

**ІНСТИТУТ СІЛЬСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА
КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ
АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ**

УДК 631.636

ISSN 0130-8521
e- ISSN 2786-5231

Ідентифікатор
в Реєстрі суб'єктів у сфері медіа
R30-01974

*Рекомендовано до друку
вченою радою Інституту
сільського господарства
Карпатського регіону НААН,
протокол № 10
від 23 вересня 2026 р.*

*Реєстраційне свідоцтво
№ 24025-13865 р.
від 05.07.2019.*

*Редактор М. М. Кахнич
Верстка О. Я. Полудіх
Переклад А. В. Шелевач*

*Видавець і виготовлювач
Інститут сільського господарства
Карпатського регіону НААН,
вул. Грушевського, 5, с. Оброшине
Львівського р-ну Львівської обл.,
81115*

*Формат 70×108 1/16.
Умовн. друк. арк. 13,53.
Тираж 100 прим.*

*Свідоцтво про внесення суб'єкта
видавничої справи
до державного реєстру видавців,
виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції ДК № 7457
від 28.09.2021 р.
inagrokarpat@isgkr.com.ua
www.isgkr.com.ua*



Міжвідомчий тематичний науковий збірник

ПЕРЕДГІРНЕ ТА ГІРСЬКЕ ЗЕМЛЕРОБСТВО І ТВАРИННИЦТВО

Заснований у 1967 р.

Випуск 80 • Частина 1 • 2026



**Видавництво
Інституту сільського господарства
Карпатського регіону НААН
Оброшине 2026**

Адреса редколегії:
Інститут сільського
господарства Карпатського
регіону НААН,
вул. Грушевського, 5,
с. Оброшине
Львівського р-ну Львівської обл.,
81115
Тел./факс+38 (032) 227 97 99,
227 97 33,
e-mail: inagrokarpat@isgkr.com.ua

Редакційна колегія:

Головний редактор:

Стасів Олег Федорович, доктор сільськогосподарських наук, академік НААН, професор, директор, Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН, Україна

Члени редакційної колегії:

Байструк-Глодан Леся Зіновівна, доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, завідувач Передкарпатського відділу наукових досліджень, Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН, Україна

Валлур Раві, кандидат наук, старший викладач, Університет Лінкольна, Велика Британія

Влізло Василь Васильович, доктор ветеринарних наук, академік НААН, професор, професор кафедри внутрішніх хвороб тварин та клінічної діагностики, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького, Україна

Волощук Олександра Петрівна, доктор сільськогосподарських наук, професор, головний науковий співробітник, Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН, Україна

Заборський Даніель, кандидат наук, старший науковий співробітник, Західнопоморський технологічний університет в м. Щецин, Республіка Польща

Карбівська Уляна МIRONIVNA, доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри лісового і аграрного менеджменту, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, Україна

Кемесіте Вільма, доктор наук, старший науковий співробітник, Інститут сільського господарства, Литовський науково-дослідний центр сільського та лісового господарства, Литва

Коник Григорій Станіславович, доктор сільськогосподарських наук, член-кореспондент НААН, професор, перший заступник директора, Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН, Україна

Ліатукайне Аурелія, доктор наук, старший науковий співробітник, Інститут сільського господарства, Литовський науково-дослідний центр сільського та лісового господарства, Литва

Лихочвор Володимир Володимирович, доктор сільськогосподарських наук, член-кореспондент НААН, професор, професор агротехнологій у рослинництві, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького, Україна

Панахид Галина Ярославівна, доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, вчений секретар, Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН, Україна

Пілярчик Богуміла, доктор наук, професор, Західнопоморський технологічний університет в м. Щецин, Республіка Польща

Седіло Григорій Михайлович, доктор сільськогосподарських наук, академік НААН, професор, Радник при дирекції, Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН, Україна

Шувар Антін Михайлович, доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри агробіотехнологій, Західноукраїнський національний університет, Україна

За достовірність поданих матеріалів відповідальність несуть автори.

Статті друкуються в авторській редакції з мінімальною технічною правкою

INSTITUTE OF
AGRICULTURE
OF CARPATHIAN REGION
OF NATIONAL ACADEMY OF
AGRARIAN SCIENCES OF
UKRAINE

UDK 631.636

ISSN 0130-8521
e- ISSN 2786-5231

Identifier
in the Register of Media Entities
R30-01974

Recommended for publication
by the Academic Council
of Institute of Agriculture
of Carpathian Region of NAAS,
Protocol № 10 of September 23, 2026

Registration certificate
№ 24025-13865
dated 05.07.2019

Editor M. M. Kakhnych
Layout by O. Ya. Polulikh
Translation by A. V. Shelevach

Publisher and manufacturer
Institute of Agriculture of the
Carpathian Region of NAAS,
81115, Hrushevskoho Street, 5,
Obroshyne village, Lviv district,
Lviv region

Format 70×108 1/16.
Conventional printed sheets
number 13,53.
Pressrun 100 copies.

Certificate of entry of a publishing
entity to the State Register of
Publishers, Manufacturers and
Distributors of Publishing Products DK
No 7457 dated 28.09.2021
inagrokarpat@isgkr.com.ua
www.isgkr.com.ua



Interdepartmental thematic scientific collection

FOOTHILL AND MOUNTAIN AGRICULTURE AND STOCKBREEDING

Since 1967

Volume 80 • Issue 1 • 2026



Editorial board address:

Institute of Agriculture of Carpathian
Region of NAAS,
st. Grushevskogo, 5, Obroshyne village,
Lviv district, Lviv region, 81115
Tel./fax +38 (032) 227 97 99,
227 97 33,
e-mail: inagrokarpat@isgkr.com.ua

Editorial board:

Editor-in-Chief:

Stasiv Oleh, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of NAAS, Professor, Director, Institute of Agriculture of the Carpathian Region of NAAS, Ukraine

Members of the editorial board:

Baistruk-Hlodan Lesya, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Research, Head of the Precarpathian Department of Scientific Research, Institute of Agriculture of the Carpathian Region of NAAS, Ukraine

Valluru Ravi, PhD, Senior Lecturer, University of Lincoln, United Kingdom

Vlizlo Vasyl, Doctor of Veterinary Sciences, Academician of NAAS, Professor, Professor of the Department of Internal Animal Diseases and Clinical Diagnostics of Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies, Ukraine

Voloshchuk Oleksandra, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher, Institute of Agriculture of the Carpathian Region of NAAS, Ukraine

Zaborski Daniel, PhD, Associate Professor, West Pomeranian University of Technology in Szczecin, Poland

Karbivska Uliana, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Forest and Agricultural Management, Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ukraine

Kemešytė Vilma, Doctor of Sciences, Senior Researcher, Institute of Agriculture, Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Lithuania

Konyk Hryhorii, Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the NAAS, Professor, First Deputy Director, Institute of Agriculture of the Carpathian Region of NAAS, Ukraine

Liatukienė Aurelija, Doctor of Sciences, Researcher, Institute of Agriculture, Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Lithuania

Lykhochvor Volodymyr, Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of NAAS, Professor, Professor of the Agrotechnology Department, Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies, Ukraine

Panakhid Halyna, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Scientific Secretary, Institute of Agriculture of the Carpathian Region of NAAS, Ukraine

Pilarczyk Bogumila, Doctor of Science, Professor, West Pomeranian University of Technology in Szczecin, Republic of Poland

Sedilo Hryhorii, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of NAAS, Professor, Administration advisor, Institute of Agriculture of the Carpathian Region of NAAS, Ukraine

Shuvar Antin, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Head of the Department of Agrobiotechnology, West Ukrainian National University, Ukraine

The authors are responsible for the accuracy of the materials presented.

Articles are published in the author's version with minimal technical editing

© Institute of Agriculture
of Carpathian Region of NAAS, 2026

ЗМІСТ**CONTENT****ЗЕМЛЕРОБСТВО
І РОСЛИННИЦТВО****AGRICULTURE
AND PLANT GROWING**

<i>Задарко І. М., Гусак В. В.</i> Топінамбур (<i>Helianthus tuberosus</i> L.) у фітоменеджменті ґрунтів, забруднених потенційно токсичними металами: огляд із акцентом на кадмій.....	7	<i>Zadarko I. M., Husak V. V.</i> Jerusalem artichoke (<i>Helianthus tuberosus</i> L.) for phytomanagement of potentially toxic metal-contaminated soils: a cadmium-focused review
<i>Медончак О. В., Хоненко Л. Г.</i> Урожайність гібридів та стандарти збору плодів огірка залежно від застосування біопрепаратів і мікродобрих за умов краплинного зрошення в Південному Степу України.....	29	<i>Medonchak O. V., Khonenko L. G.</i> Yields of cucumber hybrids and fruit harvesting standards depending on the use of biological products and micronutrients under drip irrigation conditions in the southern steppe of Ukraine
<i>Біловус Г. Я., Ващишин О. А., Голець І. М., Бернат Я. Р.</i> Фітофтороз гречки: фактори розвитку і стратегії захисту.....	44	<i>Bilovus H. Ya., Vashchyshyn O. A., Holets I. M., Bernat Ya. R.</i> Buckwheat phytophthorose: development factors and protection strategies
<i>Гавришко О. С., Оліфір Ю. М., Партика Т. В., Козак Н. І., Горлінський О. А.</i> Трансформація морфологічних ознак і забарвлення профілю ясно-сірого лісового поверхнево-оглеєного ґрунту за тривалого агрогенного використання.....	57	<i>Havryshko O. S., Olifir Yu. M., Partyka T. V., Kozak N. I., Horlinskyi O. A.</i> Transformation of morphological characteristics and profile coloration of a light-gray forest surface-gleyed soil under long-term agricultural use
<i>Гнатів П. С., Піцик Ю. В.</i> Вплив норм удобрення на урожайність зернової кукурудзи за використання стабілізаторів азоту на темно-сірому опідзоленому ґрунті.....	67	<i>Hnativ P. S., Pitsyk Yu. V.</i> Effect of fertiliser application rates on grain maize yield using nitrogen stabilisers in a dark-grey podzolised soil
<i>Говенько Р. В., Антал Т. В.</i> Формування асиміляційної поверхні та накопичення вмісту хлорофілів «а» та «b» у рослин кукурудзи залежно від азотних добрив.....	84	<i>Hovenko R. V., Antal T. V.</i> Formation of assimilation surface and accumulation of chlorophyll «a» and «b» in maize plants depending on phenological development stages
<i>Карбівська У. М., Турак Р. О.</i> Вплив системи удобрення на формування врожайності гібридів соняшнику в умовах західного регіону України.....	94	<i>Karbivska U. M., Turak R. O.</i> Effect of the Fertilization System on sunflower hybrid yield formation in the western region of Ukraine
<i>Купріянова Т. М., Макаrchук Н. В., Мирончук В. М.</i> Особливості бульбоутворення картоплі сорту слаута в умовах <i>in vitro</i>	105	<i>Kupriianova T. M., Makarchuk N. V., Myronchuk V. M.</i> Features of tuber formation in the Slauta potato variety under <i>in vitro</i> conditions

<i>Лозінський Б. М., Грабовський М. Б.</i> Вплив елементів технології вирощування на вміст білка у зерні пшениці м'якої ярої в умовах Правобережного Лісостепу України.....	115	<i>Lozinskyi B. M., Hrabovskyi M. B.</i> The effect of cultivation technology factors on the protein content in soft spring wheat grains in the Right-bank Forest-stepperegion of Ukraine
<i>Оліфірович В. О., Маковічук С. Д., Оліфірович С. Й.</i> Вплив режимів використання на продуктивність багаторічних травостоїв в умовах південної частини Західного Лісостепу.....	129	<i>Olifirovych V. O., Makoviichuk S. D., Olifirovych S. Y.</i> Influence of utilization regimes on the productivity of perennial grass stands in the southern partof the Western Forest-Steppe
<i>Рудавська Н. М., Коник Г. С., Стасів О. О.</i> Походження культури сої та сучасний стан виробництва.....	138	<i>Rudavska N. M., Konyk H. S., Stasiv O. O.</i> The origin of soybean cropand the current status of production
<i>Тромсюк В. Д., Бугайов В. Д.</i> Пластичність та стабільність урожаю зерна колекційних зразків тритикале озимого за мінливих умов вирощування.....	149	<i>Tromsiuk V. D., Buhaiiov V. D.</i> Plasticity and stability of grain yield of collection samples of winter triticalesunder changing growing conditions
<i>Шувар А. М., Панькевич В. С.</i> Економічна та енергетична ефективність вирощування біомаси енергетичної верби в умовах Західного Лісостепу України.....	160	<i>Shuvar A. M., Pankevych V. S.</i> Economic and energy efficiency of cultivating energy willow biomass in the Western Forest-Steppe regionof Ukraine
<i>Ямковий В. Ю., Ременюк С. О., Макух Я. П., Доронін В. А.</i> Екологічна пластичність, стабільність та адаптивність середньостиглих сортів картоплі за врожайністю бульб в умовах Південного Полісся України.....	170	<i>Yamkovyi V. Yu., Remeniuk S. O., Makukh Ya. P., Doronin V. A.</i> Ecological plasticity, stability and adaptability of mid-season potato varieties in terms of tuber yieldin the Southern Polissya region of Ukraine

ТВАРИННИЦТВО**STOCKBREEDING**

<i>Кочук-Яценко О. А., Леонець С. О., Захарчук Д. В.</i> Кореляційні зв'язки між господарсько корисними ознаками симентальських корів у динаміці поколінь..	186	<i>Kochuk-Yashchenko O. A., Leonets S. O., Zakharchuk D. V.</i> Correlational relationships between economically useful traitsof simmental cows across generations
<i>Чудак Р. А., Лебідь Я. Г., Побережцев Ю. М.</i> Продуктивність та гематологічні показники перепілок за дії фітобіотики.....	200	<i>Chudak R. A., Lebid Ya. H., Poberezhets Yu. M.</i> Productivity and hematological indicatorsof quail under the action of phytobiotics

DOI: 10.32636/01308521.2026-(80)-1-1

Review

UDC 631.416.8:635.24:546.48

**JERUSALEM ARTICHOKE (*HELIANTHUS TUBEROSUS* L.)
FOR PHYTOMANAGEMENT
OF POTENTIALLY TOXIC METAL-CONTAMINATED SOILS:
A CADMIUM-FOCUSED REVIEW****I. M. Zadarko, V. V. Husak**

Vasyl Stefanyk Carpathian
National University
Shevchenko street, 57,
Ivano-Frankivsk, Ivano-Frankivsk
district, Ivano-Frankivsk region,
76018

About authors:

Ihor ZADARKO
ORCID: 0009-0006-4965-973X

Viktor HUSAK
ORCID: 0000-0001-9415-9837

Corresponding author:

Viktor HUSAK
e-mail: viktor.husak@cnu.edu.ua

Funding information:

Vasyl Stefanyk Carpathian
National University

Received:
May 29, 2026
Accepted:
August 10, 2026
Published:
September 30, 2026

Soil contamination by potentially toxic metals (PTMs), particularly cadmium (Cd), is a persistent environmental problem because metals do not degrade and may enter food chains. This review assesses the evidence for using Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) in the phytomanagement of PTM-contaminated soils, with emphasis on Cd. A systematic search of Scopus and Web of Science was followed by a narrative synthesis of eligible studies. The available evidence indicates that Cd tolerance, biomass production, accumulation, and root-to-shoot translocation vary substantially among genotypes and experimental conditions. Several studies report greater Cd retention in roots than in shoots, indicating low translocation and potential relevance to stabilization-oriented phytomanagement; however, root accumulation alone does not demonstrate long-term immobilization. Selected high-biomass genotypes may contribute to gradual phytoextraction when aboveground biomass is repeatedly harvested, but field-scale Cd mass-balance data remain limited. Soil pH, mixed-metal contamination, amendments, and plant-associated bacteria can modify plant growth and metal availability. Accordingly, *H. tuberosus* should be regarded as a candidate for long-term phytomanagement of slightly to moderately contaminated land unsuitable for food production rather than as a rapid decontamination technology. Biomass produced on contaminated sites must be excluded from food and feed chains and managed through a validated and regulated pathway.

Keywords: *Helianthus tuberosus* L., Jerusalem artichoke, phytoremediation, Cadmium, potentially toxic metals, phytostabilization, phytoextraction, PRISMA 2020.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

© Zadarko I. M., Husak V. V., 2026

Топіамбур (*Helianthus tuberosus* L.) у фітоменеджменті ґрунтів, забруднених потенційно токсичними металами: огляд із акцентом на кадмій

Карпатський національний
університет імені Василя Стефаника
вул. Шевченка, 57,
м. Івано-Франківськ,
Івано-Франківська обл., 76018

Про авторів:

Ігор ЗАДАРКО,
аспірант
ORCID: 0009-0006-4965-973X

Віктор ГУСАК,
кандидат біологічних наук
ORCID: 0000-0001-9415-9837

Для листування:

Віктор ГУСАК
e-mail: viktor.husak@cnu.edu.ua

Інформація про фінансування:

Карпатський національний
університет імені Василя Стефаника

Отримано:

29 травня 2026 р.
Погоджено до друку:
10 серпня 2026 р.
Опубліковано:
30 вересня 2026 р.

Забруднення ґрунтів потенційно токсичними металами, особливо кадмієм (Cd), є тривалою екологічною проблемою, оскільки метали не розкладаються та можуть потрапляти до трофічних ланцюгів. У цьому огляді оцінено доказову базу щодо використання топіамбура (*Helianthus tuberosus* L.) для фітоменеджменту ґрунтів, забруднених потенційно токсичними металами, з особливою увагою до Cd. Після систематичного пошуку в базах Scopus і Web of Science проведено нарративний синтез відібраних досліджень. Наявні дані свідчать, що толерантність до Cd, формування біомаси, накопичення металу та його переміщення з коренів до надземних органів істотно залежать від генотипу й умов експерименту. У низці досліджень Cd переважно накопичувався в коренях, що вказує на низьку транслокацію та потенційну придатність до стабілізаційно орієнтованого фітоменеджменту; однак саме по собі кореневе накопичення не доводить довготривалої іммобілізації Cd у ґрунті. Високобіомасні генотипи можуть сприяти поступовій фітоекстракції за регулярного збирання надземної біомаси, проте польових даних щодо повного балансу Cd поки недостатньо. На ефективність також впливають рН ґрунту, сумісне забруднення іншими металами, ґрунтові добавки та асоційовані з рослинами бактерії. Отже, *H. tuberosus* доцільно розглядати як кандидата для довготривалого фітоменеджменту слабо та помірно забруднених земель, непридатних або не призначених для вирощування харчової продукції, а не як засіб швидкого очищення. Забруднену біомасу слід виключити з харчового й кормового ланцюгів та спрямовувати лише на валідований і регульований шлях поводження.

Ключові слова: *Helianthus tuberosus* L., топіамбур, фіторемедіація, кадмій, потенційно токсичні метали, фітостабілізація, фітоекстракція, PRISMA 2020.

Introduction. Soil contamination with potentially toxic metals (PTMs) is a long-term environmental problem because metals and metalloids are persistent, non-biodegradable and capable of accumulating in soil-plant systems. Cadmium (Cd) is particularly important due to its mobility in soil, plant uptake, phytotoxicity and potential entry into food chains. The environmental relevance of Cd should therefore be interpreted within the broader context of PTM toxicity, soil chemistry, and bioavailability [2, 20, 29, 51].

Phytoremediation has been proposed as an environmentally compatible, comparatively low-cost approach for managing contaminated soils. Its main mechanisms include phytoextraction, phytostabilization,

rhizofiltration, phytovolatilization and plant-assisted immobilization. The concept has developed from early demonstrations of plant-based metal removal to more realistic phytomanagement strategies in which risk reduction, biomass production and long-term site stabilization are considered together [1, 8, 14, 26, 27, 34–39, 40, 43, 45].

The efficiency of phytoremediation depends on metal tolerance, root development, uptake capacity, root-to-shoot translocation and biomass production. Hyperaccumulators can reach very high shoot metal concentrations, but they often produce limited biomass. For this reason, high-biomass species combining moderate metal accumulation, strong tolerance, and potential for controlled

non-food management are increasingly considered for field-scale phytomanagement [10, 11, 21, 24, 33, 50].

Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.), also known as topinambur, is a perennial Asteraceae crop with rapid growth, vegetative propagation by tubers, high biomass productivity and adaptability to marginal environments. Its biomass and tubers are widely discussed in relation to bioenergy, inulin production and renewable industrial feedstocks, which makes the crop attractive for contaminated lands, where food production would be inappropriate [13, 17, 19, 22, 23].

The potential of *H. tuberosus* for PTM phytoremediation is supported by studies showing growth under Cd stress, Cd accumulation in roots and shoots, genotype-dependent performance, response to mixed-metal contamination and possible improvement through endophytic bacteria. Cd-focused evidence is especially important because Cd combines high environmental relevance with strong plant physiological effects [4–6, 12, 31, 32, 49].

This review aims to evaluate the evidence for the use of *H. tuberosus* in the phytomanagement of PTM-contaminated soils, with particular emphasis on Cd. The review focuses on genotype-dependent Cd tolerance and accumulation, organ-specific Cd partitioning, soil and rhizosphere factors, assisted remediation, biomass management, field feasibility, and remaining research gaps.

Materials and methods.

Review design. This review was designed as a systematic literature search followed by a narrative evidence synthesis to evaluate the potential of *Helianthus tuberosus* L. for the phytomanagement and phytoremediation of soils contaminated with potentially toxic metals (PTMs), with particular emphasis on cadmium (Cd). Reporting of the literature identification, screening, eligibility assessment, and study selection process was informed by the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) 2020 statement and its explanation-and-elaboration document [42, 46]. The original PRISMA

statement was additionally consulted as methodological background [41].

The review focused primarily on experimental evidence directly concerning *H. tuberosus* exposed to Cd or other PTMs. Methodological publications, general reviews of phytoremediation and metal toxicity, and publications addressing Jerusalem artichoke biomass utilization were used as contextual sources to support interpretation but were considered separately from the primary experimental evidence.

A narrative synthesis was selected instead of a quantitative meta-analysis because the available studies differed substantially in plant genotype, experimental system, contaminant type and concentration, exposure duration, soil characteristics, measured plant organs, and reported endpoints. Particular attention was therefore given to the direction and consistency of effects, experimental context, metal partitioning among plant organs, biomass production, and the practical relevance of individual studies rather than to statistical pooling of heterogeneous datasets.

Information sources and search date.

The bibliographic search was conducted on 31 July 2026 using two major scientific databases: Scopus and the Web of Science Core Collection.

The search covered literature available in the databases up to 31 July 2026. No publication-year restriction was applied, allowing both earlier foundational studies and recent experimental evidence to be identified.

The primary search strategy was constructed around three groups of terms:

- terms identifying *H. tuberosus*;
- terms describing Cd and other potentially toxic metals;
- terms describing phytoremediation, metal accumulation, translocation, or related plant responses.

The principal search was designed to identify studies directly relevant to the soil-plant remediation function of Jerusalem artichoke. Additional contextual searches were conducted separately for Cd toxicity, hyperaccumulation, soil amendments and pH, plant-microbe-assisted phytoremediation, and

non-food utilization of *H. tuberosus* biomass. Contextual publications were used to interpret the primary findings but were not treated as primary *H. tuberosus* phytoremediation studies.

Search strategy. The following search string was applied to the title, abstract, and author keywords fields in Scopus:

Scopus search query

TITLE-ABS-KEY (("Helianthus tuberosus" OR "Jerusalem artichoke" OR topinambur) AND (cadmium OR Cd OR "heavy metal*" OR "potentially toxic metal*" OR lead OR Pb OR zinc OR Zn OR copper OR Cu OR nickel OR Ni OR mercury OR Hg OR chromium OR Cr) AND (phytoremediation OR phytoextraction OR phytostabilization OR accumulation OR "metal accumulation" OR translocation OR bioconcentration OR "bioconcentration factor" OR "translocation factor" OR tolerance)).

The Scopus search returned 43 records.

The same conceptual search strategy was adapted to the Topic (TS) field of the Web of Science Core Collection:

Web of Science search query

TS = (("Helianthus tuberosus" OR "Jerusalem artichoke" OR topinambur) AND (cadmium OR Cd OR "heavy metal*" OR "potentially toxic metal*" OR lead OR Pb OR zinc OR Zn OR copper OR Cu OR nickel OR Ni OR mercury OR Hg OR chromium OR Cr) AND (phytoremediation OR phytoextraction OR phytostabilization OR accumulation OR "metal accumulation" OR translocation OR bioconcentration OR "bioconcentration factor" OR "translocation factor" OR tolerance)).

The Web of Science search returned 55 records.

Thus, 98 bibliographic records were identified in the two databases before screening, consistent with the initial identification stage of the PRISMA workflow.

Supplementary contextual searches.

Supplementary contextual searches were conducted in Scopus and Web of Science Core Collection on 31 July 2026.

Because the primary *H. tuberosus* literature does not cover all mechanistic and

practical aspects required for interpreting phytoremediation performance, supplementary searches were conducted to obtain supporting literature on Cd toxicity, metal bioavailability, soil amendments, microorganisms, and biomass utilization.

These searches were conceptually separate from the primary evidence search and were not used to classify a publication as direct experimental evidence for *H. tuberosus* phytoremediation.

The following supplementary search combinations were used.

Cadmium toxicity and tolerance in plants ("cadmium toxicity" OR "cadmium stress" OR "Cd toxicity") AND (plant* OR crop*) AND (tolerance OR accumulation OR uptake OR translocation).

This contextual literature was used to interpret the physiological effects of Cd on plant growth and metal tolerance. Relevant background sources included publications on Cd toxicity and plant tolerance, for example [5].

Metal hyperaccumulation and phytoremediation (hyperaccumulat* OR phytoremediation OR phytoextraction OR phytostabilization) AND ("heavy metal*" OR "potentially toxic metal*" OR cadmium OR Cd).

This search was used to provide the conceptual framework for distinguishing classical hyperaccumulation, phytoextraction, phytostabilization, and high-biomass phytomanagement. Relevant methodological and conceptual sources included [1], [21], and [40].

Plant-microbe-assisted phytoremediation ("plant growth-promoting bacteria" OR PGPR OR rhizobacteria OR endophyte* OR "endophytic bacteria") AND (phytoremediation OR cadmium OR Cd OR "heavy metal*").

These sources were used to interpret the potential role of rhizospheric and endophytic microorganisms in plant growth, stress tolerance, and metal availability. Relevant general references included [15], [18], and [43].

Soil pH, Cd bioavailability, and amendments (cadmium OR Cd OR "heavy metal*") AND ("soil pH" OR amendment* OR biochar OR compost OR liming OR lime OR phosphate*) AND (bioavailability OR mobility OR immobilization OR mobilisation OR mobilization OR remediation).

This contextual search was used to support interpretation of soil-dependent Cd availability and the potential effects of organic and mineral amendments. Relevant references included [3], [2], [44], and [51].

Jerusalem artichoke biomass and non-food utilization ("Helianthus tuberosus" OR "Jerusalem artichoke") AND (biomass OR bioenergy OR bioethanol OR biogas OR biorefinery OR "renewable energy").

These sources were used exclusively to assess the potential non-food use of *H. tuberosus* biomass and were not considered evidence of metal-removal efficiency unless metal exposure was experimentally investigated. Relevant publications included [13], [19], [22], and [23].

Eligibility criteria. Studies considered part of the primary evidence base were required to meet the following eligibility criteria:

Inclusion criteria were: (i) original peer-reviewed experimental research; (ii) investigation of *Helianthus tuberosus* L. as the experimental plant species; (iii) exposure to Cd and/or at least one other potentially toxic metal; (iv) hydroponic, pot, greenhouse, soil, sludge-amended soil, or field experimental conditions; and (v) reporting of at least one outcome relevant to phytoremediation or phytomanagement, including plant tolerance, biomass production, metal concentration in plant tissues, root-to-shoot translocation, bioconcentration, metal uptake, total metal removal, effects of soil pH, effects of amendments, or plant-microbe interactions.

Studies examining mixed-metal contamination were eligible when Cd or other PTMs were quantified and the response of *H. tuberosus* could be evaluated separately.

Exclusion criteria were: (i) studies that did not investigate *H. tuberosus*; (ii) studies without exposure to potentially toxic metals;

(iii) studies addressing only food composition, inulin production, genetics, agronomic productivity, or bioenergy production without a metal-contamination component; (iv) studies dealing exclusively with other plant species; (v) publications without sufficient information to evaluate the experimental system or metal-related outcome; and (vi) duplicate publications reporting the same experimental dataset without additional relevant information.

Reviews, books, methodological guidelines, and broader phytoremediation publications were excluded from the primary evidence set but could be retained as contextual references when they provided information required for interpreting mechanisms, soil chemistry, remediation strategies, or biomass management.

This distinction was introduced to prevent general reviews and methodological publications from being counted as experimental evidence for the remediation capacity of *H. tuberosus*.

Study selection and PRISMA workflow. All records identified through Scopus and Web of Science were compiled before screening. The database searches yielded 98 records, including 43 records from Scopus and 55 records from Web of Science.

Duplicate checking was performed before screening, and 36 duplicate records were removed, leaving 62 unique records for title and abstract screening.

Title and abstract screening was performed by one reviewer using the predefined inclusion and exclusion criteria. Because study selection was conducted by a single reviewer, no formal procedure for resolving disagreements between reviewers was applicable. At this stage, 5 records were excluded because they did not address *Helianthus tuberosus*, potentially toxic metals, or outcomes relevant to phytoremediation, phytomanagement, metal accumulation, root-to-shoot translocation, or plant tolerance.

Consequently, 57 reports were sought for full-text retrieval and eligibility assessment. The retrieved full texts were evaluated against the predefined eligibility criteria. Following

full-text assessment, six reports were excluded because they did not provide sufficient direct evidence concerning *H. tuberosus* exposure to potentially toxic metals or did not report outcomes relevant to phytoremediation, metal accumulation, translocation, tolerance, or phytomanagement.

The remaining 51 reports met the eligibility criteria and were included in the narrative evidence synthesis. The complete study-selection process is summarized in Figure 1 according to the PRISMA 2020 flow-diagram framework [42, 46].

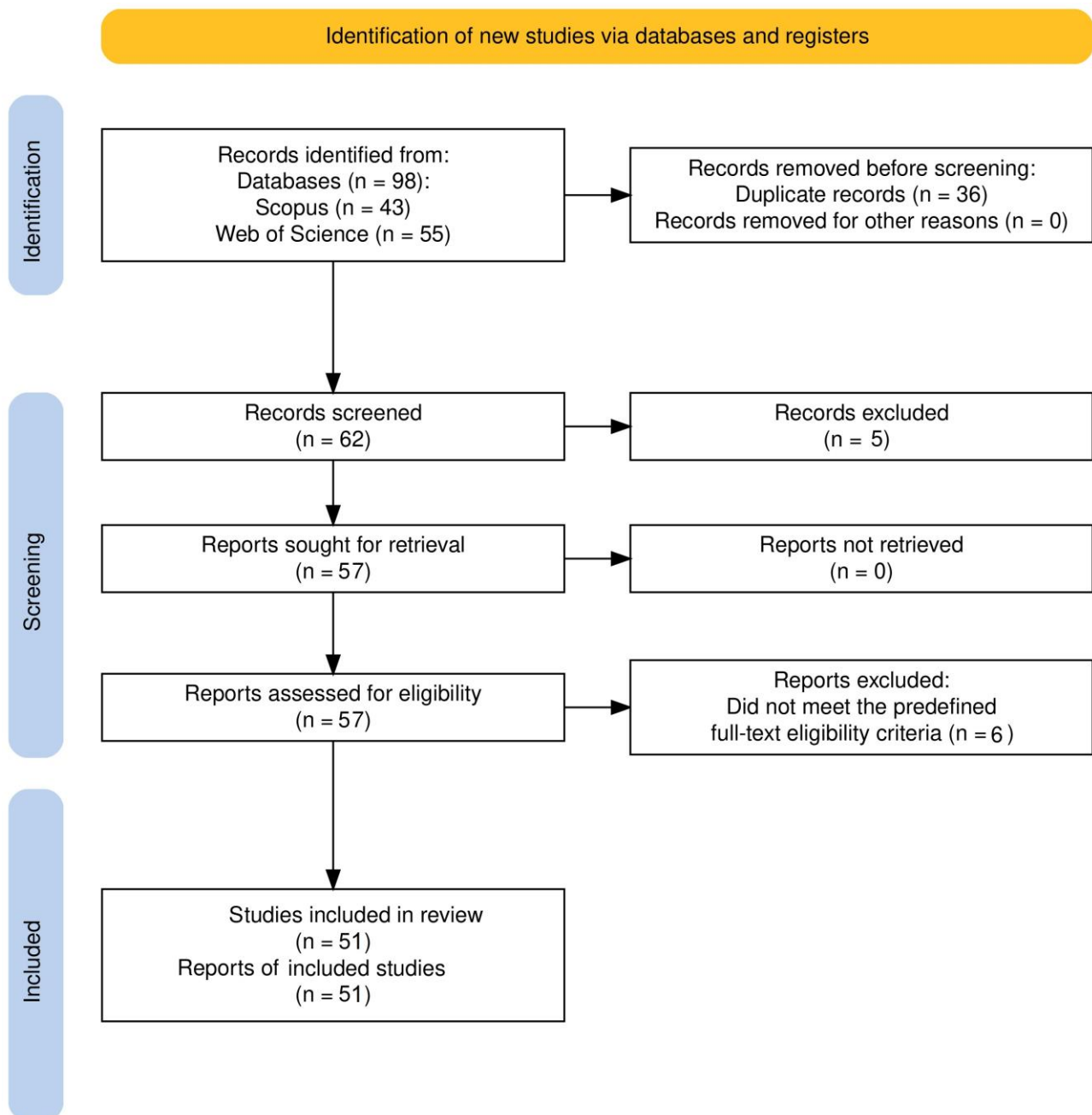


Figure 1. PRISMA 2020 flow diagram of the literature search and study-selection process

A total of 98 records were identified through Scopus (n = 43) and Web of Science (n = 55). After removal of 36 duplicate records, 62 unique records underwent title and abstract

screening, of which 5 were excluded. Fifty-seven reports were retrieved and assessed for full-text eligibility. Six reports were excluded

at the full-text stage, leaving 51 studies for inclusion in the narrative evidence synthesis.

Data extraction. For each eligible primary study, data were extracted into a structured evidence table. The following information was recorded where available:

- bibliographic information and publication year;
- experimental country or location;
- *H. tuberosus* cultivar, genotype, or accession;
- experimental system (hydroponic, pot, greenhouse, sludge-amended soil, or field study);
- characteristics of the soil or growth substrate;
- target metal or mixture of metals;
- metal concentration and, where reported, chemical form;
- exposure duration;
- soil pH and other relevant physicochemical characteristics;
- amendment treatments;
- microbial inoculation or endophyte treatments;
- plant survival and growth response;
- root, shoot, leaf, stem, and tuber biomass;
- metal concentrations in individual plant organs;
- bioconcentration or bioaccumulation factors;
- root-to-shoot translocation factors;
- total amount of metal accumulated or removed, where calculable;
- reported statistical significance;
- major experimental limitations.

Where studies reported only tissue metal concentration without biomass data, the results were interpreted as evidence of accumulation but not automatically as evidence of effective phytoextraction. Similarly, preferential accumulation of Cd in roots was interpreted as evidence of restricted root-to-shoot translocation and potential relevance to stabilization-oriented phytomanagement rather than as direct proof of long-term phytostabilization.

This distinction was applied consistently throughout the evidence synthesis.

Assessment of study quality and applicability. Because the eligible literature included heterogeneous hydroponic, pot, greenhouse, and field experiments, study quality and applicability were evaluated qualitatively rather than by applying a single numerical score.

Each primary study was assessed according to the availability and clarity of the following methodological characteristics: presence of an appropriate control treatment; clear identification of plant genotype or cultivar; reported contaminant concentrations and exposure duration; description of the experimental substrate or soil; biological replication; organ-specific determination of metal concentrations; biomass measurements; reporting of root-to-shoot partitioning; statistical analysis; and relevance of the experimental system to field-scale phytomanagement.

Particular caution was applied when extrapolating results from hydroponic or short-term controlled experiments to field conditions. Controlled studies were considered valuable for identifying physiological responses, genotype differences, and mechanisms of Cd uptake, whereas field studies were assigned greater practical relevance for evaluating biomass productivity, soil effects, mixed-metal exposure, and operational feasibility.

No study was excluded solely because of a lower level of field applicability; instead, methodological limitations were considered during interpretation of the strength of the evidence.

Evidence synthesis. Because of substantial heterogeneity in experimental design, genotype, contaminant concentration, exposure duration, soil characteristics, plant organs analysed, and reported outcomes, quantitative meta-analysis was not considered appropriate.

The evidence was therefore synthesized narratively and organized into the following thematic domains:

- genotype-dependent Cd tolerance, biomass production, and Cd accumulation;

- Cd partitioning among roots, shoots, leaves, stems, and tubers and its implications for phytoextraction versus stabilization-oriented management;
- effects of soil pH, co-contaminants, and mixed-metal exposure;
- plant–microbe-assisted remediation and the effects of beneficial endophytic or rhizospheric microorganisms;
- effects of soil amendments and manipulation of metal bioavailability;
- field feasibility, biomass management, residue safety, and long-term phytomanagement.

Particular emphasis was placed on distinguishing metal concentration in plant tissues from total metal removal. Evidence for phytoextraction was considered stronger when studies reported both biomass production and tissue metal concentration, allowing the amount of metal removed in harvested biomass to be estimated. Evidence based solely on tissue concentration was not interpreted as sufficient to demonstrate effective field-scale decontamination.

Similarly, evidence of root-dominated Cd accumulation was interpreted as indicating limited translocation to harvestable shoots and potential suitability for stabilization-oriented management, but not as direct evidence that Cd mobility or bioavailability in soil had been permanently reduced.

Results and discussion.

