формування тривалості міжфазних періодів вегетаційного циклу рослин пшениці озимої. Проведення спостереження за ростом і розвитком сортів досліджуваної культури, визначення ефективності дії біологічно активних препаратів та норм добрив на перебіг вегетативного, генеративного та вегетаційного періодів.

Для реалізації поставленої мети, в умовах польової сівозміни Білоцерківської дослідно-селекційної станції ІБКІЦБ НААН України, було закладено польовий дослід, де вивчали продуктивність сортів пшениці озимої залежно від біоорганічних елементів технологій вирощування культури.

Метою статті є наукове обґрунтування ефективності сучасної обробки насіння сортів пшениці озимої біопрепаратами на основі *Trichoderma* spp., *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens* та внесення різних норм мінеральних добрив у підвищенні польової схожості, скорочення вегетаційного періоду та збільшення врожайності культури в умовах Лісостепу України.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження проводили впродовж 2023–2025 рр. у виробничих умовах Білоцерківської дослідно-селекційної станції ІБКІЦБ НААН України Київської області, розташованої в зоні Лісостепу України. Польові дослідні заклади у польовій сівозміні на чорноземі типовому малогумусному, середньосуглинковому, з вмістом гумусу 3,2–3,5% та реакцією ґрунтового розчину рН 6,4–6,8.

Для досліджень, було залучено чотири сорти пшениці озимої (*Triticum aestivum*): Спенсер, Мауріціо, Матчбол, Відрада. Всі сорти, характеризувались високим рівнем урожайності та широкою адаптивністю до агроєкологічних умов зони вирощування та включені до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні станом на 2023 рік.

В трифакторному польовому досліді вивчали продуктивність сортів пшениці озимої, залежно від способів застосування біологічно активних препаратів та норм внесення мінеральних добрив. Облікова площа ділянки 50 м². Повторність чотириразова. Облік урожаю здійснювали методом поділянкового обмолоту. Всі обліки, спостереження та аналізи здійснювались відповідно загальноприйнятих методик.

Схема досліді:

1. Контроль – (без обробки біопрепаратами та застосування добрив);
2. Мікофренд – 1,5 кг/т;
3. Мікофренд – 1,5 кг/т + N₁₂P₁₂K₁₂;
4. Мікофренд – 1,5 кг/т + N₂₄P₂₄K₂₄;
5. Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс 0,3 л/т;
6. Різофос Лік – 1,5 л/т + N₁₂P₁₂K₁₂;
7. Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс 0,3 л/т + N₂₄P₂₄K₂₄;
8. Граундфікс – 3,0 л/га;

9. Граундфікс – 3,0 л/га + N₁₂P₁₂K₁₂;

10. Граундфікс – 3,0 л/га + N₂₄P₂₄K₂₄.

Під час обробки насіння препаратами робочий розчин становив 10 літрів, норми застосування біологічно активних препаратів наступні: Мікофренд – 1,5 кг/т, Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс 0,3 л/т. Препарат Граундфікс в нормі 3,0 л/га, вносився при посіві пшениці озимої.

Агротехнічні прийоми вирощування пшениці озимої в досліді відповідали загальноприйнятими рекомендаціям для умов Лісостепової зони. Рівень удобрення для всіх варіантів досліді передбачав внесення під час сівби Нітроамофоски у нормах N₁₂P₁₂K₁₂ та N₂₄P₂₄K₂₄.

Норма висіву насіння складала 5 млн. схожих насінин на 1 га. Дослід було закладено за методом послідовних ділянок. Площа облікової ділянки становила 50 м², дослід проводили у чотириразовій повторності, попередником, був ріпак озимий.

Фенологічні спостереження за ростом і розвитком рослин пшениці озимої проводили згідно до «Методика Державного сортопробування сільськогосподарських культур». Початок фази фіксували за настання її у 10% рослин, а повну фазу – коли відповідний етап розвитку досягали 75% рослин. У процесі досліджень реєстрували такі фенологічні фази: сходи, куціння, вихід у трубку, колосіння, цвітіння та досягання (молочна, воскова і повна стиглість [10]).

Результати досліджень. За роки дослідження нами встановлено, що застосування біологічно активних препаратів на всіх сортах пшениці озимої, сприяло підвищенню польової схожості на 1,5–7,5% в порівнянні з контрольним варіантом. Виявлено, що польова схожість сортів змінювалась залежно від ефективності дії біопрепарату. Так, максимальні показники, виявлено при застосуванні препарату Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т на ділянках сорту Спенсер – 87,8%. Дещо нижчі показники, ми зафіксували у сортів Мауріціо та Матчбол – 85,3% та 84,6% відповідно. На ділянках сорту Відрада, показник польової схожості насіння, був найменшим і становив 81,2% (рис.1).

Препарат Мікофренд з нормо витрати – 1,5 кг/т для всіх варіантів виявився менш ефективним, при використанні схожість підвищувалась лише у сортів: Спенсер на 4,2%, Мауріціо – 3,0%, Матчбол – 3,1% та Відрада – 0,5%. Обробки насіння препаратом Граундфікс – 3,0 л/га, призводила до того, що схожість у сортів, були вищою до контролю лише на 0,1–2,1%.

Найкращу реакцію на застосування біопрепаратів, досліджено на сорті Спенсер, показники схожості знаходились в межах 82,4–87,8% з перевищенням контрольних варіантів на 2,1–7,5%.

Таким чином, нами встановлено, що максимальну польову схожість пшениці озимої 87,8% отримано у сорту Спенсер, при передпосівній обробці насіння біопрепаратом Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т, перевищення до контролю сягало 7,5%.

В середньому за роки досліджень, в період сівба – сходи виявлено, що в контрольних варіан-

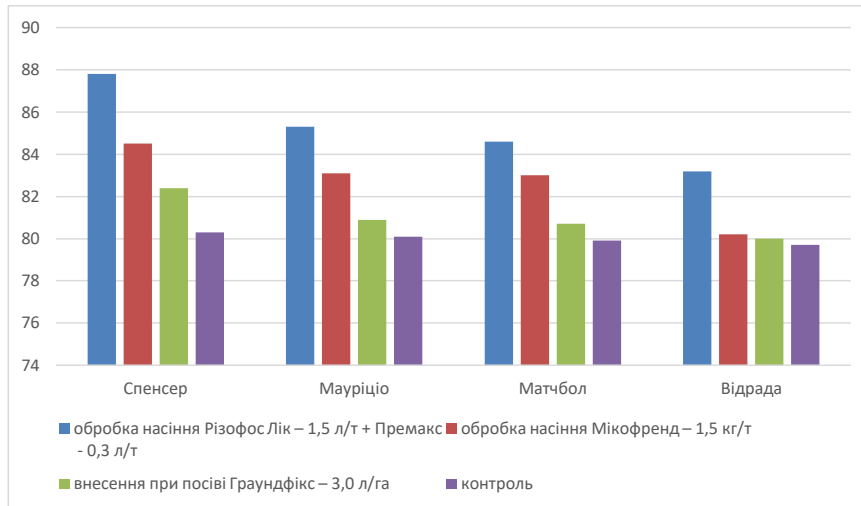


Рис.1. Польова схожість сортів пшениці озимої залежно від обробки насіння біопрепаратами, % (середнє за 2023-2025 рр.)

тах сортів Спенсер, Мауріціо, Матчбол та Відрада сходи сортів пшениці озимої з'являлись через 12-13 діб. Застосування біопрепаратів, пришвидшувало показники схожості на 1–4 доби (рис.2).

Таким чином, нами встановлено, що прискорення сходів (9 діб), відмічено на сортах Спенсер та Відрада, у варіантах де обробки насіння проводилось препаратом Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т.

Для формування стебел, а згодом і колоса пшениця озима, повинна пройти стадію яровизації, яка триває 35–60 діб за температури 0–3 °С. Для неї характерна здатність до куштиння, тобто утворення бічних пагонів і вузлових коре-

нів, що розпочинається після появи 3–4 листків. Найбільш сприятливі умови для куштиння культури, починаються за температури 13–18 °С, тоді як за 2–4 °С, цей процес майже припиняється. Основним органом рослини є вузол куштиння, розташований на глибині 1,5–3,0 см, який здатний витримувати зниження температури до –17...–20 °С, його пошкодження або відмирання призводить до загибелі рослини.

Нами встановлено, що міжфазний період сходи-куштиння, дещо різнився у досліджуваних сортів. Так, на контрольних варіантах найбільш тривалим він був у сорту Спенсер – 144 і у сорту Відрада – 145 діб (табл. 1).

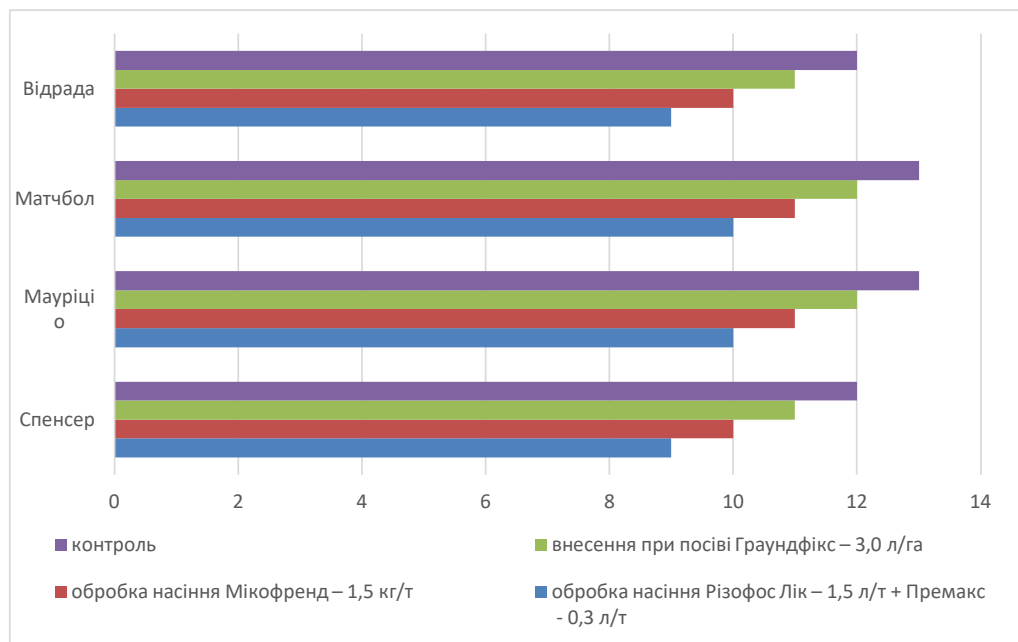


Рис. 2. Тривалість періоду сівба-сходи пшениці озимої залежно від обробки насіння біопрепаратами, % (середнє за 2023-2025 рр.)

Таблиця 1 – Вплив застосування біопрепаратів та мінеральних добрив на тривалість міжфазного періоду сходо-кущіння у сортів пшениці озимої, діб (середнє за 2023–2025 рр.)

Препарат (В)	Спосіб обробки (С)	Сорт (А)			
		Спенсер	Мауріціо	Матчбол	Відрада
Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т	Контроль	144	143	143	145
	обробка насіння	145	144	144	146
	внесення N ₁₂ P ₁₂ K ₁₂	148	146	146	147
	Внесення N ₂₄ P ₂₄ K ₂₄	146	146	145	146
Мікофренд – 1,5 кг/т	Контроль	144	143	143	145
	обробка насіння	144	144	144	145
	внесення N ₁₂ P ₁₂ K ₁₂	145	145	145	148
	Внесення N ₂₄ P ₂₄ K ₂₄	145	144	145	146
Граундфікс – 3,0 л/га	Контроль	144	143	143	145
	обробка посіву	144	144	144	146
	внесення N ₁₂ P ₁₂ K ₁₂	145	145	145	147
	Внесення N ₂₄ P ₂₄ K ₂₄	145	144	145	146

Нами встановлено, що на ділянках сортів Відрада та Спенсер, де обробки насіння проводились препаратом Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т, міжфазний період сходо-кущіння, був на 2-4 доби довшим, в порівнянні з контрольними варіантами.

Досліджено, що у всіх варіантах сортів, де була застосована обробка насіння препаратом Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т та внесення N₁₂P₁₂K₁₂, міжфазний період сходо-кущіння подовжувався на 1–4 доби. На нашу думку, це пояснюється, здатністю біопрепарату збільшувати доступність фосфору в ґрунті та стимулювати ріст кореневої системи.

Відомо, що у фазу виходу в трубку, відбувається активне накопичення вегетативної маси рослин. У цей період пшениця озима, має підвищену потребу у максимальній кількості вологи та поживних елементів, завдяки чому і відбувається формування генеративних органів. Дефіцит води й елементів живлення в зазначену фазу, призводить до суттєвого зниження продуктивності культури.

Нами встановлено, що міжфазний період кущіння-вихід у трубку на контрольних варіантах, тривав у розрізі сортів: Спенсер – 27, Мауріціо – 28, Матчбол – 30 діб та Відрада – 30 (табл.2).

Отже, нами досліджено, що найкращими були варіантами, де обробки насіння проводились біопрепаратом Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т та внесення N₁₂P₁₂K₁₂. Міжфазний період кущіння-вихід у трубку тривав на 1-4 доби менше, в порівнянні з другими варіантами. Виявлено, що на ділянках сортів Спенсер та Відрада, застосування таких біоорганічних елементів технологій, прискорювало протікання періоду на 2- 4 доби.

Встановлено, що міжфазовий період вихід у трубку-колосіння на контрольних ділянках, тривав у сортів пшениці озимої: Спенсер – 29, Мауріціо – 31, Матчбол – 32 та Відрада – 30 діб. Виявлено, як і в попередні періоди найбільш ефективною, була обробка насіння біопрепаратом Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т та внесення N₁₂P₁₂K₁₂, проходження цього періоду на 1–3 доби було швидшим, ніж у других варіантів. Найкраще на біоорганічні еле-

Таблиця 2 – Вплив застосування біопрепаратів та мінеральних добрив на тривалість міжфазного періоду кущіння – вихід у трубку у сортів пшениці озимої, діб (середнє за 2023–2025 рр.)

Препарат (В)	Спосіб обробки (С)	Сорт (А)			
		Спенсер	Мауріціо	Матчбол	Відрада
Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т	Контроль (без обробки)	27	28	30	30
	обробка насіння	26	27	28	28
	внесення N ₁₂ P ₁₂ K ₁₂	24	25	26	26
	Внесення N ₂₄ P ₂₄ K ₂₄	26	26	27	26
Мікофренд – 1,5 кг/т	Контроль (без обробки)	27	28	30	30
	обробка насіння	27	27	28	26
	внесення N ₁₂ P ₁₂ K ₁₂	26	27	27	26
	Внесення N ₂₄ P ₂₄ K ₂₄	26	27	27	26
Граундфікс – 3,0 л/га	Контроль (без обробки)	27	28	30	30
	обробка посіву	27	28	29	27
	внесення N ₁₂ P ₁₂ K ₁₂	26	27	27	26
	Внесення N ₂₄ P ₂₄ K ₂₄	26	27	27	26

менти технології реагували сорти Спенсер та Відрада. Застосування препаратів Мікофренд – 1,5 кг/т та Граундфікс – 3,0 л/га, пришвидшували міжфазний період всього на 1- 2 доби в залежності від сорту та використанні норм мінеральних добрив (табл. 3).

Таким чином, міжфазовий період вихід у трубку-колосіння, відзначився пришвидшеним (на 3 доби) у варіантах сортів Спенсер та Відрада, де обробки насіння проводились біопрепаратом Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т та внесення $N_{12}P_{12}K_{12}$.

З настанням стиглості пшениці озимої, припиняється ріст її органів, а пластичні речовини спрямовуються до зерна. Формування зерна триває 12–16 діб, після чого настає фаза молочної стиглості. У цей період, зерно вже досягає нормальних розмірів, однак заповнене молокоподібною масою, а його вологість становить 60–40%. Фаза воскової стиглості, характеризується восковидною консистенцією зерна та зниженням вологості до 40%. Саме в цій фазі, за необхідності роздільного збирання, проводиться збирання врожаю. За вологості зерна 20–14% настає повна стиглість, коли насіння

втрачає зв'язок із материнською рослиною. У цей, період здійснюють збирання врожаю прямим комбайнуванням. Запізнення зі строками збирання призводить до значних втрат зерна пшениці озимої.

Досліджено, що міжфазний період колосіння-повна стиглість у всіх варіантах досліду, був досить тривалим, а саме від 60 до 66 діб. Максимальним він був на варіантах сортів Мауріціо і Матчбол, де використовували препарат Граундфікс – 3,0 л/га без внесення мінеральних добрив – 66 діб. Найменший період фази повної стиглості, відмічено на сортах Спенсер та Відрада, де обробки проводились біопрепаратом Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т та внесення $N_{12}P_{12}K_{12}$ (табл.4).

Загалом, вегетаційний період від сходів до повної стиглості найбільш тривалим був на контрольних ділянках сорту Матчбол – 270 діб, найменш тривалим 263 доби – у сорту Спенсер. Істотно, цей період скорочувався на всіх варіантах (від 2-6 діб), де обробки насіння проводилось біопрепаратом Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т та внесення $N_{12}P_{12}K_{12}$. На ділянках сортів пшениці озимої,

Таблиця 3 – Вплив застосування біопрепаратів та мінеральних добрив на тривалість міжфазного періоду вихід у трубку – колосіння у сортів пшениці озимої, діб (середнє за 2023–2025 рр.)

Препарат (В)	Спосіб обробки (С)	Сорт (А)			
		Спенсер	Мауріціо	Матчбол	Відрада
Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т	Контроль (без обробки)	29	31	32	30
	обробка насіння	28	30	31	28
	внесення $N_{12}P_{12}K_{12}$	26	29	30	27
	Внесення $N_{24}P_{24}K_{24}$	26	29	30	27
Мікофренд – 1,5 кг/т	Контроль (без обробки)	29	31	32	30
	обробка насіння	28	30	31	29
	внесення $N_{12}P_{12}K_{12}$	27	29	30	28
	Внесення $N_{24}P_{24}K_{24}$	27	29	30	28
Граундфікс – 3,0 л/га	Контроль (без обробки)	29	31	32	30
	обробка посіву	28	30	31	29
	внесення $N_{12}P_{12}K_{12}$	27	29	30	28
	Внесення $N_{24}P_{24}K_{24}$	27	30	30	28

Таблиця 4 – Вплив застосування біоорганічних елементів на тривалість міжфазного періоду вихід колосіння – повна стиглість у сортів пшениці озимої, діб (середнє за 2023–2025 рр.)

Препарат (В)	Спосіб обробки (С)	Сорт (А)			
		Спенсер	Мауріціо	Матчбол	Відрада
Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т	Контроль (без обробки)	63	65	65	63
	обробка насіння	61	64	64	61
	внесення $N_{12}P_{12}K_{12}$	60	62	62	60
	Внесення $N_{24}P_{24}K_{24}$	60	62	62	60
Мікофренд – 1,5 кг/т	Контроль (без обробки)	63	65	65	63
	обробка насіння	62	65	65	62
	внесення $N_{12}P_{12}K_{12}$	61	63	63	61
	Внесення $N_{24}P_{24}K_{24}$	61	63	63	61
Граундфікс – 3,0 л/га	Контроль (без обробки)	63	65	65	63
	обробка посіву	63	66	66	63
	внесення $N_{12}P_{12}K_{12}$	62	64	64	62
	Внесення $N_{24}P_{24}K_{24}$	62	64	64	62

де використовувалися біопрепарати Мікофренд – 1,5 кг/т та Граундфікс – 3,0 л/га, період від сходів до повної стиглості пришвидшувався на 1- 2 доби в залежності від сорту та внесення різних норм мінеральних добрив (табл. 5).

Таким чином, нами встановлено, що за роки досліджень (2023-2025 рр.), в зоні Лісостепу України вегетаційний період від сходів до повної стиглості пшениці озимої, найменш тривалим був на сортах Спенсер та Відрада (263 і 265 діб), де обробки про-

Таблиця 5 – Тривалість вегетаційного періоду у сортів пшениці озимої залежно від застосування біоорганічних елементів технологій, діб (середнє за 2023-2025 рр.)

Препарат (В)	Спосіб обробки (С)	Сорт (А)			
		Спенсер	Мауріціо	Матчбол	Відрада
Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т	Контроль (без обробки)	263	267	270	265
	обробка насіння	260	265	267	263
	внесення N ₁₂ P ₁₂ K ₁₂	258	263	264	259
	Внесення N ₂₄ P ₂₄ K ₂₄	258	263	264	261
Мікофренд – 1,5 кг/т	Контроль (без обробки)	261	267	270	268
	обробка насіння	260	266	268	262
	внесення N ₁₂ P ₁₂ K ₁₂	259	264	265	263
	Внесення N ₂₄ P ₂₄ K ₂₄	259	263	265	261
Граундфікс – 3,0 л/га	Контроль (без обробки)	263	267	270	268
	обробка посіву	262	268	270	265
	внесення N ₁₂ P ₁₂ K ₁₂	260	265	266	263
	Внесення N ₂₄ P ₂₄ K ₂₄	254	265	266	256

водились біопрепаратом Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т та внесення N₁₂P₁₂K₁₂.

Висновки. Встановлено, що максимальну польову схожість пшениці озимої 87,8% отримано у сорту Спенсер, при передпосівній обробці насіння біопрепаратом Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т, перевищення до контролю сягало 7,5%.

Виявлено, що міжфазний період сходи-кущіння, дещо різнився у досліджуваних сортів. На контрольних варіантах найбільш тривалим був у сортів Спенсер – 144 та Відрада – 145 діб, досліджено, що у всіх варіантах сортів, де була застосована обробка насіння препаратом Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т та внесення N₁₂P₁₂K₁₂, міжфазний період сходи-кущіння подовжувався на 1–4 доби.

Встановлено, що міжфазовий період вихід у трубку-колосіння, відзначився пришвидшеним (на 3 доби) у варіантах сортів Спенсер та Відрада, де обробки насіння проводились біопрепаратом Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т та внесення N₁₂P₁₂K₁₂.

Вегетаційний період від сходів до повної стиглості найбільш тривалим був на контрольних ділянках сорту Матчбол – 270 діб, найменш – 263 доби у сорту Спенсер. Істотно, цей період скорочувався на всіх варіантах (від 2-6 діб), де обробки насіння проводилось біопрепаратом Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т та внесення N₁₂P₁₂K₁₂. На ділянках сортів пшениці озимої, де використовувалися біопрепарати Мікофренд – 1,5 кг/т та Граундфікс – 3,0 л/га, період від сходів до повної стиглості пришвидшувався лише на 1- 2 доби в залежності від сорту та внесення різних норм мінеральних добрив.

Найменш тривалим вегетаційний цикл від сходів до повної стиглості пшениці озимої, був на сортах Спенсер та Відрада (263 і 265 діб), де обробки

проводились біопрепаратом Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т та внесення N₁₂P₁₂K₁₂.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур. Львів : Українські технології, 2006. 318 с.
- Коваленко О. А., Корхова М. М. Добір сортів пшениці м'якої озимої для вирощування в зоні Степу України. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Сер.: Сільськогосподарські науки.* 2012. Вип. 10 (50). С. 59-69.
- Лихочвор В.В. Вплив агрозаходів на польову схожість озимої пшениці при вирощуванні за ресурсоощадною технологією. *Таверійський науковий вісник.* Вип. 16. 2000. С.53-58.
- Моргун В.В., Санін Є.В., Швартоу В.В., Артемчук І.Л. Сорти та технології вирощування високих врожаїв озимої пшениці. К.: Логос. 2009, 93 с.
- Анішин Л.А., Пономаренко С.П., Жилкин В.О., Грицаєнко З.М. Технології застосування регуляторів росту рослин в землеробстві. К.: МНТЦА, 2006. 32 с.
- Борисюк П.Г. Застосування біостимуляторів нового покоління в технологіях вирощування цукрових буряків. Івано-Франківськ, 2009. 27 с.
- Кващук О.В., Бурейко О.Л., Біль Л.І. Вплив регулятора росту «Вермистим» на урожайність та польову схожість сільськогосподарських культур. *Біоконверсія органічних відходів і охорона навколишнього середовища:* тези доповідей V міжнародного конгресу. Івано-Франківськ: Плай, 1999. С. 56.
- Сендецький В.М. Застосування органічних добрив і регуляторів росту рослин нового покоління в технологіях вирощування сільськогосподарських культур. Івано-Франківськ, 2010. 25 с.

9. Шувар І.А., Бунчак О.М., Сендецький В.М., Центило Я.В. Виробництво та використання органічних добрив. Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2015. 596 с.

10. Методика Державного сортовипробування сільськогосподарських культур. Вип. II. Київ: Колос, 2001. 239 с.

REFERENCES:

1. Lykhochvor, V.V., & Petrychenko, V.F. (2006). *Roslynnytstvo. Suchasni intensyvni tekhnologii vyroshchuvannya osnovnykh polovykh kultur [Crop production. Modern intensive technologies for growing major field crops]*. Lviv: Ukrainski tekhnologii, 318 [in Ukrainian].

2. Kovalenko, O.A., & Korkhova, M.M. (2012). Dobir sortiv pshenytsi miakoi ozymoi dlia vyroshchuvannya v zoni Stepu Ukrainy [Selection of soft winter wheat varieties for cultivation in the Steppe zone of Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho natsionalnoho ahroного universytetu. Ser.: Silskohospodarski nauky, 10(50)*, 59-69 [in Ukrainian].

3. Lykhochvor, V.V. (2000). Vplyv ahrozakhodiv na polovu skhozhist ozymoi pshenytsi pry vyroshchuvanni za resursooshchadnoiu tekhnolohiieiu [The influence of agricultural measures on the field germination of winter wheat when grown using resource-saving technology]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk, 16*, 53-58 [in Ukrainian].

4. Morhun, V.V., Sanin, Ye.V., Shvartou, V.V., & Artemchuk, I.L. (2009). Sortytatekhnolohii vyroshchuvannya vysokykh vrozhaiv ozymoi pshenytsi [Varieties and technologies for growing high-yield winter wheat] *K.: Lohos*, 93 [in Ukrainian].

5. Anishyn, L.A., Ponomarenko, S.P., Zhylykyn, V.O., & Hrytsaienko, Z.M. (2006). *Tekhnolohii zastosuvannya rehulatoriv rostu roslyn v zemlerobstvi [Technologies for the use of plant growth regulators in agriculture]*. K.: MNTTsA, 32 [in Ukrainian].

6. Borysiuk, P.H. (2009). *Zastosuvannya biostymulatoriv novoho pokolinnia v tekhnolohiiakh vyroshchuvannya tsukrovkykh buriakiv [Application of new generation biostimulants in sugar beet growing technologies]*. Ivano-Frankivsk, 27 [in Ukrainian].

7. Kvashchuk, O.V., Bureiko, O.L., & Bil, L.I. (1999). Vplyv rehulatora rostu «Vermystym» na urozhainist ta polovu skhozhist silskohospodarskykh kultur [The effect of the growth regulator "Vermystym" on the yield and field germination of agricultural crops]. *Biokonversia orhanichnykh vidkhodiv i okhorona navkolyshnoho seredovyshcha: tezy dopovidei V mizhnarodnoho konhresu*. Ivano-Frankivsk: Plai, 56 [in Ukrainian].

8. Sendetskyi, V.M. (2010). *Zastosuvannya orhanichnykh dobryv i rehulatoriv rostu roslyn novoho pokolinnia v tekhnolohiiakh vyroshchuvannya silskohospodarskykh kultur [Application of organic fertilizers and plant growth regulators of the new generation in technologies of growing agricultural crops]*. Ivano-Frankivsk, 25 [in Ukrainian].