Characteristics of the included primary studies. The available primary evidence on *Helianthus tuberosus* under potentially toxic metal exposure comprises a heterogeneous range of experimental systems, including hydroponic experiments, controlled soil studies, mixed-metal treatments, sewage-sludge-amended soils, and field-scale investigations. Cadmium represents the most consistently investigated target metal, although individual studies have also examined Zn, Cu, Ni, Pb, Cr, Hg, Fe, and Mn, either separately or as components of mixed-metal contamination [4, 6, 12, 31, 32, 49].

Experimental designs differed substantially with respect to plant genotype or cultivar, contamination level, exposure

duration, growth substrate, soil properties, and the endpoints used to evaluate plant responses. Cd-focused studies included both controlled exposure experiments evaluating cultivar-specific tolerance and root-to-shoot translocation and soil-based experiments assessing genotype-dependent biomass production and Cd accumulation [6, 32]. Other investigations expanded this evidence base by examining plant responses to combined Cd and Zn exposure in association with endophytic bacteria, the influence of pH under mixed-metal contamination, and metal uptake under sewage-sludge-amended field conditions [12, 31, 49].

The most frequently reported outcomes included plant growth and biomass production, metal concentrations in roots and aboveground tissues, root-to-shoot translocation, genotype-dependent variation in metal accumulation, and responses to environmental or biological modifiers. In particular, Cd-focused experiments demonstrated substantial genotype dependence in tolerance, biomass production, and metal accumulation, whereas mixed-metal studies showed that uptake patterns can change with soil or solution chemistry [6, 31, 32]. Field-oriented evidence further indicates that cultivar choice and biomass productivity are important determinants of metal uptake under more complex soil conditions [49].

The heterogeneity of experimental designs, exposure systems, and reported endpoints limits direct quantitative comparison among studies and supports the use of narrative rather than pooled statistical synthesis. Importantly, metal concentration in plant tissues should not be interpreted as a stand-alone measure of remediation efficiency. Effective phytoextraction depends on the interaction between tissue metal concentration and harvestable biomass, whereas interpretation of stabilization-oriented effects additionally requires information on metal mobility and bioavailability within the soil–root system [1, 21, 40].

Accordingly, *H. tuberosus* is more appropriately evaluated as a high-biomass phytomanagement crop than as a classical

metal hyperaccumulator. Its remediation potential should be assessed using a combination of biomass production, metal accumulation, organ-specific partitioning, tolerance under prolonged exposure, and the quantity of metal that can ultimately be removed from or immobilized within the contaminated system [21, 24, 50].

The primary studies most directly relevant to the evaluation of *H. tuberosus*

under PTM contamination are summarized in Table 1. Collectively, they provide evidence for genotype-dependent Cd tolerance and accumulation, restricted root-to-shoot Cd translocation in some cultivars, modification of plant performance and metal distribution by endophytic bacteria, and substantial effects of pH and mixed-metal conditions on metal uptake [6, 12, 31, 32].

1. Selected key primary studies evaluating *Helianthus tuberosus* under PTM exposure

Research focus	Exposure system/metals	Main finding	Interpretation	References
1	2	3	4	5
Cd accumulation and translocation	Cd; hydroponic exposure; cultivars N2 and N5	Cd tolerance and accumulation were genotype-dependent; Cd accumulated mainly in roots, with TF below 1.	Supports genotype screening and indicates restricted root-to-shoot Cd translocation and potential suitability for stabilization-oriented management; root retention alone does not demonstrate phytostabilization	[6]
Cd phytoextraction in soil	Cd-contaminated soil; genotypes NY2 and NY5	NY5 showed higher biomass and greater Cd accumulation than NY2.	High-biomass genotypes may increase total Cd accumulation in plant biomass; effective Cd removal additionally requires harvesting and removal of contaminated biomass from the site.	[32]
Endophyte-assisted tolerance	Cd and Zn; cultivars VR and D19; PGP endophytes	Selected <i>Pseudomonas</i> and <i>Serratia</i> strains improved growth and affected Cd distribution.	Selected bacterial inoculants improved plant growth and altered Cd distribution under controlled conditions; their field effectiveness remains to be validated.	[12]
Mixed-metal uptake and pH	Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn, Pb; pH gradients	Growth and uptake were controlled by pH and metal load; several metals were more readily translocated than Cd/Pb.	Field application requires pH-sensitive management and site-specific risk assessment.	[31]
Sewage-sludge-amended field soil	Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb; six-year field experiment	Sludge dose increased yield and metal uptake; varietal differences were observed.	Provides field-scale evidence that biomass yield and cultivar choice and biomass yield are important determinants of field performance.	[49]

1	2	3	4	5
Hg-contaminated soil	Hg; non-food energy crop approach	Genotype-dependent tolerance and remediation potential were reported.	The study demonstrates genotype-dependent Hg tolerance and accumulation, extending the evidence for <i>H. tuberosus</i> beyond Cd. Conclusions concerning Cd should be based on Cd-specific studies.	[4]

Genotype-dependent Cd tolerance and accumulation. Genotype is one of the most important determinants of Cd response in *Helianthus tuberosus*. Available experimental evidence demonstrates substantial variation among cultivars and genotypes in their ability to maintain growth under Cd exposure and to accumulate Cd in plant tissues. Consequently, the remediation potential of *H. tuberosus* should not be interpreted as a uniform species-level characteristic but rather as a genotype-dependent trait that requires screening of individual plant materials before field application [6, 32].

Controlled Cd-exposure experiments showed cultivar-dependent differences in both Cd tolerance and accumulation, indicating that genetic variation can substantially influence plant performance under metal stress [6]. Similar differences were observed in Cd-contaminated soil, where genotype NY5 showed greater biomass production and higher Cd accumulation than NY2 [32]. These results demonstrate that selection of suitable genotypes can influence not only tissue Cd concentrations but also the total amount of Cd accumulated in plant biomass.

This distinction is particularly important when phytoremediation performance is evaluated. High metal concentration in plant tissues does not necessarily correspond to high remediation efficiency if plant growth is strongly inhibited. Conversely, a genotype maintaining relatively high biomass under Cd stress may accumulate a greater total mass of Cd even when its tissue concentration is moderate. Therefore, the most informative assessment should integrate tissue Cd concentration with biomass production rather than evaluate either parameter independently.

Where sufficient data are available, Cd accumulation should preferably be expressed as total metal mass per plant, per unit harvestable biomass, or per unit land area.

The importance of biomass maintenance is also supported by the physiological effects of Cd toxicity. Cadmium is a non-essential element that can adversely affect photosynthesis, mineral nutrition, water relations, membrane integrity, antioxidant metabolism, and root development. These effects can suppress biomass formation and thereby reduce the practical usefulness of otherwise Cd-accumulating plants [5, 10, 11, 25, 47, 48]. Accordingly, Cd tolerance should be considered together with accumulation capacity when candidate *H. tuberosus* genotypes are selected.

From a phytomanagement perspective, this genotype × biomass interaction may represent one of the principal advantages of *H. tuberosus*. Classical metal hyperaccumulators can achieve exceptionally high tissue metal concentrations, but low biomass production may limit the total amount of contaminant that can be removed per unit area. High-biomass species may follow a different strategy, in which moderate metal concentrations are partly compensated by greater biomass production and repeated harvesting [1, 24, 50]. However, for *H. tuberosus*, this potential should be demonstrated through Cd mass-balance measurements rather than inferred from biomass production alone.

An important limitation of the current evidence is that genotype comparisons have been conducted using a relatively restricted set of cultivars and experimental conditions. The superior performance of one genotype in a

particular hydroponic or soil experiment cannot therefore be assumed to persist across different soil types, Cd concentrations, climates, or management systems. Wider genotype-by-environment testing is required to identify plant materials that consistently combine Cd tolerance with sustained biomass production and high total Cd accumulation.

Overall, the available evidence supports genotype selection as a prerequisite for the use of *H. tuberosus* in Cd-contaminated soils. Candidate genotypes should be evaluated according to a combination of Cd tolerance, biomass stability under exposure, tissue Cd accumulation, and total accumulated Cd mass. Metal partitioning among roots, shoots, and tubers represents an additional critical selection criterion because it determines whether accumulated Cd remains predominantly belowground or becomes available for removal in harvestable biomass.

Root-to-shoot partitioning and remediation function. The distribution of Cd among plant organs is a critical determinant of the potential remediation function of *Helianthus tuberosus*. Evidence from Cd-exposure experiments indicates that Cd may accumulate preferentially in roots, with lower concentrations or limited transfer to aboveground tissues. In particular, cultivar-based experiments reported root-dominated Cd accumulation and root-to-shoot translocation factor (TF) values below 1, demonstrating restricted movement of Cd from belowground to aboveground plant organs [6].

This pattern has important implications for the interpretation of phytoremediation performance. Preferential retention of Cd in roots may reduce its transfer to stems and leaves and may therefore be compatible with stabilization-oriented phytomanagement. However, root accumulation alone should not be regarded as direct evidence of successful phytostabilization. Phytostabilization implies a reduction in contaminant mobility, bioavailability, leaching, erosion-mediated transport, or other pathways of environmental dispersion within the soil-root system. Demonstrating these effects requires measurements of soil Cd fractions and

contaminant mobility over time in addition to plant tissue concentrations [1, 28].

The distinction is particularly important because a low translocation factor describes metal partitioning within the plant but does not directly quantify changes in the contaminated soil. Therefore, findings of $TF < 1$ should be interpreted as evidence of restricted root-to-shoot Cd transfer and potential suitability for stabilization-oriented management, rather than as proof that *H. tuberosus* permanently immobilizes Cd in soil. Long-term field measurements of bioavailable and mobile Cd fractions would be required to confirm such a function.

Conversely, effective phytoextraction requires sufficient transfer of Cd into harvestable biomass followed by physical removal of that biomass from the contaminated site. Soil-based experiments with *H. tuberosus* indicate that selected genotypes can combine relatively high biomass production with substantial Cd accumulation, supporting the possibility of gradual Cd extraction through repeated harvesting [32]. Nevertheless, the presence of Cd in aboveground tissues should not itself be equated with effective soil decontamination. The relevant endpoint is the cumulative mass of Cd removed from the site over successive harvests, which depends on both tissue Cd concentration and harvestable biomass [1, 26].

Accordingly, phytoextraction and stabilization-oriented phytomanagement should not be treated as mutually exclusive or fixed species-level properties of *H. tuberosus*. The relative importance of each function is likely to depend on genotype, Cd concentration and bioavailability, soil properties, exposure duration, and harvest regime. A genotype characterized by strong root retention may be more appropriate where the principal management objective is to limit contaminant transfer and maintain vegetation cover, whereas genotypes combining substantial shoot biomass with greater Cd transfer to aboveground tissues may be more suitable for gradual phytoextraction [21, 26].

Assessment of *H. tuberosus* should therefore include organ-specific measurements

rather than a single whole-plant Cd concentration. Cd concentrations and biomass should ideally be quantified separately for roots, stems, leaves, and tubers. This is particularly relevant for Jerusalem artichoke because tubers represent a substantial component of belowground biomass and may constitute an additional reservoir of accumulated Cd. Without separate measurements of tuber contamination, it is difficult to establish the complete distribution of Cd within the plant or to evaluate the risk associated with retaining, harvesting, or unintentionally redistributing contaminated tubers.

A complete assessment of remediation performance should combine organ-specific Cd concentrations with corresponding biomass data and, where possible, changes in soil Cd pools before and after cultivation. For extraction-oriented systems, this would permit calculation of the cumulative Cd mass physically removed through harvested biomass. For stabilization-oriented systems, plant measurements should be complemented by changes in mobile or bioavailable soil Cd fractions. Such an approach would distinguish true contaminant removal or reduced environmental mobility from simple redistribution of Cd between soil and plant compartments.

Overall, the available evidence suggests that the remediation function of *H. tuberosus* should be interpreted along a continuum between stabilization-oriented phytomanagement and gradual phytoextraction, rather than assigned a single fixed label. Root-dominated accumulation supports the potential for restricting aboveground Cd transfer, whereas effective phytoextraction requires sufficient Cd allocation to harvestable tissues and repeated biomass removal. Determining which function predominates under field conditions requires integrated measurements of plant-organ partitioning, biomass production, soil Cd bioavailability, and cumulative Cd mass balance.

Effects of soil properties, amendments, and microorganisms. The

remediation performance of *Helianthus tuberosus* cannot be interpreted independently of the physicochemical and biological properties of the soil–rhizosphere system. Metal uptake by plants is controlled not only by total contaminant concentration but also by metal speciation, bioavailability, soil pH, organic matter, sorption processes, co-occurring elements, and rhizosphere activity. Consequently, similar total Cd concentrations may result in different plant responses and metal-uptake patterns under different soil conditions [2, 51].

Among these factors, soil pH is particularly important for Cd availability. In general, decreasing pH tends to increase Cd solubility and the proportion of metal potentially available for plant uptake, whereas increasing pH can enhance sorption and reduce Cd mobility. However, the magnitude of this effect depends on other soil properties, including organic matter content, clay mineralogy, cation-exchange capacity, and the presence of competing ions. Therefore, soil pH should not be considered as an isolated predictor of Cd uptake but as part of the broader chemical environment controlling metal availability [2, 51].

Experimental evidence specific to *H. tuberosus* further demonstrates that pH and contaminant composition can strongly modify plant growth and metal accumulation. Under mixed-metal exposure involving Cd together with Cu, Fe, Mn, Ni, Zn, and Pb, changes in pH and metal loading affected both biomass production and the uptake and translocation of individual elements [31]. These observations are particularly relevant to field phytomanagement because contaminated soils commonly contain mixtures of metals rather than Cd alone. Interactions among co-contaminants may modify metal availability, plant toxicity, and uptake patterns, making direct extrapolation from single-metal hydroponic experiments to field conditions inappropriate.

The importance of complex soil conditions is also supported by field evidence from sewage-sludge-amended soils, where metal uptake and biomass production varied

with sludge application rate and cultivar [49]. Such findings emphasize that practical remediation performance results from the interaction among contaminant load, soil properties, plant material, and biomass response rather than from the accumulation capacity of the species alone.

Soil amendments provide a potential means of modifying these interactions. Organic and mineral amendments, including liming materials, phosphates, composts, and biochar, can alter soil pH, sorption capacity, metal speciation, and consequently the mobility and bioavailability of Cd and other PTMs [3, 44]. Their effects, however, should not automatically be considered beneficial for every remediation objective. Amendments that strongly immobilize Cd may be appropriate where reduction of contaminant mobility and plant stress is the principal objective, but the same treatment may decrease Cd uptake into harvestable tissues and therefore limit phytoextraction.

Accordingly, amendment selection should be linked explicitly to the intended remediation function. For stabilization-oriented phytomanagement, amendments may be used to decrease Cd mobility, improve soil conditions, and support plant establishment. For phytoextraction-oriented management, excessive immobilization may be counterproductive if it substantially reduces the amount of Cd available for uptake. Evaluation of amendment effectiveness should therefore include measurements of both plant responses and changes in mobile or bioavailable soil Cd fractions rather than relying solely on changes in total soil Cd concentration [3, 44].

Biological interactions within the rhizosphere represent another potentially important component of *H. tuberosus*-based phytomanagement. Plant-associated microorganisms can influence root development, nutrient acquisition, stress responses, and metal availability, thereby modifying both plant tolerance and metal distribution. Broader phytoremediation research has demonstrated that plant growth-promoting rhizobacteria and endophytic

bacteria can affect metal uptake and plant performance through several mechanisms, including modification of nutrient availability, production of plant-growth-regulating compounds, changes in rhizosphere chemistry, and enhancement of stress tolerance [15, 16, 18, 30].

Evidence directly involving *H. tuberosus* indicates that selected endophytic bacteria can modify plant responses under Cd and Zn exposure. In particular, selected *Pseudomonas* and *Serratia* strains were associated with improved plant growth and changes in metal distribution, although the magnitude and direction of these effects depended on the plant cultivar and bacterial treatment [12]. These findings support the potential value of plant–microbe combinations but also demonstrate that microbial effects cannot be generalized across all cultivars or environmental conditions.

The available microbial evidence should therefore be interpreted cautiously when considering field application. Effects demonstrated under controlled experimental conditions may not persist in heterogeneous field soils, where microbial survival, competition with indigenous communities, soil chemistry, climatic conditions, and contaminant concentrations may alter inoculant performance. Consequently, bacterial inoculation should not be presented as a universally effective enhancement of *H. tuberosus* phytoremediation. Instead, compatible cultivar–microorganism combinations should be evaluated under site-specific conditions before field-scale implementation [12, 30].

Taken together, these findings indicate that *H. tuberosus*-based remediation should be regarded as an integrated soil–plant–microbe system rather than a plant-only intervention. Soil pH, metal bioavailability, co-contamination, amendment-induced changes in soil chemistry, microbial interactions, and plant genotype jointly determine biomass production and metal uptake. Management strategies should therefore be developed for specific sites and remediation objectives rather than transferred directly from controlled

experiments or from one contaminated soil to another.

For practical application, the sequence of decision-making should begin with characterization of total and bioavailable Cd, soil pH, organic matter, and co-contaminants. Amendment or microbial treatments should then be selected according to whether the intended objective is stabilization-oriented management or gradual phytoextraction. Their

effectiveness should ultimately be assessed through changes in soil metal availability, plant biomass, organ-specific metal accumulation, and, where extraction is intended, the cumulative amount of Cd removed in harvested biomass.

The principal determinants identified across next Sections and their practical implications are summarized in Table 2.

2. Evidence-based determinants of Cd phytomanagement by *Helianthus tuberosus* and their practical implications

Determinant	Evidence-based interpretation	Practical implication	References
Genotype-dependent Cd tolerance	Cultivars and genotypes differ in their ability to maintain growth and accumulate Cd under exposure.	Genotype screening should precede field application; species-level generalization should be avoided.	[6, 32]
Biomass-dependent Cd accumulation	High biomass may compensate for moderate tissue Cd concentrations and increase total accumulated Cd mass.	Evaluate biomass yield together with tissue Cd concentration; where possible, report total Cd mass per plant or unit area.	[2, 32]
Root-to-shoot Cd partitioning	Cd may be retained predominantly in roots, resulting in low root-to-shoot translocation in some cultivars.	Root retention indicates potential for stabilization-oriented management but does not by itself demonstrate long-term phytostabilization.	[6]
Soil pH and mixed-metal effects	Cd uptake and plant growth are strongly influenced by pH, metal mixture, and soil chemistry.	Site-specific assessment of Cd bioavailability and co-contaminants is required before selecting a remediation strategy.	[3, 31]
Microbial assistance	Selected endophytic bacteria can improve plant growth and modify Cd distribution under controlled conditions.	Cultivar–microorganism combinations should be tested locally; controlled-study effects should not be assumed to persist under field conditions.	[12, 30]
Soil amendments	Organic and mineral amendments may change Cd mobility and plant availability depending on their properties and soil conditions.	Amendment selection should correspond to the intended remediation objective: Cd immobilization where stabilization is intended, or maintenance of sufficient Cd availability where gradual extraction is intended.	[1, 44]

Field feasibility and biomass management. Translation of experimental evidence on *Helianthus tuberosus* into field-scale phytomanagement requires greater caution than interpretation of results obtained

under hydroponic or controlled soil conditions. Field soils are spatially heterogeneous and may differ substantially in pH, organic matter content, contaminant speciation, metal bioavailability, co-contaminants, microbial

communities, and seasonal environmental conditions. Consequently, plant performance and metal uptake observed under controlled conditions should not be assumed to occur with the same magnitude under field conditions.

Nevertheless, field-oriented evidence indicates that *H. tuberosus* possesses several characteristics relevant to long-term management of contaminated land. Its capacity to produce substantial biomass and to grow on marginal or non-food land may be advantageous where conventional agricultural production is undesirable. A long-term experiment on sewage-sludge-amended soil further showed that biomass production and metal uptake depend on cultivar and contamination conditions, confirming that field performance results from interactions among plant material, soil properties, and contaminant loading rather than from species identity alone [49].

For practical application, the remediation objective should be defined before cultivation begins. Where the principal objective is stabilization-oriented phytomanagement, evaluation should focus on successful plant establishment, persistence of vegetation cover, reduction of erosion or contaminant dispersion, and changes in mobile or bioavailable Cd fractions. By contrast, where gradual phytoextraction is intended, the relevant endpoint is the cumulative amount of Cd physically removed from the site in harvested biomass over successive growing seasons. Tissue Cd concentration alone is insufficient to demonstrate effective remediation because performance depends on both metal concentration and harvestable biomass [1, 7, 9, 40].

This distinction also affects harvesting strategy. Aboveground biomass containing Cd must be removed from the site if phytoextraction is the intended objective; otherwise, senescence and decomposition may return part of the accumulated metal to the soil. Harvest monitoring should therefore include biomass yield together with organ-specific metal concentrations so that the quantity of Cd removed during each harvest can be estimated. Where stabilization-oriented management is

prioritized, harvesting intensity may differ, but monitoring of plant tissues and soil Cd availability remains necessary to determine whether the system is reducing environmental exposure rather than merely redistributing the contaminant.

Biomass management represents an additional practical challenge. Plant material produced on soils contaminated with Cd or other PTMs should not automatically enter conventional food or feed chains. This issue is particularly important for *H. tuberosus* because its tubers are normally used for food, feed, propagation, and industrial purposes. Where the crop is grown for phytomanagement, contaminated tubers and other plant material should therefore be kept separate from conventional agricultural products and managed in a way that prevents unintended redistribution of accumulated metals.

Jerusalem artichoke has been investigated extensively as a feedstock for bioethanol, biogas, renewable energy, and broader biorefinery applications [13, 19, 22, 23]. These studies demonstrate the technological versatility of *H. tuberosus* biomass under conventional production conditions. However, they do not directly demonstrate that biomass contaminated with Cd or other PTMs can safely enter the same processing pathways. Bioenergy or industrial utilization should therefore be regarded as a potential biomass-management option that requires separate validation, rather than as an automatically safe end use for phytoremediation biomass.

Any proposed processing route should account for the fate of accumulated metals. Thermal, biological, or industrial processing may reduce biomass volume or recover useful energy and materials, but it does not necessarily eliminate Cd from the system. Metals may remain concentrated in ash, digestate, solid residues, or other by-products. Accordingly, evaluation of contaminated biomass processing should include metal concentrations and, where possible, a mass balance across the biomass, final products, and residues before reuse or disposal. The currently

available *H. tuberosus* bioenergy literature supports the feasibility of biomass conversion but does not by itself establish the environmental safety of processing Cd-contaminated material.

Tuber management requires particular consideration because *H. tuberosus* is vegetatively propagated. Tubers remaining in the soil may contribute to plant persistence, while harvested tubers may provide a pathway for contaminated material to leave the managed site if they are inadvertently used for food, feed, or propagation. Field-management protocols should therefore include monitoring of tuber metal concentrations, controlled handling of harvested tubers, and measures to prevent unintended movement of contaminated propagules.

Overall, the field feasibility of *H. tuberosus* depends not only on its capacity to tolerate and accumulate Cd but also on whether the entire management system can be controlled effectively. Practical implementation should integrate site characterization, selection of suitable plant material, a clearly defined remediation objective, monitoring of soil and plant Cd, appropriate harvesting, control of tuber movement, and a validated pathway for handling contaminated biomass. To translate these considerations into a testable field-management approach, Table 3 summarizes a proposed sequence of site characterization, genotype selection, remediation-objective definition, soil and rhizosphere management, monitoring, harvesting, and contaminated-biomass control.

3. Proposed field implementation and monitoring framework for *Helianthus tuberosus* on Cd-contaminated soils.

Step	Recommended action	Purpose/evaluation criterion	Supporting evidence/References
1	2	3	4
1. Site characterization	Determine total and bioavailable Cd, soil pH, organic matter, major soil properties, and relevant co-contaminants before planting.	Establish baseline contamination and determine whether stabilization-oriented management or gradual phytoextraction is a realistic objective.	[3, 51]
2. Genotype selection	Screen available <i>H. tuberosus</i> genotypes under site-relevant Cd concentrations and soil conditions.	Select material combining Cd tolerance, sustained biomass production, and appropriate organ-specific Cd partitioning.	[6, 32]
3. Definition of the remediation objective	Define whether the principal objective is stabilization-oriented phytomanagement, gradual phytoextraction, or a combination of both.	Ensure that subsequent soil management, harvesting, and monitoring are consistent with the intended remediation function.	[2, 40]
4. Soil and rhizosphere management	Adjust soil conditions only where justified by site-specific data; consider liming materials, organic/mineral amendments, phosphates, or biochar according to the intended remediation objective.	Modify Cd mobility and plant stress without assuming that reduced bioavailability is beneficial for phytoextraction.	[1, 31, 44]

1	2	3	4
5. Microbial assistance, where applicable	Test compatible endophytic or rhizospheric microorganisms under site-specific conditions before field-scale application.	Determine whether microbial inoculation improves biomass production, Cd tolerance, or metal distribution under realistic soil conditions.	[12, 30]
6. Plant and soil monitoring	Measure biomass and Cd concentrations separately in roots, stems, leaves, and tubers; monitor total and bioavailable soil Cd during cultivation.	Distinguish plant accumulation from actual contaminant removal or reduced Cd mobility and establish a Cd mass balance.	[26, 40]
7. Harvest management	When phytoextraction is targeted, remove Cd-containing harvestable biomass from the site and record biomass yield and tissue Cd concentrations for each harvest.	Quantify cumulative Cd mass physically removed from the contaminated site rather than relying on tissue concentration alone.	[2, 32]
8. Tuber and propagation control	Monitor tuber Cd concentrations and prevent unintended movement or reuse of contaminated tubers outside the managed site.	Reduce the risk of contaminated material entering food, feed, or propagation pathways and limit uncontrolled vegetative spread.	Evidence is currently limited; this should be treated as a management recommendation and research priority.
9. Contaminated biomass management	Exclude contaminated biomass from food and feed chains. Any proposed energy or industrial processing route should include measurement of Cd and other PTMs in products, by-products, and residues.	Prevent secondary redistribution of contaminants and determine whether a proposed biomass-processing pathway is environmentally acceptable.	Current <i>H. tuberosus</i> bioenergy sources support biomass-processing potential, but do not directly establish safe processing of Cd-contaminated biomass: [18, 19]
10. Long-term performance assessment	Repeat soil and plant monitoring over multiple growing seasons.	Demonstrate cumulative Cd removal, reduction in mobile/bioavailable Cd, or another measurable reduction in environmental risk.	[22, 40]

Research gaps and priorities. Despite the promising experimental evidence, several important knowledge gaps continue to limit strong conclusions regarding the practical use of *Helianthus tuberosus* on Cd-contaminated soils. Current studies demonstrate that Jerusalem artichoke can tolerate Cd exposure, accumulate Cd, and maintain substantial biomass under certain conditions; however, the available evidence is not yet sufficient to define the crop as a broadly validated field-scale phytoremediation technology. In particular, conclusions derived from hydroponic and controlled soil experiments require confirmation under heterogeneous field conditions.

One major priority is broader genotype-by-environment evaluation. Cd-focused studies have demonstrated substantial differences among *H. tuberosus* genotypes in tolerance, biomass production, and Cd accumulation, but only a limited range of genetic material has been investigated [6, 32]. Future studies should compare a wider range of cultivars and genotypes across contrasting soil types, Cd concentrations, pH conditions, and climatic environments. Such experiments should identify genotypes that maintain stable biomass production and predictable Cd partitioning rather than extrapolating the performance of individual cultivars across sites.

Another major limitation is the lack of complete Cd mass balances. Tissue Cd concentrations characterize accumulation but do not demonstrate how much contaminant is actually removed from the soil. Future studies should therefore combine Cd concentrations in roots, stems, leaves, and tubers with corresponding organ biomass, harvest frequency, and measurements of total and bioavailable soil Cd before and after cultivation. For extraction-oriented systems, the most informative endpoint should be the cumulative mass of Cd physically removed from the site over successive harvests rather than tissue concentration alone. For stabilization-oriented systems, plant measurements should be complemented by

changes in mobile or bioavailable soil Cd fractions.

Greater attention is also required for tuber contamination and vegetative persistence. Tubers represent a substantial component of belowground biomass and may constitute an additional reservoir of accumulated Cd. Because they are normally used for food, feed, propagation, and industrial purposes, contaminated tubers may also represent a pathway for unintended movement of Cd-containing plant material outside the remediation site. Future experiments should therefore quantify tuber Cd concentrations separately from root and shoot concentrations and evaluate appropriate strategies for harvesting, containment, and prevention of uncontrolled vegetative spread.

Integrated, multi-season field experiments represent a further research priority. Existing studies commonly evaluate individual components of the remediation system separately, whereas practical phytomanagement requires simultaneous consideration of soil chemistry, plant genotype, microbial interactions, amendments, harvesting, and changes in contaminant availability over time. Microbial treatments that improve plant performance under controlled Cd exposure should be validated in heterogeneous field soils, where their effectiveness may be modified by indigenous microbial communities, contaminant levels, and environmental conditions [12]. Similarly, the effects of pH and mixed-metal contamination observed experimentally indicate that field performance cannot be predicted from total Cd concentration alone [31].

The role of soil amendments also requires evaluation tailored to the intended remediation objective. Liming materials, phosphates, composts, biochar, and related amendments can alter Cd mobility, bioavailability, and plant stress, but the desired effect differs between remediation pathways. Immobilization may be advantageous for stabilization-oriented phytomanagement, whereas excessive reduction of Cd availability may limit uptake where gradual

phytoextraction is intended. Future studies should therefore evaluate amendment performance using both plant-based indicators and changes in mobile or bioavailable soil Cd fractions rather than assuming that reduced metal uptake necessarily represents improved remediation [44].

Another unresolved issue is the safe management and possible valorization of contaminated biomass. Although *H. tuberosus* has considerable potential as a feedstock for bioenergy and biorefinery applications [22, 23], these studies do not establish that Cd-contaminated biomass can safely enter conventional processing pathways. Future research should therefore determine the fate of Cd during combustion, anaerobic digestion, fermentation, or other processing technologies and quantify metals in ash, digestate, solid residues, and other by-products. Biomass valorization should only be considered environmentally beneficial when contaminant redistribution and residue management are explicitly addressed.

More broadly, future studies should focus on whether cultivation of *H. tuberosus* produces a measurable reduction in environmental risk over time. Plant accumulation alone does not demonstrate remediation if Cd is merely transferred temporarily from soil to plant tissues or subsequently returned to the site. Long-term experiments should determine whether repeated cultivation reduces mobile or bioavailable Cd, decreases the total Cd pool through biomass removal, limits contaminant dispersion, or otherwise reduces exposure pathways. Such endpoints are necessary to distinguish successful phytomanagement from simple contaminant redistribution.

A methodological limitation of the present review should also be acknowledged. Study selection and eligibility assessment were performed by a single reviewer, which may have increased the risk of selection error or reviewer bias. This limitation should be considered when interpreting the completeness of the included evidence base.

Future research should therefore move from isolated proof-of-concept experiments

toward integrated field-scale validation. The most informative experimental designs would combine genotype selection, site characterization, organ-specific Cd partitioning, soil Cd bioavailability, amendment and microbial treatments, repeated harvesting, complete Cd mass balance, and contaminated-biomass management within the same multi-season framework. Such studies would make it possible to determine under which conditions *H. tuberosus* is most appropriate for stabilization-oriented phytomanagement, when it can contribute to gradual phytoextraction, and when its application is unlikely to provide meaningful environmental benefit.

Conclusions. *Helianthus tuberosus* L. is a promising high-biomass crop for the phytomanagement of Cd-contaminated soils, but its remediation performance is strongly influenced by genotype and site conditions. The available evidence demonstrates variation among cultivars in Cd tolerance, biomass production, metal accumulation, and root-to-shoot translocation. Preferential Cd retention in roots may support stabilization-oriented management, whereas gradual phytoextraction requires sufficient transfer of Cd to harvestable biomass followed by its repeated removal from the contaminated site.

The effectiveness of *H. tuberosus* also depends on soil pH, Cd bioavailability, co-contaminants, amendments, and plant-microbe interactions. These factors should be managed according to the intended remediation objective and evaluated under site-specific conditions. Remediation performance should therefore be assessed using organ-specific Cd concentrations, biomass production, and cumulative Cd removal rather than tissue concentration alone.

A major practical limitation is the management of contaminated biomass, including tubers. Biomass produced on Cd-contaminated land should be excluded from food and feed chains, while potential bioenergy or industrial uses require separate evaluation of Cd transfer into products, by-products, and residues. Overall, current evidence supports *H. tuberosus* more strongly

as a candidate for long-term, site-specific phytomanagement than as a rapid Cd decontamination technology. Future multi-season field studies should focus on genotype

selection, soil Cd bioavailability, root–shoot–tuber partitioning, repeated harvesting, cumulative Cd removal, and safe biomass management.

References

1. Ali H., Khan E., Sajad M. A. Phytoremediation of heavy metals – Concepts and applications. *Chemosphere*. 2013. Vol. 91. No. 7. P. 869–881. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>
2. Alloway B. J. Heavy Metals in Soils. *Environmental Pollution*. 2013. Vol. 22. 614 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>.
3. A review of biochars' potential role in the remediation, revegetation and restoration of contaminated soils / L. Beesley et al. *Environmental Pollution*. 2011. Vol. 159. No. 12. P. 3269–3282. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.07.023>.
4. Assessing the difference of tolerance and phytoremediation potential in mercury contaminated soil of a non-food energy crop, *Helianthus tuberosus* L. (Jerusalem artichoke) / S. Lv et al. *PeerJ*. 2018. Vol. 6. P. e4325. <https://doi.org/10.7717/peerj.4325>.
5. Benavides M. P., Gallego S. M., Tomaro M. L. Cadmium toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 2005. Vol. 17. No. 1. P. 21–34. <https://doi.org/10.1590/s1677-04202005000100003>.
6. Cadmium Accumulation and Translocation in Two Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) Cultivars / L. Chen et al. *Pedosphere*. 2011. Vol. 21. No. 5. P. 573–580. [https://doi.org/10.1016/s1002-0160\(11\)60159-8](https://doi.org/10.1016/s1002-0160(11)60159-8).
7. Cadmium Isotopic Fractionation in the Soil-Plant System during Repeated Phytoextraction with a Cadmium Hyperaccumulating Plant Species / J.-W. Zhou et al. *Environmental Science & Technology*. 2020. Vol. 54. No. 21. P. 13598–13609. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03142>.
8. Cadmium phytoextraction by *Sedum alfredii* and *Sedum plumbizincicola*: mechanisms, challenges and prospects / X. Zhu et al. *International Journal of Phytoremediation*. 2025. Vol. 27. No. 6. P. 852–860. <https://doi.org/10.1080/15226514.2025.2451714>.
9. Cadmium removal potential of hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. under two planting modes in three years continuous phytoremediation / X. Dou et al. *Environmental Pollution*. 2022. Vol. 307. P. 119493. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119493>.
10. Clemens S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie*. 2006. Vol. 88. No. 11. P. 1707–1719. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2006.07.003>.
11. Clemens S., Ma J. F. Toxic Heavy Metal and Metalloid Accumulation in Crop Plants and Foods. *Annual Review of Plant Biology*. 2016. Vol. 67. No. 1. P. 489–512. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-043015-112301>.
12. Cultivar and Metal-Specific Effects of Endophytic Bacteria in *Helianthus tuberosus* Exposed to Cd and Zn / B. Montalbán et al. *International Journal of Molecular Sciences*. 2017. Vol. 18. No. 10. P. 2026. <https://doi.org/10.3390/ijms18102026>.
13. Cultivation Practices, Adaptability and Phytochemical Composition of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): A Weed with Economic Value / V. Liava et al. *Agronomy*. 2021. Vol. 11. No. 5. P. 914. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050914>.
14. Cunningham S. D., Ow D. W. Promises and Prospects of Phytoremediation. *Plant Physiology*. 1996. Vol. 110. No. 3. P. 715–719. <https://doi.org/10.1104/pp.110.3.715>.
15. Exploiting plant–microbe partnerships to improve biomass production and remediation / N. Weyens et al. *Trends in Biotechnology*. 2009. Vol. 27. No. 10. P. 591–598. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2009.07.006>.
16. Factors influencing cadmium accumulation in plants after inoculation with rhizobacteria: A meta-analysis / B. Shi et al. *Science of the Total Environment*. 2024. Vol. 916. P. 170277. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170277>.
17. Genome skimming reveals the origin of the Jerusalem Artichoke tuber crop species: neither from Jerusalem nor an artichoke / D. G. Bock et al. *New Phytologist*. 2013. Vol. 201. No. 3. P. 1021–1030. <https://doi.org/10.1111/nph.12560>.
18. Glick B. R. Using soil bacteria to facilitate phytoremediation. *Biotechnology Advances*. 2010. Vol. 28. No. 3. P. 367–374. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.02.001>.
19. Growth, yield formation, and inulin performance of a non-food energy crop, Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.), in a semi-arid area of China / S. Lv et al. *Industrial Crops and Products*. 2019. Vol. 134. P. 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.064>.
20. Heavy Metal Toxicity and the Environment / P. B. Tchounwou et al. *Experientia Supplementum*. 2012. Vol. 101. P. 133–164. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6.
21. Hyperaccumulators of metal and metalloid trace elements: Facts and fiction / A. van der Ent et al. *Plant and Soil*. 2012. Vol. 362. No. 1–2. P.

319–334. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1287-3>.

22. Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): A Versatile and Sustainable Crop for Renewable Energy Production in Europe / F. Rossini et al. *Agronomy*. 2019. Vol. 9. No. 9. P. 528. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090528>.

23. Jerusalem artichoke: A sustainable biomass feedstock for biorefinery / X. H. Long et al. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 54. P. 1382–1388. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.063>.

24. Krämer U. Metal Hyperaccumulation in Plants. *Annual Review of Plant Biology*. 2010. Vol. 61. No. 1. P. 517–534. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112156>.

25. Luo J.-S., Zhang Z. Mechanisms of cadmium phytoremediation and detoxification in plants. *The Crop Journal*. 2021. Vol. 9. No. 3. P. 521–529. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2021.02.001>.

26. McGrath S. P., Zhao F. J. Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. *Current Opinion in Biotechnology*. 2003. Vol. 14. No. 3. P. 277–282. [https://doi.org/10.1016/s0958-1669\(03\)00060-0](https://doi.org/10.1016/s0958-1669(03)00060-0).