9. Shuvar, I.A., Bunchak, O.M., Sendetskyi, V.M., & Tsentylo, Ya.V. (2015). *Vyrobnnytstvo ta vykorystannia orhanichnykh dobryv*. Ivano-Frankivsk: Symfoniia forte, 596 [in Ukrainian].

10. *Metodyka Derzhavnoho sortovyprobuvannya silskohospodarskykh kultur [Methodology of State Variety*

Testing of Agricultural Crops]. (2010). Vypusk II. Kyiv: Kolos, 239 [in Ukrainian].

Чорноморець О.О. Вплив біоорганічних елементів технологій вирощування на тривалість міжфазних періодів та вегетаційного циклу сортів пшениці озимої в умовах Лісостепу України

Мета. Наукове обґрунтування ефективності сучасної обробки насіння сортів пшениці озимої біопрепаратами на основі *Trichoderma* spp., *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens* та внесення різних норм мінеральних добрив у підвищенні польової схожості, скорочення вегетаційного періоду та збільшення врожайності культури в умовах Лісостепу України **Методи.** Застосовано сукупність загальнонаукових методів і підходів емпіричного та теоретичного пізнання: абстрактно-логічний, статистичний, моделювання, узагальнення **Результати.** Встановлено, що застосування біологічно активних препаратів на всіх сортах пшениці озимої, сприяло підвищенню польової схожості на 1,5–7,5% в порівнянні з контрольним варіантом. Виявлено, що польова схожість сортів змінювалась залежно від ефективності дії біопрепарату. Так, максимальні показники, виявлено при застосуванні препарату Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т на ділянках сорту Спенсер – 87,8%. Встановлено, що прискорення сходів (9 діб), відмічено на сортах Спенсер та Відрада, у варіантах де обробки насіння проводилось препаратом Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т. Досліджено, що у всіх варіантах сортів, де була застосована обробка насіння препаратом Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т та внесення $N_{12}P_{12}K_{12}$, міжфазний період сходи-кущіння подовжувався на 1–4 доби. На нашу думку, це пояснюється, здатністю біопрепарату збільшувати доступність фосфору в ґрунті та стимулювати ріст кореневої системи. **Висновки :** встановлено, що максимальну польову схожість пшениці озимої 87,8% отримано у сорту Спенсер, при передпосівній обробці насіння біопрепаратом Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т, перевищення до контролю сягало 7,5%. Виявлено, що міжфазний період сходи-кущіння, дещо різнився у досліджуваних сортів. На контрольних варіантах найбільш тривалим був у сортів Спенсер – 144 та Відрада – 145 діб, досліджено, що у всіх варіантах сортів, де була застосована обробка насіння препаратом Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т та внесення $N_{12}P_{12}K_{12}$, міжфазний період сходи-кущіння подовжувався на 1–4 доби. Встановлено, що міжфазовий період вихід у трубку-колосіння, відзначився пришвидшеним (на 3 доби) у варіантах сортів Спенсер та Відрада, де обробки насіння проводились біопрепаратом Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т та внесення $N_{12}P_{12}K_{12}$. Вегетаційний період від сходів до повної стиглості найбільш тривалим був на контрольних ділянках сорту Матчбол – 270 діб, найменш – 263 доби у сорту Спенсер. Істотно, цей період скорочувався на всіх варіантах (від 2-6 діб), де обробки насіння проводилось біопрепаратом Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т та внесення $N_{12}P_{12}K_{12}$. На ділянках сортів пшениці озимої, де використовувалися біопрепарати Мікофренд – 1,5 кг/т та Граундфікс – 3,0 л/га, період від сходів до повної стиглості пришвидшувався лише на 1- 2 доби в залежності від сорту та внесення різних норм мінеральних добрив. Найменш тривалим вегетаційний цикл від сходів до повної стиглості пшениці озимої, був на сортах

Спенсер та Відрода (263 і 265 діб), де обробки проводились біопрепаратом Різофос Лік – 1,5 л/т + Премакс – 0,3 л/т та внесення $N_{12}P_{12}K_{12}$.

Ключові слова: пшениця озима, польова схожість, біопрепарат, міжфазний період сходо-кущіння, тривалість міжфазного періоду вихід колосіння – повна стиглість, тривалість вегетаційного періоду.

Chornomorets O.O. The influence of bioorganic elements of growing technologies on the duration of interphase periods and the vegetation cycle of winter wheat varieties in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine

Purpose. Scientific substantiation of the effectiveness of modern seed treatment of winter wheat varieties with biological products based on *Trichoderma* spp., *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens* and the application of various rates of mineral fertilizers in increasing field germination, reducing the growing season and increasing crop yield in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine **Methods.** A set of general scientific methods and approaches of empirical and theoretical knowledge was applied: abstract-logical, statistical, modeling, generalization. **Results.** It was established that the use of biologically active preparations on all varieties of winter wheat contributed to an increase in field germination by 1.5–7.5% compared to the control variant. It was found that the field germination of varieties varied depending on the effectiveness of the biological preparation. Thus, the maximum indicators were found when using the drug Rizophos Lik – 1.5 l/t + Premax – 0.3 l/t on the plots of the Spencer variety – 87.8%. It was established that the acceleration of germination (9 days) was noted on the Spencer and Otrada varieties, in variants where seed treatment was carried out with the drug Rizophos Lik – 1.5 l/t + Premax – 0.3 l/t. It was investigated that in all variants of varieties, where seed treatment with the drug Rhizophos Lik – 1.5 l/t + Premax – 0.3 l/t and application of $N_{12}P_{12}K_{12}$ was applied, the interphase period of emergence-tillage was extended by 1–4 days. In our opinion, this is explained by the ability of the biological

preparation to increase the availability of phosphorus in the soil and stimulate the growth of the root system.

Conclusions. It was found that the maximum field germination of winter wheat of 87.8% was obtained in the Spencer variety, with pre-sowing treatment of seeds with the biological preparation Rhizophos Lyk – 1.5 l/t + Premax – 0.3 l/t, the excess over the control reached 7.5%. It was found that the interphase period of emergence-tillage was somewhat different in the studied varieties. In the control variants, the longest was in the Spencer varieties – 144 and Otrada – 145 days, it was investigated that in all variants of varieties, where seed treatment with the preparation Rhizophos Lyk – 1.5 l/t + Premax – 0.3 l/t and the application of $N_{12}P_{12}K_{12}$ was used, the interphase period of emergence-tillage was extended by 1–4 days. It was found that the interphase period of emergence into the tube-earring was accelerated (by 3 days) in the variants of the Spencer and Otrada varieties, where seed treatment was carried out with the biological preparation Rhizophos Lyk – 1.5 l/t + Premax – 0.3 l/t and the application of $N_{12}P_{12}K_{12}$. The vegetation period from germination to full ripeness was the longest in the control plots of the Matchball variety – 270 days, the shortest – 263 days in the Spencer variety. Significantly, this period was shortened in all variants (from 2-6 days), where seed treatment was carried out with the biological preparation Rhizophos Lyk – 1.5 l/t + Premax – 0.3 l/t and the application of $N_{12}P_{12}K_{12}$. In the areas of winter wheat varieties, where the biological products Mycofriend – 1.5 kg/t and Groundfix – 3.0 l/ha were used, the period from germination to full ripeness was accelerated by only 1-2 days, depending on the variety and the application of different rates of mineral fertilizers. The shortest growing cycle from germination to full ripeness of winter wheat was on the varieties Spencer and Vitrada (263 and 265 days), where treatments were carried out with the biological product Rizophos Lik – 1.5 l/t + Premax – 0.3 l/t and the application of $N_{12}P_{12}K_{12}$.

Key words: winter wheat, field germination, biological product, seedling-tillering interphase period, duration of the interphase period, ear yield – full maturity, duration of the growing season.



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 18.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.04.2026

СЕЛЕКЦІЯ, НАСІННИЦТВО

УДК 633.51:631.56 (477.7)

DOI <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2026.85.18>

СТУПІНЬ ФЕНОТИПОВОГО ДОМІНУВАННЯ І ГЕТЕРОЗИС ЗА ВИСОТОЮ РОСЛИН У ГІБРИДІВ БАВОВНИКУ ПЕРШОГО ПОКОЛІННЯ F₁

БОРОВИК В.О. – доктор сільськогосподарських наук,

старший науковий співробітник

orcid.org/0000-0003-0705-2105

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства

Національної академії аграрних наук України,

Одеська державна сільськогосподарська дослідна станція

Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства

Національної академії аграрних наук України

МАЛЬЦЕВА О.П. – аспіранткаorcid.org/0009-0009-1002-8924

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства

Національної академії аграрних наук України

Постановка проблеми. Архітектура рослин бавовнику є ключовим фактором, що впливає на її врожайність та ефективність механізованого вирощування. У основних сільськогосподарських культурах структура рослин суттєво впливає на методи вирощування, стратегії управління та ефективність механізованого збору врожаю. Високі культури часто більш вразливі до вилягання за екстремальних погодних умов, таких як сильний вітер, що ускладнює механізований збір врожаю. Навпаки, карликові сорти, зазвичай, демонструють міцніші стебла, стійкість до вилягання та більшу толерантність до добрив, що дозволяє отримувати вищі врожаї за густих умов посадки [1]. Висота рослин бавовнику (*Gossypium spp.*) є критично важливою ознакою, що впливає на врожайність, стійкість до вилягання та загальну структуру рослини. Хоча висота рослин значно варіюється між сортами бавовнику, її генетична основа залишається погано вивченою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Кількісні та якісні ознаки врожайності є визначальними у селекційних програмах бавовнику, оскільки вони безпосередньо впливають на формування кінцевої цінності продукції [2]. Для деяких культур вторинні ознаки мають селекційну цінність лише за умови їх поєднання з високою продуктивністю. Тому важливим завданням є ідентифікація генотипів, які поєднують високий рівень продуктивності з іншими господарсько цінними ознаками, а не добір за окремими показниками [3, 4]

Отже, у селекції бавовнику, де метою програм є одночасне поліпшення кількох ознак, доцільно застосовувати методологічні підходи, що передбачають використання багатовимірної аналізи для комплексної оцінки та відбору перспективних генотипів [5, 6].

Результати досліджень Huang X. та інших авторів довели, що у бавовнику сорту Upland (*Gossypium hirsutum L.*) висота рослини визначається головним чином кількістю та довжиною міжвузлів головного стебла, але вона може бути суттєво змінена шляхом варіації вузла на головному стеблі, де вперше починаються плодові гілки [7].

Miao L. та інші науковці вважають ознаку «висота» рослин кількісною з плейотропними ефектами, на яку впливають генетична варіація та вплив навколишнього середовища [8].

Автором Quisenberry J. E. встановлено, що висота рослини пов'язана з кількістю вузлів головного стебла ($r = 0,57$), довжиною міжвузля головного стебла ($r = 0,88$) та вузлом першої плодової гілки ($r = 0,38$) [9].

На сьогоднішній день приділяється також багато уваги розумінню генетичних регуляторних механізмів, що впливають на висоту рослин. Вони є фундаментальними для розвитку селекції бавовнику. Виявлені гени-кандидати, які можуть відігравати ключову роль у регуляції висоти рослин бавовнику, сприяють розумінню молекулярних процесів, що лежать в основі формування цієї ознаки, та надають цінні орієнтири для виведення нових сортів бавовнику з оптимізованою висотою рослин [10].

Однак у ряду науковців існує думка, що на гени, які відіграють важливу роль у визначенні структури рослини, можуть впливати багато екзогенних факторів, таких як світло, температура, вологість та стан живлення рослин [11 -13].

Wu H. та інші дослідники вважають висоту рослин важливою ознакою архітектури бавовнику, яка може бути оптимізована різними шляхами, у тому числі збільшенням густоти посіву, тим самим покращуючи ефективність та врожайність механізованого збору бавовнику [14]. Автори Huang X. та інші також

стверджують, що зміна періоду цвітіння може підвищити екологічну адаптивність рослин, а зміна архітектури рослин може оптимізувати спосіб сівби. Тому період цвітіння та ознаки архітектури рослин є важливими цілями генетичного вдосконалення сільськогосподарських культур [15].

Висота рослин є одним із ключових чинників, що визначають їх архітектуру. На думку Рєі Х та співавторів, її оптимальні показники повинні становити 80–90 см, оскільки такі параметри забезпечують стійкість до вилягання та придатність до механізованого збирання врожаю [16].

Селекція за архітектурою рослин може ефективно збільшити врожайність бавовни та покращити якість волокна, тим самим впливаючи на економічне виробництво бавовнику [17–20].

Селекція – один із самих ефективних способів, що дозволяє отримувати рослини бавовнику з оптимальною висотою. Ця високоефективна система польового фенотипування суттєво розширює можливості збору якісних фенотипових даних із великих популяцій, допомагаючи усунути розрив між великими обсягами генотипових даних і обмеженістю польових фенотипових спостережень, а також сприяє поєднанню генотипових і фенотипових досліджень для створення сортів бавовнику з оптимальною висотою рослин [21, 22].

Тому дослідження успадкування висоти рослин бавовнику є важливим і актуальним [23, 24].

Матеріали та методи досліджень. Досліди проводили на полях селекційної сівозміни відділу селекції Інституту кліматично орієнтованого сільськогосподарства НААН впродовж 2022–2025 рр. Предметом досліджень слугували колекційні зразки бавовнику різних груп стиглості та гібридний матеріал.

Агротехнічні умови проведення досліджень відповідали загальноприйнятим для зони Південного Степу України. Досліди закладали на темно-каштанових середньосуглинкових слабосолонцюватих ґрунтах. Попередником була озима пшениця. Під передпосівну культивування вносили аміачну селітру в нормі 1 ц/га. Сівбу проводили у першій декаді травня за умови прогрівання ґрунту на глибині 5 см до 18–20 °С.

Зразки колекційного розсадника висівали однорядковими ділянками довжиною 3 м, гібридного – 5 м. Відстань між рослинами в рядку становила 15 см, досліди закладали без повторень. У колекційному розсаднику через кожні дев'ять зразків розміщували стандарт – районований сорт бавовнику Дніпровський 5 селекції Інституту кліматично орієнтованого сільськогосподарства НААН; у гібридному розсаднику – батьківські форми.

Упродовж вегетаційного періоду проводили два поливи з нормою 400–500 м³/га. Погодні умови в роки досліджень були типовими для Південного Степу України, що забезпечило об'єктивну оцінку колекційного матеріалу та виділення кращих зразків за господарсько цінними ознаками.

Схрещування здійснювали за загальноприйнятною методикою з кастрацією та ізоляцією бутонів

напередодні цвітіння і штучним запиленням квіток у день їх розкриття.

Оцінку за ознаками проводили у 10 постійно закріплених зразків за методикою Державної комісії по сортовипробуванню сільськогосподарських культур [25]. Морфологічний опис, класифікацію за господарськими властивостями робили згідно «Широкого уніфікованого класифікатора – довідника роду *Gossypium hirsutum* L.» [26]. Статистичний аналіз експериментальних даних здійснювали згідно Методики польових і лабораторних досліджень на зрошуваних землях за редакцією Р.А. Вожегової [27].

Матеріалом досліджень слугували батьківські форми бавовнику зразків 500у, 502у, К9 – української селекції, Уічу 2, Л 104, 1068(94), КК 1083 – узбекської, Македонка, Т 073 – румунської, А2 – югославської, Tomcot 1074 і Acala 546-ch-1 з США, Аргентина 2 – з Аргентини, Огоста – з Болгарії, тобто, зразки середньо волокнистого бавовнику виду *G. hirsutum* L. та їх гібридні комбінації. Проводився порівняльний морфологічний аналіз гібридних рослин, фенологічні спостереження.

У рослин F₁ ступінь домінантності (hp) за ознакою «висота» рослин визначали за формулою запропонованою В. Griffi ng [28].

гіпотетичний hp (%) = (F₁ – MP) / MP * 100,

істинний hp (%) = (F₁ – BP) / BP * 100,

де hp-коефіцієнт домінування;

MP – середнє арифметичне значення показника обох батьківських форм;

F₁ – середнє арифметичне значення ознаки у гібрида;

BP – найвищий прояв ознаки одного з батьків.

У першому гібридному поколінні спостерігалось успадкування ознак, яке виражалось у наступному порядку [29]:

hp = 0 – випадок домінування не спостерігався;

0 < hp < 1 – часткове домінування;

hp = 1 – повне домінування;

hp > 1 – наддомінування або гетерозис.

hp < 1 від'ємне над домінування або депресія.

Вивчались батьківські форми та показники висоти гібридних рослин у розсаднику F₁. Для схрещування підбирались батьківські форми, які значною мірою відрізнялись за цією ознакою. Визначали ступінь гетерозису та ступінь домінування досліджуваної ознаки.

Метою дослідження було встановити особливості успадкування ознаки «висота рослини» у гібридів першого покоління (F₁) бавовнику (*Gossypium hirsutum* L.), а також оцінити гібридні комбінації з метою виявлення генотипів із найбільш вираженим проявом гетерозису за цією ознакою.

Результати дослідження. У результаті аналізу гібридів першого покоління (F₁) за ознакою «висота рослин» встановлено значну мінливість показників залежно від гібридної комбінації та напряму схрещування.

Висота рослин у F₁ варіювала від 60,9 до 84,2 см, що свідчить про суттєву генетичну різномірність досліджуваного матеріалу.

Розрахунок гетерозису показав різноспрямований характер прояву ознаки: гіпотетичний гетерозис

Таблиця 1 – Ступінь фенотипового домінування (hp) і гетерозис за висотою рослин у гібридів першого покоління F₁

Гібридна комбінація	Висота рослин, см			Гетерозис, %		Ступінь фенотипового домінування		
	♀	♂	F ₁	гіпотетичний hp	встинний hp	hp	ступінь	тип успадкування
500y/A2	62,8	68,9	71,1	7,97	3,19	1,72	>1	НД
A2/500y	68,9	62,8	60,9	-7,52	-11,61	-1,62	<-1	ВГ
500y/T 073	62,8	70,4	70,9	6,46	0,71	1,13	>1	НД
T 073/500y	70,4	62,8	61,9	-7,06	-12,7	-1,24	<-1	ВГ
K9/Македонка 21	62,0	75,1	69,2	0,95	-7,86	0,10	0<hp<1	ЧПД
Македонка 21/K9	75,1	62,0	72,0	5,03	-4,13	0,53	0<hp<1	ЧПД
500y/ Македонка 21	62,8	75,1	67,9	1,52	-9,59	-0,17	-1<hp<0	ЧВД
500y/ КК1083	62,8	86,0	74,4	-0,54	-13,95	-0,05	-1<hp<0	ЧВД
500y/ Аргентина 2	62,8	92,4	77,6	5,67	-11,26	0,38	0<hp<1	ЧПД
500y/ Acala-546-ch-1	62,8	94,0	78,4	8,42	-9,57	0,54	0<hp<1	ЧПД
500y/ Л104	62,8	86,0	74,4	6,45	-7,91	0,42	0<hp<1	ЧПД
500y/1068(94)	62,8	84,6	73,7	5,43	-8,16	0,40	0<hp<1	ЧПД
502 y/КК1083	62,8	86,4	74,6	5,76	-8,68	0,41	0<hp<1	ЧПД
Македонка 21/500y	62,0	62,8	62,4	10,10	9,39	1,60	>1	НД
КК1083/500y	86,4	62,8	74,6	21,99	5,32	1,94	>1	НД
Аргентина 2/500y	92,4	62,8	77,6	13,14	-5,00	0,88	0<hp<1	ЧПД
Acala-546-ch-1/500y	94,0	62,8	78,4	12,76	-5,96	0,82	0<hp<1	ЧПД
Л104/500y	86,0	62,8	74,4	23,66	6,98	2,00	>1	НД
1068(94)/500y	84,6	62,8	73,7	17,63	2,48	1,30	>1	НД
502y/Уічу 2	70,2	81,5	75,8	-0,33	-7,24	-0,03	-1<hp<0	ЧВД
Огоста/500y	76,5	62,8	69,6	12,56	2,48	1,34	>1	НД
500y/Огоста	62,8	76,5	69,6	-4,10	-12,68	-0,43	-1<hp<0	ЧВД
Tomcot 1074/Огоста	92,0	76,5	84,2	12,17	2,72	1,56	>1	НД
Огоста/ Tomcot 1074	76,5	92,0	84,2	6,11	-2,83	0,78	0<hp<1	ЧПД

Пімітка*: НД – над домінування, ЧПД – часткове позитивне домінування, ЧВД – Часткове від'ємне домінування, ВГ – Від'ємний гетерозис.

змінювався від -7,52% до 23,66%, істинний – від -13,95% до 9,39%. Позитивний гетерозис спостерігався у значної частини комбінацій, зокрема у: 500y/T073 (6,46%, 0,71%), 500y/A2 (7,97%; 3,19%), КК1083/500y (21,99%; 5,32%), Л104/500y (23,66%; 6,98%), Tomcot 1074/Огоста (12,17%; 2,72%). Негативний гетерозис виявлено у реципрокних та окремих інших комбінаціях, а саме: A2/500y (-7,52%; -11,61%), T073/500y (-7,06%; -12,7%), 500y/КК1083 (-0,54%; -13,95%). Це свідчить про суттєвий вплив генотипу материнської форми та цитоплазматичних факторів.

Аналіз ступеня фенотипового домінування показав широкий спектр типів успадкування. Наддомінування (hp > 1 або hp < -1) спостерігали у 10 комбінацій (42%), часткове домінування (-1 < hp < 1) – у 14 комбінацій (58%). Повного домінування (hp = ±1) практично не виявлено.

Оцінка ступеня фенотипового домінування показала різноспрямований характер успадкування ознаки. У ряді гібридів виявлено наддомінування (hp > 1), зокрема у комбінаціях КК1083/500y (hp = 1,94), Л104/500y (hp = 2,00), 1068(94)/500y (hp = 1,30), Огоста/500y (hp = 1,34) та Tomcot 1074/

Огоста (hp = 1,56). Це свідчить про перевагу гетерозиготного стану та можливу наявність сприятливих епістатичних взаємодій генів, що контролюють висоту рослин.

Водночас негативне наддомінування спостерігалося у A2/500y (hp = -1,62) та T073/500y (hp = -1,24), що може бути зумовлене неадитивною взаємодією генів, епістатичними ефектами та можливими порушеннями гормональної регуляції росту, що призводить до пригнічення прояву ознаки, порівняно з батьківськими формами.

Дані таблиці 1 свідчать, що проміжне успадкування (ПУ) характерне для більшості гібридів.

У більшості інших комбінацій спостерігалося часткове позитивне домінування (0 < hp < 1), що вказує на проміжний характер успадкування з тенденцією до кращої батьківської форми. Натомість окремі гібриди, зокрема 500y/КК1083, 500y/Огоста та 502y/Уічу 2, характеризувалися від'ємними значеннями hp (-1 < hp < 0), що свідчить про зміщення ознаки у бік менш продуктивного з батьків.

Аналіз гіпотетичного гетерозису показав, що в більшості гібридних комбінацій спостерігалося позитивне перевищення значення F₁ над середнім

батьків (МР), що узгоджується з класичним визначенням гетерозису як явища переваги гібридів над батьківськими формами за кількісними ознаками. Найвищі значення цього показника відмічено у комбінаціях Л104/500у (23,66%), КК1083/500у (21,99%), 1068(94)/500у (17,63%) та Аргентина 2/500у (13,14%), що свідчить про значний потенціал цих гібридів щодо формування підвищеної висоти рослин.

Водночас істинний гетерозис, розрахований відносно кращого з батьків (ВР), мав більш стриманий характер і в ряді випадків набував від'ємних значень. Це вказує на відсутність перевищення гібридом максимального батьківського рівня. Позитивний істинний гетерозис встановлено у комбінаціях Македонка 21/500у (9,39%), Л104/500у (6,98%), КК1083/500у (5,32%), 1068(94)/500у (2,48%), Огоста/500у (2,48%) та Tomcot 1074/Огоста (2,72%), так як свідчить про реальне перевищення батьківських форм і є цінною ознакою для селекції.

Встановлено також істотний вплив на пряму схрещування на прояв гетерозису та характер успадкування. Особливо важливо, що у ряді випадків реципрокні гібриди суттєво відрізнялися (наприклад, 500у/А2 і А2/500у). Це підтверджує наявність цитоплазматичного ефекту та материнського впливу.

Отже, результати дослідження підтверджують, що висота рослин у гібридів F_1 бавовнику успадковується за складним типом із проявом різних форм домінування. Найбільш перспективними для селекції є гібридні комбінації, що поєднують високі значення гетерозису з наддомінуванням, зокрема: КК1083/500у, Л104/500у, 1068(94)/500у, Огоста/500у та Tomcot 1074/Огоста.

Отримані дані доповнюють сучасні уявлення про генетичну природу гетерозису [30, 31] та можуть бути використані для оптимізації підбору батьківських компонентів при створенні високопродуктивних сортів бавовнику з оптимальною архітектурою рослин [32].

Дослідження внутрішньовидових гібридів (*G. hirsutum* × *G. hirsutum*) підтверджують значний прояв гетерозису за цінними господарськими ознаками, включаючи висоту рослин, що зумовлено взаємодією адитивних і неадитивних генів [33].

Таким чином, отримані в даному дослідженні результати підтверджують сучасні уявлення про складну генетичну природу гетерозису у бавовнику та узгоджуються з результатами інших авторів щодо важливої ролі неадитивних генетичних ефектів у формуванні висоти рослин [34].

Отримані результати узгоджуються з сучасними дослідженнями, в яких висота рослин розглядається як одна з ключових ознак архітектури бавовнику, що визначає не лише біомасу, але й адаптивність рослин до умов вирощування та механізованого збирання. Встановлено, що ця ознака має складну полігенну природу і характеризується високою мінливістю залежно від генотипу та умов середовища [35].

Важливо, що висота рослин тісно пов'язана з архітектурою рослини та її продуктивністю,

зокрема через вплив на формування міжвузлів і загальний темп росту. Встановлено, що ця ознака прямо визначає біологічну продуктивність і опосередковано впливає на врожайність бавовнику [36].

Таким чином, результати даного дослідження повністю узгоджуються з сучасними уявленнями про генетичний контроль висоти рослин у *Gossypium hirsutum* L., відповідно до яких: висота рослин є динамічною кількісною ознакою; контролюється великою кількістю QTL із різною експресією на різних етапах розвитку; формується під впливом як адитивних, так і неадитивних (домінування, наддомінування) генетичних ефектів; може значно змінюватися залежно від генотипу та на пряму схрещування [36].

Це підтверджує доцільність використання виявлених у даному дослідженні гібридних комбінацій із високим рівнем гетерозису та наддомінування для подальшої селекції сортів бавовнику з оптимальною висотою рослин.

Висновки. Отримані результати свідчать, що успадкування висоти рослин у гібридів бавовнику має складний полігенний характер і супроводжується значним проявом гетерозису. Переважання часткового домінування та наддомінування вказує на перспективність використання досліджених генотипів у селекції.