27. Meagher R. B. Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants. *Current Opinion in Plant Biology*. 2000. Vol. 3. No. 2. P. 153–162. [https://doi.org/10.1016/s1369-5266\(99\)00054-0](https://doi.org/10.1016/s1369-5266(99)00054-0).

28. Mendez M. O., Maier R. M. Phytostabilization of Mine Tailings in Arid and Semiarid Environments—An Emerging Remediation Technology. *Environmental Health Perspectives*. 2008. Vol. 116. No. 3. P. 278–283. <https://doi.org/10.1289/ehp.10608>.

29. Nagajyoti P. C., Lee K. D., Sreekanth T. V. M. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 2010. Vol. 8. No. 3. P. 199–216. <https://doi.org/10.1007/s10311-010-0297-8>.

30. Perspectives of plant-associated microbes in heavy metal phytoremediation / M. Rajkumar et al. *Biotechnology Advances*. 2012. Vol. 30. No. 6. P. 1562–1574. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2012.04.011>.

31. Phytoremediation experiments with *Helianthus tuberosus* under different pH and heavy metal soil concentrations / S. Willscher et al. *Hydrometallurgy*. 2017. Vol. 168. P. 153–158. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2016.10.016>.

32. Phytoremediation of Cadmium-Contaminated Soil by Two Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) Genotypes / X. Long et al. *CLEAN – Soil, Air, Water*. 2012. Vol. 41. No. 2. P. 202–209. <https://doi.org/10.1002/clen.201100668>.

33. Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field / J. Vangronsveld et al. *Environmental Science and*

Pollution Research. 2009. Vol. 16. No. 7. P. 765–794. <https://doi.org/10.1007/s11356-009-0213-6>.

34. Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water: Progresses and perspectives / M. I. Lone et al. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*. 2008. Vol. 9. No. 3. P. 210–220. <https://doi.org/10.1631/jzus.b0710633>.

35. Phytoremediation of heavy metal pollution: Hotspots and future prospects / L. Yang et al. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2022. Vol. 234. P. 113403. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113403>.

36. Phytoremediation of soil metals / R. L. Chaney et al. *Current Opinion in Biotechnology*. 1997. Vol. 8. No. 3. P. 279–284. [https://doi.org/10.1016/s0958-1669\(97\)80004-3](https://doi.org/10.1016/s0958-1669(97)80004-3).

37. Phytoremediation: A Novel Strategy for the Removal of Toxic Metals from the Environment Using Plants / D. E. Salt et al. *Nature Biotechnology*. 1995. Vol. 13. No. 5. P. 468–474. <https://doi.org/10.1038/nbt0595-468>.

38. Phytoremediation: A Promising Approach for Revegetation of Heavy Metal-Polluted Land / A. Yan et al. *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 11. P. 359. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00359>.

39. Phytoremediation of cadmium from soil, air and water / G. Li et al. *Chemosphere*. 2023. Vol. 320. P. 138058. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138058>.

40. Pilon-Smits E. Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*. 2005. Vol. 56. No. 1. P. 15–39. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.56.032604.144214>.

41. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement / D. Moher et al. *PLoS Medicine*. 2009. Vol. 6. No. 7. P. e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>.

42. PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021. Vol. 372. P. n160. <https://doi.org/10.1136/bmj.n160>.

43. Raskin I., Smith R. D., Salt D. E. Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment. *Current Opinion in Biotechnology*. 1997. Vol. 8. No. 2. P. 221–226. [https://doi.org/10.1016/s0958-1669\(97\)80106-1](https://doi.org/10.1016/s0958-1669(97)80106-1).

44. Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils – To mobilize or to immobilize? / N. Bolan et al. *Journal of Hazardous Materials*. 2014. Vol. 266. P. 141–166. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.12.018>.

45. Salt D. E., Smith R. D., Raskin I. Phytoremediation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 1998. Vol. 49. No. 1. P. 643–668. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.49.1.643>.

46. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews / M. J. Page et al. *BMJ*. 2021. P. n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>.

47. The Uptake, Transfer, and Detoxification of Cadmium in Plants and Its Exogenous Effects / X. Zhang et al. *Cells*. 2024. Vol. 13. No. 11. P. 907. <https://doi.org/10.3390/cells13110907>.

48. Toxic effects of cadmium on the physiological and biochemical attributes of plants, and phytoremediation strategies : A review / Y. Li et al. *Environmental Pollution*. 2023. Vol. 325. P. 121433. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121433>.

49. Using Jerusalem Artichoke to Extract Heavy Metals from Municipal Sewage Sludge Amended Soil / J. Antonkiewicz et al. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2018. Vol. 27. No. (2). P. 513–527. <https://doi.org/10.15244/pjoes/75200>.

50. Verbruggen N., Hermans C., Schat H. Molecular mechanisms of metal hyperaccumulation in plants. *New Phytologist*. 2009. Vol. 181. No. 4. P. 759–776. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02748.x>.

51. Wuana R. A., Okieimen F. E. Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *ISRN Ecology*. 2011. Vol. 2011. P. 1–20. <https://doi.org/10.5402/2011/402647>.

DOI: 10.32636/01308521.2026-(80)-1-2

Review

UDC 635.63:631.847.1:631.816.1:631.674(477.73)

**YIELDS OF CUCUMBER HYBRIDS
AND FRUIT HARVESTING STANDARDS DEPENDING
ON THE USE OF BIOLOGICAL PRODUCTS
AND MICRONUTRIENTS UNDER DRIP IRRIGATION CONDITIONS
IN THE SOUTHERN STEPPE OF UKRAINE****O.V. Medonchak, L.G. Khonenko**

Mykolaiv National Agrarian
University
9 Georgiy Gongadze Street,
Mykolaiv, Mykolaiv region,
54008

About authors:

Oleh MEDONCHAK
ORCID: 0009-0001-9872-7237

Liubov KHONENKO
ORCID: 0000-0002-5365-8768

Corresponding author:

Liubov KHONENKO
e-mail: khonenkolg@i.ua

Funding information:

Ministry of Education and Science
of Ukraine

Received:
September 14, 2026
Accepted:
September 23, 2026
Published:
September 30, 2026

Cucumber (*Cucumis sativus* L.) yield in the Southern Steppe of Ukraine depends on the hybrid, weather and the biological and micronutrient support of the crop. The study evaluated the yield of cucumber hybrids for different fruit harvesting standards depending on biopreparations and micronutrient fertilizers applied by fertigation under drip irrigation. A four-factor field experiment (2023–2025, Mykolaiv National Agrarian University) included hybrid (Kibria F1, Madeira F1), biopreparation (control, Azotofit, Organic-Balance), micronutrient fertilizer (control, Rostok Cucumber, Quantum PLATINUM) and fruit harvesting standard (piculi SS, gherkins LS, greens TR). Hydrothermal conditions differed sharply: 2023 was favourable (HTC 0,48–0,52), 2024 extremely dry (HTC 0,25–0,28) and 2025 moderately dry (HTC 0,32–0,38). Averaged over years and standards, yield ranged from 30,85 t/ha (Kibria F1, control) to 46,79 t/ha (Madeira F1 + Organic-Balance + Quantum PLATINUM; +51,7 %). Madeira F1 exceeded Kibria F1 by 4,64 t/ha (12,9 %), and its relative advantage increased from 9,8 % in 2023 to 15,2 % in the dry years. Organic-Balance increased yield by 12,4–12,9 % and Quantum PLATINUM by 17,7–19,9 % relative to the control; the advantage of Quantum PLATINUM over Rostok Cucumber was significant for factor means but not in all individual combinations. The response to the preparations and its statistical reliability increased in the order SS → LS → TR, whereas SS was the most drought-sensitive fraction (–29,2...–37,9 % in 2024). The combination Organic-Balance + Quantum PLATINUM applied by fertigation is recommended for Madeira F1 as an element of adaptive technology under drip irrigation.

Keywords: cucumber, hybrid, biopreparations, micronutrient fertilizers, drip irrigation, fertigation, yield, fruit harvesting standards, Southern Steppe of Ukraine.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Урожайність гібридів та стандарт збору плодів огірка залежно від застосування біопрепаратів та мікродобрив за умов краплинного зрошення в Південному Степу України

Миколаївський національний
аграрний університет
вул. Георгія Гонгадзе, 9,
м. Миколаїв, Миколаївська обл.,
54008

Про авторів:

Олег МЕДОНЧАК,
аспірант
ORCID: 0009-0001-9872-7237

Любов ХОНЕНКО,
кандидат сільськогосподарських
наук, доцент
ORCID: 0000-0002-5365-8768

Для листування:
Любов ХОНЕНКО
e-mail: khonenkolq@i.ua

Інформація про фінансування:
Міністерство освіти і науки України

Отримано:
14 вересня, 2026 р.
Погоджено до друку:
23 вересня 2026 р.
Опубліковано:
30 вересня 2026 р.

Урожайність огірка (*Cucumis sativus* L.) у Південному Степу України залежить від гібрида, погодних умов та біологічного й мікроелементного супроводу посівів. Мета досліджень – оцінити врожайність гібридів огірка за різних стандартів збирання плодів залежно від біопрепаратів і мікродобрив, внесених фертигацією за краплинного зрошення. Чотирифакторний польовий дослід проводили у 2023–2025 рр. у Миколаївському національному аграрному університеті: гібрид (Кібрія F1, Мадейра F1), біопрепарат (контроль, Азотофіт, Органік-баланс), мікродобриво (контроль, Росток огірки, Квантум ПЛАТИНУМ) і стандарт збирання плодів (пікулі SS, корнішони LS, зеленці TR). Роки істотно різнилися за гідротермічними умовами: 2023 р. був сприятливим (ГТК 0,48–0,52), 2024 р. – екстремально посушливим (ГТК 0,25–0,28), 2025 р. – помірно посушливим (ГТК 0,32–0,38). У середньому за три роки та стандартами збирання врожайність становила від 30,85 т/га (Кібрія F1, контроль) до 46,79 т/га (Мадейра F1 + Органік-баланс + Квантум ПЛАТИНУМ; +51,7 %). Гібрид Мадейра F1 перевищував Кібрию F1 на 4,64 т/га (12,9 %), а його відносна перевага зростала з 9,8 % у 2023 р. до 15,2 % у посушливі роки. Органік-баланс підвищував урожайність на 12,4–12,9 %, Квантум ПЛАТИНУМ – на 17,7–19,9 %; перевага Квантум ПЛАТИНУМ над Ростком огірки була істотною для середніх за фактором, але не в усіх окремих комбінаціях. Реакція на препарати та її статистична надійність зростали в ряду SS → LS → TR, а фракція SS була найчутливішою до посухи (–29,2...–37,9 % у 2024 р.). Поєднання Органік-баланс + Квантум ПЛАТИНУМ, внесені фертигацією, рекомендовано для гібрида Мадейра F1 як елемент адаптивної технології вирощування огірка за краплинного зрошення.

Ключові слова: огірок, гібрид, біопрепарати, мікродобрива, краплинне зрошення, фертигація, урожайність, стандарти збирання плодів, Південний Степ України.

Introduction. Cucumber (*Cucumis sativus* L.) remains one of the leading vegetable crops of world and domestic vegetable growing owing to high consumer demand, versatility of use and a relatively short period of formation of a marketable yield [19, 21]. The crop steadily holds a stable position among the most marketable vegetable products, and the genetic improvement of hybrids over recent decades has substantially expanded the possibilities of their adaptation to different soil-and-climate conditions [15, 21]. For Ukraine, cucumber is a traditional crop of both open and protected ground, the produce of which is in demand both on the fresh-vegetable

market and in the processing industry [5, 11, 12].

At the same time, the economic value of cucumber is determined not only by the gross harvest of fruit, but also by the marketable structure of the yield – the ratio of fractions of different size and purpose, each of which has its own market value, quality requirements and harvesting technology [9, 12]. In production practice, at least three main marketable standards of cucumber fruit are distinguished: piculi (SS) – the smallest and earliest fraction; gherkins (LS) – processing produce of intermediate size; and greens (TR) – the largest fraction by mass, of table use. At a similar level

of yield, technological treatments may differ substantially precisely in the output of these fractions, which directly affects the economic performance of production [12, 30].

Realizing the productive potential of modern cucumber hybrids in the Southern Steppe zone of Ukraine is complicated by the progressive aridization of the climate – an increase in the frequency and intensity of temperature anomalies, a reduction and irregularity of atmospheric precipitation, and the intensification of drought phenomena during the phases of flowering and fruit set that are critical for the crop. Drip irrigation is today an obligatory element of cucumber-growing technology in the region, and fertigation through drip systems has proved effective for supplying nutrients to various crops in the south of Ukraine [3, 6]; however, irrigation on its own compensates primarily for the deficit of soil moisture and does not eliminate the suppressive effect of atmospheric drought and overheating of the plants' assimilation apparatus [16, 23, 26]. In this connection, the search for additional technological elements capable of increasing the adaptability of plants to stress growing conditions is acquiring ever greater importance.

According to FAO data, world production of cucumbers and gherkins in 2022 exceeded 84 million t, with the main volume (79,4 %) formed by China, while Ukraine, with a production volume of about 1,04 million t (1,2 % of world production), was steadily among the ten leading producing countries [19]. At the same time, during 2019–2021 the area under cucumber in Ukraine decreased from 48,2 to 45,4 thousand ha at a practically unchanged volume of gross production (1,04–1,05 million t), which reflects the general trend of intensification of the crop – an increase in the average fruit yield against a reduction of the sown area [4]. The share of greenhouse fruit production over this period grew from 25 to 28 %, whereas that of open ground decreased from 75 to 72 %, which emphasizes the growing competition between protected- and open-ground technologies and the relevance of increasing the efficiency of the

latter through agrochemical and biological factors of intensification [4].

One of the promising ways of solving this task is the application of biopreparations based on rhizosphere microorganisms (*Azotobacter*, *Bacillus subtilis*, *Azospirillum*) and chelated micronutrient fertilizers. Biopreparations activate the development of the root system [14, 13, 28], enhance nitrogen fixation and phosphorus mobilization [14, 22] and induce systemic resistance of plants to abiotic stresses [13, 24, 28]. Micronutrient fertilizers in chelated form ensure the prompt supply of plants with zinc, boron, manganese and other trace elements [20, 27, 29] that are directly involved in photosynthesis, enzymatic reactions and the formation of generative organs [17, 18], especially during periods when the efficiency of root nutrition declines because of unfavourable weather conditions [25, 31]. The effectiveness of the combined application of biopreparations and micronutrient fertilizers has been confirmed for a number of field crops in Ukraine [1, 2]; however, for cucumber hybrids under drip irrigation in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine, with differentiation by fruit harvesting standards, such studies are limited and fragmentary.

In modern vegetable growing, the concept of adaptive technology is gaining increasing recognition; it is based on the fullest possible harmonization of the biological features of the crop with environmental conditions and the system of agrotechnical measures [5, 9]. For cucumber, the implementation of this approach involves not only the selection of a high-yielding and drought-tolerant hybrid, but also the creation of an optimal background of water and nutrient supply, as well as the application of regulatory elements capable of maintaining the functional activity of plants under stress conditions [9, 11]. A review of the available literature shows that the effectiveness of individual micronutrient fertilizers and biopreparations on cucumber has been studied mainly under protected-ground conditions [13, 17, 24], whereas their combined action on open-ground hybrids under the contrasting arid conditions

of the Southern Steppe of Ukraine, with differentiation by marketable produce standards, remains insufficiently studied, which determined the relevance of the present research.

The aim of the research was to establish the regularities of the formation of yield and marketable fruit structure of cucumber hybrids (Kibria F1, Madeira F1) depending on the application of biopreparations (Azotofit, Organic-Balance) and micronutrient fertilizers (Rostok Cucumber, Quantum PLATINUM) applied by fertigation under drip irrigation in the contrasting hydrothermal conditions of 2023–2025 in the Southern Steppe zone of Ukraine, and to identify the most effective combination of the studied factors.

Materials and methods. The research was carried out during 2023–2025 at the experimental field of the Educational,

Scientific and Practical Centre of Mykolaiv National Agrarian University, located in the Southern Steppe zone of Ukraine. The soil cover of the experimental plot is represented by a southern low-humus, slightly solonetzic, heavy-loamy chernozem on loess parent rocks, with a humus content in the arable layer of 2,9–3,15 % (by Tyurin), medium supply of mobile phosphorus (38 mg/kg by Chyrykov) and an elevated content of exchangeable potassium (332–525 mg/kg by Maslova); the reaction of the soil solution is neutral (pH 6,8–7,2 in the 0–30 cm layer).

The weather conditions of the study years differed substantially in their hydrothermal regime (Table 1), which made it possible to assess the response of the hybrids and the effectiveness of the agrochemical agents over a wide range of abiotic load [2].

1. Weather conditions of the 2023–2025 growing seasons compared with the climatic norm (Mykolaiv weather station)

Indicator	Norm 1991–2020	2023	2024	2025
Mean temperature of the growing season (IV–X), °C	18,3	19,7	22,5	19,4
Absolute maximum temperature, °C	34,5	36,0	41,6	39,6
Precipitation total, IV–X, mm	301	285	161	192
Share of the long-term precipitation norm, %	100	95	53	64
HTC for May–September	0,50	0,48–0,52	0,25–0,28	0,32–0,38
Season characteristic	norm	favourable	extremely dry	moderately dry

Note: compiled from data of the Mykolaiv Hydrometeorological Centre. HTC – Selyaninov hydrothermal coefficient.

The experiment was established according to a four-factor design: factor A – cucumber hybrid (Kibria F1, Madeira F1); factor B – biopreparation (control – water treatment, Azotofit, Organic-Balance); factor C – micronutrient fertilizer (control – water treatment, Rostok Cucumber, Quantum PLATINUM); and factor D – marketable fruit standard, i.e. fruit-harvesting regime (SS – piculi, LS – gherkins, TR – greens). Yield was determined separately for the three marketable fruit standards: piculi (SS); gherkins (LS, diameter 3,0–3,5 cm, mass 30–55 g); and greens (TR, length 9–12 cm, harvesting duration 56–72 days). Since each marketable

standard corresponded to a separate fruit-harvesting regime, the yields of the SS, LS and TR standards are alternative rather than additive; therefore, the mean value across the three standards (factor D) is used below as an integral indicator of yield. The hybrid Kibria F1 (Rijk Zwaan) is an ultra-early parthenocarpic hybrid of the gherkin type, with a period from transplanting to the onset of fruiting of 35–38 days; the hybrid Madeira F1 (Seminis) is an early parthenocarpic hybrid adapted to arid and thermally unstable conditions, with the corresponding period of 40–45 days [8].

The plants were grown by the seedling method according to a 200 × 26,5 cm scheme (20,3 thousand plants/ha) against a background of drip irrigation with a seasonal irrigation norm of 3810–6720 m³/ha depending on the year. Biopreparations and micronutrient fertilizers were applied exclusively by fertigation (root application through the drip-irrigation system); no foliar treatments were carried out. In the control treatments of factors B and C, irrigation water without preparations was supplied. In the treatments with biopreparations the rate of mineral nitrogen was reduced by 25–30 % compared with the control, taking into account potential nitrogen fixation.

Azotofit, a preparation based on nitrogen-fixing bacteria, and Organic-Balance, whose action is based on the combination of the bacteria *Azospirillum brasilense* and *Bacillus subtilis*, which enhance nitrogen fixation, phosphorus mobilization and the formation of induced systemic resistance of plants [1, 4, 12], were used as biopreparations. Rostok Cucumber and Quantum PLATINUM – complexes of chelated trace elements (zinc, boron, manganese, iron) intended for the optimization of micronutrient nutrition during the critical phases of growth and

fruit set [18, 20, 25] – were used as micronutrient fertilizers. All preparations were applied at the rates specified in the manufacturers' regulations, by fertigation through the drip-irrigation system.

Yield accounting was performed by continuous harvesting of fruit from each accounting plot (72 m²) separately for each replication (threefold replication, systematic arrangement of treatments). Statistical processing of the results was carried out by analysis of variance (ANOVA) with determination of the least significant difference (LSD₀₅) in Statistica 10 and Microsoft Excel 2019, in accordance with generally accepted field-experiment methods [26, 27]. LSD₀₅ values are given in the notes to Tables 2–6: for individual years (Tables 2–4) and as the range of annual values for 2023–2025 (Tables 5, 6). For the three-year means, a difference was considered significant only if it exceeded the upper limit of this range; Tables 7 and 8 present treatment means.

Results and discussion. Yield formation in the earliest and most nutrition-sensitive marketable fraction, piculi (SS), in the hydrothermally favourable year 2023 depended on all three studied factors (Table 2).

2. Yield of cucumber fruit (piculi, SS) depending on the hybrid, biopreparation and micronutrient fertilizer, 2023, t/ha

Hybrid (factor A)	Biopreparation (factor B)	Micronutrient fertilizer (factor C)			Mean for factor C
		control – water treatment	Rostok Cucumber	Quantum PLATINUM	
Kibria F1	control – water treatment	32,610	34,698	36,158	34,487
	Azotofit	34,224	36,842	37,877	36,316
	Organic-Balance	35,329	38,114	39,395	37,614
	Mean for factor B	34,057	36,553	37,807	36,141
Madeira F1	control – water treatment	36,978	38,378	40,329	38,562
	Azotofit	38,456	40,623	42,141	40,408
	Organic-Balance	40,136	41,952	43,812	41,970
	Mean for factor B	38,522	40,316	42,097	40,312

Note: planting scheme 200×26,5 cm, 20 300 plants/ha; drip irrigation; HTC in 2023 – 0,48–0,52. LSD₀₅, t/ha: A – 1,58; B – 0,87; C – 1,35; AB – 1,78; BC – 1,44; AC – 1,74; ABC – 2,09. Marginal means for factor B are given in bold.

Hybrid Madeira F1 produced a mean yield of 40,312 t/ha compared with 36,141 t/ha for hybrid Kibria F1 (+4,171 t/ha, or 11,5 %, at LSD₀₅ for factor A of 1,58 t/ha), which may be attributed to its higher heterotic potential and greater density of female flowers on first-order

shoots [15, 30]. The advantage of Madeira F1 was significant in each of the nine combinations of biopreparation and micronutrient fertilizer (3,68–4,81 t/ha at LSD₀₅ for the ABC interaction of 2,09 t/ha). The lowest fruit yield was recorded in the

control treatment of hybrid Kibria F1 (32,610 t/ha) and the highest in the combination Madeira F1 + Organic-Balance + Quantum PLATINUM (43,812 t/ha); the difference between these extreme treatments (11,202 t/ha) was 5,4 times greater than LSD_{05} for the ABC interaction.

Averaged over hybrids and micronutrient fertilizers, piculi yield was 36,52 t/ha in the control, 38,36 t/ha with Azotofit and 39,79 t/ha with Organic-Balance; all pairwise differences (1,43–3,27 t/ha) exceeded LSD_{05} for factor B (0,87 t/ha). Within each hybrid (AB interaction, $LSD_{05} = 1,78$ t/ha), both biopreparations significantly exceeded the control: Azotofit by 1,83–1,85 t/ha and Organic-Balance by 3,13–3,41 t/ha (from 34,487 to 37,614 t/ha, or by 9,1 %, in Kibria F1 and from 38,562 to 41,970 t/ha, or by 8,8 %, in Madeira F1). The advantage of Organic-Balance over Azotofit within individual hybrids (1,30–1,56 t/ha) did not exceed LSD_{05} for the AB interaction and should be regarded as a tendency. The higher efficacy of Organic-Balance may be explained by its combination of nitrogen-fixing and phosphate-mobilizing bacteria, which stimulate root growth and root exudation and thereby enhance the uptake of nutrients, including trace elements, from the root zone [13, 14, 22].

For factor C, mean piculi yield was 36,29 t/ha in the control, 38,43 t/ha with Rostok Cucumber and 39,95 t/ha with Quantum PLATINUM. Both micronutrient fertilizers significantly increased yield relative to the control (by 2,15 and 3,66 t/ha at LSD_{05} for factor C of 1,35 t/ha), and the advantage of Quantum PLATINUM over Rostok Cucumber averaged over the factor (1,52 t/ha) also exceeded LSD_{05} . When the fertilizers are compared within an individual hybrid, the appropriate criterion is LSD_{05} for the AC interaction (1,74 t/ha) rather than for the main effect of C, since such means are based on half as many observations [7, 10]. By this criterion, the advantage of Quantum PLATINUM over Rostok Cucumber was significant in Madeira F1 (1,78 t/ha) and non-significant in Kibria F1 (1,25 t/ha). In individual hybrid ×

biopreparation combinations, the difference between these fertilizers was 1,04–1,95 t/ha, i.e. below LSD_{05} for the ABC interaction (2,09 t/ha), whereas the advantage of Quantum PLATINUM over the control (3,35–4,07 t/ha) was significant in all six combinations. The direction of the micronutrient effect is consistent with published data on the efficacy of trace elements in cucumber [17, 27, 29].

Thus, for the SS fraction in 2023, the significance of the effects of hybrid, biopreparation and micronutrient fertilizer was confirmed at the level of main effects, as well as for the comparison of each preparation with the control. At the same time, some differences between adjacent factor levels within individual combinations (Organic-Balance vs Azotofit, Quantum PLATINUM vs Rostok Cucumber) did not exceed LSD_{05} . This is to be expected for the fraction with the smallest fruit mass, in which the absolute yield increments from the preparations are smallest. Therefore, in the subsequent analysis, differences between treatments were evaluated against LSD_{05} for the corresponding level of interaction, and differences smaller than LSD_{05} were treated as tendencies.

The 2024 growing season was the most stressful of the study period: the hydrothermal coefficient for May–September was only 0,25–0,28, 18 days with daily maxima above +37 °C and an absolute maximum of +41,6 °C were recorded, and the precipitation deficit in June–August reached 78 % of the norm. Under these conditions, piculi yield decreased by 29,2–37,9 % compared with 2023, depending on the treatment (Table 3); the largest decrease occurred in the control treatment of hybrid Kibria F1 (–37,9 %) and the smallest in the combination Madeira F1 + Organic-Balance (–29,2 %).

The effects of the studied factors remained significant even under extreme conditions. The advantage of hybrid Madeira F1 amounted to 4,35–5,73 t/ha (LSD_{05} for the AB interaction = 1,47 t/ha), and both biopreparations significantly exceeded the control in both hybrids (by 1,95–3,98 t/ha); the increment from Organic-Balance was 12,1 % in Kibria F1 and 15,4 % in Madeira F1. The

advantage of Organic-Balance over Azotofit was significant in Madeira F1 (1,83 t/ha) and non-significant in Kibria F1 (0,65 t/ha). The smaller relative yield decline in hybrid Madeira F1 (–29,2...–33,2 %

against –35,7...–37,9 % in Kibria F1) indicates its higher heat tolerance and better ability to retain fruit set and continue fruiting under stress [15, 30].

3. Yield of piculi (SS) by hybrids and biopreparations in the contrasting years 2023 and 2024 (mean across micronutrient fertilizers), t/ha

Hybrid (factor A)	Biopreparation (factor B)	2023 (favourable)	2024 (extreme drought)	Change in 2024 vs 2023, %
Kibria F1	control – water treatment	34,487	21,400	–37,9
	Azotofit	36,316	23,350	–35,7
	Organic-Balance	37,614	23,995	–36,2
Madeira F1	control – water treatment	38,562	25,750	–33,2
	Azotofit	40,408	27,895	–31,0
	Organic-Balance	41,970	29,725	–29,2

Note: compiled from field experiment data (mean across the three levels of factor C). LSD₀₅, t/ha: 2023: A – 1,58; B – 0,87; AB – 1,78; 2024: A – 1,19; B – 0,55; AB – 1,47.

The direction of the factors' effects in the other marketable fractions was the same, but the absolute magnitude of the effects increased with fruit size. In 2023, mean gherkin (LS) yield was 51,234 t/ha in hybrid Madeira F1 against 45,781 t/ha in Kibria F1 (+5,453 t/ha),

and greens (TR) yield was 61,455 against 57,414 t/ha (+4,041 t/ha); the advantage of Madeira F1 was significant with each biopreparation (3,46–5,66 t/ha at LSD₀₅ for the ABD interaction of 2,45 t/ha; Table 4).

4. Yield of gherkins (LS) and greens (TR) depending on the hybrid and biopreparation, 2023, t/ha

Hybrid (factor A)	Biopreparation (factor B)	Fruit harvesting standard (factor D)	
		Gherkins (LS)	Greens (TR)
Kibria F1	control – water treatment	43,206	52,807
	Azotofit	45,685	57,281
	Organic-Balance	48,452	62,154
Madeira F1	control – water treatment	48,342	57,755
	Azotofit	51,343	60,996
	Organic-Balance	54,018	65,615

Note: planting scheme 200×26,5 cm, 20 300 plants/ha; drip irrigation; HTC in 2023 – 0,48–0,52. LSD₀₅, t/ha: A – 1,58; B – 0,87; D – 1,91; AB – 1,78; BD – 2,23; AD – 1,74; ABD – 2,45.

The range between the extreme treatments in the LS fraction (40,535...57,492 t/ha) exceeded that of the SS fraction, indicating a fuller realization of the effect of the preparations during mass fruiting, when not only fruit set but also retention of the set fruit and uninterrupted fruit filling become decisive [30, 32]. In the greens (TR) fraction, which provides the largest harvest per season, the highest yield was obtained in the combination Madeira F1 + Organic-Balance +

Quantum PLATINUM (72,518 t/ha), 21,9 % higher than the corresponding micronutrient control.

Unlike piculi, in the LS and TR fractions in 2023 all pairwise differences between biopreparation levels within each hybrid exceeded LSD₀₅ for the ABD interaction (2,45 t/ha). The difference between the control and Organic-Balance was 3,13–3,41 t/ha in piculi, 5,25–5,68 t/ha in gherkins and 7,86–9,35 t/ha in greens, and that between

Organic-Balance and Azotofit was 1,30–1,56 (non-significant), 2,68–2,77 and 4,62–4,87 t/ha, respectively. Hence, the absolute response to biopreparations increases in the order SS → LS → TR. This agrees with the view that the prolonged formation of the large-fruited fraction requires sustained and stable nutrition, which is most fully provided by combining a biopreparation with a chelated micronutrient fertilizer [28, 30, 32].

In 2025, which was intermediate in terms of hydrothermal conditions (HTC 0,32–0,38), crop productivity partly recovered: gherkin (LS) yield was 31,305 t/ha in Kibria F1 and 35,410 t/ha in Madeira F1, and greens (TR) yield was 37,120 and 42,270 t/ha, respectively, without reaching the 2023 level. The ranking of treatments by the efficacy of the preparations was the same in all study years; the statistical evaluation of differences for the three-year means is presented below (Tables 5, 6).

Generalization of the three-year data (2023–2025) makes it possible to differentiate the contribution of controllable factors (genotype, biopreparations, micronutrient fertilizers) and uncontrollable factors (weather conditions of the year) to crop productivity (Tables 5, 6). For the three-year means, the

table notes give the range of LSD₀₅ values across the study years; a difference was considered significant only if it exceeded the upper limit of this range, i.e. the largest of the annual LSD₀₅ values (a conservative criterion). On average over 2023–2025, hybrid Madeira F1 outyielded Kibria F1 for all marketable standards: by 16,4 % in the SS fraction (33,141 vs 28,475 t/ha), by 12,6 % in LS (40,018 vs 35,535 t/ha) and by 10,9 % in TR (48,677 vs 43,896 t/ha); with each biopreparation, this advantage (3,97–5,49 t/ha) exceeded the upper limit of LSD₀₅ for the ABD interaction (2,45 t/ha). The consistent decrease in the relative advantage of Madeira F1 with increasing fruit size indicates that the early small-fruited fraction is the most sensitive indicator of genotype adaptability to stress, whereas the large-fruited TR fraction is the best indicator of the crop's response to intensified mineral and micronutrient nutrition [30, 32]. Among the biopreparations, averaged over three years and the three marketable standards, Organic-Balance was the most effective: the yield increment relative to the control was 4,344 t/ha (12,9 %) in Kibria F1 and 4,759 t/ha (12,4 %) in Madeira F1 (Table 5).

5. Yield of cucumber fruit by marketable standards depending on the hybrid and biopreparation (mean for 2023–2025), t/ha

Hybrid (factor A)	Biopreparation (factor B)	Fruit harvesting standard (factor D)			Mean for factor D
		SS	LS	TR	
Kibria F1	control – water treatment	27,372	33,485	40,499	33,786
	Azotofit	28,569	35,537	43,840	35,982
	Organic-Balance	29,458	37,576	47,356	38,130
	Mean for factor B	28,475	35,535	43,896	35,969
Madeira F1	control – water treatment	31,346	37,824	45,630	38,267
	Azotofit	33,139	39,971	48,539	40,550
	Organic-Balance	34,947	42,273	51,858	43,026
	Mean for factor B	33,141	40,018	48,677	40,612

Note: marginal means for factor B are given in bold. Compiled from field experiment data. LSD₀₅ (range for 2023–2025), t/ha: A – 1,08–1,58; B – 0,51–0,87; D – 1,66–1,91; AB – 1,47–1,78; BD – 1,92–2,23; AD – 1,34–1,74; ABD – 2,13–2,45.

Within each hybrid, all pairwise differences between factor B levels, including the advantage of Organic-Balance over Azotofit (2,15–2,48 t/ha), exceeded the upper limit of LSD₀₅ for the AB interaction

(1,78 t/ha). The effect of the biopreparations differed clearly between marketable standards (ABD interaction, upper limit of LSD₀₅ = 2,45 t/ha). In the TR fraction all pairwise differences were significant

(2,91–6,86 t/ha). In the LS fraction only the advantage of Organic-Balance over the control was significant (4,09–4,45 t/ha). In the SS fraction only the advantage of Organic-Balance over the control in Madeira F1 was significant (3,60 t/ha), whereas in Kibria F1 it (2,09 t/ha) was below LSD_{05} . This is consistent with evidence that combinations of nitrogen-fixing and phosphate-mobilizing strains induce systemic resistance in plants and enhance

nutrient uptake under abiotic stress [14, 22, 28].

Of the micronutrient fertilizers, Quantum PLATINUM made the greater contribution to yield formation (Table 6): the yield increment relative to the control was 6,508 t/ha (19,9 %) in Kibria F1 and 6,592 t/ha (17,7 %) in Madeira F1, and its advantage over Rostok Cucumber (3,00–3,13 t/ha) exceeded the upper limit of LSD_{05} for the AC interaction (1,74 t/ha).

6. Yield of cucumber fruit by marketable standards depending on the hybrid and micronutrient fertilizer (mean for 2023–2025), t/ha

Hybrid (factor A)	Micronutrient fertilizer (factor C)	Fruit harvesting standard (factor D)			Mean for factor D
		SS	LS	TR	
Kibria F1	control – water treatment	26,446	32,634	38,811	32,630
	Rostok Cucumber	28,539	35,780	44,097	36,139
	Quantum PLATINUM	30,429	38,189	48,796	39,138
	Mean for factor C	28,475	35,535	43,896	35,969
Madeira F1	control – water treatment	31,006	36,893	43,903	37,267
	Rostok Cucumber	33,367	40,067	48,753	40,729
	Quantum PLATINUM	35,069	43,114	53,394	43,859
	Mean for factor C	33,141	40,018	48,677	40,612

Note: marginal means for factor C are given in bold. Compiled from field experiment data. LSD_{05} (range for 2023–2025), t/ha: A – 1,08–1,58; C – 0,83–1,35; D – 1,66–1,91; AC – 1,32–1,74; CD – 2,05–2,47; AD – 1,50–1,91; ACD – 2,33–2,58.

By individual marketable standard (ACD interaction, upper limit of LSD_{05} = 2,58 t/ha), the advantage of Quantum PLATINUM over the control was significant in all fractions of both hybrids (3,98–9,99 t/ha). Its advantage over Rostok Cucumber was significant in the TR fraction of both hybrids (4,64–4,70 t/ha) and in the LS fraction of Madeira F1 (3,05 t/ha), but did not exceed LSD_{05} in the SS fraction (1,70–1,89 t/ha) or in the LS fraction of Kibria F1 (2,41 t/ha). The largest absolute increment from Quantum PLATINUM was obtained in the TR fraction (9,49–9,99 t/ha), which is consistent with the role of trace elements in sustaining the prolonged filling of large fruit [17, 20, 29].

Comparison of the three-year means (Table 7) showed a predominantly additive action of the factors, with a synergistic component at the highest level of intensification.

In Kibria F1, the increments from Organic-Balance alone and Quantum PLATINUM alone were 3,37 and 5,69 t/ha (sum 9,06 t/ha), whereas their combination gave 10,91 t/ha; in Madeira F1 the corresponding values were 4,01 and 5,96 t/ha (sum 9,97 t/ha) against 11,62 t/ha. The excess of the combined effect over the sum of the individual effects (1,65–1,85 t/ha) is consistent with the concept of mutual enhancement between rhizosphere microorganisms and chelated trace elements [2, 13, 28]; its statistical significance should be verified in further research.

Summarizing the statistical evaluation, the significance of the effects of hybrid, biopreparations and micronutrient fertilizers at the level of main effects was confirmed in all cases for which LSD_{05} was calculated. Differences between adjacent factor levels in the SS fraction mostly lay within the experimental error, whereas in the LS and TR

fractions they were significant. Thus, as fruit mass increases, not only the absolute response of the crop to biological and micronutrient support increases, but also the reliability with which this response can be detected in a field experiment. A detailed analysis of all 18 factor

combinations over the three-year period (Table 7) confirms the stability of the established regularities at the level of each individual combination of factors, and not only of the extreme treatments.

7. Mean yield of cucumber fruit across the three marketable standards (SS, LS, TR) depending on the hybrid, biopreparation and micronutrient fertilizer (mean for 2023–2025), t/ha

Hybrid (factor A)	Biopreparation (factor B)	Micronutrient fertilizer (factor C)			Mean for factor C
		control – water treatment	Rostok Cucumber	Quantum PLATINUM	
Kibria F1	control – water treatment	30,850	33,983	36,535	33,786
	Azotofit	32,821	36,011	39,128	35,982
	Organic-Balance	34,223	38,420	41,757	38,130
	Mean for factor B	32,630	36,139	39,138	35,969
Madeira F1	control – water treatment	35,175	38,501	41,136	38,267
	Azotofit	37,450	40,311	43,650	40,550
	Organic-Balance	39,181	43,125	46,792	43,026
	Mean for factor B	37,267	40,729	43,859	40,612

Note: mean (marginal) values for factor B are given in bold. Compiled from field-experiment results, 2023–2025.

Within hybrid Kibria F1, the mean yield across the marketable standards increased from 30,850 t/ha (full control) to 41,757 t/ha (Organic-Balance + Quantum PLATINUM; +35,4 %), and within hybrid Madeira F1 – from 35,175 to 46,792 t/ha (+33,0 %). In none of the 18 factor combinations was the general ranking (Madeira F1 > Kibria F1; Organic-Balance > Azotofit > control; Quantum

PLATINUM > Rostok Cucumber > control) violated, which indicates the absence of antagonistic interaction between the factors and allows the combination of preparations to be regarded as effective for both hybrids. The dynamics of the mean yield by year (Table 8, Fig. 1) quantitatively reflect the scale of the influence of abiotic stress on the production process of the crop.

8. Dynamics of the mean yield of cucumber fruit across the three marketable standards (SS, LS, TR) by years and hybrids

Year / indicator	Kibria F1, t/ha	Madeira F1, t/ha	Difference M–K, t/ha (%)	HTC of growing season
2023 (favourable)	46,45	51,00	+4,55 (9,8 %)	0,48–0,52
2024 (extreme drought)	29,99	34,55	+4,56 (15,2 %)	0,25–0,28
2025 (moderate drought)	31,48	36,28	+4,80 (15,2 %)	0,32–0,38
2023–2025 (mean)	35,97	40,61	+4,64 (12,9 %)	–

Note: mean values across the three marketable standards; compiled from field-experiment results, 2023–2025.

On average over the three years, the mean yield across the marketable standards ranged from 30,850 t/ha (Kibria F1, absolute control) to 46,792 t/ha (Madeira F1 + Organic-Balance + Quantum PLATINUM) – an increment of 51,7 % relative to the control. The absolute advantage of hybrid Madeira F1 over hybrid Kibria F1 remained practically

unchanged from year to year (+4,55...+4,80 t/ha), whereas its relative expression increased in dry years – from 9,8 % in the favourable year 2023 to 15,2 % in 2024–2025 – which characterizes the higher ecological plasticity and heat tolerance of hybrid Madeira F1 [15, 30].

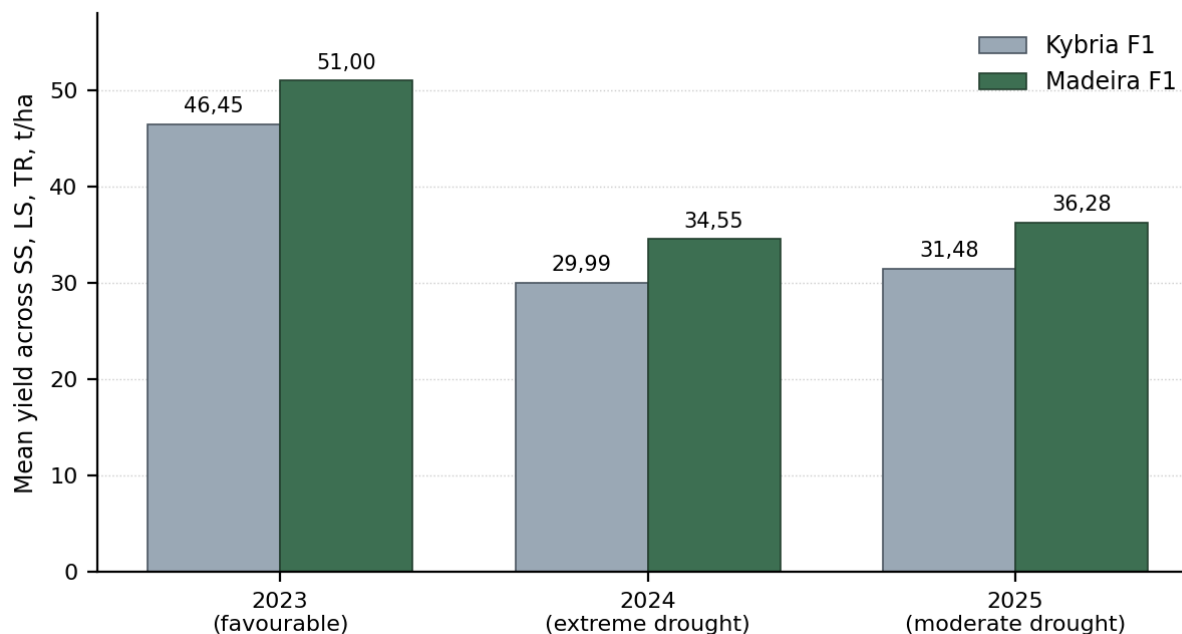


Fig. 1. Dynamics of the mean yield of cucumber fruit across the three marketable standards (SS, LS, TR) by years and hybrids, t/ha

The results obtained have practical significance. Within a single hybrid, the transition from the absolute control to the combined application of Organic-Balance and Quantum PLATINUM increased the piculi yield in 2023 by 18,5–20,8 % and the three-year mean yield across the marketable standards by 33,0–35,4 %, and the effect of the preparations was retained under the extreme drought of 2024, when the risk of yield shortfall is greatest. Thus, the application of biopreparations and chelated trace elements by fertigation should be regarded not only as a means of intensifying the production process, but also as an element of adaptive technology that increases the resilience of cucumber production to the climatic risks of the Southern Steppe of Ukraine [16, 23, 26]. The results obtained generally agree with the data of international studies on the effectiveness of rhizosphere biopreparations and micronutrient fertilizers on cucumber [13, 24, 28]; the increments from micronutrient fertilizers in our experiment (17,7–19,9 % on average over three years) are comparable to those obtained in foreign trials [17, 27, 29]. The soil of the experimental plot has a neutral reaction (pH 6,8–7,2), under which the availability of

trace elements is not strongly limited by soil pH [18, 25]. Therefore, the response of cucumber to micronutrient fertilizers can more likely be attributed to the high demand of intensively fruiting hybrids for trace elements under irrigation and to the reduced activity of root uptake under heat stress. The application of chelated trace elements by fertigation directly into the zone of the most active roots, together with the stimulation of root growth by rhizosphere bacteria, may improve their uptake under these conditions [13, 25, 20]. Since the content of mobile forms of Zn, Mn and B and of carbonates in the soil was not determined in this study, these explanations should be regarded as hypotheses that require verification by soil and plant analysis.

The revealed differentiation of the response of the marketable fractions to the studied factors (the highest sensitivity of SS, the greatest absolute response of TR) supplements existing notions of the formation of cucumber productivity [30, 32] with new empirical data obtained using a system of marketable standards rather than only total yield. This is also relevant for the practice of hybrid selection: genotypes intended for the production of small-fruited produce (piculi,

gherkins) require increased attention to adaptability factors at the early phases of generative development, whereas for hybrids of table use (greens) the priority is ensuring prolonged and stable mineral nutrition.

The data obtained also agree with the conclusions on the role of drip irrigation as a necessary but insufficient condition for the sustainable productivity of cucumber in arid regions [16, 23, 26]: despite the identical irrigation regime in all treatments of the experiment, the difference between the extreme technological combinations exceeded 50 %, which confirms the important role of the biological and micronutrient support of the crop in realizing the productive potential of cucumber hybrids under conditions where the soil water deficit is eliminated by irrigation, while the temperature regime and the balance of mineral nutrition remain the limiting factors.

A limitation of the study is that the results were obtained within a single soil-and-climate micro-region and with a single method of irrigation (drip), and fruit quality indicators and the micronutrient status of the soil and plants were not determined; therefore, the stability of the established regularities requires further verification under other soil conditions, irrigation systems (sprinkling, subsurface drip) and protected-ground conditions. Promising directions for further research are the evaluation of fruit quality (dry matter, sugars, nitrates, share of non-standard fruit), the determination of the mobile forms of trace elements in the soil and their content in plants, as well as an economic, energy and ecological assessment of the revealed technological combinations for each marketable standard.

Conclusions

1. The fruit yield of cucumber hybrids under drip irrigation in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine was determined by the combined influence of the hydrothermal regime of the year, the hybrid genotype, the biopreparation and the micronutrient fertilizer. The contrast of the weather conditions of 2023–2025 (HTC from 0,25–0,28 in 2024 to 0,48–0,52 in 2023) caused the mean yield across the marketable standards to fluctuate

from 29,99–34,55 t/ha (2024) to 46,45–51,00 t/ha (2023).

2. For all three fruit harvesting standards – piculi (SS), gherkins (LS) and greens (TR) – hybrid Madeira F1 exceeded Kibria F1 in yield in all study years, on average by 4,64 t/ha, or 12,9 %; the difference was significant in all cases for which LSD_{05} was calculated. The relative advantage of the hybrid increased in dry years (from 9,8 to 15,2 %), which indicates its higher drought and heat tolerance.

3. Of the studied biopreparations, Organic-Balance was the most effective: on average over three years it increased yield by 12,4–12,9 % relative to the control, and within each hybrid its advantage over Azotofit (2,15–2,48 t/ha) was significant. Of the micronutrient fertilizers, Quantum PLATINUM provided the largest increments (17,7–19,9 %); its advantage over Rostok Cucumber was significant for the three-year means within each hybrid (3,00–3,13 t/ha) and in the TR fraction, but not in the SS fraction. The combined effect of Organic-Balance and Quantum PLATINUM exceeded the sum of their individual effects by 1,65–1,85 t/ha.

4. The early, small-fruited SS fraction proved most sensitive to drought (yield reduction in 2024 by 29,2–37,9 %), whereas the TR fraction formed the highest yield and the largest absolute response to the biopreparations (in 2023 the difference between Organic-Balance and the control was 7,9–9,3 t/ha against 3,1–3,4 t/ha in SS). The LS fraction occupied an intermediate position by both criteria.

5. The highest productivity, regardless of the year, was formed in the treatment hybrid Madeira F1 + Organic-Balance + Quantum PLATINUM applied by fertigation, which on average over the three years provided an increment of mean fruit yield of 51,7 % relative to the absolute control. This combination is expedient to recommend as the basis of an adaptive technology for cucumber cultivation under drip irrigation in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine.

Список використаної літератури

1. Власюк О. С., Квасніцьк Л. С. Вплив біологічно активних препаратів на азотфіксацію та урожайність сої за різних рівнів мінерального живлення. *Зернові культури*. 2022. Том 6. № 2. С. 85–90. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0236>.
2. Вуйко О. М. Вплив мікродобрив та біопрепаратів на формування врожайності гороху посівного. *Аграрні інновації*. 2022. № 11. С. 16–24. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.11.2>.
3. Гуленко О. І., Калілей В. В. Особливості ростових процесів нуту і соняшнику за краплинного зрошення. *Аграрні інновації*. 2022. № 16. С. 18–23. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.16.3>.
4. Державна служба статистики України. Рослинництво України : статистичний щорічник за 2021 рік. Київ, 2022. 220 с. file:///C:/Users/Admin/Downloads/zb_rosl_21.pdf.
5. Інноваційні зонально адаптовані рішення в овочівництві / В. П. Рудь та ін. *Овочівництво і багтанництво*. 2022. Вип. 72. С. 89–98. <https://doi.org/10.32717/0131-0062-2022-72-89-98>.
6. Коваленко О. А. Елементи живлення гісопу лікарського за краплинного зрошення на Півдні України. *Аграрні інновації*. 2022. № 14. С. 51–59. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.14.8>.
7. Методика польового досліду (зрошуване землеробство) : підручник / В. О. Ушкаренко та ін. Херсон : Грінь Д. С., 2014. 448 с.
8. Оцінка нових партенокарпічних гібридних комбінацій F₁ огірка за цінними селекційними ознаками та їх мінливістю в умовах захищеного ґрунту / О. В. Сергієнко та ін. *Овочівництво і багтанництво*. 2022. Вип. 71. С. 25–32. <https://doi.org/10.32717/0131-0062-2022-71-25-32>.
9. Плужнікова Л. Є., Сергієнко О. В., Радченко Л. О. The cucumber variety resources and ways of their use. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2005. № 2. С. 63–69. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.2.2005.67455>.
10. Статистичний аналіз результатів польових дослідів у землеробстві : монографія / С. В. Коковіхін та ін. Херсон : Айланта, 2013. 378 с.
11. Сучасний стан сортових ресурсів овочевих культур в Україні / Н. О. Сиплива та ін. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. 26 (4). С. 77–84. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.04.14>.
12. Урожайність сортів огірка посівного (*Cucumis sativus* L.) залежно від умов вирощування / І. І. Рожко та ін. *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 140. С. 204–213. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.140.27>.
13. *Bacillus subtilis* promotes cucumber growth and quality under higher nutrient solution by altering the rhizospheric microbial community / B. Li et al. *Plants*. 2023. Vol. 12, no. 2. Art. 298. <https://doi.org/10.3390/plants12020298>.
14. Cassán F., Diaz-Zorita M. *Azospirillum* sp. in current agriculture: from the laboratory to the field. *Soil*

References

1. Vlasjuk O. S., Kvasnitska L. S. Efficiency of biologically active preparations as an element of greening soybean cultivation. *Zernovi kultury*. 2022. Vol. 6, No. 2. P. 85–90. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0236>.
2. Vuiko O. M. Influence of micronutrient fertilizers and biopreparations on the yield formation of field pea. *Ahrarni innovatsii*. 2022. No. 11. P. 16–24. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.11.2>.
3. Hulenko O. I., Kalilei V. V. Peculiarities of growth processes of chickpea and sunflower under drip irrigation. *Ahrarni innovatsii*. 2022. No. 16. P. 18–23. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.16.3>.
4. State Statistics Service of Ukraine. Crop production of Ukraine : statistical yearbook for 2021. Kyiv, 2022. 220 p. file:///C:/Users/Admin/Downloads/zb_rosl_21.pdf.
5. Innovative zonally adapted solutions in vegetable growing / V. P. Rud et al. *Ovochivnytstvo i bashtannytstvo*. 2022. Issue 72. P. 89–98. <https://doi.org/10.32717/0131-0062-2022-72-89-98>.
6. Kovalenko O. A. Nutrition elements of hyssop under drip irrigation in the south of Ukraine. *Ahrarni innovatsii*. 2022. No. 14. P. 51–59. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.14.8>.
7. Field experiment methodology (irrigated agriculture) : textbook / V. O. Ushkarenko et al. Kherson : Hrin D. S., 2014. 448 p.
8. Evaluation of new parthenocarpic cucumber F₁ hybrid combinations for valuable traits / O. V. Serhiienko et al. *Ovochivnytstvo i bashtannytstvo*. 2022. No. 71. P. 25–32. <https://doi.org/10.32717/0131-0062-2022-71-25-32>.
9. Pluzhnikova L. Ye., Serhiienko O. V., Radchenko L. O. Cucumber variety resources and methods of their use. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2005. No. 2. P. 63–69. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.2.2005.67455>.
10. Statistical analysis of field experiment results in agriculture : monograph / S. V. Kokovikhin et al. Kherson : Ailant, 2013. 378 p.
11. Current state of varietal resources of vegetable crops in Ukraine / N. O. Syplyva et al. *Naukovyi prohres ta innovatsii*. 2023. Vol. 26, no. 4. P. 77–84. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.04.14>.
12. Yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.) varieties depending on growing conditions / I. I. Rozhko et al. *Tavriyskyi naukovyi visnyk*. 2024. No. 140. P. 204–213. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.140.27>.
13. *Bacillus subtilis* promotes cucumber growth and quality under higher nutrient solution by altering the rhizospheric microbial community / B. Li et al. *Plants*. 2023. Vol. 12, no. 2. Art. 298. <https://doi.org/10.3390/plants12020298>.
14. Cassán F., Diaz-Zorita M. *Azospirillum* sp. in current agriculture: from the laboratory to the field. *Soil Biology and Biochemistry*. 2016. Vol. 103. P. 117–130. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.08.020>.

Biology and Biochemistry. 2016. Vol. 103. P. 117–130.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.08.020>.

15. Dhillon N. P. S. Twenty years of cucurbit breeding research at the World Vegetable Center. *Crop Science*. 2025. Vol. 65, no. 6. Art. e70204.
<https://doi.org/10.1002/csc2.70204>.

16. Drip irrigation enhances water use efficiency without losses in cucumber yield and economic benefits in greenhouses in North China / H. Liu et al. *Irrigation Science*. 2022. Vol. 40, No. 2. P. 135–149.
<https://doi.org/10.1007/s00271-021-00756-w>.

17. Effect of foliar application of boron, iron and zinc on growth, yield and economics of cucumber grown under naturally ventilated polyhouse condition / M. K. Sidhu et al. *Vegetable Science*. 2020. Vol. 47, no. 1. P. 110–115.
<https://doi.org/10.61180/vegsci.2020.v47.i1.19>.

18. Fageria N. K., Baligar V. C., Clark R. B. Micronutrients in crop production. *Advances in Agronomy*. 2002. Vol. 77. P. 185–268.
[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)77015-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)77015-6).

19. FAO. FAOSTAT: Crops and livestock products. Rome : FAO, 2024. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (date of access: 25.09.2026).

20. Functions and strategies for enhancing zinc availability in plants for sustainable agriculture / M. H. Saleem et al. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. Art. 1033092.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1033092>.

21. Gelaye Y. Cucumber (*Cucumis sativus*) production in Ethiopia: trends, prospects and challenges : a review. *Cogent Food & Agriculture*. 2023. Vol. 9, no. 1. Art. 2221103.
<https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2221103>.

22. Nitrogen fixing *Azotobacter* species as potential soil biological enhancers for crop nutrition and yield stability / A. Aasfar et al. *Frontiers in Microbiology*. 2021. Vol. 12. Art. 628379.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.628379>.

23. Optimal drip fertigation management improves yield, quality, water and nitrogen use efficiency of greenhouse cucumber / H. Wang et al. *Scientia Horticulturae*. 2019. Vol. 243. P. 357–366.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.050>.

24. Plant growth-promoting rhizobacteria improve growth and fruit quality of cucumber under greenhouse conditions / G. Zapata-Sifuentes et al. *Plants*. 2022. Vol. 11, no. 12. Art. 1612.
<https://doi.org/10.3390/plants11121612>.

25. Rengel Z. Availability of Mn, Zn and Fe in the rhizosphere. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2015. Vol. 15, No. 2. P. 397–409.
<https://doi.org/10.4067/S0718-95162015005000036>.

26. Review on drip irrigation: impact on crop yield, quality, and water productivity in China / P. Yang et al. *Water*. 2023. Vol. 15, No. 9. Art. 1733.
<https://doi.org/10.3390/w15091733>.

27. Sarwar A. K. M. G., Chanda S. C., Khatun M. M. Boron and sulfur application on growth and yield of

15. Dhillon N. P. S. Twenty years of cucurbit breeding research at the World Vegetable Center. *Crop Science*. 2025. Vol. 65, no. 6. Art. e70204.
<https://doi.org/10.1002/csc2.70204>.

16. Drip irrigation enhances water use efficiency without losses in cucumber yield and economic benefits in greenhouses in North China / H. Liu et al. *Irrigation Science*. 2022. Vol. 40, No. 2. P. 135–149.
<https://doi.org/10.1007/s00271-021-00756-w>.

17. Effect of foliar application of boron, iron and zinc on growth, yield and economics of cucumber grown under naturally ventilated polyhouse condition / M. K. Sidhu et al. *Vegetable Science*. 2020. Vol. 47, no. 1. P. 110–115.
<https://doi.org/10.61180/vegsci.2020.v47.i1.19>.

18. Fageria N. K., Baligar V. C., Clark R. B. Micronutrients in crop production. *Advances in Agronomy*. 2002. Vol. 77. P. 185–268.
[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)77015-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)77015-6).

19. FAO. FAOSTAT: Crops and livestock products. Rome : FAO, 2024. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (date of access: 25.09.2026).

20. Functions and strategies for enhancing zinc availability in plants for sustainable agriculture / M. H. Saleem et al. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. Art. 1033092.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1033092>.

21. Gelaye Y. Cucumber (*Cucumis sativus*) production in Ethiopia: trends, prospects and challenges : a review. *Cogent Food & Agriculture*. 2023. Vol. 9, no. 1. Art. 2221103.
<https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2221103>.

22. Nitrogen fixing *Azotobacter* species as potential soil biological enhancers for crop nutrition and yield stability / A. Aasfar et al. *Frontiers in Microbiology*. 2021. Vol. 12. Art. 628379.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.628379>.

23. Optimal drip fertigation management improves yield, quality, water and nitrogen use efficiency of greenhouse cucumber / H. Wang et al. *Scientia Horticulturae*. 2019. Vol. 243. P. 357–366.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.050>.

24. Plant growth-promoting rhizobacteria improve growth and fruit quality of cucumber under greenhouse conditions / G. Zapata-Sifuentes et al. *Plants*. 2022. Vol. 11, no. 12. Art. 1612.
<https://doi.org/10.3390/plants11121612>.

25. Rengel Z. Availability of Mn, Zn and Fe in the rhizosphere. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2015. Vol. 15, No. 2. P. 397–409.
<https://doi.org/10.4067/S0718-95162015005000036>.

26. Review on drip irrigation: impact on crop yield, quality, and water productivity in China / P. Yang et al. *Water*. 2023. Vol. 15, No. 9. Art. 1733.
<https://doi.org/10.3390/w15091733>.

27. Sarwar A. K. M. G., Chanda S. C., Khatun M. M. Boron and sulfur application on growth and yield of Khira (short cucumber, *Cucumis sativus*).

Khira (short cucumber, *Cucumis sativus*). *Research on Crops*. 2021. Vol. 22. P. 901–906. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.147>.

28. Silicon application and plant growth promoting rhizobacteria consisting of six pure *Bacillus* species alleviate salinity stress in cucumber (*Cucumis sativus* L.) / N. Kaloterakis et al. *Scientia Horticulturae*. 2021. Vol. 288. Art. 110383. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110383>.

29. Suwanto, Hilmi M., Hapsari D. P. Effectivity of borate micro fertilizer on yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Journal of Tropical Crop Science*. 2024. Vol. 11, no. 1. P. 82–90. <https://doi.org/10.29244/jtcs.11.01.82-90>.

30. The formation of fruit quality in *Cucumis sativus* L. / J. Zhang et al. *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. Art. 729448. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.729448>.

31. Valorizing waste through biosorption: sustainable development of micronutrient fertilizers for cucumber cultivation and its impact on environmental pollution / D. Çalış et al. *Waste and Biomass Valorization*. 2026. Vol. 17, no. 2. P. 895–916. <https://doi.org/10.1007/s12649-025-03151-0>.

32. Water and potassium utilization efficiency and yield and quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) / N. Li et al. *Scientia Horticulturae*. 2024. Vol. 330. Art. 113025. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113025>.

Research on Crops. 2021. Vol. 22. P. 901–906. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.147>.

28. Silicon application and plant growth promoting rhizobacteria consisting of six pure *Bacillus* species alleviate salinity stress in cucumber (*Cucumis sativus* L.) / N. Kaloterakis et al. *Scientia Horticulturae*. 2021. Vol. 288. Art. 110383. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110383>.

29. Suwanto, Hilmi M., Hapsari D. P. Effectivity of borate micro fertilizer on yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Journal of Tropical Crop Science*. 2024. Vol. 11, no. 1. P. 82–90. <https://doi.org/10.29244/jtcs.11.01.82-90>.

30. The formation of fruit quality in *Cucumis sativus* L. / J. Zhang et al. *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. Art. 729448. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.729448>.

31. Valorizing waste through biosorption: sustainable development of micronutrient fertilizers for cucumber cultivation and its impact on environmental pollution / D. Çalış et al. *Waste and Biomass Valorization*. 2026. Vol. 17, no. 2. P. 895–916. <https://doi.org/10.1007/s12649-025-03151-0>.

32. Water and potassium utilization efficiency and yield and quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) / N. Li et al. *Scientia Horticulturae*. 2024. Vol. 330. Art. 113025. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113025>.

DOI: 10.32636/01308521.2026-(80)-1-3

Оригінальна наукова стаття

УДК 633.12:632.4:632.9

ФІТОФТОРОЗ ГРЕЧКИ: ФАКТОРИ РОЗВИТКУ І СТРАТЕГІЇ ЗАХИСТУ**Г. Я. Біловус, О. А. Ващишин, І. М. Голець, Я. Р. Бернат**

Інститут сільського господарства
Карпатського регіону НААН
вул. Грушевського, 5, с. Оброшине,
Львівський р-н., Львівська обл.,
81115

Про авторів:

Галина БІЛОВУС,
кандидат сільськогосподарських
наук
ORCID: 0000-0001-7527-5832

Оксана ВАЩИШИН,
науковий співробітник
ORCID: 0000-0002-9271-1859

Іван ГОЛЕЦЬ,
науковий співробітник
ORCID: 0009-0009-7281-3100

Ярослава БЕРНАТ,
технік
ORCID: 0009-0008-8893-9480

Для листування:

Галина БІЛОВУС
e-mail: bilovus.galina72@gmail.com

Інформація про фінансування:

Національна академія
аграрних наук України

Отримано:
16 грудня 2025 р.
Погоджено до друку:
27 квітня 2026 р.
Опубліковано:
30 вересня 2026 р.

Фітофтороз гречки (*Phytophthora parasitica* Dastur (Ph. fagorugi Takimoto)) є однією з найнебезпечніших хвороб культури, що спричиняє значні втрати врожаю та погіршення якості зерна. Ураження проявляється на листках, стеблах і суцвіттях, призводячи до передчасного в'янення рослин і зниження продуктивності. У зв'язку з підвищенням вологості повітря в період вегетації та розширенням площ під гречкою останніми роками створюються сприятливі умови для розвитку фітофторозу. Водночас надмірне використання хімічних засобів захисту рослин зумовлює потребу пошуку екологічно безпечних альтернатив. Дослідження, проведені впродовж 2024–2025 рр., засвідчили, що розвиток фітофторозу тісно пов'язаний із погодними умовами вегетаційного періоду – підвищена вологість (понад 80 %) і температура 18–22 °С сприяли активному поширенню хвороби. Передпосівна обробка насіння препаратами вертекс, РК і біолан, ВСР поліпшувала посівні якості: лабораторна схожість підвищувалася на 2,5–3,5 %, а польова – на 6,2–8,5 %. Найвищу ефективність продемонструвало поєднання обробки насіння з дворазовим обприскуванням посівів у фазах BBCH 12–15 та BBCH 55–59, що зменшувало ураження фітофторозом у 3,2–4,1 рази порівняно з контролем. Серед досліджених препаратів найрезультативнішим був вертекс, РК, технічна ефективність якого у фазі дозрівання в середньому за 2024–2025 рр. становила 75,3 % з приростом урожаю до контролю 0,78 т/га. Отримані результати підтверджують ефективність інтегрованого підходу до захисту гречки, що поєднує хімічні та біологічні засоби, забезпечуючи стабільний фітосанітарний стан, підвищення врожайності та екологізацію технологій вирощування культури.

Ключові слова: гречка, фітофтороз, розвиток хвороби, стимулятори росту, врожайність.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

© Біловус Г. Я., Ващишин О. А., Голець І. М., Бернат Я. Р., 2026

Buckwheat phytophthorose: development factors and protection strategies

Institute of Agriculture of
Carpathian Region of NAAS
Hrushevskoho street, 5,
Obroshyne village, Lviv district,
Lviv region, 81115

About authors:

Halyna BILOVUS
ORCID: 0000-0001-7527-5832

Oksana VASHCHYSHYN
ORCID: 0000-0002-9271-1859

Ivan HOLETS
ORCID: 0009-0009-7281-3100

Yaroslava BERNAT
ORCID: 0009-0008-8893-9480

Corresponding author:

Halyna BILOVUS
e-mail:
bilovus.galina72@gmail.com

Funding information:

National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine

Received:
December 16, 2025

Accepted:
April 27, 2026

Published:
September 30, 2026

Phytophthora blight of buckwheat (*Phytophthora parasitica* Dastur (*Ph. fagopyri* Takimoto)) is one of the most dangerous diseases of this crop, causing considerable yield losses and deterioration of grain quality. The infection affects leaves, stems, and inflorescences, leading to premature wilting of plants and reduced seed set and mass. In recent years, increased air humidity during the growing season and the expansion of buckwheat cultivation areas have created favorable conditions for the disease's development. At the same time, excessive use of chemical plant protection products poses environmental risks, necessitating the development of ecologically safe alternatives. Studies conducted during 2024–2025 showed that the development of *Phytophthora* blight was closely related to meteorological conditions – high air humidity (above 80%) and temperatures of 18–22 °C favored intensive infection. Pre-sowing seed treatment with preparations vertex, RK and biolan, VSR improved seed quality: laboratory germination increased by 2.5–3.5 %, and field germination by 6.2–8.5 %. The highest efficiency was achieved by combining seed treatment with two-time spraying of crops during the BBCH 12–15 and BBCH 55–59 phases, which reduced late blight damage by 3.2–4.1 times compared to the control. Among the studied preparations, the most effective was vertex, RK, whose technical efficiency in the tillering phase, averaged over the 2024–2025 years was 75.3%, while the yield increase compared to the control was 0.78 t/ha. The results obtained confirm the effectiveness of an integrated approach to buckwheat protection, which combines chemical and biological means, ensuring a stable phytosanitary condition, increasing yields, and ecologizing crop growing technologies.

Keywords: buckwheat, late blight, disease development, growth stimulants, yield.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Вступ. Гречка (*Fagopyrum esculentum* Moench) – зернова культура, яка завдяки значній частці повноцінних білків і збалансованому амінокислотному складу посідає важливе місце у продовольчій безпеці та дієтичному харчуванні [1, 2].

Вона є однією з найцінніших круп'яних культур в Україні та має не лише високу поживність, а й є важливою медоносною рослиною: у сприятливих умовах з 1 га можна зібрати 70–90 кг меду. Завдяки інтенсивному наростанню зеленої маси гречка ефективно пригнічує бур'яни, а після її збирання ґрунт залишається пухким і придатним для подальшої обробки [3, 5].

В Україні культура входить до структури посівних площ Лісостепу та Полісся, а також окремих районів Степу, де її використовують як основну й післяукісну культуру та як медонос [4, 10, 21].

Світові посіви гречки займають близько 3,9 млн га, з яких приблизно 2,4 млн га розташовані в Європі. У 2025 р. в Україні площі під гречкою зменшилися до 79,6 тис. га – на 9,2 тис. га менше, ніж у 2024 р. Це свідчить про подальше скорочення посівів, особливо порівняно з 2023 р., коли було зафіксовано найбільші площі за останні вісім років. Подібна ситуація спостерігається і у Львівській області.

Основною причиною зниження посівних площ є низька рентабельність вирощування. Через орієнтацію на внутрішній ринок ціна на гречку часто не покриває витрати на її виробництво, що робить її економічно не вигідною. Однак культура має стратегічне значення для продовольчої безпеки країни. Короткий вегетаційний період робить культуру цінною як страхову при пересіві озимих чи ранніх ярих, що загинули [10, 21, 23].

Середня врожайність гречки в Україні за 2000–2023 рр. становила 0,96 т/га. Рівень продуктивності культури значною мірою визначається погодними умовами, особливо в період цвітіння та формування зерна, забезпеченістю рослин вологою, родючістю ґрунту, а також особливостями технології вирощування, зокрема строками сівби, нормами висіву, системою удобрення та ефективністю запилення [11, 15–18].

Одним із ключових чинників нестабільності врожаю є ураження посівів хворобами грибної та бактеріальної етіології (зокрема, борошниста роса, фітофтороз, сіра гниль, альтернаріоз, бактеріози), що призводять до пригнічення фотосинтезу, зниження зав'язування насіння та погіршення якості крупи.

Збільшити обсяги виробництва гречки можна зменшенням втрат врожаю від шкідників і хвороб, які можуть сягати 25–30 % і більше [4, 12, 13]. Також важливо стабілізувати врожайність застосуванням комплексу агротехнічних заходів: вирощування високоврожайних сортів, дотримання оптимальних строків сівби, правильне внесення добрив, контроль бур'янів і забезпечення належного запилення бджолами [7, 21–24].

Основним напрямом підвищення врожайності є створення стійких сортів гречки до кліматичних умов та шкідливих організмів [24, 25].

Серед найбільш шкідливих захворювань гречки Західного Лісостепу виділяють фітофтороз (несправжню борошністу росу), який викликає гриб *Phytophthora parastica* Dastur (*Ph. fagopyri*

Takimoto). Хвороба вражає рослини протягом усього вегетаційного періоду, утворюючи зооспориї – основний засіб поширення патогену [4, 12, 14].

Шкідливість захворювання проявляється у зменшенні густоти посівів гречки через загнивання та загибель проростків і молодих сходів, а також у скороченні асиміляційної поверхні рослин внаслідок відмирання ураженого листя [4, 23, 27].

Традиційні засоби хімічного захисту мають обмеження у гречці через чутливість культури в період масового цвітіння та потребу збереження ентомофауни (запилювачів).

У цьому контексті зростає інтерес до біологічних препаратів – антагоністів патогенів, індукторів резистентності та мікробних консорціумів, що поліпшують фітосанітарний стан посівів і сприяють підвищенню врожайності [2, 6, 8, 9, 26].

Їх застосування потенційно дозволяє зменшити інфекційний фон, стабілізувати продуктивність у мінливих кліматичних умовах і підвищити екологічну стійкість технологій вирощування.

Передпосівна обробка насіння гречки біологічними препаратами є важливим елементом інтегрованого захисту рослин, спрямованим на зменшення ураження посівів хворобами на ранніх етапах розвитку [6, 9, 19, 20, 23].

Біологічні засоби пригнічують патогени, що знаходяться на поверхні або всередині насіння (наприклад, збудники фітофторозу, фузаріозу, бактеріозів), запобігаючи їхньому розвитку на етапі проростання. Вони стимулюють природні захисні механізми рослини, підвищуючи її стійкість до стресів та патогенів протягом усього вегетаційного періоду.

Мікроорганізми-антагоністи формують захисну мікрофлору в ризосфері, створюючи несприятливі умови для розвитку ґрунтових патогенів [26–28].

Передпосівна обробка насіння гречки біологічними препаратами є ефективним заходом у боротьбі з хворобами культури, особливо в умовах органічного

землеробства або за зростання резистентності патогенів до хімічних засобів. Вона дозволяє знизити інфекційний фон на полі, зміцнити імунітет рослин і забезпечити дружні, здорові сходи, що надалі сприятиме підвищенню врожайності та зниженню витрат на захист культури [8, 16–19].

У зоні Західного Лісостепу посіви круп'яних культур потребують постійного фітопатологічного контролю. В умовах змін клімату зростає важливість впровадження ефективних систем захисту, що дають змогу запобігати розвитку хвороб і поширенню шкідників або утримувати їх чисельність на безпечному рівні [9, 27, 28].

Мета досліджень – вивчення особливостей розвитку фітофторозу гречки (*Phytophthora parastica* Dastur (*Ph. fagopyri* Takimoto)) в умовах Західного Лісостепу,

визначення факторів, що зумовлюють поширення та інтенсивність ураження рослин, а також оцінювання ефективності стимуляторів росту в системі захисту культури.

Матеріали і методи. Дослідження проводили в Інституті сільського господарства Карпатського регіону НААН на посівах гречки сорту Ярославна в польових і лабораторних умовах. Площа дослідної ділянки становила 30 м², облікової – 25 м², із чотириразовим повторенням варіантів. Попередник культури – ячмінь озимий. Сівбу виконували звичайним рядковим способом із нормою висіву 4–5 млн схожих зерен на гектар (80–110 кг/га).

Польовий дослід із сортом Ярославна закладали за схемою, наведеною в табл. 1.

1. Схема дослідів

№ вар.	Варіант	Обробка насіння	Строки внесення препарату	
			ВВСН 12–15	ВВСН 55–59
1	Контроль (без обробки)	–	–	–
2	Вертекс, РК	0,26 л/т	–	–
3	Вертекс, РК	0,26 л/т	0,26 л/га	–
4	Вертекс, РК	0,26 л/т	0,26 л/га	0,26 л/га
5	Біолан, ВСР	10 мл/т	–	–
6	Біолан, ВСР	10 мл/т	10 мл/га	–
7	Біолан, ВСР	10 мл/т	10 мл/га	10 мл/га

До початку проведення дослідів орний шар ґрунту характеризувався такими показниками: рН_{KCl} – 5,1, гідролітична кислотність (за Каппеном) – 3,59 мг-екв/100 г ґрунту, вміст обмінного кальцію – 11,6 мг-екв/100 г, магнію – 0,60 мг-екв/100 г, гумусу – 2,10 %, рухомого фосфору (за Кірсановим) – 121,6 мг/кг, обмінного калію (за Масловою) – 146,8 мг/кг ґрунту.

Облік і спостереження за проявом та розвитком фітофторозу в сорту гречки Ярославна здійснювали відповідно до загальноприйнятої методики [14].

Сорт Ярославна належить до зернового (харчового) напряму використання, є ранньостиглим, диплоїдним. Сім'ядолі дрібні,

ниркоподібної форми, зелені зі слабким антоціановим відтінком. Гіпокотиль середньої довжини. Рослини слабкорозлогі, детермінантного типу, заввишки 91–110 см, мають 4–6 гілок. Масове цвітіння настає через 26–32 доби після появи сходів, достигання – через 81–90 діб.

Головне стебло товсте, ребристе, з низьким прикріпленням першої гілки та високим розташуванням першого суцвіття. Пагони мають фрагментарне антоціанове забарвлення середньої інтенсивності, вузли світло-зелені, слабоопушені.

Листки середні за розміром, зелені, стрілоподібні, зі слабковираженим антоціановим відтінком біля основи та по жилках. Квітки великі, гомостильні, з білою оцвітиною, овальними пелюстками та

малиновими пиляками; нектарники грибоподібної форми, аромат слабкий. Пазушні суцвіття короткі, вузькоциліндричні, середньої щільності; термінальні – двокитицеві (вилочкоподібні), середньої довжини.