Найбільш перспективними для подальшого селекційного використання є гібридні комбінації, що поєднують високі значення гіпотетичного та істинного гетерозису з наддомінуванням, а саме: КК1083/500у, Л104/500у, 1068(94)/500у, Огоста/500у та Tomcot 1074/Огоста та можуть бути використані для обґрунтування добору батьківських компонентів при створенні високопродуктивних сортів бавовнику з оптимальною архітектурою рослин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Lu J., Wang L., Zhang Q. et al. AmCBF1 Transcription Factor Regulates Plant Architecture by Repressing GhPP2C1 or GhPP2C2 in *Gossypium hirsutum* L.. *Front. Plant Sci.* 2022. 13, 914206. doi: 10.3389/fpls.2022.914206. PMID: 35712572; PMCID: PMC9197424.
2. Teodoro P. E., Farias F. J. C., Carvalho L. P. et al. Adaptability and stability of cotton genotypes regarding fiber yield and quality traits. *Crop Science.* 2019. 59(2), 518-524. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.04.0250>.
3. Kendal E. Comparing durum wheat cultivars by genotype × yield × trait and genotype × trait biplot method. *Chilean Journal of Agricultural Research.* 2019. 79(4), 512-522. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392019000400512>.
4. Woyann L. G., Meira D., Matei G. et al. Selection indexes based on linear-bilinear models applied to soybean breeding. *Agronomy Journal.* 2020. 112(1), 175-182. <https://doi.org/10.1002/agj2.20044>.
4. Peixoto M. A., Santana J., Coelho I. P. et al. Genotype selection based on multiple traits in cotton crops: The application of genotype by yield*trait biplot. *Agronomy.* 2022. Vol. 44, e54136. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v44i1.54136>

5. Mahmood T., Wang X., Ahmar S. et al. Genetic Potential and Inheritance Pattern of Phenological Growth and Drought Tolerance in Cotton (*Gossypium Hirsutum* L.). *Front. Plant Sci.* 2021. 12:705392. doi: 10.3389/fpls.2021.705392.
6. Huang X., Liu H., Ma B. The Current Progresses in the Genes and Networks Regulating Cotton Plant Architecture. *Front Plant Sci.* 2022. 9;13:882583. doi: 10.3389/fpls.2022.882583. PMID: 35755647; PMCID: PMC9218861.
7. Miao L., Wang X., Yu C., Ye C., Yan Y., Wang H. What factors control plant height?. *Journal of Integrative Agriculture.* 2024. Vol. 23(6). P. 1803-1824. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2024.03.058>
8. Quisenberry J. E. Inheritance of Plant Height in Cotton. I. A Cross Between Lubbock Dwarf and Texas Marker. *Crop Science.* 2022. Vol. 15(2). pp. 197-199. <https://doi.org/10.2135/cropsci1975.0011183X001500020016x>.
9. Huang Q., Liu L., Li H., Wang X., Si A., He L., Yu Y. Identification of Co-Expression Modules of Cotton Plant Height-Related Genes Based on Weighted Gene Co-Expression Network Analysis. *Agronomy.* 2025. 15(1):196. <https://doi.org/10.3390/agronomy15010196>.
10. Wang C., Ma Q., Xie X. et al. Identification of favorable haplotypes/alleles and candidate genes for three plant architecture-related traits via a restricted two-stage multilocus genome-wide association study in upland cotton. *Crop. Prod.* 2022. 177:114458. DOI:10.1016/j.indcrop.2021.114458.
11. Thamrin S., Junaedi J., Darwisah H. B. Production of cotton plants using drip irrigation in two different planting years. *Agriculture.* 2018. 30, 117–124. DOI:<https://doi.org/10.24246/agric.2018.v30.i2.p117-124>.
12. Bajwa K.S., Ali M.U., Rao A.Q. et al. From genes to fields: Environmental compatibility of herbicide tolerant transgenic cotton. *Ind. Crops Prod.* 2024. 209, 117903. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5911792>.
13. Wu H., Ren Z., Zheng L. et al. The bHLH transcription factor GhPAS1 mediates BR signaling to regulate plant development and architecture in cotton. *The Crop Journal.* 2021. 9(5): 1049-1059. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.10.014>.
14. Huang X., Liu H., Ma B. The Current Progresses in the Genes and Networks Regulating Cotton Plant Architecture. *Front. Plant Sci.* 2022. 13:882583. doi: 10.3389/fpls.2022.882583.
15. Pei X., Wang X., Fu G., Chen B., Nazir M. F., Pan Z., He S., Du X. Identification and functional analysis of 9-cis-epoxy carotenoid dioxygenase (NCED) homologs in *G. hirsutum*. *International Journal of Biological Macromolecules.* 2021. 182(12). DOI:10.1016/j.ijbiomac.2021.03.154.
16. Wu J., Mao L., Tao J. et al. Dynamic Quantitative Trait Loci Mapping for Plant Height in Recombinant Inbred Line Population of Upland Cotton. *Front. Plant Sci.* 2022. 13:914140. doi: 10.3389/fpls.2022.914140.
17. Xiao C., Zhang F., Li Y., Fan J., Xu X., Liu X. Optimal drip irrigation leaching amount and times enhance seed cotton yield and its stability by improving soil chemical environment and source-sink relationship. *Field Crops Res.* 2024. 317, 109531. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109531>.
18. Baird J., Schwenke G., Macdonald B., Nachimuthu G., McPherson A., Mercer C. Efficiency over excess: Maximising cotton lint yields with optimum irrigation and nitrogen fertiliser application. *Field Crops Res.* 2024. 315, 109484. DOI:10.1016/j.fcr.2024.109484.
19. Hemalatha G., Nagabhushanam U., Veeranna G., Ch R. Impact of Different Plant Densities and Fertilizer Levels on Yield Attributes, Yield and Fibre Quality Characters of Bt Cotton in HDPS. *J. Exp. Agric. Int.* 2024. 46, 290–297. DOI: 10.9734/jeai/2024/v46i82706.
20. Wu J., Mao L., Tao J. et al. Dynamic Quantitative Trait Loci Mapping for Plant Height in Recombinant Inbred Line Population of Upland Cotton. *Front. Plant Sci.* 2022. 13:914140. doi: 10.3389/fpls.2022.914140.
21. Nidagundi J. M., Gurumurthy S., Kuchanur P.H., Lokesh G.Y., Lakshmikanth M., Meena M.K. Original Research Article Unravelling the Genetic Divergence and Trait Association for Yield and Its Component Traits among Germplasm Lines in Cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Journal of Experimental Agriculture International.* 2024. 46, 731–738. DOI:10.9734/jeai/2024/v46i72626.
22. Scarpin G. J., Dileo P. N., Winkler H. M. et al. Genetic progress in seed and fiber quality traits of cotton in Argentina. *Field Crops Res.* 2024. 302, p. 109106. DOI: 10.1016/j.fcr.2023.109106.
23. Jindal S., Pathak D., Dutt T., Rathore P. Genetic analysis and molecular validation of gene conferring petal spot phenotype in interspecific crosses of cotton. *Heliyon.* 2024. 20(10):e31538. PMID: 38826732. PMCID: PMC11141370. Doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e31538.
24. Волкодав В. В. Методика державного сорто-випробування сільськогосподарських культур. Випуск третій (олійні, технічні, прядильні та кормові культури). Київ: Алефа, 2001. 76 с.
25. Широкий уніфікований класифікатор – довідник роду *Gossypium hirsutum* L. / Вожегова Р. А., Рябчун В. К., Боровик В. О., Степанов Ю. О., Малярчук М. П., Лавриненко Ю. О., Біднина І. О., Біляєва І. М. Херсон: Гріль Д.С., 2015. 49 с.
26. Вожегова Р. А. та ін. Методика польових і лабораторних досліджень на зрошуваних землях. Херсон: Гріль Д. С., 2014. 214 с.
27. Griffing B. Analysis of quantitative gene action by constant parent regression and related techniques. *Genet ics.* 1950. 35(3), 303–321.
28. Beil G. M., Atkins R. E. Inheritance of quantitative characters in grain sorghum. *Iowa St. J. Sci.* 1965. 39(3), 165–179.
29. Wu X., Liu Y., Zhang Y., Gu R. Advances in Research on the Mechanism of Heterosis in Plants. *Front Plant Sci.* 2021. 27;12:745726. doi: 10.3389/fpls.2021.745726.
30. Schnable P.S., Springer N.M. Progress toward understanding heterosis in crop plants. *Plant Biol.* 2013;64:71-88. doi: 10.1146/annurev-arplant-042110-103827.
31. Zhang T., Xuan L., Mao Y., Hu Y. Cotton heterosis and hybrid cultivar development. *Theor Appl Genet.* 2023. 31;136(4):89. doi: 10.1007/s00122-023-04334-w. PMID: 37000242.
32. Geng X., Qu Y., Jia Y.-H., He S., Pan Z., Wang L., Du X. Assessment of heterosis based on parental genetic distance estimated with SSR and SNP markers in

upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *BMC Genomics*. 2021. 22(1). DOI: 10.1186/s12864-021-07431-6.

15. 34. Farooq A., Shakeel A., Saeed A., Farooq J., Rizwan M., Chattha W. S., Sarwar G., Ramzan Y. Genetic variability predicting breeding potential of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) for high temperature tolerance. *J Cotton Res*. 2023. 6, 7. <https://doi.org/10.1186/s42397-023-00144-z>.

16. 35. Wu J., Mao L., Tao J. et al. Dynamic Quantitative Trait Loci Mapping for Plant Height in Recombinant Inbred Line Population of Upland Cotton. *Front Plant Sci*. 2022. 9;13:914140. doi: 10.3389/fpls.2022.914140. PMID: 35769288; PMCID: PMC9235862.

17. 36. Li G., Che J., Gong J. et al. Quantitative Trait Locus Mapping for Plant Height and Branch Number in CCRI70 Recombinant Inbred Line Population of Upland Cotton (*Gossypium hirsutum*). *Plants (Basel)*. 2024. 30;13(11):1509. doi: 10.3390/plants13111509. PMID: 38891318; PMCID: PMC11174691.

REFERENCES:

1. Lu, J., Wang, L., Zhang, Q., Ma, C., Su, X., Cheng, H. & Guo, H. (2022). AmCBF1 Transcription Factor Regulates Plant Architecture by Repressing GhPP2C1 or GhPP2C2 in *Gossypium hirsutum* L.. *Front. Plant Sci.*, 13, 914206. doi: 10.3389/fpls.2022.914206.

2. Teodoro, P. E., Farias, F. J. C., Carvalho, L. P., Ribeiro, L. P., Nascimento, M., Azevedo, C. F., Cruz, C.D. & Bhering, L. L. (2019). Adaptability and stability of cotton genotypes regarding fiber yield and quality traits. *Crop Science*, 59(2), 518-524. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.04.0250>

3. Kendal, E. (2019). Comparing durum wheat cultivars by genotype × yield × trait and genotype × trait biplot method. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 79(4), 512-522. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392019000400512>

4. Woyann, L. G., Meira, D., Matei, G., Zdziarski, A. D., Dallacorte, L. V., Madella, L. A. & Benin, G. (2020). Selection indexes based on linear-bilinear models applied to soybean breeding. *Agronomy Journal*, 112(1), 175-182. <https://doi.org/10.1002/agj2.20044> [in English].

5. Peixoto, M. A., Santana, J., Coelho, I. P., Carvalho, L. P., Farias, F. J. C., Teodoro, P. E. & Bhering, L. L. (2022). Genotype selection based on multiple traits in cotton crops: The application of genotype by yield*trait biplot. *Agronomy*, Vol. 44, e54136. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v44i1.54136>

6. Mahmood, T., Wang, X., Ahmar, S., Abdullah, M., Iqbal, M.S., Rana, R.M., Yasir, M., Khalid, S., Javed, T., Mora-Poblete, F., Chen, J.-T., Shah, M.K.N. & Du, X. (2021). Genetic Potential and Inheritance Pattern of Phenological Growth and Drought Tolerance in Cotton (*Gossypium Hirsutum* L.). *Front. Plant Sci.*, 12:705392. doi: 10.3389/fpls.2021.705392

7. Huang, X., Liu, H. & Ma, B. (2022). The Current Progresses in the Genes and Networks Regulating Cotton Plant Architecture. *Front Plant Sci*. 9;13:882583. doi: 10.3389/fpls.2022.882583.

8. Miao, L., Wang, X., Yu, C., Ye, C., Yan, Y. & Wang, H. (2024). What factors control plant height?. *Journal of Integrative Agriculture*, Vol. 23(6). P. 1803-1824. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2024.03.058>

9. Quisenberry, J. E. (2022). Inheritance of Plant Height in Cotton. I. A Cross Between Lubbock Dwarf and Texas Marker. *Crop Science*, Vol. 15(2), pp. 197-199. <https://doi.org/10.2135/cropsci1975.0011183X001500020016x>.

10. Huang, Q., Liu, L., Li, H., Wang, X., Si, A., He, L. & Yu, Y. (2025). Identification of Co-Expression Modules of Cotton Plant Height-Related Genes Based on Weighted Gene Co-Expression Network Analysis. *Agronomy*, 15(1):196. <https://doi.org/10.3390/agronomy15010196>

11. Wang, C., Ma, Q., Xie, X., Zhang, X., Yang, D., Lin, H. & Su, J. (2022). Identification of favorable haplotypes/alleles and candidate genes for three plant architecture-related traits via a restricted two-stage multilocus genome-wide association study in upland cotton. *Crop. Prod*, 177:114458. DOI:10.1016/j.indcrop.2021.114458

12. Thamrin, S., Junaedi, J., & Darwisah, H. B. (2018). Production of cotton plants using drip irrigation in two different planting years. *Agriculture*, 30, 117–124. <https://doi.org/10.24246/agric.2018.v30.i2.p117-124>

13. Bajwa, K.S., Ali, M.U., Rao, A.Q., Kiani, S., Ahmad, F., Bakhsh, A., Noor, S., Abbas, Z., Ail, S. & Ail, G.M. (2024). From genes to fields: Environmental compatibility of herbicide tolerant transgenic cotton. *Ind. Crops Prod*, 209, 117903. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5911792>

14. Wu, H., Ren, Z., Zheng, L., Guo, M., Yang, J., Hou, L., Qanmber, G., Li, F. & Yang, Z. (2021). The bHLH transcription factor GhPAS1 mediates BR signaling to regulate plant development and architecture in cotton. *The Crop Journal*, 9(5): 1049-1059. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.10.014>

15. Huang, X., Liu, H. & Ma, B. (2022). The Current Progresses in the Genes and Networks Regulating Cotton Plant Architecture. *Front. Plant Sci.*, 13:882583. doi: 10.3389/fpls.2022.882583

16. Pei, X., Wang, X., Fu, G., Chen, B., Nazir, M. F., Pan, Z., He, S. & Du, X. (2021). Identification and functional analysis of 9-cis-epoxy carotenoid dioxygenase (NCED) homologs in *G. hirsutum*. *International Journal of Biological Macromolecules*. 182(12). DOI:10.1016/j.ijbiomac.2021.03.154

17. Wu, J., Mao, L., Tao, J., Wang, X., Zhang, H., Xin, M., Shang, Y., Zhang, Y., Zhang, G., Zhao, Z., Wang, Y., Cui, M., Wei, L., Song, X. & Sun, X. (2022). Dynamic Quantitative Trait Loci Mapping for Plant Height in Recombinant Inbred Line Population of Upland Cotton. *Front. Plant Sci*. 13:914140. doi: 10.3389/fpls.2022.914140

18. Xiao, C., Zhang, F., Li, Y., Fan, J., Xu, X. & Liu, X. (2024). Optimal drip irrigation leaching amount and times enhance seed cotton yield and its stability by improving soil chemical environment and source-sink relationship. *Field Crops Res*. 317, 109531. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109531>

19. Baird, J., Schwenke, G., Macdonald, B., Nachimuthu, G., McPherson, A. & Mercer, C. (2024). Efficiency over excess: Maximising cotton lint yields with optimum irrigation and nitrogen fertiliser application. *Field Crops Res*, 315, 109484. DOI:10.1016/j.fcr.2024.109484

20. Hemalatha, G., Nagabhushanam, U., Veeranna, G. & Ch, R. (2024). Impact of Different Plant Densities and Fertilizer Levels on Yield Attributes, Yield and Fibre Quality Characters of Bt Cotton in HDPS. *J. Exp*.