Плід ромбічної форми, середнього розміру, з гострими ребрами, під час наливу зелений, в процесі досягання набуває сірого кольору з мармуровим відтінком. Маса 1000 плодів – велика, вирівняність середня, пливчастість підвищена.

Оригіатор сорту – Сумський інститут агропромислового виробництва УААН, випробування проводили в Інституті сільського господарства Північного Сходу НААН України.

Ефективність застосування стимуляторів росту вертекс, РК та біолан, ВСР щодо обмеження розвитку фітофторозу гречки сорту Ярославна оцінювали відповідно до наведеної вище схеми досліду (див. табл. 1). Обробку посівів проводили двічі: ВВСН 12–15 та ВВСН 55–59.

Стимулятори росту рослин вертекс, РК та біолан, ВСР належать до сучасних регуляторів росту, які застосовують для передпосівної обробки насіння та обприскування посівів з метою підвищення енергії проростання, стійкості до стресів та хвороб і продуктивності культур.

Вертекс, РК – це рідкий регулятор росту комплексної дії, який містить фізіологічно активні речовини (зокрема аналоги фітогормонів, амінокислоти, мікроелементи).

Основні властивості:

- стимулює проростання насіння та розвиток кореневої системи;
- активізує обмінні процеси та фотосинтез;
- підвищує стійкість рослин до абіотичних стресів (посуха, температурні коливання);
- сприяє кращому засвоєнню поживних речовин.

Біолан, ВСР – це водорозчинний регулятор росту природного походження, створений на основі біологічно активних речовин (продуктів життєдіяльності мікроорганізмів, фітогормонів, вітамінів).

Основні властивості:

- стимулює клітинний поділ і ріст рослин;
- підвищує польову схожість насіння;
- активує імунні реакції рослин проти хвороб;
- поліпшує розвиток кореневої системи та надземної маси;
- зменшує негативний вплив пестицидного стресу.

Статистичну обробку експериментальних даних виконано програмним забезпеченням *Microsoft Excel*.

Технічну ефективність пестицидів розраховували за формулою [14]:

$$Te = \frac{100 (B_k - B_o)}{B_k} (1)$$

де B_k – показник розвитку хвороби в контролі, %; B_o – показник розвитку хвороби на обробленому варіанті, %.

Результати та обговорення.

Метеорологічні умови 2025 р. характеризувалися суттєвою мінливістю за декадами як за кількістю опадів, так і за температурним режимом (рис. 1, 2).

У травні спостерігали зниження середньої температури повітря порівняно з кліматичною нормою в усіх трьох декадах місяця. Водночас кількість опадів перевищила багаторічні показники у другій та третій декадах, тоді як у першій декаді вона була меншою за норму на 6,7 мм.

Впродовж червня температурний режим мав стабільно підвищений характер – у всіх декадах температура повітря перевищувала норму. Натомість кількість опадів у цей період була нижчою за середньобагаторічні показники: загальне відхилення від норми за місяць становило 65,0 мм.

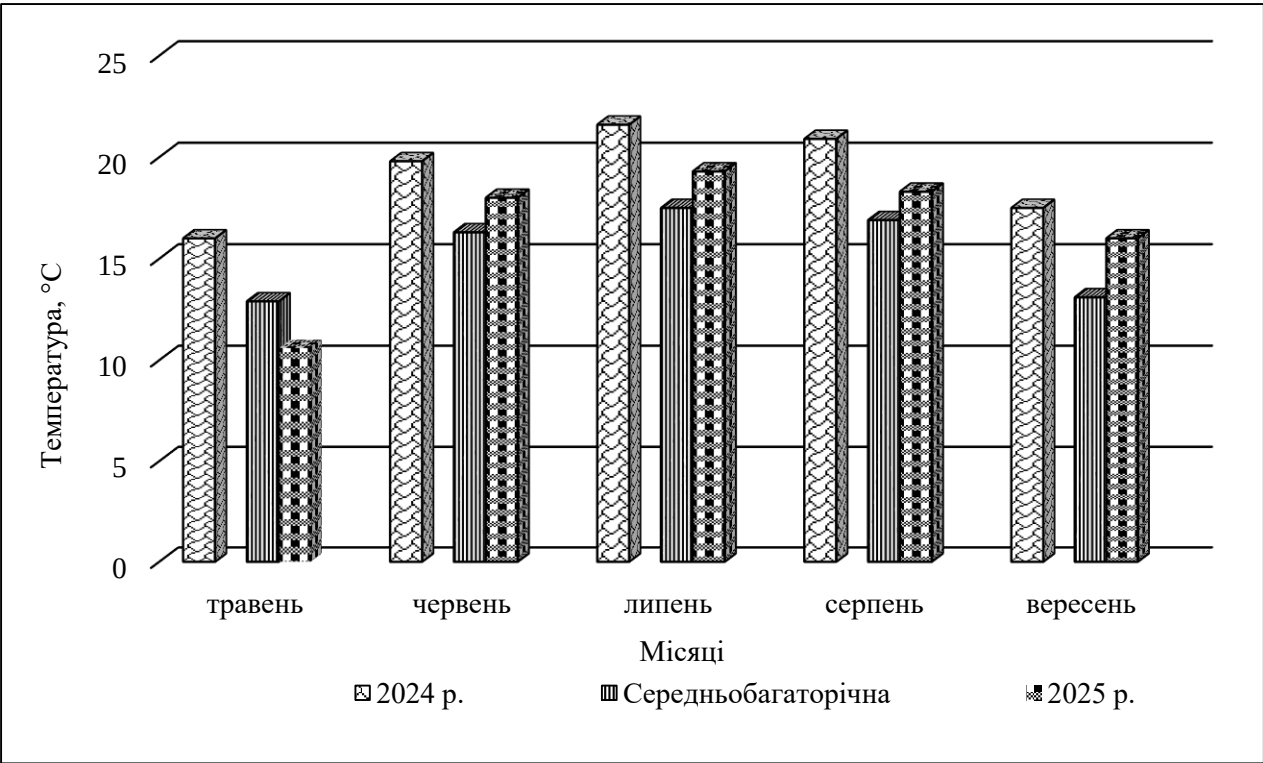


Рис. 1. Температура повітря (2024–2025 рр.)

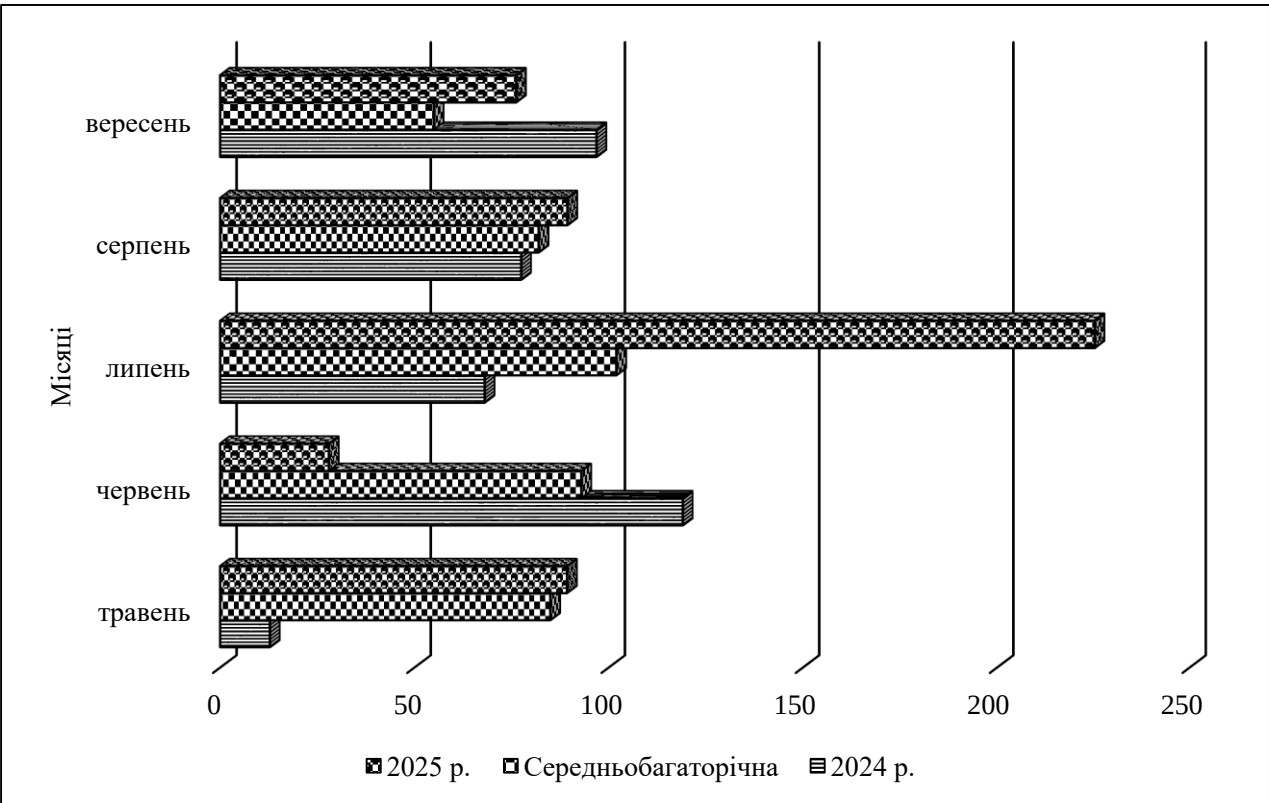


Рис. 2. Опади (2024–2025 рр.), мм

Липень відзначався підвищеними температурами та значним зволоженням. Упродовж усіх декад місяця температура

повітря перевищувала норму на 0,2–2,7 °C. Опадів випало набагато більше, ніж звичайно – місячна сума перевищила норму

на 123,3 мм (за норми 102,0 мм). Зокрема, у першій декаді спостерігали перевищення на 143,4 мм, у другій – на 7,6 мм, тоді як у третій декаді кількість опадів була нижчою за норму на 27,7 мм.

Серпень характеризувався здебільшого теплою погодою. Усі декади відзначалися перевищенням середніх температур щодо норми – на 0,9; 2,3 та 1,0 °C відповідно. Розподіл опадів був нерівномірним: у першій та третій декадах їх випало більше від норми (на 2,4 і 38,8 мм), тоді як у другій декаді опади були відсутні.

У вересні спостерігали подальше перевищення середніх температур – у середньому на 2,9 °C (за норми 13,1 °C). Кількість опадів коливалася: у першій декаді вона була меншою за норму на 8,5 мм, у другій – більшою на 13,5 мм, а в третій – на 16,2 мм.

Порівняння метеорологічних умов 2024 і 2025 рр. показало, що протягом усього вегетаційного періоду (травень – вересень) температури здебільшого перевищували середньобогаторічні значення, за винятком травня 2025 р., коли спостерігали суттєве зниження. Загалом кількість опадів у ці роки була вищою за норму: у 2024 р. – в червні – вересні, а у 2025 р. – у травні та з липня до вересня. Особливо значне перевищення норми спостерігали у липні 2025 р., коли кількість опадів сягнула 225,3 мм, що більш ніж удвічі перевищує кліматичну норму (102 мм).

Отримані дані свідчать про суттєві відмінності в температурному режимі та кількості опадів упродовж вегетаційного періоду обох років. У 2024 р. середньомісячна температура повітря в усі місяці була вищою за середньобогаторічні показники: у травні – на 3,1 °C, у червні – на 3,5 °C, у липні – на 4,1 °C, у серпні – на 4,0 °C, у вересні – на 4,4 °C. Такі показники свідчать про стабільно високий температурний фон і виражену тенденцію до потепління.

У 2025 р. спостерігали помірніші температурні умови. Травень вирізнявся

найнижчими показниками – 10,6 °C, що на 2,3 °C нижче від норми, тоді як у червні – вересні виявлено перевищення середніх багаторічних значень: у червні – на 1,7 °C, у липні – на 1,8 °C, у серпні – на 1,4 °C, у вересні – на 2,9 °C. Отже, після прохолодного травня 2025 р. відбулося поступове підвищення температури до рівня, вищого за норму.

Порівняно з 2025 р. 2024 р. був помітно теплішим упродовж усього періоду від травня до вересня. У 2025 р. лише окремі місяці (червень – вересень) мали перевищення температури над нормою, причому відхилення були менш вираженими. Щодо кількості опадів, спостерігали протилежну тенденцію. У 2024 р. рівень зволоження коливався від дефіцитного до надмірного: у травні випало лише 12,8 мм (на 72,2 мм менше від норми), у червні – 119,1 мм (на 26,1 мм більше), у липні – на 34,0 мм менше, у серпні – на 4,5 мм менше, а у вересні – 96,9 мм (на 41,9 мм більше від норми). Це свідчить про чергування посушливих і вологих періодів.

У 2025 р. кількість опадів здебільшого перевищувала норму. У травні випало 89,3 мм (на 4,3 мм більше від норми), у червні – лише 28,0 мм (на 65,0 мм менше), у липні – 225,3 мм (удвічі більше від норми), у серпні – 89,4 мм (на 7,4 мм більше), у вересні – 76,2 мм (на 21,2 мм більше). Найбільше зволоження спостерігали в липні, коли кількість опадів досягла максимуму за весь період спостережень.

Підсумовуючи, 2024 р. можна охарактеризувати як теплий і відносно посушливий із нерівномірним розподілом опадів, тоді як 2025 р. відзначався помірнішими температурами (особливо у травні) та загальною тенденцією до надлишкового зволоження. В обох роках простежуються відхилення від кліматичної норми, що підтверджує нестабільність погодних умов упродовж вегетаційного періоду.

За результатами досліджень (табл. 2, 3) встановлено, що передпосівна обробка насіння гречки препаратами вертекс, РК та

біолан, ВСП позитивно впливала на лабораторну й польову схожість порівняно з контролем. У контрольному варіанті (без обробки) лабораторна схожість у середньому за 2024–2025 рр. становила 91 %, тоді як за використання вертексу, РК – 94,5 %, а біолану, ВСП – 93,5 %. Отже,

передпосівна обробка стимулювала проростання насіння, що свідчить про біологічну активність препаратів і поліпшення енергії росту внаслідок активації фізіолого-біохімічних процесів у насінні.

2. Вплив препаратів на лабораторну схожість насіння гречки, 2024–2025 рр.

№ вар.	Варіант	Обробка насіння	Лабораторна схожість, %		
			2024 р.	2025 р.	середнє
1	Контроль	(без обробки насіння)	90,0	92,0	91,0
2	Вертекс, РК	0,26 л/т	94,0	95,0	94,5
3	Вертекс, РК	0,26 л/т	94,0	95,0	94,5
4	Вертекс, РК	0,26 л/т	94,0	95,0	94,5
5	Біолан, ВСП	10 мл/т	93,0	94,0	93,5
6	Біолан, ВСП	10 мл/т	93,0	94,0	93,5
7	Біолан, ВСП	10 мл/т	93,0	94,0	93,5

Наші дослідження, які підтверджують дані Є. В. Харевського та Р. Ю. Гаврилянчика [27], показали, що схожість насіння на контрольному варіанті (без обробки) в польових умовах була нижчою, ніж у лабораторних.

У контролі польова схожість (табл. 3) становила 84 %, тоді як у варіантах із застосуванням препаратів вертекс, РК та біолан, ВСП – відповідно 91,5–92,5 та 90,0–91,5 %.

3. Вплив препаратів на польову схожість насіння гречки, 2024–2025 рр.

№ вар.	Варіант	Обробка насіння	Польова схожість, %		
			2024 р.	2025 р.	середнє
1	Контроль	(без обробки насіння)	83,0	85,0	84,0
2	Вертекс, РК	0,26 л/т	90,0	93,0	91,5
3	Вертекс, РК	0,26 л/т	92,0	93,0	92,5
4	Вертекс, РК	0,26 л/т	90,0	93,0	91,5
5	Біолан, ВСП	10 мл/т	88,0	92,0	90,0
6	Біолан, ВСП	10 мл/т	90,0	92,0	91,0
7	Біолан, ВСП	10 мл/т	91,0	92,0	91,5

Таким чином, використання біологічних і хімічних препаратів сприяє підвищенню якості посівного матеріалу та забезпечує дружні, вирівняні сходи гречки, що має важливе значення для формування продуктивного стеблостою та зменшення сприйнятливості рослин до грибних хвороб.

Аналіз даних табл. 4 показує, що застосування як хімічного препарату вертекс, РК, так і біологічного біолан, ВСП

сприяло істотному зниженню розвитку фітофторозу порівняно з контролем. У контрольному варіанті, без застосування будь-яких засобів захисту, середній розвиток хвороби за роки досліджень у фазі бутонізації становив 6,0 %, що свідчить про наявність природного інфекційного фону.

Максимальний захисний ефект проти фітофторозу забезпечив вертекс, РК за комбінованого застосування шляхом обробки насіння та вегетуючих рослин

(0,26 л/т + 0,26 л/га). У варіантах 3 і 2 середній розвиток хвороби був найнижчим і становив 1,5–1,7 %. Дещо нижчий, але стабільний рівень пригнічення патогену спостерігали за умови передпосівної обробки насіння в нормі 0,26 л/т без подальшого обприскування посівів – розвиток хвороби знизився до 1,7 %.

Біологічний препарат біолан, ВСП також виявив помітний захисний ефект – середній розвиток хвороби за різних схем обробки становив 1,8–2,3 %, що свідчить про зниження ураження у 2,7–3,3 рази порівняно з контролем.

4. Вплив хімічних та біологічних препаратів на розвиток фітофторозу (в фазі бутонізації) на гречці с. Ярославна, 2024–2025 рр.

№ вар.	Варіант	Обробка насіння	Обробка посівів у фазі ВВСН 12–15	Розвиток хвороби, %		
				2024 р.	2025 р.	середнє
1	Контроль	(без обробки)	–	3,5	8,5	6,0
2	Вертекс, РК	0,26 л/т	–	0,8	2,6	1,7
3	Вертекс, РК	0,26 л/т	0,26 л/га	0,7	2,3	1,5
4	Вертекс, РК	0,26 л/т	0,26 л/га	0,4	2,0	1,2
5	Біолан, ВСП	10 мл/т	–	1,2	3,3	2,25
6	Біолан, ВСП	10 мл/т	10 мл/га	0,9	3,0	1,95
7	Біолан, ВСП	10 мл/т	10 мл/га	0,8	2,8	1,8
НІР ₀₅				0,3	0,4	0,35

Таким чином, застосування препарату вертекс, РК забезпечило зниження ураження – до 1,2–1,7 %, тоді як біолан, ВСП зменшував розвиток хвороби до 1,8–2,3 %.

За даними табл. 5, максимальний рівень технічної ефективності (82,5 %) забезпечив варіант із одноразовою обробкою насіння препаратом вертекс, РК

(0,26 л/т), тоді як найнижчу ефективність (63,4 %) відзначено при застосуванні біолан, ВСП у 5 варіанті. Це свідчить про те, що хімічний препарат проявляє більш виражену профілактичну дію проти фітофторозу, тоді як біопрепарат має переважно стимулювальний та імуномодуючий ефект.

5. Ефективність дії хімічних та біологічних препаратів на розвиток фітофторозу (в фазі бутонізації) на гречці с. Ярославна, 2024–2025 рр.

№ вар.	Варіант	Обробка насіння	Фаза несення ВВСН 12–15	Ефективність дії, %		
				2024 р.	2025 р.	середнє
1	Контроль	(без обробки)	–	–	–	–
2	Вертекс, РК	0,26 л/т	–	77,1	69,4	73,3
3	Вертекс, РК	0,26 л/т	0,26 л/га	80,0	72,9	76,5
4	Вертекс, РК	0,26 л/т	0,26 л/га	88,6	76,4	82,5
5	Біолан, ВСП	10 мл/т	–	65,7	61,1	63,4
6	Біолан, ВСП	10 мл/т	10 мл/га	74,3	64,7	69,5
7	Біолан, ВСП	10 мл/т	10 мл/га	77,1	67,0	72,1

За результатами двох років досліджень встановлено, що вертекс, РК має вищу профілактичну ефективність проти фітофторозу – у середньому від

73,3 до 82,5 %, тоді як біолан, ВСП – від 63,4 до 72,1 %.

Розвиток фітофторозу (табл. 6) у контролі становив у середньому 16 %, тоді

як у варіантах із застосуванням препаратів знижувався у 2,4–4,1 рази.

Найкращі результати отримано на 4 варіанті із дворазовим застосуванням вертекс, РК – розвиток хвороби зменшився

до 3,9 %, тобто більш ніж у 4 рази порівняно з контролем. У варіантах 2 і 3 рівень ураження становив 4,5–5,0 %, що також свідчить про високу ефективність препарату проти фузаріозної інфекції.

6. Вплив хімічних та біологічних препаратів на розвиток фітофторозу (в фазі дозрівання) на гречці с. Ярославна, 2024–2025 рр.

№ вар.	Варіант	Обробка насіння	Обробка посівів у фазі		Розвиток хвороби, %		
			ВВСН 12–15	ВВСН 55–59	2024 р.	2025 р.	середнє
1	Контроль	(без обробки)	(без обробки)	(без обробки)	15,0	17,0	16,0
2	Вертекс, РК	0,26 л/т	–	–	5,0	5,0	5,0
3	Вертекс, РК	0,26 л/т	0,26 л/га	–	4,5	4,5	4,5
4	Вертекс, РК	0,26 л/т	0,26 л/га	0,26 л/га	4,0	3,8	3,9
5	Біолан, ВСР	10 мл/т	–	–	7,0	6,5	6,8
6	Біолан, ВСР	10 мл/т	10 мл/га	–	6,5	6,2	6,4
7	Біолан, ВСР	10 мл/т	10 мл/га	10 мл/га	6,0	6,0	6,0
НІР ₀₅					0,7	0,5	0,6

Біологічний препарат біолан, ВСР забезпечував зменшення розвитку хвороби до 6,0–6,8 %, що вказує на стабільну, хоча й дещо нижчу дію порівнянно з хімічним засобом (вертекс, РК).

Згідно з табл. 7, ефективність дії препаратів у фазі дозрівання проти

фітофторозу в середньому становила 57,5–75,3 %. Найвищу ефективність відзначено у варіанті з дворазовим обприскуванням вертекс, РК, тоді як біолан, ВСР за аналогічної схеми забезпечував ефективність на рівні 62,35 %.

7. Ефективність дії хімічних та біологічних препаратів на розвиток фітофторозу (в фазі дозрівання) на гречці с. Ярославна, 2024–2025 рр.

№ вар.	Варіант	Обробка насіння	Обробка посівів у фазі		Ефективність дії, %		
			ВВСН 12–15	ВВСН 55–59	2024 р.	2025 р.	середнє
1	Контроль	(без обробки)	(без обробки)	(без обробки)	–	–	–
2	Вертекс, РК	0,26 л/т	–	–	66,7	70,6	68,65
3	Вертекс, РК	0,26 л/т	0,26 л/га	–	70,0	73,5	71,75
4	Вертекс, РК	0,26 л/т	0,26 л/га	0,26 л/га	73,0	77,6	75,30
5	Біолан, ВСР	10 мл/т	–	–	53,3	61,7	57,50
6	Біолан, ВСР	10 мл/т	10 мл/га	–	56,7	63,6	60,15
7	Біолан, ВСР	10 мл/т	10 мл/га	10 мл/га	60,0	64,7	62,35

Найвищі показники забезпечив вертекс, РК за дворазової обробки посівів (73,0–77,6 %), тоді як біолан, ВСР характеризувався стабільною, проте дещо нижчою результативністю (60,0–64,7 %).

Отримані результати свідчать про доцільність поєднання агротехнічних, біологічних і хімічних методів у комплексі заходів проти фітофторозу гречки, що

забезпечує стабільний фітосанітарний стан посівів і підвищення врожайності.

Аналіз отриманих результатів вказує, що застосування різних варіантів обробки позитивно впливало на продуктивність гречки. Усі дослідні варіанти забезпечили зростання врожайності порівняно з контролем, однак ступінь ефективності був різним (табл. 8).

8. Урожайність гречки с. Ярославна в 2024–2025 рр.

№ вар.	Варіант	Урожайність, т/га			
		2024 р.	2025 р.	середнє	± до контролю
1	Контроль	1,25	1,5	1,38	–
2	Вертекс, РК	1,71	2,0	1,85	0,47
3	Вертекс, РК	2,01	2,3	2,16	0,78
4	Вертекс, РК	1,96	2,1	2,03	0,65
5	Біолан, ВСР	1,67	1,7	1,68	0,30
6	Біолан, ВСР	1,8	1,9	1,85	0,47
7	Біолан, ВСР	1,71	1,8	1,76	0,38
НІР ₀₅		0,2	0,3		

Застосування препарату вертекс, РК забезпечило суттєве підвищення врожайності (від 1,85 до 2,16 т/га), що свідчить про його високу ефективність. Найвищу середню врожайність (2,16 т/га) отримано у 3-му варіанті, де приріст до контролю становив 0,78 т/га, що перевищує показник НІР₀₅ і є статистично достовірним. Використання біолан, ВСР також сприяло зростанню врожайності (від 1,68 до 1,85 т/га). Однак його ефективність була дещо нижчою порівняно з вертекс, РК.

Таким чином, найефективнішим виявився 3-й варіант, де застосовували препарат вертекс, РК, а зокрема поєднання передпосівної обробки насіння з одноразовим обприскуванням посівів у фазі ВВСН 12–15, який забезпечив максимальне підвищення врожайності та її стабільність упродовж двох років досліджень.

Наші результати в цілому узгоджуються з опублікованими раніше даними М. Г. Фурманець та Ю. С. Фурманця [26]: обробка насіння впливає позитивно, погодні умови відіграють важливу роль, а комбінований захист (хімічний + обприскування або біологічний + обприскування) може давати кращий ефект, ніж застосування окремих заходів. Крім того, результати наших досліджень доповнюють дані, наведені в літературі, демонструючи стабільну ефективність у двох роках дослідів та конкретні числові показники приросту врожайності, що може бути цінним внеском у наукову базу.

Висновки. Впродовж 2024–2025 рр. розвиток фітофторозу гречки значною мірою залежав від погодних умов вегетаційного періоду та рівня застосованих захисних заходів.

Передпосівна обробка насіння препаратами вертекс, РК і біолан, ВСР позитивно впливала на посівні якості, підвищуючи лабораторну схожість на 2,5–3,5 %, а польову – на 6,2–8,5 % порівняно з контролем.

Найвищу схожість та стійкість рослин забезпечувало поєднання передпосівної обробки насіння з дворазовим обприскуванням посівів препаратом вертекс, РК у фазі ВВСН 12–15 та ВВСН 55–59, що знижувало ураження фітофторозом у 3,2–4,1 рази до контролю.

Серед досліджуваних засобів найефективнішим виявився препарат вертекс, РК, забезпечуючи найвищу середню врожайність – 2,16 т/га (+0,78 т/га до контролю).

Біологічний препарат біолан, ВСР проявив стабільну захисну дію з ефективністю 57,5–62,4 % та може бути рекомендований як екологічно безпечний елемент у системі інтегрованого захисту гречки.

Отримані результати підтверджують доцільність інтегрованого підходу до захисту гречки, який поєднує використання хімічних і біологічних стимуляторів росту. Такий підхід сприяє формуванню стабільного фітосанітарного стану посівів, підвищенню врожайності та екологізації технологій вирощування цієї культури.

Список використаної літератури

1. Вавринович О. В., Качмар О. Й. Забур'яненість посівів гречки залежно від систем удобрення. *Агроном.* 2022. URL: <https://www.agronom.com.ua/zabur-yanenist-posiviv-grechky-zalezghno-vid-system-udobrennya/> (дата звернення: 17.10.2025).
2. Грицаєнко З. М., Даценко А. А. Урожайність зерна гречки за дії біологічних препаратів. *Агробіологія.* 2014. № 2. С. 39–42.
3. Дикий О. М. Теоретичні основи мінерального живлення гречки. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво.* 2021. Вип. 70 (2). С. 95–108.
4. Довідник із захисту рослин / Л. І. Бублик та ін. ; за ред. М. П. Лісового. Київ, 1999. 744 с.
5. Кабанець В. М., Страхоліс І. М., Кліценко А. В. Селекція гречки сортів різного морфотипу та їх поширення в Україні. *Вісник аграрної науки.* 2018. № 11. С. 141–146.
6. Карпенко В. П., Притуляк Р. М., Даценко А. А. Продуктивність посівів гречки за дії біологічних препаратів. *Збірник наукових праць Уманського НУС.* 2017. Вип. 90, ч. 1. С. 14–22.
7. Квасницька Л. С., Тимошук Т. М. Продуктивність гречки у короткочастотних сівозмінах Правобережного Лісостепу. *Наукові горизонти.* 2018. № 7–8 (70). С. 83–90.
8. Кислинська А. С., Халеп Ю. М. Економічна та біоенергетична ефективність комплексної передпосівної обробки насіння гречки Хетоміком та Діазобактерином. *Вісник аграрної науки.* 2019. № 8 (797). С. 73–79.
9. Копилов Є. П., Йовенко А. С. Використання мікробних препаратів для підвищення урожайності гречки посівної. *Вісник аграрної науки.* 2016. № 12. С. 25–28.
10. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Фізіологічна роль елементів живлення та система удобрення польових культур : підручник. 3-тє вид., переробл. Львів, 2021. 284 с.
11. Макрушин М. М., Макрушина Є. М. Насінництво : підручник. Сімферополь : ВД «Аріал», 2011. 476 с.
12. Марков І. Л. Хвороби гречки та заходи щодо обмеження їх шкодочинності. *Агроном.* 2019. URL: <https://www.agronom.com.ua/hvoroby-grechky-ta-zahody-shhodo-obmezhennya-yih-shkodochynnosti/> (дата звернення: 17.10.2025).
13. Мащенко Ю. В., Семеняка І. М. Удосконалена технологія вирощування гречки в умовах Північного Степу України. Київ, 2018. 184 с.
14. Методики випробування і застосування пестицидів / С. О. Трибель та ін. ; за ред. С. О. Трибеля. Київ, 2001. 448 с.
15. Насінництво й насіннезнавство польових культур / за ред. М. М. Гаврилюка. Київ : Аграрна наука, 2007. 216 с.

References

1. Vavrynovych O. V., Kachmar O. Y. Weed infestation of buckwheat crops depending on fertilization system. *Ahronom.* 2022. URL: <https://www.agronom.com.ua/zabur-yanenist-posiviv-grechky-zalezghno-vid-system-udobrennya/> (last accessed: 17.10.2025).
2. Hrytsaienko Z. M., Datsenko A. A. Buckwheat grain yield under the influence of biological preparations. *Ahrobiolohiia.* 2014. No. 2. P. 39–42.
3. Dykyi O. M. Theoretical foundations of mineral nutrition of buckwheat. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnystvo.* 2021. Issue 70 (2). P. 95–108.
4. Plant Protection Handbook / L. I. Bublyk et al. ; za red. M. P. Lisovoho. Kyiv, 1999. 744 p.
5. Kabanets V. M., Strakholis I. M., Klitsenko A. V. Selection of buckwheat varieties of different morphotypes and their spread in Ukraine. *Visnyk ahrarnoi nauky.* 2018. No. 11. P. 141–146.
6. Karpenko V. P., Prytuliak R. M., Datsenko A. A. Productivity of buckwheat crops under the influence of biological preparations. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho NUS.* 2017. Issue 90, part 1. P. 14–22.
7. Kvasnitska L. S., Tymoshchuk T. M. Buckwheat productivity in short-term crop rotation of the Right-bank Forest-Steppe. *Naukovi horizonty.* 2018. No. 7–8 (70). P. 83–90.
8. Kyslynska A. S., Khalep Yu. M. Economic and biopower efficiency of complex presowing treatment of seeds of buckwheat with Khetomic and Diazobacterin. *Visnyk ahrarnoi nauky.* 2019. No. 8 (797). P. 73–79.
9. Kopylov Ye. P., Yovenko A. S. The use of microbial preparations to increase the yield of buckwheat. *Visnyk ahrarnoi nauky.* 2016. No. 12. P. 25–28.
10. Lykhochvor V. V., Petrychenko V. F. Physiological role of living elements and fertilization system of field crops : textbook. 3rd ed., revised. Lviv, 2021. 284 p.
11. Makrushyn M. M., Makrushyna Ye. M. Seed production : a textbook. Simferopol : Publishing House «Ariall», 2011. 476 p.
12. Markov I. L. Diseases of the kidneys and kidneys are limited by their susceptibility. *Ahronom.* 2019. URL: <https://www.agronom.com.ua/hvoroby-grechky-ta-zahody-shhodo-obmezhennya-yih-shkodochynnosti/> (last accessed: 17.10.2025).
13. Mashchenko Yu. V., Semeniaka I. M. The technology of growing buckwheat in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine has been improved. Kyiv, 2018. 184 p.
14. Methods of testing and using pesticides / S. O. Trybel et al. ; za red. S. O. Trybelia. Kyiv, 2001. 448 p.
15. Seed production and seed science of field crops / edited by M. M. Havryliuk. Kyiv : Ahrarna nauka, 2007. 216 p.

16. Новітні агротехнології у рослинництві : підручник / В. Д. Паламарчук та ін. Вінниця, 2017. 602 с.

17. Пархуць Б. І. Вплив рівня мінерального удобрення на продуктивність гречки в умовах Західного Лісостепу України. *Вісник ЛНАУ. Агрономія*. 2018. № 22 (2). С. 137–140.

18. Пастух О. Д., Хоміна В. Я. Формування урожайності круп'яних культур залежно від застосування мікробіологічних препаратів в умовах Лісостепу Західного. *Таврійський науковий вісник*. 2015. Вип. 94. С. 48–53.

19. Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В. Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур : підручник. 5-ге вид. виправ., доповн. Львів, 2020. 806 с.

20. Пшиченко О. І., Радченко М. В. Формування посівних якостей насіння гречки залежно від передпосівної обробки. *Аграрні інновації*. 2022. № 13. С. 121–125.

21. Радченко М. В., Підлісна Ю. О. Особливості вирощування сортів гречки в лісостеповій зоні України. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія»*. 2017. Вип. 9. С. 48–51.

22. Рекомендації з вирощування гречки у проміжних посівах / В. В. Іванишин та ін. Івано-Франківськ, 2015. 48 с.

23. Системи сучасних інтенсивних технологій / В. Д. Паламарчук та ін. Вінниця, 2015. 448 с.

24. Створення вихідного матеріалу гречки для селекції високоврожайних адаптивних сортів / П. П. Каражбей та ін. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2022. № 2 (4). С. 65–71.

25. Тригуб О. В., Ляшенко В. В. Джерела господарських та селекційно-цінних ознак для селекції гречки звичайної (*Fagopyrum esculentum* Moench). *Вісник ПДАА*. 2017. № 1–2. С. 48–55.

26. Фуманець М. Г., Фуманець Ю. С. Вплив біологічних препаратів на продуктивність гречки. *Зб. наук. пр. Уманського національного університету садівництва*. 2016. Вип. 88 (1). С. 106–111. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/zhpumus_2016_88\(1\)_16](http://nbuv.gov.ua/UJRN/zhpumus_2016_88(1)_16) (дата звернення: 17.10.2025).

27. Харевський Є. В., Гаврилянчик Р. Ю. Вплив елементів технології вирощування на формування посівів гречки татарської в умовах Лісостепу Західного. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2017. Вип. 27. С. 58–65.

28. Якимчук Є. Ю., Іванів М. О. Продуктивність середньостиглих сортів гречки залежно від дії біопрепаратів. *Перспектива : зб. наук. пр.* 2019. № 33. С. 178–180. URL: <http://hdl.handle.net/123456789/3494> (дата звернення: 22.10.2025).

16. Latest agricultural technologies in crop production : textbook / V. D. Palamarchuk et al. Vinnytsia, 2017. 602 p.

17. Parkhuts B. I. The influence of mineral fertilizer application on the productivity of buckwheat in the conditions of the Western Forest-Steppe of Ukraine. *Visnyk LNAU. Ahronomiia*. 2018. No. 22 (2). P. 137–140.

18. Pastukh O. D., Khomina V. Ya. The formation of grain crop yields depends on the use of microbial preparations in the conditions of the Western Forest-Steppe. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*. 2015. Issue 94. P. 48–53.

19. Petrychenko V. F., Lykhochvor V. V. Crop production. New technologies for growing field crops : textbook. 5th ed., corrected, supplemented. Lviv, 2020. 806 p.

20. Pshychenko O. I., Radchenko M. V. Formation of sowing qualities of buckwheat seeds depending on pre-sowing treatment. *Ahrarni innovatsii*. 2022. No. 13. P. 121–125.

21. Radchenko M. V., Pidlisna Yu. O. Peculiarities of growing buckwheat varieties in the Forest-Steppe zone of Ukraine. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya «Ahronomiia i biolohiia»*. 2017. Issue 9. P. 48–51.

22. Recommendations for growing buckwheat in catch crops / V. V. Ivanyshyn et al. Ivano-Frankivsk, 2015. 48 p.

23. Modern intensive technology systems / V. D. Palamarchuk et al. Vinnytsia, 2015. 448 p.

24. Creation of buckwheat raw material is the basis of creation of high-yield adaptive varieties / P. P. Karazhbei et al. *Zemlerobstvo ta roslynnytstvo: teoriia i praktyka*. 2022. No. 2 (4). P. 65–71.

25. Tryhub O. V., Liashenko V. V. Sources of economic and breeding-value traits for breeding common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *Visnyk PDAA*. 2017. No. 1–2. P. 48–55.

26. Fumanets M. H., Fumanets Yu. S. Impact of biological preparations on buckwheat crop productivity. *Zb. nauk. pr. Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*. 2016. Issue 88 (1). P. 106–111. URL: [http://nbuv.gov.ua/ujrn/zhpumus_2016_88\(1\)_16](http://nbuv.gov.ua/ujrn/zhpumus_2016_88(1)_16) (access date: 17.10.2025).

27. Kharevskiy Ye. V., Havrylianchyk R. Yu. The influence of elements of growing technology on the formation of tatar buckwheat crops in the conditions of the Western Forest-Steppe. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika*. 2017. Issue 27. P. 58–65.