Agric. Int., 2024. 46, 290–297. DOI: 10.9734/jeai/2024/v46i82706

21. Wu, J., Mao, L., Tao, J., Wang, X., Zhang, H., Xin, M., Shang, Y., Zhang, Y., Zhang, G., Zhao, Z., Wang, Y., Cui, M., Wei, L., Song, X. & Sun, X. (2022). Dynamic Quantitative Trait Loci Mapping for Plant Height in Recombinant Inbred Line Population of Upland Cotton. *Front. Plant Sci.*, 13:914140. doi: 10.3389/fpls.2022.914140

22. Nidagundi, J. M., Gurumurthy, S., Kuchanur, P.H., Lokesh, G.Y., Lakshmikanth, M. & Meena, M.K. (2024). Original Research Article Unravelling the Genetic Divergence and Trait Association for Yield and Its Component Traits among Germplasm Lines in Cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Journal of Experimental Agriculture International*. 46, 731–738. DOI: 10.9734/jeai/2024/v46i72626

23. Scarpin, G. J., Dileo, P. N., Winkler, H. M., Cerejijo, A. E., Lorenzini, F. G., Muchut, R. J., Roeschlin, R. A., Mattalia, P., Acuna, C. & Paytas, M. (2024). Genetic progress in seed and fiber quality traits of cotton in Argentina. *Field Crops Res.* 302, p. 109106. DOI: 10.1016/j.fcr.2023.109106 [in English].

24. Jindal, S., Pathak, D., Dutt, T. & Rathore, P. (2024). Genetic analysis and molecular validation of gene conferring petal spot phenotype in interspecific crosses of cotton. *Heliyon*. 20(10):e31538. PMID: 38826732. PMCID: PMC11141370. Doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e31538

25. Volkodav, V.V. (Ed.). (2001). *Metodyka derzhavnoho sortovyprobuvannia silskohospodarskykh kultur. Vypusk 3 (oliini, tekhnichni, priadylni ta kormovi kultury) [The method of state varie ty and testing of agricultural crops. Release 3 (olive, techni cal, spinning and fodder crops)]*. Kyiv: Alefa, 76 [in Ukrainian].

26. Vozhehova, R.A., Riabchun, V.K., Borovyk, V.O., Stepanov, Yu.O., Maliarchuk, M.P., Lavrynenko, Yu.O., Poverty, I.O., & Biliaeva, I.M. (2015). *Shyrokyi unifikovanyi klasyfikator – dovidnyk rodu Gossypium hirsutum L. [Uniform wide descriptors list and reference for the genus Gossypium hirsutum (L.)]*. Kherson: Hrin D.S., 49 [in Ukrainian].

27. Vozhehova, R.A. (Ed.). (2014). *Metodyka polovykh i labora tornykh doslidzhen na zroshuvanykh zemliakh [Methods of field and laboratory research on irrigated lands]*. Kherson: Hrin D. S., 214 [in Ukrainian]

28. Griffing, B. (1950). Analysis of quantitative gene action by constant parent regression and related techniques. *Genet ics.*, 35(3), 303–321.

29. Beil, G.M., & Atkins, R.E. (1965). Inheritance of quantitative characters in grain sorghum. *Iowa St. J. Sci.*, 39(3), 165–179.

30. Wu, X., Liu, Y., Zhang, Y. & Gu, R. (2021). Advances in Research on the Mechanism of Heterosis in Plants. *Front Plant Sci.* 27;12:745726. doi: 10.3389/fpls.2021.745726.

31. Schnable, P.S. & Springer, N.M. (2013). Progress toward understanding heterosis in crop plants. *Plant Biol.* 64:71-88. doi: 10.1146/annurev-arplant-042110-103827. Epub 2013 Feb 6. PMID: 23394499

32. Zhang, T., Xuan, L., Mao, Y. & Hu, Y. (2023). Cotton heterosis and hybrid cultivar development. *Theor Appl Genet.* 31;136(4):89. doi: 10.1007/s00122-023-04334-w.

33. Geng, X., Qu, Y., Jia, Y.-H., He, S., Pan, Z., Wang, L. & Du, X. (2021). Assessment of heterosis based

on parental genetic distance estimated with SSR and SNP markers in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *BMC Genomics*, 22(1). DOI: 10.1186/s12864-021-07431-6.

34. Farooq, A., Shakeel, A., Saeed, A., Farooq, J., Rizwan, M., Chattha, W. S., Sarwar, G. & Ramzan, Y. (2023). Genetic variability predicting breeding potential of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) for high temperature tolerance. *J Cotton Res*, 6, 7. https://doi.org/10.1186/s42397-023-00144-z.

35. Wu, J., Mao, L., Tao, J., Wang, X., Zhang, H., Xin, M., Shang, Y., Zhang, Y., Zhang, G., Zhao, Z., Wang, Y., Cui, M., Wei, L., Song, X. & Sun, X. (2022). Dynamic Quantitative Trait Loci Mapping for Plant Height in Recombinant Inbred Line Population of Upland Cotton. *Front Plant Sci.* 9;13:914140. doi: 10.3389/fpls.2022.914140.

36. Li, G., Che, J., Gong, J., Duan, L., Zhang, Z., Jiang, X., Xu, P., Fan, S., Gong, W., Shi, Y., Liu, A., Li, J., Li, P., Pan, J., Deng, X., Yuan, Y. & Shang, H. (2024). Quantitative Trait Locus Mapping for Plant Height and Branch Number in CCR170 Recombinant Inbred Line Population of Upland Cotton (*Gossypium hirsutum*). *Plants (Base)*, 30;13(11):1509. doi: 10.3390/plants13111509.

Боровик В.О., Мальцева О.П. Ступінь фенотипового домінування і гетерозис за висотою рослин у гібридів бавовнику першого покоління F₁

Мета дослідження – встановити особливості успадкування ознаки «висота рослини» у гібридів першого покоління (F₁) бавовнику (*Gossypium hirsutum* L.), а також оцінити гібридні комбінації з метою виявлення генотипів із найбільш вираженим проявом гетерозису за цією ознакою. **Методи:** польові, лабораторні, статистичні. **Результати.** У результаті аналізу гібридів першого покоління (F₁) за ознакою «висота рослин» встановлено значну мінливість показників залежно від гібридної комбінації та напряму схрещування. Аналіз гіпотетичного гетерозису показав, що в більшості гібридних комбінацій спостерігалось позитивне перевищення значення F₁ над середнім батьків (MP), що узгоджується з класичним визначенням гетерозису як явища переваги гібридів над батьківськими формами за кількісними ознаками. Найвищі значення цього показника відмічено у комбінаціях Л104/500у (23,66%), КК1083/500у (21,99%), 1068(94)/500у (17,63%) та Аргентина 2/500у (13,14%), що свідчить про значний потенціал цих гібридів щодо формування підвищеної висоти рослин. Водночас істинний гетерозис, розрахований відносно кращого з батьків (BP), мав більш стриманий характер і в ряді випадків набував від'ємних значень. Це вказує на відсутність перевищення гібридом максимального батьківського рівня. Позитивний істинний гетерозис встановлено у комбінаціях Македонка 21/500у (9,39%), Л104/500у (6,98%), КК1083/500у (5,32%), 1068(94)/500у (2,48%), Огоста/500у (2,48%) та Томcot 1074/Огоста (2,72%), так як свідчить про реальне перевищення батьківських форм і є цінною ознакою для селекції. **Висновки.** Найбільш перспективними для подальшого селекційного використання є гібридні комбінації, що поєднують високі значення гіпотетичного та істинного гетерозису з наддомінуванням, а саме: КК1083/500у, Л104/500у, 1068(94)/500у, Огоста/500у та Томcot 1074/Огоста та можуть бути використані для об'єднання

добору батьківських компонентів при створенні високопродуктивних сортів бавовнику з оптимальною архітектурою рослин.

Ключові слова: гібридні комбінації, висота рослин, гіпотетичний та істинний гетерозис.

Borovyk V.O., Maltseva O.P. The degree of phenotypic dominance and heterosis in plant height in first-generation F₁ cotton hybrids

The aim of the study is to establish the features of inheritance of the trait "plant height" in first-generation (F₁) cotton (*Gossypium hirsutum* L.) hybrids, as well as to evaluate hybrid combinations in order to identify genotypes with the most pronounced manifestation of heterosis in this trait. **Methods:** field, laboratory, statistical. **Results.** As a result of the analysis of first-generation (F₁) hybrids in terms of "plant height", significant variability of indicators was established depending on the hybrid combination and the direction of crossing. The analysis of hypothetical heterosis showed that in most hybrid combinations a positive excess of the F₁ value over the mean of the parents (MP) was observed, which is consistent with the classical definition of heterosis as the phenomenon of the superiority of hybrids over parental forms in quantitative traits.

The highest values of this indicator were observed in the combinations L104/500u (23.66%), KK1083/500u (21.99%), 1068(94)/500u (17.63%) and Argentina 2/500u (13.14%), which indicates a significant potential of these hybrids for the formation of increased plant height. At the same time, the true heterosis, calculated relative to the best parent (BP), was more restrained and in some cases acquired negative values. This indicates that the hybrids did not exceed the maximum parental level. Positive true heterosis was established in the combinations Makedonka 21/500u (9.39%), L104/500u (6.98%), KK1083/500u (5.32%), 1068(94)/500u (2.48%), Ogosta/500u (2.48%) and Tomcot 1074/Ogosta (2.72%), as it indicates a real excess of parental forms and is a valuable trait for selection. **Conclusions.** The most promising for further breeding use are hybrid combinations that combine high values of hypothetical and true heterosis with overdominance, namely: KK1083/500y, L104/500y, 1068(94)/500y, Ogosta/500y and Tomcot 1074/Ogosta and can be used to justify the selection of parental components when creating high-yielding cotton varieties with optimal plant architecture.

Key words: hybrid combinations, plant height, hypothetical and true heterosis.



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 27.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.04.2026

КОМПЛЕКСНИЙ ВПЛИВ РЕГУЛЯТОРУ РОСТУ РОСЛИН, ПОЗАКОРЕНЕВОГО ПІДЖИВЛЕННЯ ТА ЗРОШЕННЯ НА ФОРМУВАННЯ БУЛЬБ БАЗОВОЇ НАСІННЕВОЇ ФРАКЦІЇ КАРТОПЛІ В УМОВАХ ПІВДЕННОГО ПОЛІССЯ

ПІКІЧ О.П.

orcid.org/0000-0003-1853-9904

Інститут картоплярства Національної академії аграрних наук України

ВИШНЕВСЬКА О.В. – кандидат сільськогосподарських наук,

старший науковий співробітник

orcid.org/0000-0002-1089-6862

Інститут картоплярства Національної академії аграрних наук України

ЛЕВКІВСЬКИЙ І.В.

orcid.org/0000-0001-5773-2809

Інститут картоплярства Національної академії аграрних наук України

Постановка проблеми. Насінництво є важливою складовою ефективності галузі картоплярства. Одним із перспективних напрямів технологій виробництва насінневої картоплі високих категорій є застосування регуляторів росту рослин, мінеральних добрив і позакореневого підживлення у поєднанні з сучасними системами зрошення. Регулятори росту рослин, зокрема гіберелова кислота, здатні впливати на фізіолого-біохімічні процеси в рослинах, активізувати проростання бульб, інтенсифікувати ріст надземної маси та кореневої системи, а також опосередковано регулювати процес бульбоутворення [4]. Позакореневе підживлення рослин рідкими комплексними добривами дає змогу оперативніше коригувати їх мінеральне живлення у критичні періоди росту та розвитку рослин, підвищуючи коефіцієнт їх використання поживних речовин. Водночас дефіцит вологи залишається одним із головних лімітуючих факторів формування урожайності картоплі в зоні Південного Полісся та інших регіонах України. Краплинне зрошення у поєднанні з фертигацією забезпечує підтримання оптимального водного режиму ґрунту, створює умови для стабільного формування урожаю насінневих бульб стандартних розмірів [7]. Особливо важливим є вплив зрошення на вихід насінневої фракції (28 – 55 мм) в насінництві картоплі, яка визначає ефективність подальшого розмноження оздоровленого насінневого матеріалу картоплі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливою умовою повноцінного росту та розвитку рослин є забезпечення їх фосфором, що має велике значення на початковому етапі вегетації та у період формування бульб [1]. Зниження температури ґрунту нижче 14°C обумовлює гальмування дифузії, що може обумовлювати дефіцит фосфору навіть за його високого вмісту в ґрунті [3]. Для живлення картоплі фосфор має найбільше значення особливо на ранніх етапах вегетації. В період швидкого наростання вегетативної маси він разом з азотом забезпечує прискорене формування листового апарату рослин визначаючи цим рівень майбутнього врожаю. За оптимального забезпечення рослин карто-

плі цим елементом живлення раніше з'являються сходи та швидше розвивається коренева система, прискорюються процеси бульбоутворення та скорочується період вегетації [6]. Достатній рівень фосфорного живлення покращує ініціацію бульб та сприяє закладанню оптимальної їх кількості під кущем оптимально розміру та покращує фізіологічну їх стиглість [12; 13; 5].