28. Yakymchuk Ye. Yu., Ivaniv M. O. Productivity of mid-season buckwheat varieties depending on the action of biological products. *Perspektyva : zb. nauk. pr.* 2019. No. 33. P. 178–180. URL: <http://hdl.handle.net/123456789/3494> (access date: 22.10.2025).

DOI: 10.32636/01308521.2026-(80)-1-4

Оригінальна наукова стаття

УДК 631.42:631.472:631.445.2:631.51:631.8

**ТРАНСФОРМАЦІЯ МОРФОЛОГІЧНИХ ОЗНАК
І ЗАБАРВЛЕННЯ ПРОФІЛЮ ЯСНО-СІРОГО ЛІСОВОГО
ПОВЕРХНЕВО-ОГЛЕЄНОГО ҐРУНТУ
ЗА ТРИВАЛОГО АГРОГЕННОГО ВИКОРИСТАННЯ****О. С. Гавришко¹, Ю. М. Оліфір¹, Т. В. Партика¹, Н. І. Козак¹, О. А. Горлінський²**¹Інститут сільського господарства
Карпатського регіону НААН
вул. Грушевського, 5, с. Оброшине,
Львівський р-н, Львівська обл., 81115²Вінницький національний
аграрний університет
вул. Сонячна, 3, м. Вінниця,
Вінницька обл., 21008Про авторів:Олег ГАВРИШКО,
кандидат сільськогосподарських
наук
ORCID: 0000-0002-5458-0691Юрій ОЛІФІР,
кандидат сільськогосподарських
наук
ORCID: 0000-0002-7920-1854Тетяна ПАРТИКА,
кандидат біологічних наук
ORCID: 0000-0001-7912-5292Надія КОЗАК,
доктор філософії
ORCID: 0000-0002-2809-2432Олександр ГОРЛІНСЬКИЙ,
асистент
ORCID: 0009-0007-7777-5655Для листування:Олег ГАВРИШКО
e-mail: havryshko0@gmail.comІнформація про фінансування:
Національна академія аграрних
наук УкраїниОтримано:
21 серпня 2026 р.
Погоджено до друку:
22 вересня 2026 р.
Опубліковано:
30 вересня 2026 р.

У статті наведено результати дослідження морфологічної трансформації профілю ясно-сірого лісового поверхнево-оглеєного ґрунту за 61 рік агрогенного використання в умовах довготривалого стаціонарного польового дослідження, закладеного у 1965 р. Метою роботи було встановити характер та особливості трансформації морфологічних ознак ґрунтового профілю залежно від тривалого агрогенного навантаження, систем удобрення та вапнування. Дослідження проведено на початку XII ротації чотирирічної сівозміни (2026 р.) на варіантах: без добрив (контроль), за періодичного вапнування 1,0 н. СаСО₃ за Нг, органічного удобрення (10 т/га гною), органо-мінеральних систем із повною (N₆₅P₆₈K₆₈) та половинною (N₃₀P₃₄K₃₄) дозами мінеральних добрив на фоні 1,0 н. СаСО₃ за Нг і систематичного застосування N₆₅P₆₈K₆₈. Для морфологічного дослідження закладено 6 ґрунтових розрізів – по одному на кожен варіант. Морфологічні ознаки оцінювали морфолого-генетичним і порівняльно-аналітичним методами, а забарвлення генетичних горизонтів визначали за шкалою Манселла. Встановлено, що тривале агрогенне навантаження зумовило комплексну трансформацію морфологічної будови профілю, яка проявлялася у зміні забарвлення, посиленні ознак гумусованості, контрастності меж генетичних горизонтів та виразності елювіально-ілювіальної диференціації. Забарвлення горизонтів HEgl_{орн.} та HEgl_{п/орн.} у всіх варіантах залишалося стабільним – 10YR 6/3. Найбільш виразні зміни встановлено в горизонтах E(h)gl, Iegl та Igl. Застосування органічного удобрення супроводжувалося потемнінням верхньої частини профілю, тоді як органо-мінеральні системи на фоні СаСО₃ характеризувалися меншою контрастністю меж генетичних горизонтів. Найбільш виразна трансформація забарвлення спостерігалася в Igl, де відбувалися освітлення та зміна тону від 10YR до 2.5Y. Отримані результати розкривають закономірності довготривалої агрогенної трансформації морфологічних властивостей кислих малородючих ґрунтів та підтверджують роль систем удобрення і хімічної меліорації у формуванні їхньої сучасної профільної диференціації.

Ключові слова: ґрунт, профіль, горизонт, агрогенна трансформація, морфологічні ознаки, удобрення, вапнування, забарвлення.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

© Гавришко О. С., Оліфір Ю. М., Партика Т. В., Козак Н. І., Горлінський О. А., 2026

Transformation of morphological characteristics and profile coloration of a light-gray forest surface-gleyed soil under long-term agricultural use

¹Institute of Agriculture of Carpathian Region of NAAS
Hrushevskoho street, 5, Obroshyne village, Lviv district, Lviv region, 81115

²Vinnitsia National Agrarian University
Sonyachna street, 3, Vinnitsia, Vinnitsia region, 21008

About the authors:

Oleh HAVRYSHKO
ORCID: 0000-0002-5458-0691

Yurii OLIFIR
ORCID: 0000-0002-7920-1854

Tetiana PARTYKA
ORCID: 0000-0001-7912-5292

Nadia KOZAK
ORCID: 0000-0002-2809-2432

Oleksandr HORLINSKYI
assistant
ORCID: 0009-0007-7777-5655

Corresponding author:

Oleh HAVRYSHKO
e-mail: havryshko0@gmail.com

Received:
August 21, 2026
Accepted:
September 22, 2026
Published:
September 30, 2026

The article presents the results of a study on the morphological transformation of a light-gray forest surface-gleyed soil profile under 61 years of agricultural use, in a long-term stationary field experiment established in 1965. The study aimed to determine changes in morphological characteristics associated with prolonged agricultural impact, fertilization, and liming systems. Research was conducted in 2026 at the beginning of the 12th rotation of a four-field crop rotation. Six treatments were studied: unfertilized (control); periodic liming with 1.0 n CaCO₃ HA; 10 t of manure on ha; organo-mineral systems with N₆₅P₆₈K₆₈ and N₃₀P₃₄K₃₄ combined with 1.0 n CaCO₃ HA; and systematic application of N₆₅P₆₈K₆₈. Six soil profiles were examined using morphogenetic and comparative-analytical methods, and horizon color was determined using the Munsell scale. Long-term agrogenic impact resulted in complex transformation of the profile morphology, expressed in changes in color, humification, distinctness of genetic horizon boundaries, and eluvi-illuvial differentiation. The color of the AEg arable and AEg sub-arable horizons remained stable across treatments (10YR 6/3). The most pronounced changes occurred in the Ehg, Beg, and Bg horizons. Organic promoted darkening and a stronger visual manifestation of humus in the upper profile. Whereas organo-mineral systems with CaCO₃ produced less distinct horizon boundaries. The greatest color transformation occurred in the Bg horizon, characterized by lightening and a hue shift from 10YR to 2.5Y. The results demonstrate the long-term agrogenic transformation of morphological properties in acidic, low-fertility soils and highlight the role of fertilization and liming in shaping chemical profile differentiation.

Keywords: soil, profile, horizon, agrogenic transformation, morphological characteristics, fertilization, liming, color.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Вступ. Ясно-сірі та сірі лісові поверхнево-оглеєні ґрунти є одними з найбільш поширених ґрунтів у західному регіоні України. Їх формування відбувається під впливом процесів лесиважу, елювіально-ілювіальної диференціації (Е-I), оглеєння (gl/Gl) та біогенної акумуляції органічної речовини [1]. Тривале сільськогосподарське використання цих ґрунтів супроводжується суттєвими змінами морфологічної будови профілю та його морфометричних параметрів, що відображають глибоку

агрогенну трансформацію ґрунтового покриву [3].

Дослідження останніх десятиліть свідчать, що одним із найхарактерніших наслідків тривалого агровикористання опідзолених глеєвих ґрунтів є трансформація їхньої верхньої частини профілю. Зокрема, формується орний горизонт HEgl_{орн}, який характеризується більшою потужністю, однорідністю забарвлення та порушенням природної генетичної диференціації. Внаслідок багаторазового механічного обробітку

відбувається руйнування природної структури елювіального горизонту (Ehgl) та часткове залучення матеріалу нижніх горизонтів до орного шару. Це призводить до поступового стирання переходу між генетичними горизонтами та зменшення контрастності профілю [14].

Важливою морфометричною ознакою агрогенної еволюції є зміна потужності окремих горизонтів. За тривалого землеробського використання потужність гумусово-акумулятивного горизонту збільшується внаслідок механічного перемішування ґрунтової маси, внесення органічних добрив та накопичення рослинних решток. Одночасно спостерігається скорочення потужності елювіального горизонту через ерозійні процеси та залучення його матеріалу до орного шару. Для орних аналогів ясно-сірих і сірих лісових ґрунтів характерним є також зменшення глибини залягання ілювіального горизонту (I) [8, 20, 22].

Дослідження профільної організації сірих лісових ґрунтів Пасмового Побужжя показали, що антропогенне навантаження суттєво впливає на структурно-агрегатний стан генетичних горизонтів. У верхній частині профілю зростає частка брилуватих та пиловатих агрегатів, зменшується кількість водотривких структурних окремоностей, а природна горіхувата структура поступово деградує [9]. Зміни структури сірих лісових ґрунтів Правобережного Лісостепу супроводжуються підвищенням щільності складення та погіршенням аераційного режиму ґрунту тощо [7].

Однією з характерних морфологічних ознак поверхнево оглеєних ґрунтів є наявність ознак періодичного перезволоження у вигляді сизих (Gl), іржаво-бурих та вохристих плям (gl). За умов тривалого агровикористання інтенсивність прояву оглеєння може змінюватися залежно від системи удобрення, меліоративних заходів та ступеня ущільнення ґрунту. Ущільнення орного шару сприяє погіршенню водопроникності та активізації процесів

застійного зволоження, що проявляється посиленням негативних глейових процесів у верхній частині профілю [13].

Значну роль у трансформації морфологічних ознак відіграють довготривалі системи удобрення та вапнування. За результатами багаторічних стаціонарних дослідів встановлено, що систематичне внесення органічних і мінеральних добрив разом із періодичним вапнуванням сприяє покращенню структурно-агрегатного стану, зменшенню кислотності та візуальній стабілізації морфологічних характеристик профілю. Натомість тривале застосування лише фізіологічно кислих мінеральних добрив прискорює деградаційні внутрішньогрунтові процеси, погіршує структурний стан і посилює елювіально-ілювіальну диференціацію [11, 12, 15, 21].

Закордонні дослідження ґрунтів типу *Luvisols* також підтверджують істотний вплив землекористування на морфологію профілю. Встановлено, що за понад столітнього сільськогосподарського використання змінюється характер прояву лесиважу, відбувається трансформація глинистих натіків та ілювіальних утворень. При цьому інтенсивність процесу ілювіювання залишається високою, хоча якісний склад переміщених частинок змінюється під впливом обробітку ґрунту [23].

За даними ФАО, тривале освоєння *Luvisols* супроводжується ерозійним зрізанням верхніх горизонтів, зменшенням потужності елювіальної частини профілю та посиленням біогенної гомогенізації ґрунтової маси внаслідок внесення добрив і вапна. У результаті формуються агрогенно трансформовані профілі, в яких початкові морфологічні особливості виражені значно слабше, ніж у природних аналогах [11, 17, 24].

Об'єктивну інформацію про стан і зміни властивостей ґрунтів під впливом різних антропогенних навантажень в умовах сучасних кліматичних змін можна отримати тільки в базових тривалих стаціонарних дослідях [6, 10].

Метою нашого дослідження було в умовах класичного польового стаціонарного дослідження встановити характер та особливості трансформації морфологічних ознак ясно-сірого лісового поверхнево-оглеєного ґрунту в умовах тривалого (з 1965 р.) агрогенного навантаження за допомогою морфолого-генетичних (профільних) та порівняльно-аналітичних методів.

Матеріали і методи. Польові дослідження проводили у довготривалому (з 1965 р.) стаціонарному досліді (49°47'54.3"N 23°52'26.9"E) відділу агрохімії та ґрунтознавства Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН. Тип ґрунту місця дослідження – ясно-сірий лісовий поверхнево оглеєний, який класифікується згідно з міжнародною системою класифікації ґрунтів (WRB, 2022) як Albic Pantostagnic Luvisol [16]. Дослід включено до Глобальної мережі довготривалих сільськогосподарських експериментів GLTEN [2, 14]. Стаціонарний дослід розміщений на натурі на трьох полях, кожне з яких налічує 18 варіантів у триразовому повторенні. Розташування варіантів одноярусне, послідовне. Загальна площа ділянки становить 168 м², облікова – 100 м². Агротехніка вирощування культур, обробіток ґрунту і догляд за посівами загальноприйняті для умов зони Західного Лісостепу України. З часу закладання досліді пройшло п'ять семирічних ротацій (1965–2001 рр.) з наступним чергуванням культур, а саме: картопля – ячмінь ярий з підсівом конюшини лучної – конюшина лучна – пшениця озима – буряки цукрові – кукурудза на силос – пшениця озима. З початку VI ротації (2001 р. по теперішній час) дослідження проводяться у чотирирічній сівоzmіні: кукурудза на зерно – ячмінь ярий з підсівом конюшини лучної – конюшина лучна – пшениця озима.

У досліді застосовували напівперепрілий гній ВРХ на солом'яній підстилці, аміачну селітру (34,5 %), гранульований суперфосфат (19,5 %), калійну сіль (40 %), нітроамофоску (NPK по

16 %) (при використанні нітроамофоски вміст NPK збалансовували згідно з рівнями удобрення простими добривами). Гній у семирічній ротації з розрахунку 10 і 20 т/га сівоzmінної площі вносили під картоплю і буряки цукрові, у чотирирічній – під кукурудзу. Фосфорно-калійні добрива вносили восени, азотні – під передпосівну культивуацію. Вапнування в 1–5 ротаціях згідно зі схемою досліді в семирічній сівоzmіні проводили під картоплю; у чотирирічній – під кукурудзу на зерно, у якій також відкоригували дози внесення добрив під культури сівоzmіни, не порушуючи змісту варіантів. Як вапнякові матеріали використовували вапнякове борошно (90 % CaCO₃). Починаючи з 8-ї ротації (2008–2011), другий укіс конюшини лучної заорювали як добриво на всіх варіантах досліді. На найбільш характерних варіантах з різними співвідношеннями органічних, мінеральних добрив і періодичного вапнування було закладено 6 ґрунтових розрізів – по одному на кожний варіант, де досліджувалися морфологічні ознаки і особливості профілю ясно-сірого лісового поверхнево-оглеєного ґрунту за різного агрогенного навантаження. Оскільки польові дослідження проводили на одному ґрунтовому розрізі для кожного варіанта, встановлені відмінності між профілями слід розглядати як описову та порівняльну характеристику, а не як статистично підтверджені ефекти впливу окремих систем удобрення і вапнування.

Дослідження на початку XII ротації чотирирічної сівоzmіни (2026 р.) проводили на 3-му дослідному полі у варіантах: без добрив (контроль) (вар. 1); лише періодичного вапнування (1,0 н. CaCO₃ за Нг) (вар. 2); органічного удобрення (внесення 10 т/га сівоzmінної площі гною) (вар. 3); орґано-мінеральних систем удобрення однією (N₆₅P₆₈K₆₈) та половинною (N₃₀P₃₄K₃₄) дозою мінеральних добрив на фоні 1,0 н. CaCO₃ за Нг (вар. 7 і 9); та у варіанті систематичного застосування лише N₆₅P₆₈K₆₈ (вар. 15).

Унікальність результатів багаторічного стаціонарного дослідження на кислих ясно-сірих лісових поверхнево оглеєних ґрунтах полягає у використанні комбінованих методів, зокрема: комплексного морфологічного аналізу диференціації ґрунтового профілю для оцінки тривалого антропогенного навантаження, включаючи порівняння природних і агрогенно змінених відмін; деталізації морфологічних ознак та особливостей генетичних горизонтів ґрунту з акцентом на динаміку їх трансформації за тривалого навантаження [6].

Основними методами досліджень були морфолого-генетичний (профільний) та порівняльно-аналітичний. Польові аналізи ґрунту проводилися згідно з чинним ДСТУ ISO 11259:2004 «Якість ґрунту. Спрощений опис ґрунту» (2006 р.). Зразки ґрунту з кожного генетичного горизонту для визначення забарвлення у повітряно-сухому стані за шкалою Мансела [18] було відібрано та визначено в атестованій лабораторії агрохімії та аналітичних досліджень (свідоцтво № РЛ 009/22 від 07.02.2022 р., видане ДП «Львівстандартметрологія») Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН. Зразки ґрунту відбирали та готували до аналізу згідно з ДСТУ ISO 11464-2001.

В останні десятиліття, у зв'язку з інтенсифікацією антропогенного пресингу на ґрунт, усе більшого значення набуває дослідження складу та властивостей ґрунтів, процесів, що безперервно відбуваються в них, а також їхня кількісна та якісна оцінка. Тому важливо й необхідно використовувати польовий морфолого-генетичний (профільний) метод для детальнішого розуміння властивостей і генези ґрунту. Морфологічні дані дають змогу зробити припущення про природу сучасного ґрунтоутворення та особливості давніх етапів цього процесу, а також зрозуміти трансформацію профілю ґрунту в умовах тривалого використання. Профільний метод дослідження ґрунтів

полягає у вивченні ґрунту на основі сукупності генетичних горизонтів до потрібної глибини ґрунтового профілю [5].

Основним для кількісної характеристики складу, процесів та властивостей ґрунтів є порівняльно-аналітичний метод. Його суть полягає в порівнянні речовинного складу і властивостей твердої фази генетичних горизонтів, з одного боку, та материнської породи – з іншого. Крім того, метод передбачає порівняння складу та характеристик генетичних горизонтів у межах ґрунтового профілю навіть одного типу [4, 5, 19].

Результати та обговорення. З огляду на те, що морфологічні дослідження проводили на одному ґрунтовому розрізі для кожного варіанта, наведені нижче відмінності між профілями мають описово-порівняльний характер і не розглядаються як статистично підтверджені ефекти за різних систем удобрення та вапнування.

За допомогою візуально-морфогенетичного методу дослідження ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту на початку XII ротації сівозміни встановлено, що тривале агрогенне навантаження по-різному впливає на трансформацію його морфологічних ознак. Зокрема, найбільші зміни у профілі спостерігалися у забарвленні горизонтів, виразності кремнеземної (SiO_2) присипки, контрастності меж між горизонтами, візуальній гумусованості, а також у ознаках ущільнення та оглеєння. У ґрунтових розрізах для варіантів контролю (без добрив), вапнування, органічного, органо-мінерального й мінерального удобрення виділено сезонно оглеєні горизонти: HEglorn. , HEglp/orn. , E(h)gl , Iegl та Igl .

Результати довготривалого стаціонарного дослідження на початку XII ротації засвідчили, що профіль контролю (вар. 1) має типовий для ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту вигляд: верхній горизонт HEglorn. відносно світлий, слабогумусований, з помітним переходом до елювіально-сезонно оглеєного горизонту E(h)gl . Межі

між горизонтами досить виразні, особливо між гумусово-елювіальною частиною та нижніми ілювіальними горизонтами; таким чином, зберігається сильна диференціація

профілю, спостерігаються світліші елювіальні відтінки у середній частині та ущільнена нижня частина (рис.).

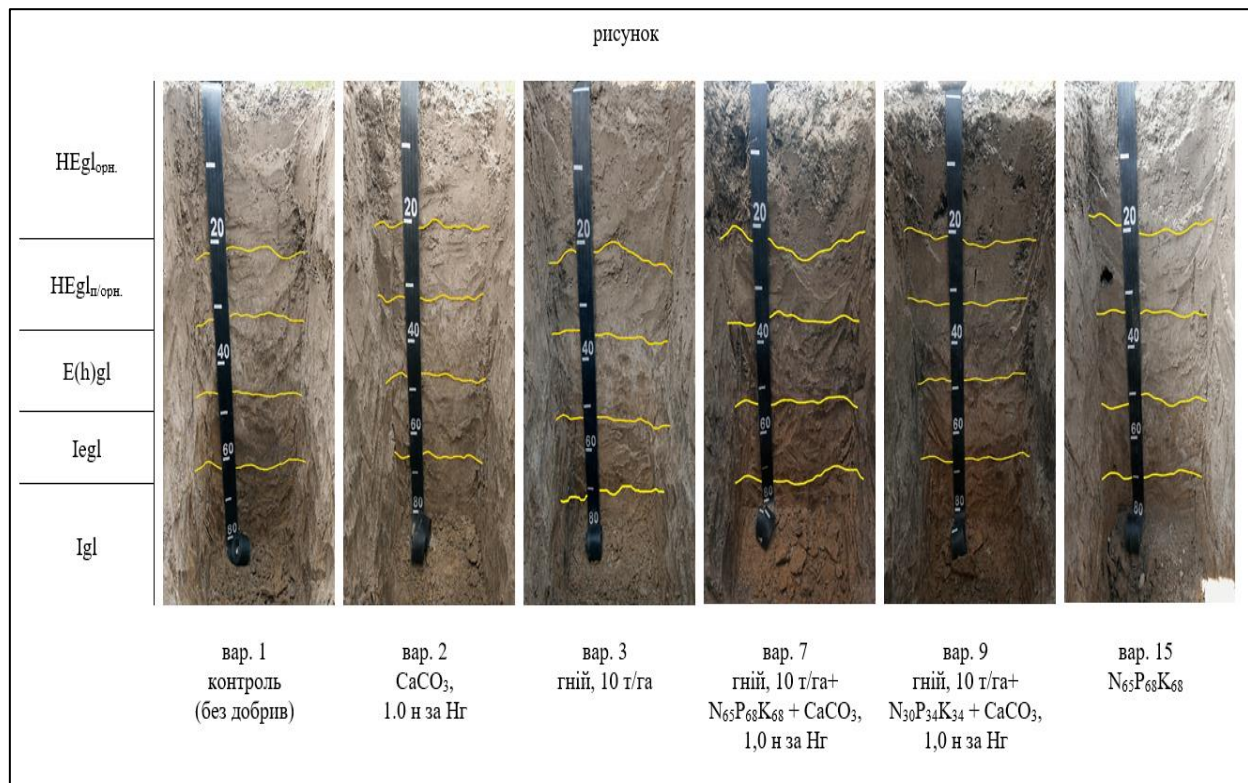


Рис. Морфологічна будова профілю ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту за різних систем удобрення та вапнування (початок XII ротації чотирипільної сівозміни, 2026 р.)

У варіанті тривалого застосування 1,0 н СаСО₃ за Нг (вар. 2) профіль виглядає візуально дещо світлішим і рівномірнішим у верхній частині. Межі між горизонтами залишаються помітними, але частково згладжуються. Простежується послаблення різкої елювіально-ілювіальної (Е-І) контрастності, що, ймовірно, пов'язане зі стабілізацією ґрунтової маси та нейтралізацією рН. Ознаки оглеєння зберігаються, але профіль виглядає менш різко диференційованим, ніж у контролі. Навпаки, тривале органічне удобрення (10 т/га сівозмінної площі гною) (вар. 3) сприяло потемнінню верхніх орного та підорного горизонтів. Верхня частина профілю більш гумусована, ніж у варіанті внесення СаСО₃. Структура візуально характеризується як більш виражена, а межі між верхніми горизонтами – дещо

менш різкі. На глибині 45–64 см, у сезонно оглеєних горизонтах Е(h)gl–Iegl, ще добре видно перехід до світлішої елювіально-оглеєної частини, однак загальна диференціація профілю слабшає порівняно з контролем (без добрив).

Польовий морфологогенетичний метод дослідження ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту показав, що один із найбільш трансформованих профілів за візуальними морфологічними особливостями та ознаками є за системою орґано-мінерального удобрення на фоні періодичного внесення 1,0 н СаСО₃ за Нг (вар. 7). За даною системою удобрення верхня частина значно темніша, гумусово-аккумулятивний вплив виражений сильніше. Межі між горизонтами хвилясті, але менш контрастні, профіль виглядає більш однорідним у межах орного й підорного

шарів. У нижній частині зберігаються ілювіально-оглеєні ознаки, однак загальний контраст між верхом і низом профілю зменшується, що може свідчити про інтенсивну агрогенну перебудову верхньої частини ґрунтового профілю.

Профіль за орґано-мінеральної системи удобрення на фоні 1,0 н CaCO_3 за Нг (вар. 9), але з половинною дозою мінеральних добрив ($\text{N}_{30}\text{P}_{34}\text{K}_{34}$), також має темнішу верхню частину профілю порівняно з контролем, але візуально менш різко трансформований, ніж варіант 7, де вноситься повна доза мінеральних добрив ($\text{N}_{65}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$). Помітне посилення гумусованості орного шару, часткове вирівнювання забарвлення у верхній і середній частинах профілю. Межі горизонтів залишаються читабельними, проте вони менш контрастні, ніж на контролі. Це узгоджується з проявом стабілізації морфологічної будови за поєднання орґанічного удобрення, зменшеної дози мінеральних добрив на фоні періодичного застосування CaCO_3 .

Нашими дослідженнями встановлено, що за самого мінерального удобрення у дозі

$\text{N}_{65}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$ без орґанічної складової (вар. 15) верхній горизонт $\text{HEgl}_{\text{орн}}$ не має такого виразного потемніння, як у варіантах із гноєм. Профіль залишається світлішим, з помітною елювіальною диференціацією. Межі між горизонтами добре простежуються, особливо між підорним, елювіально-оглеєним та ілювіальними оглеєними горизонтами. Візуально така система більше зберігає ознаки природного ясно-сірого лісового ґрунту, але водночас проявляє ознаки ущільнення та недостатнього гумусового збагачення верхньої частини.

Порівняльно-аналітичний аналіз зміни забарвлення генетичних горизонтів досліджуваного ґрунту за допомогою шкали Мансела показав: у верхньому орному $\text{HEgl}_{\text{орн}}$ та підорному $\text{HEgl}_{\text{п/орн}}$ горизонтах забарвлення в усіх варіантах залишалося однаковим – 10YR6/3 (pale brown). Це свідчить про відносну однорідність верхньої частини профілю, зумовлену тривалим обробітком ґрунту, перемішуванням орного шару та вирівнюванням морфологічних ознак незалежно від системи удобрення (табл. 1).

1. Зміна забарвлення генетичних горизонтів ясно-сірого лісового поверхнево-оглеєного ґрунту за шкалою Мансела залежно від тривалих систем удобрення та вапнування (початок XII ротації, 2026 р.)

Індекс генетичного горизонту	Системи удобрення стаціонарного досліджу					
	Без добрив (контроль) (вар. 1, 10)	CaCO_3 , 1,0 н за Нг (вар. 2)	гній, 10 т/га (вар. 3)	гній, 10 т/га + $\text{N}_{65}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$ + CaCO_3 , 1,0 н за Нг (вар. 7)	гній, 10 т/га + $\text{N}_{30}\text{P}_{34}\text{K}_{34}$ + CaCO_3 , 1,0 н за Нг (вар. 9)	$\text{N}_{65}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$ (вар. 15)
$\text{HEgl}_{\text{орн}}$	10YR6/3	10YR6/3	10YR6/3	10YR6/3	10YR6/3	10YR6/3
$\text{HEgl}_{\text{п/орн}}$	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-
E(h)gl	-/-	-/-	10YR6/4	10YR6/2	10YR6/2	-/-
Iegl	10YR5/3	10YR5/4	10YR6/4	10YR6/3	10YR6/3	-/-
Igl	10YR5/4	2.5Y6/4	2.5Y6/4	10YR6/4	10YR6/4	10YR6/4

Примітка: 10YR6/3 – забарвлення визначали після відбору зразків у лабораторних умовах у повітряно-сухому стані за однакового освітлення та ступеня зволоження; -/- – те саме значення, що й у попередній колонці для відповідного генетичного горизонту.

Більш помітні відмінності проявилися в елювіальному оглеєному горизонті E(h)gl . Так, у варіанті контролю без добрив, за

внесення 1,0 н CaCO_3 та за самого $\text{N}_{65}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$ забарвлення залишалося близьким до 10YR6/3, тобто відповідало світло-бурому,

помірно насиченому тону. За внесення 10 т/га гною колір змінився до 10YR6/4 (light yellowish brown), що вказує на дещо більшу насиченість буро-жовтого відтінку. Натомість у варіантах органо-мінеральної системи на фоні вапнування – гній + $N_{65}P_{68}K_{68}$ + 1,0 н. $CaCO_3$ за Нг та гній + $N_{30}P_{34}K_{34}$ + 1,0 н. $CaCO_3$ за Нг – забарвлення становило 10YR6/2 (light brownish gray). Зменшення насиченості (chroma) з 6/4 до 6/2 свідчить про посилення білястості, сіризну та виразніший прояв елювіально-оглеєних ознак, пов'язаних із більшою присипкою SiO_2 у цьому горизонті.

У перехідному ілювіально-елювіальному горизонті Iegl варіант контролю мав забарвлення 10YR5/3 (brown), тобто темніше порівняно з більшістю варіантів удобрення. За внесення $CaCO_3$ колір змінився до 10YR5/4 (yellowish brown), що свідчить про підвищення насиченості бурого відтінку без істотного освітлення горизонту. Найбільше освітлення спостерігалось при внесенні гною 10 т/га – 10YR6/4. В органо-мінеральних варіантах на фоні внесення $CaCO_3$, а також за самої мінеральної системи удобрення забарвлення становило 10YR6/3, тобто горизонт став світлішим порівняно з контролем. Це вказує на характер інтенсивності проявів ілювіально-елювіальних процесів у даному шарі.

Найвиразніші зміни забарвлення за шкалою Манселла зафіксовано в ілювіальному оглеєному горизонті (Igl). Так, на контролі індекс кольору становив 10YR 5/4, тоді як у всіх удобрених варіантах відбулося освітлення до відтінку (value) 6 за шкалою Манселла. За внесення $CaCO_3$ та гною (10 т/га) спостерігався перехід тону з 10YR до 2.5Y 6/4, тобто

колір набував жовтішого відтінку. У варіантах тривалого органо-мінерального удобрення та вапнування (вар. 7 і 9) забарвлення становило 10YR 6/4, що свідчить про освітлення горизонту при збереженні жовто-бурого тону.

Висновки. Таким чином, тривале 61-річне агрогенне використання ясно-сірого лісового поверхнево-оглеєного ґрунту зумовило помітну візуально-морфологічну трансформацію будови профілю, що проявилася у зміні забарвлення, посиленні візуальних ознак гумусованості, контрастності в межах генетичних горизонтів та виразності елювіально-ілювіальної диференціації.

Порівняльний аналіз профілів показав відмінності морфологічних ознак залежно від систем удобрення і вапнування. Забарвлення горизонтів HEglорн. та HEglп/орн. у всіх досліджуваних варіантах залишалось стабільним (10YR 6/3), тоді як найбільш виразні зміни спостерігалися в горизонтах E(h)gl, Iegl та Igl. Тривале органічне удобрення супроводжувалося потемнінням верхніх орних та підорних частин профілю, а органо-мінеральні системи на фоні 1,0 н. $CaCO_3$ за Нг характеризувалися меншою контрастністю меж генетичних горизонтів.

Найбільш виразна трансформація забарвлення спостерігалася в горизонті Igl, де на контролі (без добрив) встановлено 10YR 5/4, а в окремих варіантах – 2.5Y 6/4 та 10YR 6/4. Водночас отримані відмінності слід розглядати як описово-порівняльні, оскільки морфологічне дослідження проводили на одному ґрунтовому розрізі для кожного варіанта, тому статистичну значущість впливу окремих систем удобрення та вапнування не визначали.

Список використаної літератури

1. Балюк С. А., Трускавецький Р. С. Ґрунтознавство в Україні: досягнення, пріоритети та перспективи. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 12 (825). С. 18–27. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202112-02>.
2. Гавришко О. С. Роль глобальної мережі тривалих польових сільськогосподарських дослідів

References

1. Baliuk S. A., Truskavetskyi R. S. Soil Science in Ukraine: Achievements, Priorities, and Prospects. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2021. No. 12 (825). P. 18–27. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202112-02>.
2. Havryshko O. S. The role of the Global Long-Term Agricultural Experiment Network (GLTEN) in the practical training of higher education students in the

(GLTEN) у практичній підготовці здобувачів вищої освіти в галузі сучасних аграрних наук. Scientific and pedagogical internship «Development trends in the system of agricultural education: Baltic states' experience»: Internship proceedings (July 3 – August 13, 2023. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia: «Baltija Publishing», 2023. P. 9–12.

3. Зміни ґрунтового профілю ясно-сірого лісового поверхнево-оглеєного ґрунту за тривалого використання / М. А. Ткаченко та ін. Збірник наукових праць Національного наукового центру "Інститут землеробства НААН". 2015. Вип. 2. С. 32–41.

4. Паньків З. Генетичний статус профільно-диференційованих ґрунтів Передкарпаття. *Теорія і практика генетичного ґрунтознавства*: колективна монографія / за ред. З. П. Паньківа. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2023. С. 130–152. <https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/09/monohrafiia-Theory-practice-of-genetic-soil-science-2023-book.pdf>.

5. Позняк С. П., Гнатишин М. А. Глобальна ініціатива «4 PER 1000» та можливості її реалізації в Україні. *Український географічний журнал*. 2021. № 2 (114). С. 11–19. <https://doi.org/10.15407/ugz2021.02.011>.

6. Стационарні польові дослідження України. Реєстр атестатів / За ред. А. С. Заришняка, С. А. Балюка, М. В. Лісового. К.: Аграрна наука, 2014. 146 с.

7. Ткаченко М. А. Відтворення родючості сірих лісових ґрунтів за різних систем удобрення та хімічної меліорації у Правобережному Лісостепу: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра с.-г. наук: спец. 06.01.03 «Агроґрунтознавство і агрофізика». Київ, 2015. 46 с.

8. Цапко Ю. Л., Даньків К. Я., Оліфір Ю. М. Морфологічні зміни ґрунтового профілю ясно-сірого лісового поверхнево оглеєного ґрунту під впливом агронавантажень. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія: Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство*. 2016. № 2. С. 33–37.

9. Changes in soil organic matter content and quality after application of different organic and mineral fertilisers in 27-year long-term field experiments on luvisol / J. Balík et al. *Front. Soil Sci.* 2025. 5:1540137. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2025.1540137>.

10. Chapter 1 – Long-term agricultural research at Rothamsted / A. J. Macdonal et al. [In:] Bhullar, G. S., Riar, A. (Eds.), *Long-Term Farming Systems Research*. Academic Press, 2020. P. 15–36. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818186-7.00002-3>.

11. Dzikczek J., Świtoniak M., Sykuła M. The impact of erosion on the spatial variability of main properties, genesis, and systematic position of soils in the Wieliczka Foothills, southern Poland – a case study from the Bemke Campus area. *Soil Science Annual*, 2025. 76 (3), 209899. <https://doi.org/10.37501/soilsa/209899>.

12. From chernozem to Luvisol or from Luvisol to Chernozem? A discussion about the relationships and

field of modern agricultural sciences. Scientific and pedagogical internship «Development trends in the system of agricultural education: Baltic states' experience»: Internship proceedings (July 3 – August 13, 2023. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia: «Baltija Publishing», 2023. P. 9–12.

4. Changes in the soil profile of a light-grey forest surface-gleyed soil under long-term use / M. A. Tkachenko et al. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho naukovooho tsentru "Instytut zemlerobstva NAAN"*. 2015. Issue 2. P. 32–41.

4. Pankiv Z. Genetic status of profile-differentiated soils of the Pre-Carpathian region. Theory and practice of genetic soil science: collective monograph / za red. Z. P. Pankiva. Lviv: LNU imeni Ivana Franka, Lviv: LNU imeni Ivana Franka, 2023. P. 130–152. <https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/09/monohrafiia-Theory-practice-of-genetic-soil-science-2023-book.pdf>.

5. Pozniak S. P., Hnatyshyn M. A. The "4 per 1000" global initiative and opportunities for its implementation in Ukraine. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal*. 2021. No. 2 (114). P. 11–19. <https://doi.org/10.15407/ugz2021.02.011>.

6. Stationary Field Experiments in Ukraine. Register of Certificates / Za red. A. S. Zaryshniaka, S. A. Baliuka, M. V. Lisovoho. K.: Ahrarna nauka, 2014. 146 p.

7. Tkachenko M. A. Restoration of the fertility of grey forest soils under various fertilization and chemical amelioration systems in the Right-Bank Forest-Steppe: avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia d-ra s.-h. nauk: spets. 06.01.03 «Ahrogruntoznastvo i ahrofizyka». Kyiv, 2015. 46 p.

8. Tsapko Yu. L., Dankiv K. Ya., Olifir Yu. M. Morphological changes in the soil profile of a light-gray forest soil with surface gleying under the influence of agricultural loads. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serii: Gruntoznastvo, ahrokhimiia, zemlerobstvo, lisove hospodarstvo*. 2016. No. 2. P. 33–37.

9. Changes in soil organic matter content and quality after application of different organic and mineral fertilisers in 27-year long-term field experiments on luvisol / J. Balík et al. *Front. Soil Sci.* 2025. 5:1540137. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2025.1540137>.

10. Chapter 1 – Long-term agricultural research at Rothamsted / A. J. Macdonal et al. [In:] Bhullar, G. S., Riar, A. (Eds.), *Long-Term Farming Systems Research*. Academic Press, 2020. P. 15–36. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818186-7.00002-3>.

11. Dzikczek J., Świtoniak M., Sykuła M. The impact of erosion on the spatial variability of main properties, genesis, and systematic position of soils in the Wieliczka Foothills, southern Poland – a case study from the Bemke Campus area. *Soil Science Annual*, 2025. 76 (3), 209899. <https://doi.org/10.37501/soilsa/209899>.