Застосування в рослинництві регуляторів росту рослин підвищує урожайність сільськогосподарських культур до 35 – 48,0 %, впливаючи на передачу генетичної інформації вони прискорюють поділ клітин, інтенсифікують життєдіяльність клітин рослинних організмів, підвищують проникність міжклітинних мембран та прискорюють в них біохімічні процеси, що призводить до посилення процесів живлення, дихання й фотосинтезу, рослини більш ефективно використовують добрива [9]. Завдяки синтетичним стимуляторам підвищується стійкість рослин до несприятливих погодних умов і до ураження їх шкідниками й хворобами. Згідно з розрахунками, витрати на застосування кращих сучасних регуляторів росту на посівах зернових і зернобобових культур окупуються вартістю приростів урожаю в 30–50 разів, а на посівах кукурудзи, соняшнику, цукрового буряку, багаторічних трав – у 50–100 разів і більше, тобто застосування регуляторів росту сьогодні є одним із найбільш високорентабельних засобів підвищення врожайності [2].

Зокрема, гібереліни застосовують у практиці рослинництва для підвищення виходу волокна коноплі та льону, збільшення розмірів ягід у безнасінних сортів винограду, підвищення врожайності трав, стимуляції бульбоутворення у картоплі і проростання насіння зернових та для виготовлення пивоварного солоду [8]. Дія гібереліну пов'язана з багатьма фізіологічними реакціями в організмі рослини. Встановлено, що гіберелін впливає на ауксиновий обмін: бере участь у транспорті ІУК та підсилює її біосинтез. Крім того, гіберелін активує біосинтез нуклеїнових кислот і білків, дію ряду ферментів. Так як гібереліни викликають різке приско-

рення росту зеленої маси рослин, застосування їх повинно супроводжуватися посиленням живлення рослин. Як відомо, гібереліни – індуктори стеблостворення виникають в листі і пересуваються по рослині як базіпетально, так і в акропетальному напрямку, викликаючи потовщення столонів і стимуляцію процесу цвітіння [10].

Мета дослідження встановити закономірності формування урожайності та виходу насіннєвих бульб картоплі з одної площі залежно від позакореневого підживлення із застосуванням рідких комплексних добрив та регулятора росту в поєднанні з краплинним зрошенням.

Матеріали та методи дослідження. Дослідження проводили в 2024 – 2025 рр. в насінницькій сівозміні Інституту картоплярства НААН, розташованого в селищі Немішаєве, Київської області у зоні південного Полісся України. Ділянка 4-х рядкова із схемою посадки картоплі 75x20 см. Повторність 3-разова. Облікова площа ділянки становила 22,5 м².

Для досліджень використовували базовий насіннєвий матеріал супер-супереліту середньостиглих сортів картоплі Мирослава та Родинна оздоровлений біотехнічним методом. При висаджуванні насіннєвого матеріалу проводили основне удобрення мінеральним добривом нітроамофоска в розрахунку NPK 16:16:16 при нормі 300 кг на 1 га у вигляді водного розчину (локально в борозну перед садінням бульб картоплі). Дія регулятора росту та рідкого фосфорного добрива (РФД) Комбіфос досліджувалися на фоні протруювання садивних бульб препаратом Селест Топ у нормі 0,4 л/т. Садивний матеріал обробляли перед садінням гібереловою кислотою, а за вегетації була обробка рідким фосфорним добривом Комбіфос.

Гіберелова кислота (*англ.* Gibberellic acid, gibberellin A₃, GA або GA₃), –фітогормон класу гіберелінів, тетрациклічна дитерпеноїдна сполука. Це простий гіберелін, що сприяє росту та подовженню клітин, стимулює швидкий ріст стебла та коренів, викликає мітотичний поділ клітин у листках рослин і підвищує швидкість проростання насіння. Хімічна формула сполуки C₁₉H₂₂O₆. Після очищення це тверда речовина від білого до блідожовтого кольору [11].

Комбіфос – це концентроване рідке добриво з високим вмістом фосфору, калію, магнію, а також марганцю та цинку для забезпечення рослин необхідною енергією на ключових етапах росту і розвитку.

Переваги та властивості продукту:

- Негайно доступне та безпечне джерело фосфору для рослин, коли він не доступний з ґрунту.
- Сприяє активації кореневого поглинання.
- Потрібен рослинам з високими вимогами до фосфору та калію, а саме картопля, кукурудза, злакові, тощо.
- Можна застосовувати спільно з багатьма агрохімікатами, дозволяючи легко інтегрувати продукт в програми захисту рослин і позбавитися необхідності у проведенні окремих обприскувань, тим самим заощадивши час і гроші.

Схема дослідження

1. Контроль (NPK48 кг д.р.) у вигляді водного розчину) + обробка бульб Селест Топ, 0,4 л/т – без обробок рослин по вегетації (ФОН);

2. ФОН +РФД Комбіфос у дозі 5л/га, обробка рослин по вегетації 2 рази;

3. ФОН + передсадивна обробка бульб Гіберелова кислота GA₃ у нормі 50 мг/т,

4. ФОН + краплинне зрошення;

5. ФОН + Спільна дія агрозаходів: Комбіфос у нормі 5 л/га + гіберелова кислота GA₃ у нормі 50мг/т + краплинне зрошення (вар. 2+3+4).

Польовий дослід закладено за дотримання положень «Картоплярство: Методика дослідної справи» [14].

Для дослідження також використовували краплинне зрошення. У фазі бутонізації та цвітіння рослин картоплі, які є критичними періодами водоспоживання культури, поливи проводили зрошення з нормою 10–12 мм за один полив, що відповідало 1,80–2,16 м³ води на площу 180 м². Зрошення здійснювали з інтервалом 2–4 дні залежно від погодних умов з метою підтримання вологості орного шару ґрунту на рівні 70–80 % найменшої вологості. Терміни поливу насаджень проводилися коли волога у ґрунті знижувалася до 20 % найменшої вологості, використовуючи прилад щуповий вологомір МГ – 44.

Результати дослідження. В результаті досліджень встановлено, що урожайність бульб картоплі насіннєвої фракції розміром 28 – 55 мм за найбільшим поперечним діаметром бульби у контрольному варіанті двох досліджуваних сортів була практично ідентичною і становила для сорту Мирослава – 20,6 т/га та сорту Родинна – 21,7 т/га (табл. 1 та табл. 2). У обох випадках найбільша врожайність була досягнута за використання комплексу агрозаходів – обробки вегетуючих рослин картоплі РФД Комбіфос, 5 л/га, обробок бульб перед садінням гібереловою кислотою, 50 мг/т та застосування краплинного зрошення. За сортом Мирослава відмічено вищий рівень урожайності насіннєвих бульб порівняно із насіннєвою урожайністю сорту Родинна.

Застосування досліджуваних агрозаходів у комплексі забезпечило найбільшу урожайність бульб насіннєвої фракції – за сортом Мирослава рівень урожайності становив 29,8 т/га, з приростом до контролю 9,2 т/га, або 46,0 %, за сортом картоплі Родинна – відповідно рівень урожаю склав 28,4 т/га, приріст до контролю становив 6,7 т/га або 30,8 %. У варіанті з краплинним зрошенням насіннєва урожайність у сорту Мирослава склала 25,9 т/га (приріст до контролю – 5,3 т/га, або 26,5 %), що більш ніж удвічі перевищує отриманий урожай по сорту Родинна – 24,2 т/га (приріст до контролю – 2,5 т/га, або 11,5 %).

В 2025 році спостерігалось суттєве зростання урожайності на усіх варіантах за використання сорту картоплі Родинна, включаючи контроль (урожайність бульб – 25,1 т/га). Обробка насаджень картоплі РФД Комбіфос, 5 л/га сприяла значному підвищенню урожайності до рівня 28,9 т/га з приростом

Таблиця 1 – Урожайність бульб картоплі насінневої фракції залежно від застосування регулятора росту, позакореневого підживлення та краплинного зрошення, т/га с. Мирослава

№ п/п	Варіанти	2024 р.	2025 р.	Середнє	+ до Контролю	
1.	1.Контроль	20,1	21,2	20,6		%
2.	2.Комбіфос 5л/га по вегетації	24,5	21,6	23,0	2,4	12,0
3.	Гіберелова кислота ГА ₃ 50мг/т, обробка бульб	26,1	21,6	23,8	3,2	16,0
4.	Краплинне зрошення	26,0	25,9	25,9	5,3	26,5
5.	Спільна дія, варіанти 2+3+4	29,2	30,4	29,8	9,2	46,0
НІР ₀₅ , т/га		1,8	2,1			
Р _%		4,2	3,8			

до контролю 3,8 т/га, або 15,1 %, табл. 2. Завдяки оптимізації живлення та вологозабезпечення варіант досліді зі спільною дією досліджуваних агрозаходів виявився найбільш ефективним у збільшенні урожайності бульб насінневої фракції за використання обох сортів картоплі. Проте, сорт Мирослава продемонстрував кращу реакцію на застосування комплексу агротехнічних заходів, де було отримано рівень урожайності 30,4 т/га за приросту до контролю 9,2 т/га, або 43,3 %, за сортом картоплі Родинна урожайність бульб насінневої фракції становила 30,3 т/га за приросту до контролю 5,2 т/га, або 20,7 %.

Аналіз кількісного виходу бульб з одиниці площі врожаю показав, що застосування передсадивної обробки бульб картоплі гібереловою кислотою у нормі 50 мг/т у сорту Мирослава забезпечило вихід бульб насінневої фракції у кількості 466,7 тис. шт/га за приросту до контролю 54,8 тис. шт/га або 13,3 % (табл. 3). Позакореневе підживлення рослин по вегетації РФД Комбіфос у нормі 5 л/га забезпечив обсяг виходу насінневих бульб у сорту Мирослава 461,6 тис. шт/га з приростом 49,7 тис. шт/га або 12,1 % відповідно до контролю. У сорту картоплі Родинна аналогічні варіанти забезпечили значно менші значення приростів кількості бульб з 1 га площі: гіберелова кислота забезпечила вихід бульб насінневої фракції 430,4 тис. шт/га (приріст –14,0 тис. шт/га або 3,0 %), РФД Комбіфос – 433,7 тис. шт/га (приріст –17,3 тис. шт/га або 4,1 % відносно контролю).

Найбільший кількісний вихід бульб насінневого розміру з одиниці посіву досягнуто у варіанті

за спільного застосування досліджуваних агрозаходів. Приріст кількісного виходу бульб у варіанті – спільна дія досліджуваних чинників у сорту Мирослава складав 91,8 тис. шт/га або 22,3 % за виходу 503,7 тис. шт/га. За сортом Родинна отримано більший кількісний вихід насінневих бульб – 514,4 тис. шт/га за величини приросту до контролю 98,0 тис. шт/га або 23,5 %. Рівень приросту виходу бульб насінневого розміру з одиниці посіву відносно контролю у відносних одиницях є схожим за використання обох сортів картоплі – 22,3 % у сорту Мирослава та 23,5 % у сорту Родинна.

Висновки. Застосування передсадивної обробки регулятором росту рослин гібереловою кислотою, позакореневого підживлення рідким фосфорним добривом Комбіфос та краплинного зрошення суттєво підвищувало продуктивність базової насінневої картоплі оздоровленої методом біотехнології та вихід насінневих бульб з одиниці площі. Найбільш позитивний ефективність досягнуто за поєднання сукупної дії усіх агрозаходів на краплинному зрошенні, що сприяло підтриманню оптимальної вологості ґрунту у критичні фази росту, частка бульб насінневої фракції картоплі збільшувалася на 12 – 18 % порівняно з контролем без зрошення.

Отримані результати досліджень дозволяють рекомендувати елементи технологічного процесу для виробництва базової насінневої картоплі, що забезпечуватиме підвищення ефективності насінництва та якості вихідного оздоровленого насінневого матеріалу картоплі.

Таблиця 2 – Урожайність бульб картоплі насінневої фракції залежно від застосування регулятора росту, позакореневого підживлення та краплинного зрошення, т/га с.Родинна

№ п/п	Варіанти	2024 р.	2025 р.	Середнє	+ до Контролю	
1.	Контроль	18,3	25,1	21,7		%
2.	Комбіфос 5л/га по вегетації	16,7	28,9	22,8	1,1	5,1
3.	Гіберелова кислота ГА ₃ 50мг/т, обробка бульб	16,9	25,7	21,3	-0,3	-1,4
4.	Краплинне зрошення	21,2	27,3	24,2	2,5	11,5
5.	Спільна дія, варіанти 2+3+4	26,6	30,3	28,4	6,7	30,8
НІР ₀₅ , т/га		1,2	2,3			
Р _%		3,6	4,4			

Таблиця 3 – Кількісний вихід бульб картоплі насіннєвої фракції з урожаю залежно від застосування регулятора росту, позакореневого підживлення і краплинного зрошення, тис. шт/га

№ п/п	Варіанти	2024 р.	2025 р.	Середнє	+ до Контролю	
с. Мирослава						
1.	Контроль	422,8	401,0	411,9		%
2.	Комбіфос 5л/га по вегетації	522,2	401,1	461,6	49,7	12,1
3.	Гіберелова кислота GA ₃ 50мг/т, обробка бульб	522,3	411,1	466,7	54,8	13,3
4.	Краплинне зрошення	523,2	417,8	470,5	58,6	14,2
5.	Спільна дія, варіанти 2+3+4	563,0	444,5	503,7	91,8	22,3
с. Родинна						
1.	Контроль	421,8	411,1	416,4		%
2.	Комбіфос 5л/га по вегетації	432,9	434,5	433,7	17,3	4,1
3.	Гіберелова кислота GA ₃ 50мг/т, обробка бульб	429,8	431,1	430,4	14,0	3,4
4.	Краплинне зрошення	530,1	462,0	496,0	79,8	19,2
5.	Спільна дія, варіанти 2+3+4	549,5	479,4	514,4	98,0	23,5

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Potato phosphorus response in soils with high value of phosphorus. A. Jasim et al. *Agriculture*. 2020. Vol. 10, No. 7. 264. <https://doi.org/10.3390/agriculture10070264>

2. Пархуць І. М. Продуктивність картоплі залежно від удобрення на темно-сірих опідзолених ґрунтах Західного Лісостепу. *Актуальні проблеми ґрунтознавства, землеробства та агрохімії* : матеріали Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. Львів, 2014. С. 270–276.