12. From chernozem to Luvisol or from Luvisol to Chernozem? A discussion about the relationships and

limits of the two types of soils A case study of the soil catena of Hrusov, Czechia / B. Strouhalova et al. *Geografie*, 2020. 125 (4), 473–500. <https://doi.org/10.37040/geografie2020125040473>.

13. Gajda A. M., Czyż E. A., Ukalska-Jaruga A. Comparison of the Effects of Different Crop Production Systems on Soil Physico-Chemical Properties and Microbial Activity under Winter Wheat. *Agronomy*, 2020. 10 (8), 1130. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081130>.

14. GLTEN: The Global Long-Term Agricultural Experiment Network. Rothamsted Research. <https://www.rothamsted.ac.uk/facilities-and-resources/glten-global-long-term-agricultural-experiment-network>

15. Gray Luvisols are polygenetic / M. F. Dyck et al. *Canadian Journal of Soil Science*. 2022. 103 (1), 121–133. <https://doi.org/10.1139/cjss-2022-0035>.

16. IUSS Working Group WRB, 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. *International Union of Soil Sciences (IUSS)*, Vienna, Austria.

17. Liming Enhances Soil Phosphorus Cycling in Long-Term Agricultural Fields / Y. Wang et al. *European Journal of Soil Science*. 2025. 76, e70238. <https://doi.org/10.1111/ejss.70238>.

18. Munsell Soil Color Charts. Baltimore 2, Maryland, U. S. A., 2000. 10 p.

19. Świtoniak M., Mroczek P., Bednarek R. Luvisols or Cambisols? Micromorphological study of soil truncation in young morainic landscapes – Case study: Brodnica and Chełmno Lake Districts (North Poland). *CATENA*. 2016. 137. 583–595. <https://www.mindat.org/reference.php?id=16572902>.

20. The effects of agrogenic transformation on soil profile morphology, organic carbon and physico-chemical properties in Retisols of Western Lithuania / J. Volungevičius et al. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2018. 64 (13), 1910–1923. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1467006>.

21. The Relationship Between Organic Carbon and Ca in the Profile of Luvisols: A Case Study of a Long-Term Experiment in Pulawy, Poland / D. Piśkuła et al. *Agriculture*, 2025. 15 (6), 598. <https://doi.org/10.3390/agriculture15060598>.

22. Transformations of different soils under natural and anthropogenized land management / J. Volungevičius et al. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2019. 106, 3–14. <https://doi.org/10.13080/z-a.2019.106.001>.

23. Veenstra, J., Burras, C. Soil profile transformation after 50 years of agricultural land use. *Soil Science Society of America Journal*. 2015. 79 (4), 1154–1162. <https://doi.org/10.2136/sssaj2015.01.0027>.

24. Witkowska-Walczak B., Turski M. Porosity and water useful for plants in Luvisols created from sandy silt and silt. *International Agrophysics*. 2004. 18. 189–194.

limits of the two types of soils A case study of the soil catena of Hrusov, Czechia / B. Strouhalova et al. *Geografie*, 2020. 125 (4), 473–500. <https://doi.org/10.37040/geografie2020125040473>.

13. Gajda A. M., Czyż E. A., Ukalska-Jaruga A. Comparison of the Effects of Different Crop Production Systems on Soil Physico-Chemical Properties and Microbial Activity under Winter Wheat. *Agronomy*, 2020. 10 (8), 1130. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081130>.

14. GLTEN: The Global Long-Term Agricultural Experiment Network. Rothamsted Research. <https://www.rothamsted.ac.uk/facilities-and-resources/glten-global-long-term-agricultural-experiment-network>

15. Gray Luvisols are polygenetic / M. F. Dyck et al. *Canadian Journal of Soil Science*. 2022. 103 (1), 121–133. <https://doi.org/10.1139/cjss-2022-0035>.

16. IUSS Working Group WRB, 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. *International Union of Soil Sciences (IUSS)*, Vienna, Austria.

17. Liming Enhances Soil Phosphorus Cycling in Long-Term Agricultural Fields / Y. Wang et al. *European Journal of Soil Science*. 2025. 76, e70238. <https://doi.org/10.1111/ejss.70238>.

18. Munsell Soil Color Charts. Baltimore 2, Maryland, U. S. A., 2000. 10 p.

19. Świtoniak M., Mroczek P., Bednarek R. Luvisols or Cambisols? Micromorphological study of soil truncation in young morainic landscapes – Case study: Brodnica and Chełmno Lake Districts (North Poland). *CATENA*. 2016. 137. 583–595. <https://www.mindat.org/reference.php?id=16572902>.

20. The effects of agrogenic transformation on soil profile morphology, organic carbon and physico-chemical properties in Retisols of Western Lithuania / J. Volungevičius et al. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2018. 64 (13), 1910–1923. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1467006>.

21. The Relationship Between Organic Carbon and Ca in the Profile of Luvisols: A Case Study of a Long-Term Experiment in Pulawy, Poland / D. Piśkuła et al. *Agriculture*, 2025. 15 (6), 598. <https://doi.org/10.3390/agriculture15060598>.

22. Transformations of different soils under natural and anthropogenized land management / J. Volungevičius et al. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2019. 106, 3–14. <https://doi.org/10.13080/z-a.2019.106.001>.

23. Veenstra, J., Burras, C. Soil profile transformation after 50 years of agricultural land use. *Soil Science Society of America Journal*. 2015. 79 (4), 1154–1162. <https://doi.org/10.2136/sssaj2015.01.0027>.

24. Witkowska-Walczak B., Turski M. Porosity and water useful for plants in Luvisols created from sandy silt and silt. *International Agrophysics*. 2004. 18. 189–194.

DOI: 10.32636/01308521.2026-(80)-1-5

Оригінальна наукова стаття

УДК 633.15:631.84[1+2]:631.95:771.735

**ВПЛИВ НОРМ УДОБРЕННЯ
НА УРОЖАЙНІСТЬ ЗЕРНОВОЇ КУКУРУДЗИ
ЗА ВИКОРИСТАННЯ СТАБІЛІЗАТОРІВ АЗОТУ
НА ТЕМНО-СІРОМУ ОПІДЗОЛЕНОМУ ҐРУНТІ****П. С. Гнатів¹, Ю. В. Піцик²**

¹Інститут сільського господарства
Карпатського регіону НААН
вул. Грушевського, 5, с. Оброшине,
Львівський р-н., Львівська обл.,
81115

²Львівський національний
університет ветеринарної
медицини та біотехнологій
імені С. З. Гжицького
вул. Пекарська, 50, м. Львів, 79010

Про авторів:

Петро ГНАТІВ,
доктор біологічних наук
ORCID: 0000-0003-2519-3235

Юрій ПІЦИК,
аспірант
ORCID: 0000-0003-0868-6716

Для листування:

Юрій ПІЦИК
e-mail: pshnativ@ukr.net

Інформація про фінансування:

Національна академія
аграрних наук України

Отримано:
14 липня 2026 р.
Погоджено до друку:
11 вересня 2026 р.
Опубліковано:
30 вересня 2026 р.

Азотний цикл у ґрунті зумовлений бактеріями, археями, грибами та водоростями, які спричинюють перетворення азоту добрив у не завжди бажаному руслі й темпі. Тому віддача азотних дотацій для забезпечення врожаю сягає не більше 60–70 %. Решта азоту поглинається колоїдами, мікробіотою, але найбільша частина вивітрюється в атмосферу. Від неконтрольованої нітрифікації велика частка азотних солей потрапляє у підорні горизонти за межі ризосфери та у ґрунтові води. Наша мета – випробувати синтетичні стабілізатори азоту в ґрунті, що пригнічують розщеплення карбаміду та сповільнюють утворення нітратів з амонію добрив та органіки ґрунту. В умовах Західного Лісостепу на темно-сірому лісовому легкосуглинковому ґрунті досліджено, що внесення під зернову кукурудзу гібриду Pioneer P8834 простого карбаміду та карбаміду PULREA® + INu у поєднанні з інгібітором N-Lock™ сприяло істотному підвищенню врожаю зерна за збільшення норм від N₉₀ до N₁₅₀ на фоні N_{1,25}P_{69,4}K_{81,3}Mg₃₄S_{24,6} (осіннє і припосівне внесення) та під впливом стабілізаторів азоту. Найвищий врожай у середньому за два роки зібрали за норми N₁₅₀ під культивування на фосфорно-калійному фоні у формі карбаміду PULREA® + INu та N-Lock™ – 16,4 т/га. Інгібітор уреазы NBPT у складі карбаміду сприяв підвищенню врожаю на 0,4 т/га, а нітрапирин – на 0,5 т/га порівняно з удобренням простим карбамідом за норми N₁₅₀, що є статистично достовірною прибавкою (НІР₀₅ за 2024 р. становила 0,4 т/га, 2025 р. – 0,3 т/га). Статистичні і графічні моделі закономірностей показали, що норми внесення N_{0-1,25-90-120-150} достовірно позитивно діють на рівень збагачення ґрунту поживними формами азоту, які тісно корелюють між собою (r = 0,84–0,98), а що найважливіше – достовірно позитивно впливають на рівень врожаю зерна кукурудзи з коефіцієнтом кореляції r = 0,79–0,96.

Ключові слова: карбамід, інгібітор уреазы, нітрапирин, легкогідролізний азот, амоній, врожай зерна, моделі зв'язків.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

Effect of fertiliser application rates on grain maize yield using nitrogen stabilisers in a dark-grey podzolised soil

¹Institute of Agriculture of Carpathian Region of NAAS
Hrushevskoho street, 5,
Obroshyne village, Lviv district,
Lviv region, 81115

²Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv
Pekarska Street, 50, Lviv, 79010

About authors:

Petro HNATIV
ORCID: 0000-0003-2519-3235

Yuriy PITSYK
ORCID: 0009-0005-3633-9369

Corresponding author:

Yuriy PITSYK
e-mail: pshnativ@ukr.net

Funding information:

National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine

Received:
July 14, 2026
Accepted:
September 11, 2026
Published:
September 30, 2026

The nitrogen cycle in soil is driven by bacteria, archaea, fungi, and algae, which mediate the transformation of fertiliser nitrogen in ways and at rates that are not always desirable. Consequently, the efficiency of nitrogen fertilisation in terms of crop yield does not exceed 60–70 %. The remaining nitrogen is absorbed by soil colloids and microbiota, while the largest proportion is lost to the atmosphere. As a result of uncontrolled nitrification, a substantial proportion of nitrogen salts enters the subsoil horizons beyond the rhizosphere and reaches groundwater. Therefore, our aim was to evaluate synthetic nitrogen stabilisers applied to soil that inhibit urea decomposition and slow down the formation of nitrates from ammonium derived from fertilisers and soil organic matter. Under the conditions of the Western Forest-Steppe, on a dark-grey forest light loamy soil, it was established that the application of conventional urea and PULREA® + INu urea in combination with the N-Lock™ inhibitor to Pioneer P8834 hybrid grain maize resulted in a significant increase in grain yield with increasing nitrogen rates from N₉₀ to N₁₅₀ on a background of N_{1,25}P_{69,4}K_{81,3}Mg₃₄S_{24,6} (autumn and pre-sowing applications) under the influence of nitrogen stabilisers. The highest mean grain yield over the two-year study period, 16.4 t/ha, was obtained with the N₁₅₀ rate applied before cultivation on a phosphorus–potassium background in the form of PULREA® + INu urea combined with N-Lock™. The urease inhibitor NBPT incorporated into the urea increased grain yield by 0.4 t/ha, whereas nitrapyrin increased it by 0.5 t/ha compared with the application of conventional urea at the N₁₅₀ rate. This increase was statistically significant (LSD₀₅ = 0.4 t/ha in 2024 and 0.3 t/ha in 2025). Statistical and graphical models of the identified relationships demonstrated that the application rates N_{0-1,25-90-120-150} had a statistically significant positive effect on the enrichment of soil with plant-available forms of nitrogen, which were closely correlated with one another (r = 0.84–0.98). Most importantly, these nitrogen application rates had a statistically significant positive effect on grain maize yield, with correlation coefficients ranging from r = 0.79–0.96.

Keywords: urea; urease inhibitor; nitrapyrin; easily hydrolysable nitrogen; ammonium; grain yield; correlation models.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Постановка проблеми. Упродовж «зеленої революції» [17, 20] норми використання добрив та інтенсивність обробітків ґрунту у світі значно зросли, що підвищило врожайність зернової кукурудзи майже вдвічі. Вплив джерел азоту, форми і способи його внесення позначилися не лише на врожайності зерна кукурудзи [1, 3], а й на зростанні його втрат шляхом вивітрювання аміаку і закису азоту, вимивання нітратів у підґрунтя.

За узагальненням вчених [27], аграрне виробництво і тваринництво вносять майже 60 % від загального обсягу антропогенних викидів азоту у формі закису N₂O. Вироблені азотовмісні добрива (особливо карбамід) є основними джерелами емісії закису азоту [8].

Процеси азотного циклу у ґрунті зумовлені бактеріями, археями, грибами та рослинами [18]. Мікробіом для різних типів ґрунту відрізняється і залежить від рослинного покриття та інших факторів,

таких як клімат [12, 22]. Нещодавне дослідження метагеномів за різних умов виявило, що певні мікробні угруповання, що визначають специфічні процеси азотного циклу, були значною мірою подібними в різних середовищах існування [14, 19].

Коли аміак потрапляє в ґрунт, він може або перетворитися на нітрит (NO_2^-), а потім на нітрат (NO_3^-) через процес нітрифікації (*Nitrosomonas spp.* та *Nitrosococcus spp.*) [9], або бути поглиненим та асимільованим рослинами чи мікроорганізмами [5]. Процес нітрифікації здійснюється вузьким колом родів, тоді як практично усі бактерії та археї можуть виконувати асиміляцію аміаку [24]. Оригінальні досліді Z. M. Chen et al. [23] та L. Cheng et al. [16] моделювали високий вміст NH_4^+ у зоні удобрення, щоб з'ясувати біологічний механізм пригнічення нітрифікації за умови внесення у зону коренів високої концентрації карбаміду. Було розкрито механізм тривалої дії високої концентрації карбаміду і встановлено, що така концентрація діє як локальний інгібітор нітрифікації, створюючи високий вміст NH_4^+ у ґрунті, який зменшує активність мікроорганізмів, що окиснюють аміак, тим самим пригнічуючи нітрифікацію.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дотепер випробувано велику кількість хімічних інгібіторів активності мікробіоти для зменшення викидів аміаку та вилуговування нітратів [6, 7, 13]. Інгібітори уреаз, що запобігають вивітрюванню аміаку, функціонують за принципом порушення здатності уреаз каталізувати гідроліз сечовини до аміаку, тим самим довше утримуючи азот у стабільній та нелеткій формі сечовини. На сьогодні лише кілька препаратів схвалено для використання в рільництві. N-(п-бутил)тіофосфорний триамід (NBPT) є одним з найефективніших відомих інгібіторів уреаз, і наразі він продається як стабілізуюча добавка для синтетичних добрив на основі сечовини [26].

Застосування інгібіторів уреаз та нітрифікації є ефективною стратегією зменшення втрат азоту без негативного впливу на врожайність. Проте довгостроковий вплив інгібіторів та внесення азоту на його динаміку залишається незрозумілим [15].

Причини недовикористання азоту культурами для формування максимальної продуктивності полягають у тому, що дотація азоту у формі поживних сполук відбувається не безпосередньо в рослину, як це відбувається у гідропонній культурі, коли ці поживні сполуки додаються в живильний стерильний розчин. Добрива, які потрапляють у ґрунт, відразу стають об'єктом мікробіологічних перетворень з використанням біофільних елементів у цілісній екосистемі, де на дефіцитний у природі азот, як і на фосфор та багато інших біогенних речовин, «претендують» численні мікроорганізми – природні компоненти цих екосистем.

Уникнення нецільового використання внесених дорогих добрив, деструкції стабілізованих ґрунтовим вбирним комплексом азотних сполук мікробіотою до летких форм (аміак NH_3 , закис азоту N_2O , інертний азот N_2) або до легкорозчинної нітратної форми – мета виробників за тенденції постійного дорожчання синтетичних хімічних добрив [8].

Інтеграція України у світову економічну та політичну спільноту передбачає імплементацію державою і дотримання аграріями жорстких вимог щодо запобігання забрудненню довкілля парниковими газами та охорони поверхневих вод [10]. У зоні достатнього зволоження Західного Лісостепу обсяги внесення азотних добрив і їх ефективність є високими, проте тенденція до збільшення норм удобрення зумовлює потребу в науково обґрунтованому запровадженні заходів щодо стабілізації азотних сполук у ґрунті та підвищення рівня їх ефективної асиміляції культурами для забезпечення максимальної віддачі з урожаєм [2].

Метою нашої роботи було обґрунтування оптимальних норм внесення

карбаміду на фосфорно-калійному фоні з використанням стабілізаторів азоту в ґрунті під зернову кукурудзу на темно-сірому опідзоленому ґрунті Західного Лісостепу.

Матеріали і методи. Основним об'єктом дослідження була система азотного мінерального удобрення зернової кукурудзи в умовах Західного Лісостепу з використанням інгібіторів уреаз та нітрифікації. Досліди організовано при кафедрі агрохімії та ґрунтознавства у Львівському національному університеті природокористування (нині ЛНУВМБТ ім. С. З. Гжицького) впродовж 2023–2026 рр. Дослідне поле, на якому на підставі угоди про філію кафедри велися трирічні дослідження, розташоване у с. Вирів у відділенні «Вирів» ТОВ «СІЕФДЖІ ТРЕЙДИНГ» на Буго-Стирській рівнині природно-кліматичної зони Західного Лісостепу (N 49°59'41"; E 24°33'28"). Ґрунт – темно-сірий лісовий слабодеградований легкосуглинковий на карбонатних лесоподібних суглинках.

Польові експерименти виконували за загальноприйнятими в агрономії методами, викладеними В. О. Єщенком та ін. [4]. Розмір посівної ділянки – 35 м², облікової – 15 м². Повторність варіантів чотириразова, розміщення ділянок – систематичне зі зміщенням.

Восени внесення мінеральних фосфорно-калійних добрив виконували механізовано під основний обробіток ґрунту агрегатом Gaspardo MASCHIO ARTIGLIO 400/9. Добрива: суперфосфат потрійний (P₄₆), корн-калі (K₄₀ + Mg₆ + S₅) та сульфат магнію гранульований (Mg₂₂ + S_{14,6}) становили суцільний удобрення фон. Азотні добрива – карбамід звичайний та збагачений інгібітором NBPT (п-бутилтіофосфортриамід, препарат N-STAB) карбамід PULREA® + INu – внесли навесні під передпосівну культивування за допомогою ручного механічного розкидача фірми Solo за схемою досліду (табл. 1).

КАС-32 вносили як підживлення для кукурудзи у фазі 6–8 листків (BBCH 16-17) з міжрядною культивування (агрегатом

КРН-5.6, обладнаним системою внесення рідких добрив Record) на глибину 10–12 см. Інгібітор нітрифікації нітрапирин (2-хлор-6-(трихлорметил)піридин, препарат N-Lock™ Макс) у нормі 1,7 л/га вносили ранцевим обприскувачем під передпосівну культивування перед внесенням карбаміду. При сівбі восьмирядною сівалкою Challenger CH9200 (обладнаною системою Precision Planting + Keeton) у рядки було внесене стартове добриво у формі

РКД 5-20-5 у фізичній вазі 19,7 л/га, за винятком контрольного варіанту без добрив.

Перед початком досліджень згідно з програмою робіт відбір зразків ґрунту виконували польовим буром БП-25-15 з кожного варіанта на глибину 0–20 см (для аналізу нітратів – пробовідбірником ґрунту L-170 на визначених варіантах: 0–20, 20–40, 40–60 см) згідно з методикою ДСТУ 4287:2004. Кількість відборів становила 5–6 уколів за маршрутом «зигзаг», що охоплював усю площу варіанта. Ґрунт, за винятком зразків на нітратах, висушували до повітряно-сухого стану, просіювали та подрібнювали згідно з ДСТУ ISO 11464:2007.

Стартова агрохімічна характеристика дослідного поля така: у шарі ґрунту 0–20 см вміст гумусу за ДСТУ 4289:2004 становить 3,11 %, гідролітична кислотність за ДСТУ 7537:2014 – 2,38 ммоль/100 г, актуальна кислотність (pH_{KCl}) за ДСТУ ISO 10390:2007 – 5,8, вміст рухомого фосфору (за Чириковим) за ДСТУ 4405:2005 – 97 мг/кг, обмінного калію – 113 мг/кг ґрунту, легкогідролізованого азоту за ДСТУ 7863:2015 – 103 мг/кг ґрунту.

Вміст амонійного азоту визначали за ДСТУ 4729:2007. Лабораторні дослідження виконали на базі філії кафедри агрохімії та ґрунтознавства ЛНУВМБТ при Інституті сільського господарства Карпатського регіону НААН, окремі аналізи – у Сервісно-аналітичному центрі (атестат акредитації № 202141 від 25.11.2022) ТОВ «УКРАВІТ САЙЕНС ПАРК» (ВСП «Інститут здоров'я рослин») стандартними методами.

Агротехніка вирощування кукурудзи – традиційна. Для сівби використовували гібрид Pioneer P8834 з нормою висіву 78 тис./га. Попередник – озима пшениця. Математико-статистичну обробку та графічне моделювання результатів досліджень і даних урожайності здійснювали класичними методами з використанням програм Microsoft Excel та Statistica 12.0.

Результати та обговорення. Умови вегетаційного періоду 2024 р. для зернової кукурудзи за даними найближчого метеопоста (002093F9, Велике Колодно, iMetos 3.3) відрізнялися від показників

наступного, 2025 р. Сівбу 2024 р. провели 30 квітня, 2025 р. – на 8 діб раніше. Перший рік досліджень відрізнявся вагомо вищими середньомісячними температурами, за винятком січня, листопада та грудня. Середня температура 2024 р. – 11,04 °С, вегетаційного періоду (квітень-жовтень) – 16,8 °С. 2025 рік відрізнявся істотно холоднішими квітнем і, особливо, травнем, коли середня температура місяця становила 10,1 °С, що на 4,4 °С менше за кліматичну норму. Середня температура 2025 р. – 10,5 °С, вегетаційного періоду (квітень-жовтень) – 15,4 °С.

1. Схема польового експерименту

№ вар.	Норми удобрення	Простий карбамід або карбамід PULREA® + INu та N-Lock™
1	Без добрив (К)	–
2	Фон – (N _{1,25} P _{69,4} K _{81,3} Mg ₃₄ S _{24,6}) ¹	–
3	Фон + N ₉₀ ²	–
4	Фон + N ₉₀	PULREA® + INu
5	Фон + N ₉₀	N-Lock™
6	Фон + N ₁₂₀	–
7	Фон + N ₁₂₀	PULREA® + INu
8	Фон + N ₁₂₀	N-Lock™
9	Фон + N ₁₂₀	PULREA®+INu + N-Lock™
10	Фон + N ₁₅₀	–
11	Фон + N ₁₅₀	PULREA® + INu
12	Фон + N ₁₅₀	N-Lock™
13	Фон + N ₁₅₀	PULREA® + INu + N-Lock™
14	Фон + N ₁₅₀ (N ₈₀ + N ₇₀) ³	–
15	Фон + N ₁₅₀ (N ₈₀ + N ₇₀) ³	PULREA® + INu
16	Фон + N ₁₅₀ (N ₈₀ + N ₇₀) ³	N-Lock™
17	Фон + N ₁₅₀ (N ₈₀ + N ₇₀) ³	PULREA® + INu + N-Lock™

Примітка. ¹Сумарні норми поживних елементів фоновго удобрення; ²N₉₀₋₁₅₀ – під передпосівну культивуацію; ³N₇₀ – у підживлення у формі КАС вносили у фазі 6–8 листків (BBCH 16-17) з міжрядною культивацією N, кг/га.

Динаміка зростання середніх температур вегетаційного періоду 2024 р. практично повторювала хід багаторічних показників, створюючи додатковий стабільний тепловий ресурс для росту і розвитку кукурудзи. Проте цей рік вирощування культури відзначався вкрай нерівномірними опадами: відносно сухим травнем (16 мм), перезволоженим червнем (96 мм) та критично посушливим липнем

(3 мм). За 2024 рік випало 415 мм опадів, зокрема за вегетаційний період – 347 мм при нормі 487 мм. Упродовж 2025 р. випало 505 мм, із них за квітень-жовтень – 340 мм. Попри це, для кукурудзи, що не є чутливою до короткочасного дефіциту вологи, пріоритетним виявився більший ресурс літнього тепла 2024 р. Дія стабілізаторів мікробної активності, як і ефективність внесених мінеральних добрив, значною

мірою залежить від теплового та вологого режиму ґрунту. Кукурудза потребує для утворення однієї тонни зерна 25–30 кг азоту з ґрунту. Тому ми досліджували діапазон норм азотного удобрення $N_{90-120-150}$ з урахуванням високої природної родючості ґрунту та гіпотетичної дії стабілізаторів перетворення азотистих сполук мікробіотою, які можуть запобігти втратам продуктів її азотного метаболізму через випаровування та вимивання.

Відштовхуючись від природного вмісту легкогідролізного азоту, вже мінімальне внесення мінеральних добрив сприяло підвищенню його запасів в орному пласті ґрунту у фазі перших листків і у фазі появи волоті. На першому рівні азотного удобрення N_{90} (вар. 3, див. табл. 1) спостерігаємо збільшення концентрації легкогідролізного азоту на 6 мг/кг ґрунту порівняно з неудобреними ділянками (рис. 1).

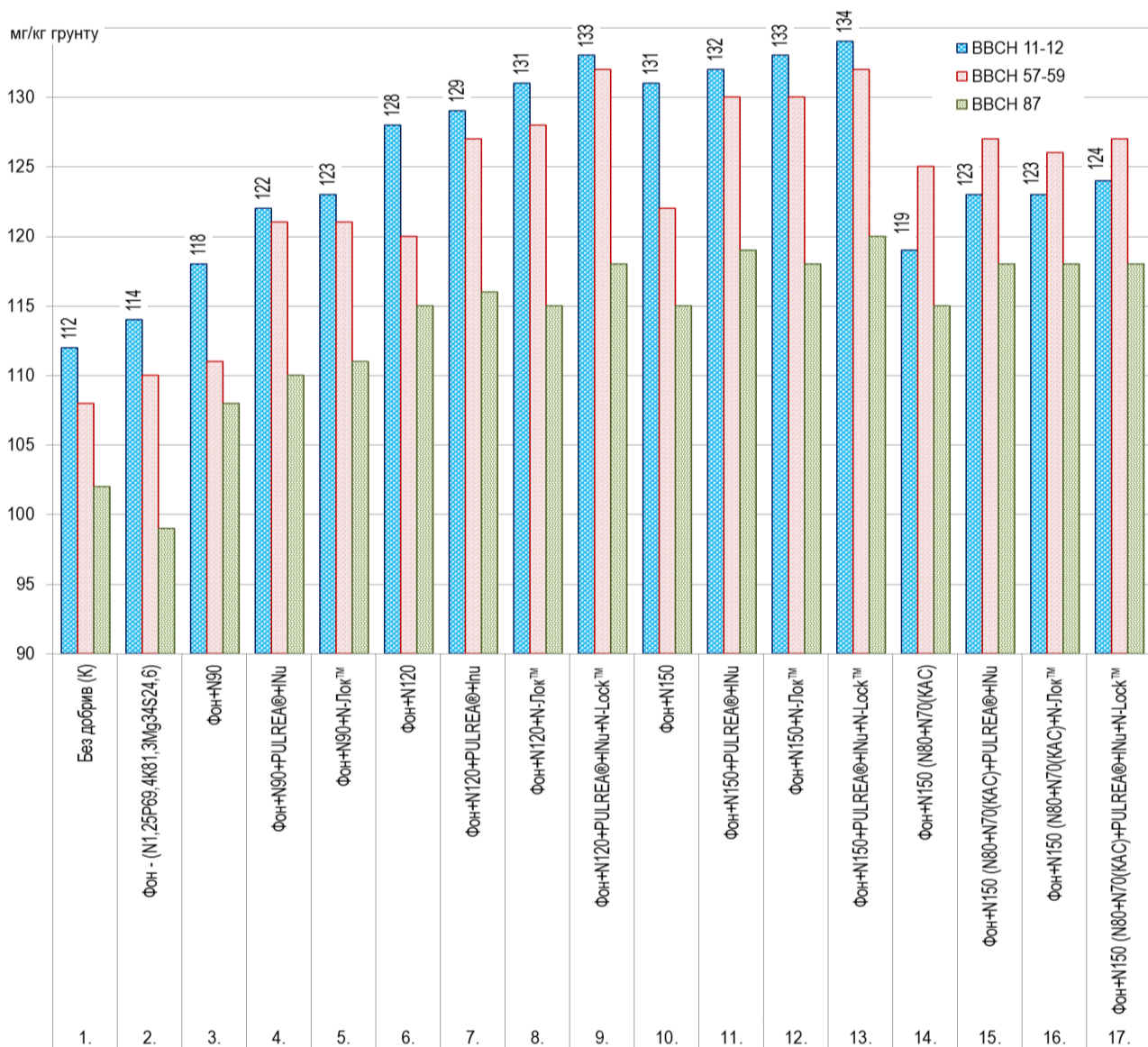


Рис. 1. Вплив норм азотних добрив та дії інгібіторів мікробної діяльності на вміст легкогідролізованого азоту в орному (0–20 см) шарі ґрунту, мг/кг ґрунту (BBCH 11-12 – перший справжній листок; BBCH 57-59 – повна поява волоті; BBCH 87 – повна фізіологічна стиглість) ($p < 0,05$)

Внесення карбаміду з інгібітором уреазі підвищило ресурс легкогідролізного азоту в орному пласті ще на 4 мг/кг. Особливо важливо зауважити, що інгібітор уреазі (вар. 1), як і інгібітор нітрифікації (вар. 5), дозволив утримувати концентрацію доступного азоту до критичної фази викиду волоті, коли кукурудза найбільше асимілює цей елемент. Позитивний вплив обох інгібіторів після сівби на наступному рівні удобрення N_{120} дозволив не лише збільшити стартовий пул легкодоступного азоту, а й утримувати його високим до викиду волоті. Але максимуму вдалося досягти за поєднаного застосування інгібіторів уреазі та нітрифікації (вар. 9). Навіть наступний рівень норми азотного удобрення кукурудзи N_{150} (вар. 10) не забезпечив такої високої концентрації легкогідролізного азоту аж до фази викиду волоті. Незважаючи на дещо менший вплив інгібіторів, їхня позитивна дія, особливо у поєднанні, підтвердилася (вар. 13).

Розділення норми азоту на дві дози (вар. 14–17): припосівне внесення та прикореневе підживлення КАС не дало

вагомого зростання ресурсу легкогідролізного азоту на старті, але істотно підвищило його концентрацію у фазі викиду волоті. Вплив інгібіторів був менш вираженим. Починаючи від мінімальної норми азоту N_{90} , спостерігаємо підтримання запасів його легкогідролізної форми на вищому, ніж у неудобреному контролі, рівні до фази стиглості зерна, а інгібітори мікробної активності сприяють збереженню родючості ґрунту. Вивітрювання аміаку від мікробного розкладання сечовини – вкрай небажаний процес, який не лише небезпечний для довкілля, а й збитковий при застосуванні азотних добрив. Інгібітор уреазі, що присутній у карбаміді PULREA® + INu (вар. 4, 7, 11 і 15), зменшував вивітрювання аміаку на старті вегетації на 12; 7; 6 і 10 % (рис. 2). Поєднання його з нітрапірином ще додатково заощаджувало аміак карбаміду в орному шарі. У фазі викиду волоті дія інгібіторів тривала і сприяла його найвищому вмісту 6,9 мг/кг ґрунту, зокрема, на варіанті 13 – фон + N_{150} PULREA® + INu + N-Lock™.

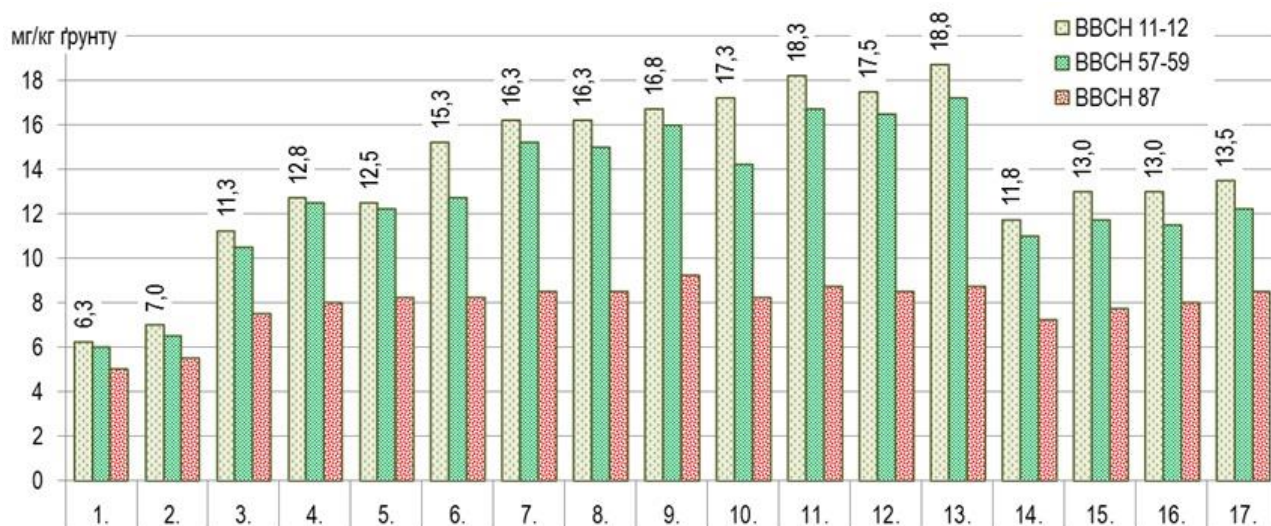


Рис. 2. Вплив норм азотного удобрення та дії інгібіторів уреазі й нітрифікації на вміст амонійного азоту в орному (0–20 см) шарі ґрунту, мг/кг ґрунту (BBCH 11-12 – перший листок; BBCH 57-59 – повна поява волоті; BBCH 87 фізіологічна стиглість) ($p < 0,05$) (варіанти відповідають нумерації, показаній у табл. 1 і на рис. 1)

ґрунтові процеси амоніфікації та нітрифікації – інтегральна екологічна

функція агроєкосистем удобреного поля. Тому важливим є з'ясування зв'язків між

закономірностями перетворення азотних сполук, привнесених із добривами, у природних умовах погоди та властивостей ґрунту. Таблиця кореляцій (табл. 2) досліджених змінних показує, що, оскільки вибірка була достатньо великою ($n = 17$), мінімальний достовірний ($p < 0,05$) коефіцієнт кореляції становить $r = 0,50$. Усі

достовірні зв'язки показників мали позитивний прямий характер.

Збільшення кількості доступних форм азоту в орному шарі (рис. 3), спричинене внесенням азотних добрив, описується цим зв'язком у вигляді лінійної регресії, де коефіцієнти кореляції є високими (у фазі першого листка $r = 0,72$ на глибині 0–20 см).