3. Misgina N. A. Effect of phosphorus and potassium fertilizer rates on yield and yield component of potato (*Solanum tuberosum* L.) at K/Awlaelo, Tigray, Ethiopia. *Food Science and Quality Management*. 2016. Vol. 48. P. 60–69. URL: <https://www.iiste.org/Journals/index.php/FSQM/article/view/28681/29443>

4. Островський А. О., Ільчук Л. А. Урожай сортів картоплі різних груп стиглості залежно від рівня удобрення та способів догляду за насадженнями. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2003. Вип. 45. С. 55–61.

5. Setu H. Effect of phosphorus and potassium fertilizers application on soil chemical characteristics and their accumulation in potato plant tissues. *Applied and Environmental Soil Science*. 2022. Vol. Article ID 5342170. <https://doi.org/10.1155/2022/5342170>

6. Fernandes A. M. Effect of phosphorus nutrition on quality of fresh tuber of potato cultivars. A. M. Fernandes et al. *Bragantia*. 2015. Vol. 74, No. 1. P. 102–109. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0330>

7. Burt C. M., Styles S. W. *Drip and micro irrigation design and management for trees, vines, and field crops: practice plus theory*. Irrigation Training and Research Center, 2007. 396 p. URL: <http://www.itrc.org>

8. Nagai K. Antagonistic regulation of the gibberellic acid response during stem growth in rice / K. Nagai et al. *Nature*. 2020. Vol. 584, No. 7819. P. 109–114. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2501-8>

9. Camara M. C. General aspects and applications of gibberelins and gibberellic acid in plants. *Gibberellins and*

gibberellic acid: biosynthesis, regulation and physiological effects. 2015. P. 1–21.

10. Qayyum M. M. Optimizing gibberellic acid concentration and exposure time for effective dormancy breaking and sprouting enhancement in potato . M. M. Qayyum et al. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. Article 28966. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-13219-5>

11. Гіберелова кислота: значення та використання. *Stoller Ukraine*. URL: <https://www.stollerukraine.com.ua/ua/gormoni-new/>

12. White P. J., Hammond J. P. Phosphorus nutrition of potato. *Advances in potato chemistry and technology* / ed. by J. Singh, L. Kaur. 2nd ed. Academic Press, 2016. P. 233–252. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800002-1.00008-8>

13. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. ed. by P. Marschner. 3rd ed. Academic Press, 2012. 651 p.

14. Бондарчук А. А. Картоплярство: методика дослідної справи : монографія. За ред. А. А. Бондарчука. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2019. 651 с.

REFERENCES:

1. Jasim, A., et al. (2020). Potato phosphorus response in soils with high value of phosphorus. *Agriculture*, 10(7), 264. <https://doi.org/10.3390/agriculture10070264>

2. Parkhuts I. M. (2014) Produktivnist kartopli zalezhno vid udobrennia na temno-sirykh opidzolenykh gruntakh Zakhidnoho Lisostepu [Productivity of potato depending on fertilization on dark-gray podzolized soils of the Western Forest-Steppe]. Aktualni problemy gruntoznavstva, zemlerobstva ta ahrokhimii : materialy Mizhnar. nauk.-prakt. internet-konf. S. 270–276. [in Ukrainian].

3. Misgina, N. A. (2016). Effect of phosphorus and potassium fertilizer rates on yield and yield component of potato (*Solanum tuberosum* L.) at K/Awlaelo, Tigray, Ethiopia. *Food Science and Quality Management*, 48, 60–69. <https://www.iiste.org/Journals/index.php/FSQM/article/view/28681/29443>

4. Ostrovskiy A. O., Ilchuk L. A. (2003) Urozhai sortiv kartopli riznykh hrup styhlosti zalezhno vid rivnia udobrennia ta sposobiv dohliadu za nasadzhenniamy [Yield of potato varieties of different maturity groups depending on

the fertilization level and crop care practices]. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynyystvo*. № 45. S. 55–61. [in Ukrainian].

5. Setu, H. (2022). Effect of phosphorus and potassium fertilizers application on soil chemical characteristics and their accumulation in potato plant tissues. *Applied and Environmental Soil Science*, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2022/5342170>

6. Fernandes, A. M., et al. (2015). Effect of phosphorus nutrition on quality of fresh tuber of potato cultivars. *Bragantia*, 74(1), 102–109. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0330>

7. Burt, C. M., & Styles, S. W. (2007). *Drip and micro irrigation design and management for trees, vines, and field crops: Practice plus theory*. Irrigation Training and Research Center. <http://www.itrc.org>

8. Nagai, K., et al. (2020). Antagonistic regulation of the gibberellic acid response during stem growth in rice. *Nature*, 584(7819), 109–114. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2501-8>

9. Camara, M. C., et al. (2015). General aspects and applications of gibberelins and gibberellic acid in plants. In *Gibberellins and gibberellic acid: Biosynthesis, regulation and physiological effects* (pp. 1–21).

10. Qayyum, M. M., et al. (2025). Optimizing gibberellic acid concentration and exposure time for effective dormancy breaking and sprouting enhancement in potato. *Scientific Reports*, 15, 28966. :

11. Stoller Ukraine. (n.d.). Hiberelova kyslota: znachennia ta vykorystannia [Gibberellic acid: Significance and use]. *Stoller Ukraine*. <https://www.stollerukraine.com.ua/ua/gormoni-new/> [in Ukrainian].

12. White, P. J., & Hammond, J. P. (2016). Phosphorus nutrition of potato. In J. Singh & L. Kaur (Eds.), *Advances in potato chemistry and technology* (2nd ed., pp. 233–252). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800002-1.00008-8>

13. Marschner, P. (Ed.). (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed.). Academic Press.

14. Bondarchuk A. A. (Ed.). (2019). *Kartopliarstvo: metodyka doslidnoi spravy : monohrafiia* [Potato growing: methods of experimental research]: monohrafiia. Vinnytsia : Nilan-LTD. [in Ukrainian].

Пікіч О.П., Вишневіська О. В., Левківський І.В. Комплексний вплив регулятора росту рослин, позакоренового підживлення та зрошення на формування бульб насінневої фракції картоплі в умовах південного Полісся

Метою досліджу встановити найбільш ефективні агрозаходи підвищення бульбоутворюючої здатності базової насінневої картоплі та формування максимального виходу бульб насінневої фракції з одиниці площі посіву. **Методи.** Дослідження проводили за використання польового і лабораторного методів за факторіальною схемою з варіантами застосування регулятора росту рослин, позакоренового підживлення рідким комплексним добрив та краплинного зрошення. Обліки включали фенологічні, біометричні та врожайні. Дані обробляли статистично для визначення достовірності результатів. **Результати.** Встановлено, що комплекс агрозаходів таких як передсадивна обробка бульб гібереловою кислотою у нормі 50 мг/т, позакореневе підживлення рідким

фосфорним добривом Комбіфос у нормі 5 л/га та краплинне зрошення на фоні локального внесення розчиненого мінерального добрива – нітроамофоски істотно підвищив урожайність і вихід бульб насінневої фракції. За спільної дії усіх агрозаходів сформовано найвищу урожайність базової картоплі приріст до контролю за сортом Мирослава становить 46 %, та у сорті Родинна – 30,8 %. Урожай бульб картоплі насінневої фракції збільшувався у сорту Мирослава до рівня 29,8 т/га, з приростом до контролю 9,2 т/га. Урожайність сорту картоплі Родинна становила 28,4 т/га, за приросту до контролю – 6,87 т/га. **Висновки.** У результаті проведених досліджень встановлено закономірності впливу регулятора росту, позакоренового підживлення фосфорним добривом та зрошення на ріст, розвиток, урожайність і формування урожаю бульб насінневої фракції оздоровленої насінневої картоплі в умовах Південного Полісся України. Комплексне застосування передсадивної обробки бульб гібереловою кислотою у нормі 50 мг/т, позакоренового підживлення рідким фосфорним добривом Комбіфос у нормі 5 л/га та краплинного зрошення на фоні локального внесення розчиненої нітроамофоски забезпечувало найкращі показники росту та розвитку рослин картоплі, сприяло підвищенню насінневої продуктивності посіву.

Ключові слова: урожайність, вихід бульб насінневої фракції, краплинне зрошення, гіберелова кислота, рідке фосфорне добриво.

Pikich O.P., Vyshnevskaya O.V., Levkivskiy I.V. Complex effect of plant growth regulator, foliar feeding, and irrigation on the formation of seed-size potato tubers under the conditions of the Southern Polissia

Purpose of the experiment was to identify the most effective agronomic practices to enhance the tuber-forming capacity of basic seed potatoes and to maximize the yield of the seed tuber fraction per unit area. **Methods.** The research was conducted using field and laboratory methods according to a factorial experimental design, including treatments with a plant growth regulator, foliar application of a liquid complex fertilizer, and drip irrigation. Observations included phenological, biometric and yield assessments. The obtained data were statistically processed to determine the significance of differences. **Results.** It was established that the combined application of preplanting tuber treatment with gibberellic acid at a rate of 50 mg/t, foliar fertilization with the liquid phosphorus fertilizer Kombiphos at 5 l/ha, and drip irrigation against the background of localized application of dissolved mineral fertilizer nitroamophoska significantly increased total yield and the output of the seed tuber fraction.

Under the combined action of all agronomic measures, the highest yield of basic seed potatoes was obtained: the increase compared to the control reached 46% in the cultivar Myroslava and 30.8% in the cultivar Rodynna. The yield of seed-size tubers in Myroslava increased to 29.8 t/ha, with a gain of 9.2 t/ha over the control. In the cultivar Rodynna, the yield reached 28.4 t/ha, exceeding the control by 6.87 t/ha. **Conclusions.** The study established patterns of the influence of a growth regulator, foliar phosphorus fertilization and irrigation on plant growth, development, total productivity and seed tuber formation

of virus-free seed potatoes under the conditions of the Southern Polissia of Ukraine. The integrated application of gibberellic acid 50 mg/, foliar feeding with Kombiphos 5 l/ha, and drip irrigation combined with localized application of dissolved nitroam-

mophoska provided the most favorable conditions for plant growth and enhanced seed productivity of the crop.

Key words: yield; seed tuber output; drip irrigation; gibberellic acid; liquid phosphorus fertilizer.



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 27.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 28.04.2026

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

LAVRENKO S.O.....	37	КОГУТ І.М.....	77
LYKHOVYD P.V.....	37	КОЛЯДЖИН І.Ф.....	43
MAKSYMОВ D.O.....	37	КРИВЕНКО А.І.....	50
PILIARSKA O.O.....	62	ЛЕВКІВСЬКИЙ І.В.....	128
POLAHENKO O.S.....	62	МАЛЬЦЕВА О.П.....	120
SHABLIA O.S.....	62	МАРЧЕНКО В.Д.....	77
VOZNEHOVA R.A.....	37	МАРЧЕНКО Т.Ю.....	77
ZHEREVCHUK S.V.....	62	МЕДВІДЬ С.І.....	32
АЛЕКСЄЄВ О.О.....	5	ПАНКОВА С.О.....	58
АЛМАШОВА В.С.....	12	ПІКІЧ О.П.....	128
АНДРІЄНКО А.Л.....	17	СЕНИК І.І.....	77
АНДРІЄНКО О.О.....	17	СЕМЕНЯКА І.М.....	17
БАХМАТ О.М.....	5	СЕРГЄЄВ Л.А.....	77
БОРОВИК В.О.....	120	СЕРДЮК П.В.....	84
БУТЕНКО А.О.....	25	СІМЧУК А.П.....	43
БУТЕНКО Є.Ю.....	32	ТКАЛІЧ Ю.І.....	17
ВЕРГЕЛІС В.І.....	90	ТКАЧЕНКО Р.С.....	32
ВИШНЕВСЬКА О.В.....	128	ТКАЧУК О.П.....	90
ВРАДІЙ О.І.....	5	ТРАНДАФІР І.В.....	97
ДМИТРИК П.М.....	43	УСОВ Р.М.....	50
ДРОЗДЕНКО А.Ю.....	25	ХОМЕНКО Т.М.....	77
ДУШКО П. М.....	43	ЦИЦЮРА Я.Г.....	103
ЗАЇКА В.К.....	43	ЧОРНОМОРЕЦЬ О.О.....	112
ЗУБОВ В.В.....	77	ШЕЛЕНКО Д.І.....	43
КОВАЛЕНКО В.М.....	84	ШУВАР І.А.....	5

Наукове видання
ЗРОШУВАНЕ ЗЕМЛЕРОБСТВО

Збірник наукових праць

Випуск 85

Відповідальний за випуск – Пілярська О.О.

Дата розміщення онлайн – 28.04.2026 р.
Дата друку – 04.05.2026 р.
Формат 60x84 1/8. Папір офсетний. Гарнітура Arial. Цифровий друк.
Умовно друк. арк. 16,28. Наклад 300. Зам. № 0426/370
Віддруковано з готового оригінал-макета.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
65101, м. Одеса, вул. Інглєзі, 6/1
Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.