2. Матриця парних кореляцій між показниками вмісту різних форм азоту в ґрунті у фазі першого листочка, викиду волоті, дозрівання зерна та рівнем урожаю кукурудзи зернової, $\pm r$ ($n = 17$)

Показники		N _{легкогідр.} – 0–20 см			N _{ам.} – 0–20 см		
		ВВСН 11-12	ВВСН 57-59	ВВСН 87	ВВСН 11-12	ВВСН 57-59	ВВСН 87
N _{легкогідр.} – 0–20 см	ВВСН 57-59	0,84	X	–	–	–	–
	ВВСН 87	0,81	0,93	X	–	–	–
N _{ам.} – 0–20 см	ВВСН 11-12	0,98	0,84	0,85	X	–	–
	ВВСН 57-59	0,97	0,87	0,83	0,98	X	–
	ВВСН 87	0,88	0,85	0,87	0,91	0,92	X
Урожай 2024 р.		0,79	0,91	0,96	0,86	0,84	0,90

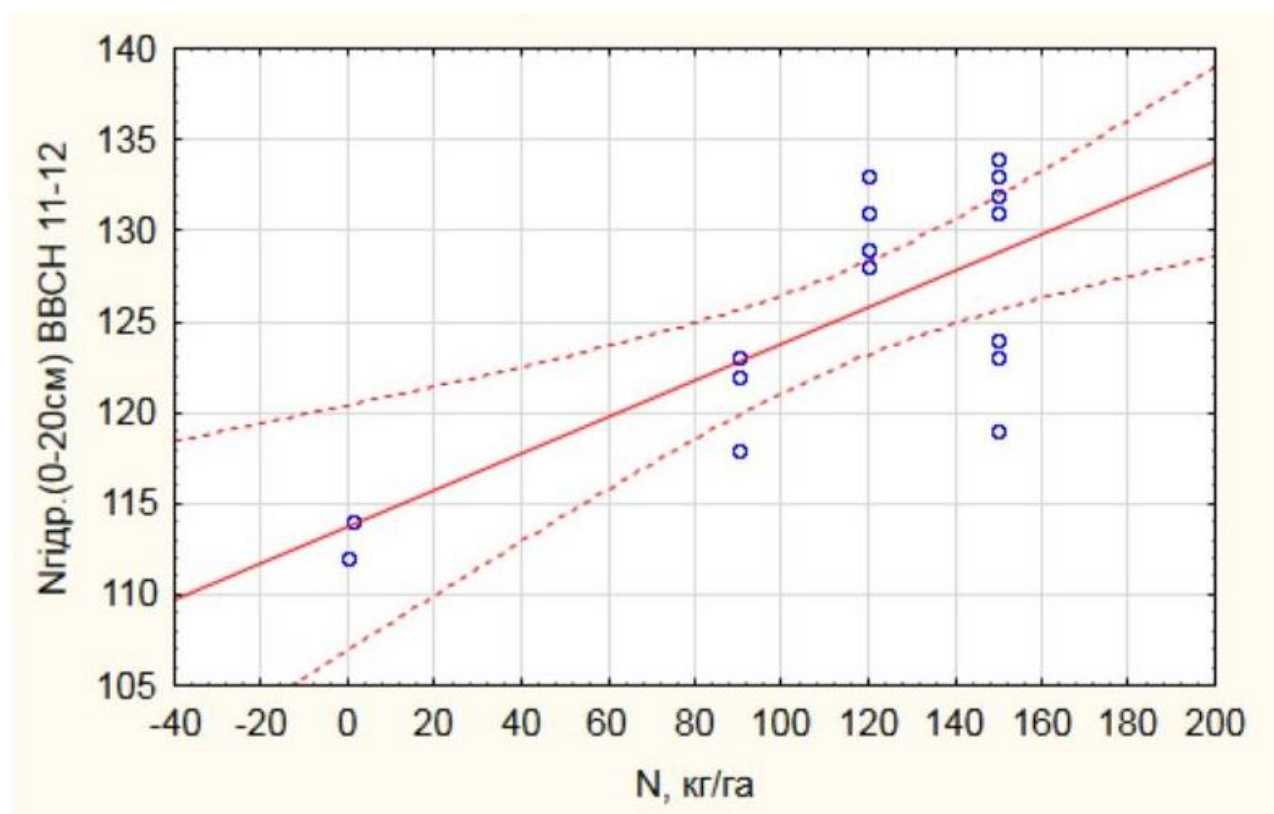


Рис. 3. Регресія вмісту легкогідролізного азоту в орному шарі ґрунту у фазах першого справжнього листка (ВВСН 11-12) та викидання волоті у кукурудзи під впливом збільшення норм азотних добрив $N_{0-1,2-90-120-150}$

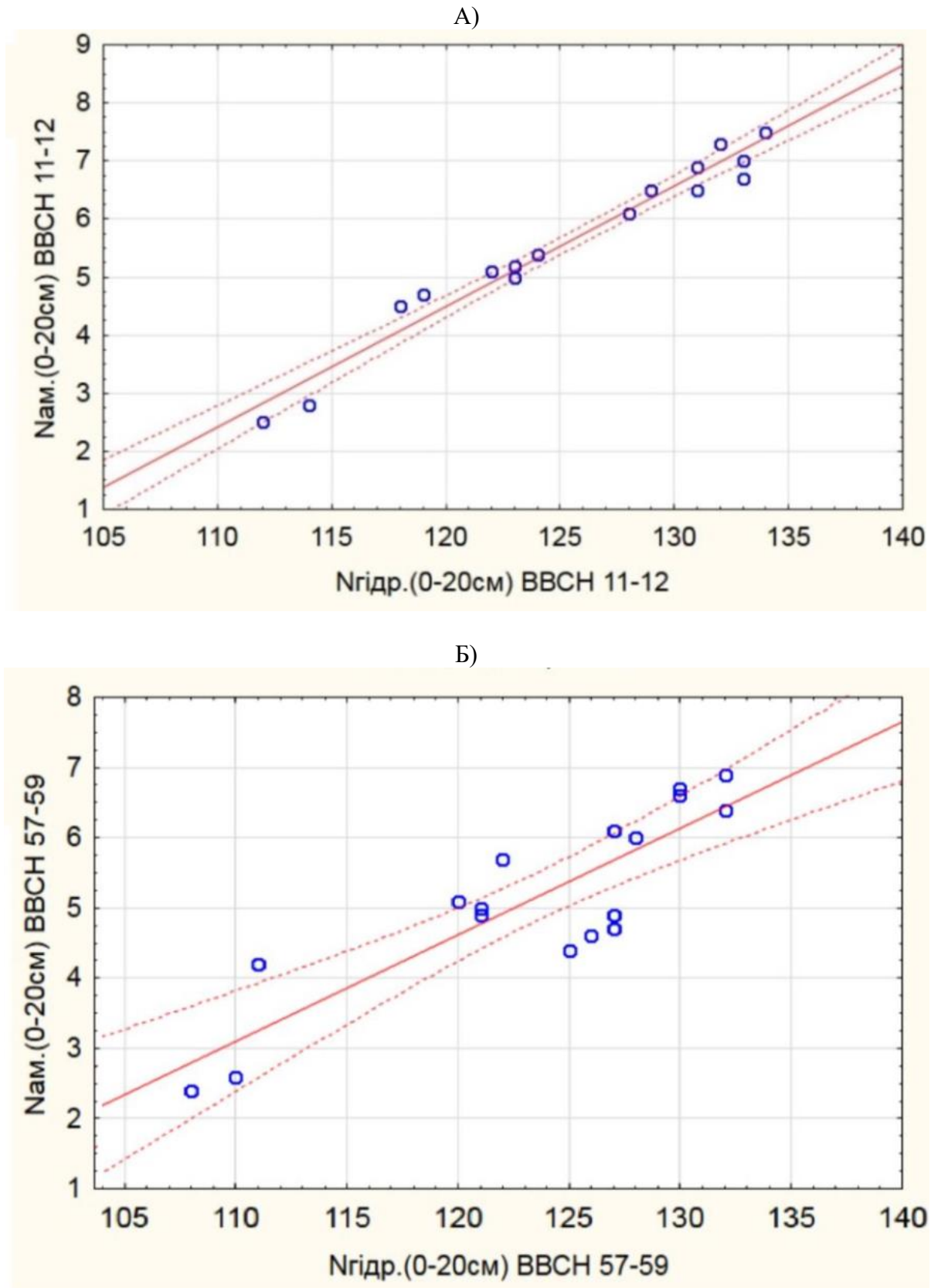


Рис. 4. Регресія вмісту амонію в орному шарі ґрунту у фазі першого справжнього листка (А: $r = 0,98$, BVCH 11-12) та у фазі викидання волоті кукурудзи (Б: $r = 0,87$, BVCH 57-59) під впливом запасу легкогідролізного азоту

Підвищення вмісту легкогідролізного азоту в ґрунті завдяки збільшенню норм внесення азотних добрив $N_{0-1,2-90-120-150}$ дуже позитивно відображається на концентрації амонійного азоту як на початку вегетації (рис. 4 А), так і у фазі викидання волоті (рис. 4 Б). Лінійна кореляція з коефіцієнтом $r = 0,98$ підтверджує дуже сильну залежність показників амонійного та легкогідролізного азоту, яка залишається

тісною до фази викидання волоті ($r = 0,87$). Лінійна кореляція з коефіцієнтом $r = 0,97$ підтверджує дуже сильну залежність продуктивності культури від підвищення норм внесення карбаміду. Урожай, своєю чергою, залежить від запасу легкогідролісної форми азоту як у ранню фазу вегетації (рис. 6 А – $r = 0,79$), так і в критичну (рис. 6 Б – $r = 0,91$).

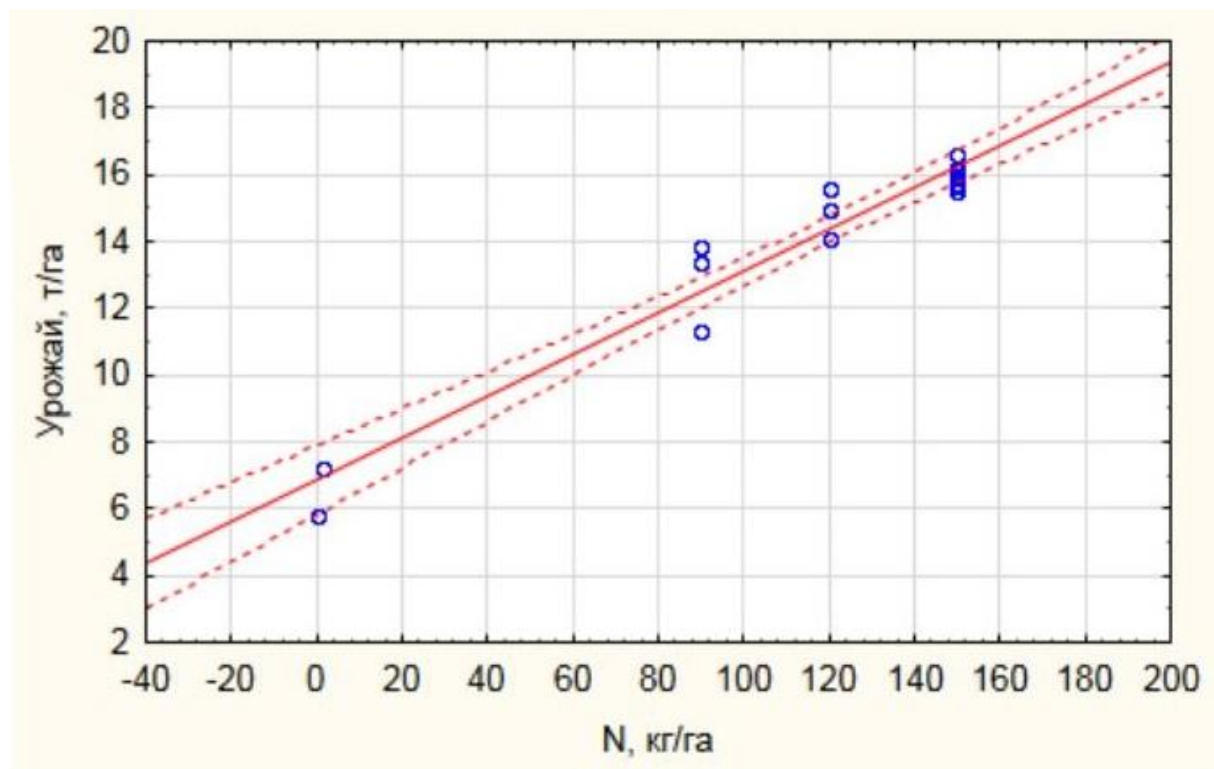


Рис. 5. Регресія урожайності зерна кукурудзи 2024 р. залежно від збільшення норми внесення з добривами азоту $N_{0-1,2-90-120-150}$ ($r = 0,97$)

Створення графічних 3D-моделей регресії за допомогою Statistica 12.0 на підставі тісних парних зв'язків та реалізація математичних поліноміальних рівнянь дають уявлення про синергію впливів двох важливих факторів врожаю.

Теоретична площа динаміки врожаю під впливом удобрення та живлення показує, що навіть за менших норм внесення карбаміду наявність у ґрунті достатнього ресурсу легкогідролізного азоту гарантує 15–16 т зерна за умови дотримання технологічної дисципліни. Такого позитивного ефекту, ймовірно, досягнуто завдяки стабілізаційній дії

інгібіторів уреазної та нітрифікаційної активності мікробіоти.

Лінійне рівняння множинної регресії (1) демонструє прямий вплив обох факторів на врожайність:

$$\text{Урожай, т/га} = -3,7519 + 0,0529x + 0,0936y, \quad (1)$$

де:

x – норма внесення азоту, кг/га;

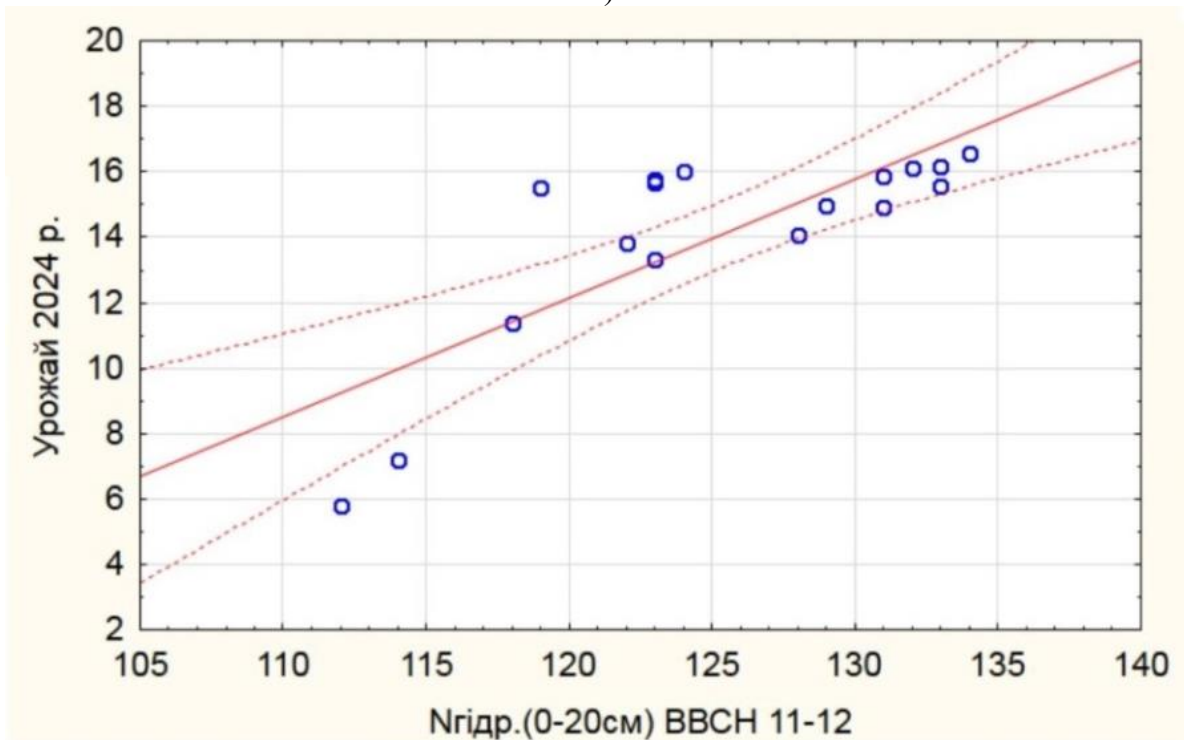
y – вміст легкогідролізного азоту в ґрунті, мг/кг.

Коефіцієнт 0,0529 свідчить про те, що за збільшення норми внесення азоту на 1 кг/га врожайність зростатиме в середньому на 0,0529 т/га. Коефіцієнт 0,0936 означає, що збільшення вмісту

легкогідролізного азоту в ґрунті на 1 мг/кг забезпечує приріст урожайності приблизно на 0,0936 т/га. Поверхня відгуку демонструє сумісний вплив на врожайність

норми внесення азоту (кг/га) та вмісту легкогідролізного азоту в ґрунті (мг/кг) у фазі першого листка.

А)



Б)

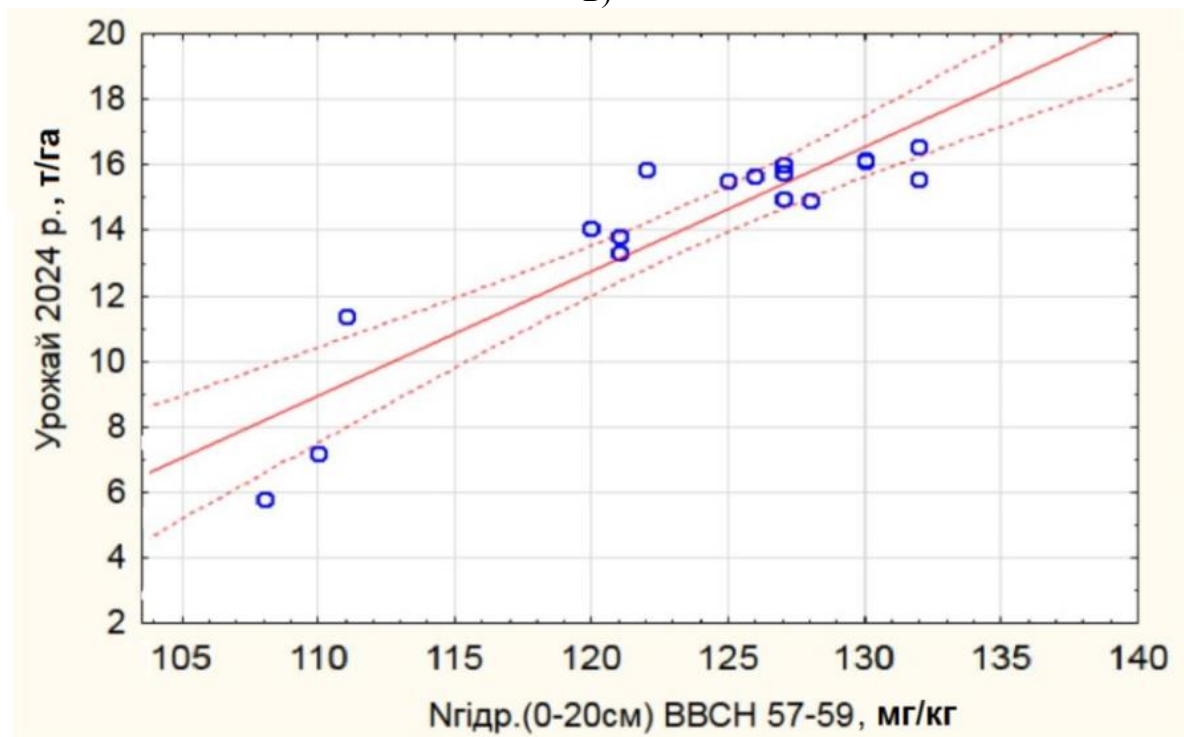


Рис. 6. Залежність урожаю зерна кукурудзи від вмісту легкогідролізного азоту в орному шарі ґрунту у фазі появи першого листка (А: $r = 0,79$, BVCH 11–12) та у фазі викидання волоті (Б: $r = 0,91$, BVCH 57–59)

Близьке розташування точок реальних даних до регресійної площини свідчить про достатньо високу відповідність моделі експериментальним результатам. Зі збільшенням норми внесення азоту урожайність поступово підвищується. Максимальні значення досягаються за поєднання високих норм азоту (150 кг/га) та вмісту легкогідролізного азоту в ґрунті (130–135 мг/кг). Отже, площина регресії демонструє позитивний лінійний вплив як норми внесення азоту, так і вмісту легкогідролізного азоту в ґрунті у фазі

першого листка на формування врожайності.

На рисунку 7А наведено тривимірну регресійну модель, яка описує лінійний вплив норми внесення азоту та вмісту легкогідролізного азоту в шарі ґрунту 0–20 см у фазі першого листка. Рівняння регресії (2) має вигляд:

$$\text{Урожай, т/га} = 5,241 + 0,0504x + 0,5886y, (2)$$

де:

x – норма внесення азоту, кг/га;

y – вміст легкогідролізного азоту в шарі ґрунту 0–20 см, мг/кг.

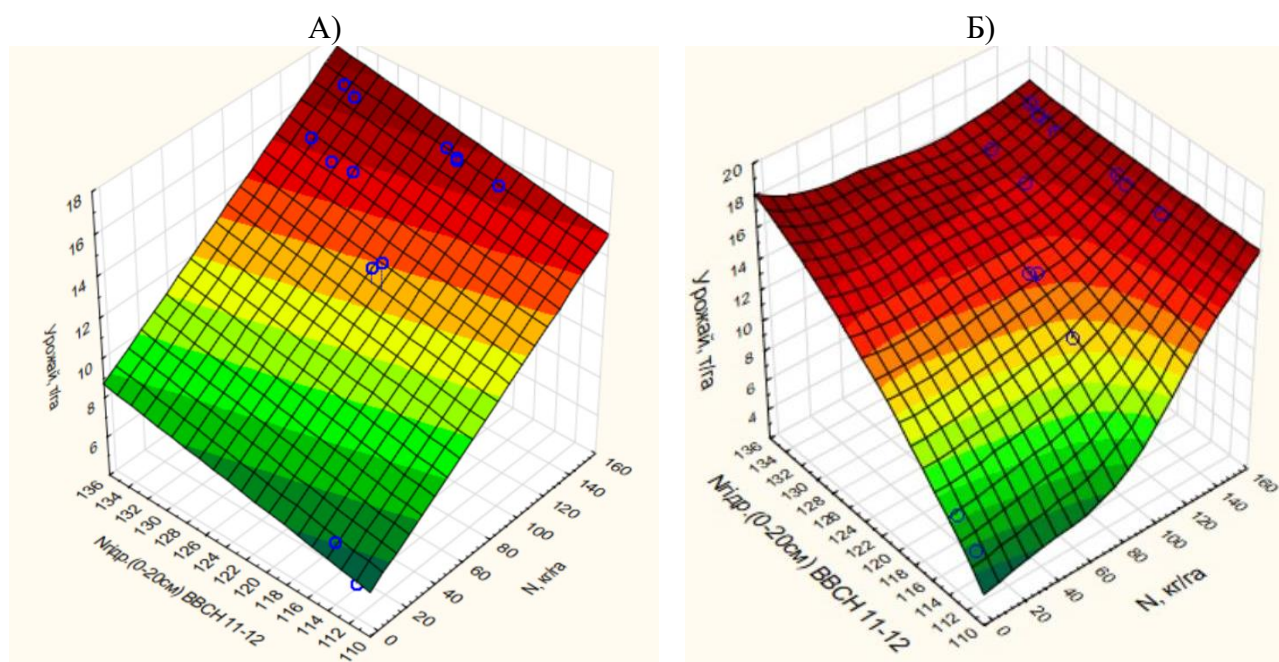


Рис. 7. Теоретичні площини нелінійної (А) та лінійної (Б) регресії врожаю залежно від норм удобрення та показників вмісту легкогідролізного азоту у фазі першого листка в темно-сірому опідзоленому ґрунті за різних систем удобрення кукурудзи

Коефіцієнт 0,0504 показує, що збільшення норми внесення азоту на 1 кг/га забезпечує приріст урожайності в середньому на 0,0504 т/га. Коефіцієнт 0,5886 свідчить, що підвищення вмісту нітратного азоту в орному шарі ґрунту на 1 мг/кг супроводжується збільшенням урожайності приблизно на 0,5886 т/га. Значно більша величина цього коефіцієнта порівняно з коефіцієнтом при нормі внесення азоту свідчить про те, що

забезпеченість ґрунту амонійним азотом є вагомим фактором формування врожаю.

Нелінійна регресія є точнішою, і рисунок 7Б показує, що залежність врожаю від синергії двох факторів має геометричний характер.

Поверхня регресії на рисунку 8 ілюструє спільний вплив досліджуваних факторів на урожайність по осі Z. Вісь X відображає норму внесення азоту (N, кг/га), вісь Y характеризує вміст амонійного азоту у шарі ґрунту 0–20 см

(мг/кг) у фазі викидання волоті. З графіка видно, що найвищі значення урожайності досягаються за поєднання високої норми внесення азоту (150 кг/га) та високого вмісту амонійного азоту (8–9 мг/кг). На

рисунку регресійна модель описує залежність урожайності від вмісту легкогідролізованого азоту у шарі ґрунту 0–20 см та вмісту амонійного азоту в шарі ґрунту 0–20 см у фазу викидання волоті.

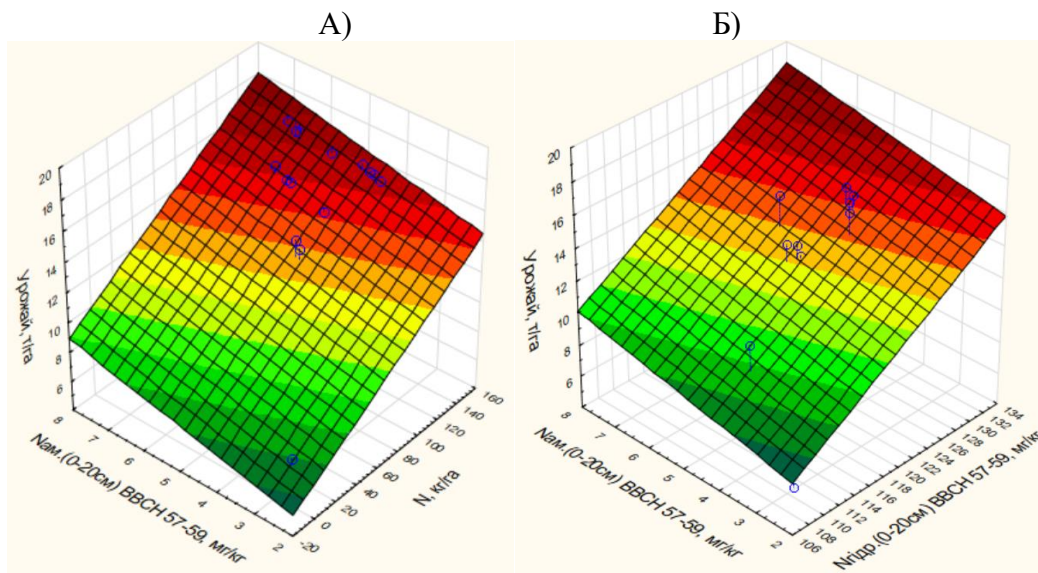


Рис. 8. Теоретичні площини регресії врожаю залежно від норм удобрення (А) та показників вмісту легкогідролізованого азоту (Б) й амонійного азоту у фазі викиду волоті в темно-сірому опідзоленому ґрунті за різних систем удобрення кукурудзи

Рівняння регресії (3) має вигляд:

$$\text{Урожай, т/га} = -26,302 + 0,307x + 0,4828y, \quad (3)$$

де:

x – вміст легкогідролізованого азоту в шарі ґрунту 0–20 см у фазі BBCH 57–59, мг/кг;

y – вміст амонійного азоту в шарі ґрунту 0–20 см, мг/кг.

Коефіцієнт 0,307 свідчить, що зі збільшенням вмісту легкогідролізованого азоту у фазі BBCH 57–59 на 1 мг/кг урожайність підвищується в середньому на 0,307 т/га за незмінного значення другого фактора. Коефіцієнт 0,4828 показує, що збільшення вмісту амонійного азоту в орному шарі ґрунту на 1 мг/кг забезпечує приріст урожайності приблизно на 0,4828 т/га, якщо інший фактор залишається сталим.

Площина регресії відображає спільний вплив двох показників вмісту доступного азоту у фазі викидання волоті на врожайність.

Урожай зерна кукурудзи гібриду Pioneer P8834 2024 р. сформувався в кращих погодних умовах і сягав 5,8 т/га на варіанті без добрив. У 2025 р. неудобрені ділянки забезпечили 5,6 т/га зерна. На контролі без добрив врожай кукурудзи в середньому за два роки (рис. 9) становив 5,7 т/га, що підтверджує високу родючість ґрунту дослідного поля і потужний потенціал гібрида.

Фосфорно-калійний фон і рядкове удобрення під час сівби $N_{1,25}P_{69,4}K_{81,3}Mg_{34}S_{24,6}$ позитивно вплинули на середній урожай. Прибавка становила 1,4 т/га. Внесення всієї норми N_{90} під передпосівну культивування додало ще 4,1 т/га зерна, але більшу на 2,4 т/га прибавку забезпечило використання карбаміду PULREA® + INu, що становило в підсумку 13,6 т/га в середньому за два роки. За внесення простого карбаміду з наступним обприскуванням ґрунту нітрапірином (N-Lock™) врожай був на 0,6 т/га меншим.

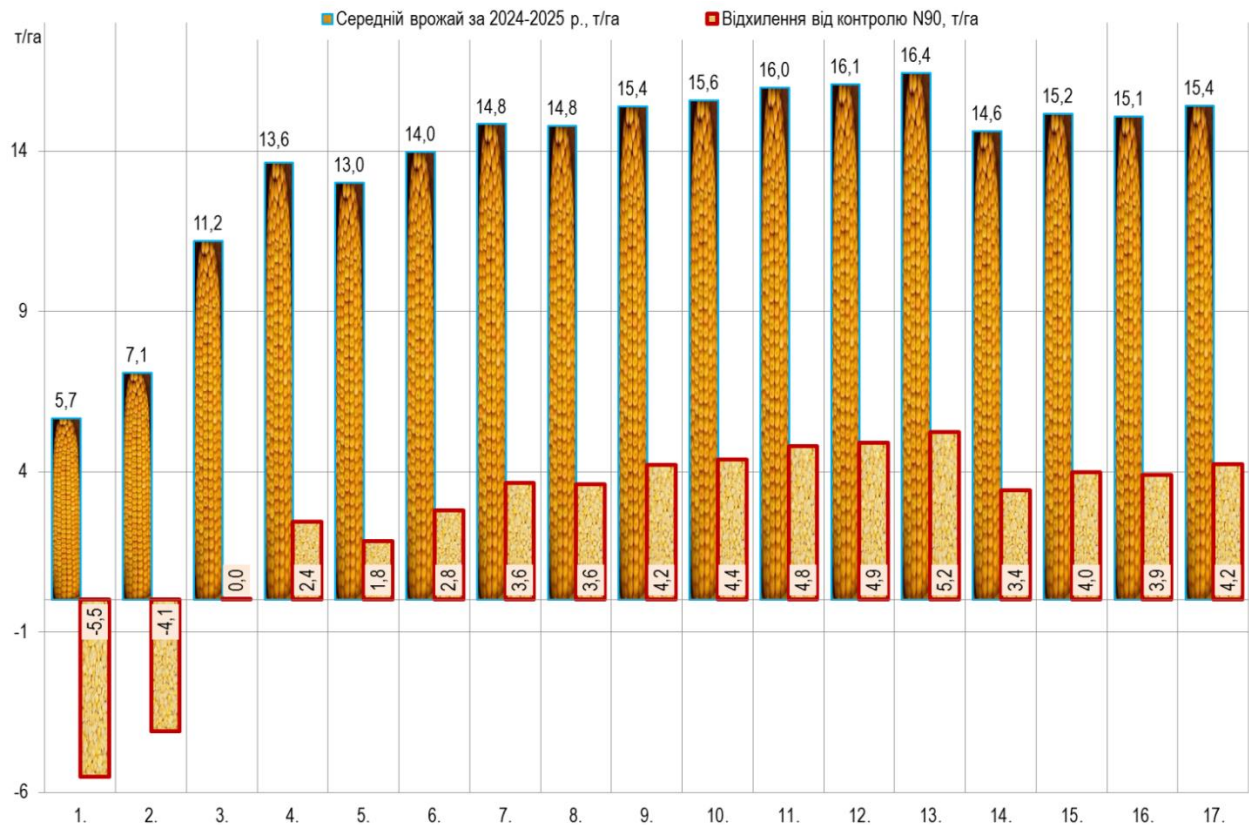


Рис. 9. Вплив систем регулювання азотного живлення кукурудзи мінеральним добривом і стабілізаторами мікробної активності в ґрунті на відхилення урожаю зерна відносно норми удобрення N_{90} без використання інгібіторів (варіанти відповідають нумерації, показаній в табл. 1) (НІР_{0,5} абс. (т/га)/відн. (%) 2024 р. – 0,4/3,05; 2025 р. – 0,3/2,90)

Збільшення норми азотного добрива до N_{120} (вар. 6) не дало стрімкого підвищення врожаю, але застосування карбаміду з інгібітором уреазі забезпечило його середній рівень 14,8 т/га. Поєднання звичайного карбаміду з нітрапірином забезпечило рівний результат. Проте на нормі N_{120} спостерігаємо синергійну позитивну дію поєднання карбаміду з інгібітором уреазі та додатковим внесенням нітрапірину під передпосівну культивування (вар. 9). Отримано врожай 15,4 т/га, що лише на 0,2 т/га нижче за врожай при збільшенні норми внесення азоту до N_{150} (15,6 т/га). На найвищому фоні живлення поєднання інгібіторів уреазі та нітрифікації забезпечило найвищий у середньому за два роки врожай 16,4 т/га з достовірною прибавкою (НІР_{0,5} = 0,43–3,05 т/га). У більш сприятливому 2024 р. інгібітори сприяли максимальній врожайності як окремо, так і

в поєднанні, де досягнуто рівня 16,6 т/га зерна. Поділ норми азоту на дві дози з метою підживлення КАС під час міжрядної культивування не дав значного позитивного ефекту. Але у більш сприятливому для внесення КАС 2025 р. стабілізація азоту відразу обома інгібіторами на фоні N_{150} (N_{80} навесні + N_{70} у підживлення у фазі 6–8 листків) із застосуванням КАС + PULREA® + INu + N-Lock™ забезпечила 16,0 т зерна з гектара з прибавкою відносно N_{90} у 4,6 т/га. Спільне застосування інгібіторів уреазі та інгібіторів нітрифікації (часто званих «подвійними інгібіторами» [11]) значно покращує запаси азоту в ґрунті. У той час як інгібітори уреазі затримують гідроліз сечовини [21], інгібітори нітрифікації запобігають перетворенню амонію на високомобільні нітрати. Разом вони подовжують доступність азоту, зменшують вимивання та газоподібні

викиди, а також збільшують поглинання рослинами. Поєднання обох інгібіторів може зменшити загальне вимивання азоту на 20–45 % та зменшити викиди

Висновки. Внесення під зернову кукурудзу гібриду Pioneer P8834 на темно-сірому лісовому слабодegradованому легкосуглинковому ґрунті на карбонатних лесоподібних суглинках Західного Лісостепу азотних добрив у формі карбаміду та карбаміду з інгібітором уреаз у поєднанні зі стабілізатором нітрифікації сприяло істотному підвищенню врожаю зерна як від збільшення норм азоту від N_{90} до N_{150} на фоні $N_{1,25}P_{69,4}K_{81,3}Mg_{34}S_{24,6}$ (осіннє і припосівне внесення), так і під впливом стабілізаторів азоту. Найвищий врожай у середньому за 2024–2025 рр. отримано за внесення N_{150} під передпосівну культивування на осінньому фосфорно-калійному фоні у формі карбаміду PULREA® + INu та N-Lock™ – 16,4 т/га. Інгібітор уреазы NBPT у складі карбаміду сприяв збільшенню врожаю на 0,4 т/га, а інгібітор нітрифікації нітрапирин – на 0,5 т/га порівняно з удобренням простим карбамідом у розрахунку N_{150} , що є статистично достовірною прибавкою ($HP_{0,05}$ за 2024 р. становила 0,4 т/га, 2025 р. – 0,3 т/га).

Список використаної літератури

1. Дегодюк Е. Г., Дегодюк С. Е., Гуральчук С. З. Трансформація біосферних функцій педосфери у процесах кругообігу біогенних елементів в антропогенно порушених фітоценозах. *Живлення рослин: теорія і практика*. Київ : Логос, 2005. С. 14–43.
2. Іванюк В., Гнатів П., Оліфір Ю. Вплив азотних добрив на формування врожаю зерна кукурудзи й ефективність використання азоту. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Агрономія*. 2022. № 26. С. 170–176. <https://doi.org/10.31734/agronomy2022.26.170>.
3. Лихочвор В. В., Шинкарук Л. М. Фотосинтетичні показники рослин кукурудзи залежно від елементів удобрення. *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти* : зб. тез IV Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, квітень 2021 р.). Київ : Науковометодичний центр ВФПО, 2021. С. 95–97.

газоподібного закису азоту (N_2O) більш ніж на 50 % порівняно з використанням неінгібованої сечовини або застосуванням одного інгібітора [8].

Норма внесення азоту під кукурудзу N_{150} є найефективнішою, особливо у поєднанні зі стабілізаторами азоту, а поділ її на передпосівне внесення у формі карбаміду N_{80} та міжрядне підживлення у фазі 6–8 листків КАС-32 є ризикованим, оскільки 2024 р. була посушлива погода, що призвело до вагомого зниження врожаю зерна.

Стабілізатори азоту N-STAB (NBPT – інгібітор уреазы) та N-Lock™ (нітрапирин – інгібітор нітрифікації) є ефективними засобами підвищення запасів легкогідролізного та амонійного азоту від появи першого листка до викиду волоті у кукурудзи. Особливо дієвими вони були на максимальному фоні азотного живлення.

Статистичні та графічні моделі закономірностей показали, що норми внесення $N_{0-1,25-90-120-150}$ достовірно позитивно діють на рівень збагачення ґрунту поживними формами азоту, які тісно корелюють між собою ($r = 0,84-0,98$), а найважливіше – достовірно позитивно впливають на рівень врожаю зерна кукурудзи з коефіцієнтом кореляції $r = 0,79-0,96$.

References

1. Dehodiuk, E. H., Dehodiuk, S. E., Huralchuk, S. Z. Transformation of the biosphere functions of the pedosphere in the processes of biogenic element cycling in anthropogenically disturbed phytocenoses. *In Plant nutrition: Theory and practice* 2005. 14–43.
2. Ivaniuk V., Hnativ P., Olifir Yu. Effect of nitrogen fertilizers on maize grain yield formation and nitrogen use efficiency. *Visnyk of Lviv National Environmental University. Agronomy*. 2022. No. 26. P. 170–176. <https://doi.org/10.31734/agronomy2022.26.170>.
3. Lykhochvor V. V., Shynkaruk L. M. Photosynthetic parameters of maize plants depending on fertilization elements. *Climate change and agriculture: Challenges for agricultural science and education*. Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference (Kyiv, April 2021). Kyiv : Naukovometodychnyi tsentr VFPO, 2021. P. 95–97.

4. Основи наукових досліджень в агрономії / В. О. Єщенко та ін. ; за ред. В. О. Єщенка. Вінниця : ПП «ТД «Едельвейс і К», 2014. 332 с.

5. A meta-analysis to examine whether nitrification inhibitors work through selectively inhibiting ammonia-oxidizing bacteria / J. Lei et al. *Front Microbiol*, 2022. 13: 962146. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.962146>.

6. Ammonia emissions from urea, stabilized urea and calcium ammonium nitrate: insights into loss abatement in temperate grassland / P. J. Forrester et al. *Soil Use Manag*, 2016. 32: 92–100. <https://doi.org/10.1111/sum.12232>.

7. A re-evaluation of the agronomic effectiveness of the nitrification inhibitors DCD and DMPP and the urease inhibitor NBPT / T. J. Rose et al. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2018. Vol. 258, 2018. P. 69–73. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.10.008>.

8. Burton D. A review of the recent scientific literature documenting the impact of 4R management on N₂O emissions relevant to a Canadian context. Dalhousie University and Land Resource Consulting Services, March, 2018. <https://fertilizercanada.ca/wp-content/uploads/2018/08/NERP-Science-Review-Paper-.pdf>.

9. Comammox Nitrospira play an active role in nitrification of agricultural soils amended with nitrogen fertilizers / C. Li et al. *Soil Biol Biochem*, 2019. 138: 107609. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107609>.

10. Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. *Official Journal L* 375, 31/12/1991. Ch. 15 Vol. 10. P. 0192. <http://data.europa.eu/eli/dir/1991/676/oj>.

11. Deciphering the Interactions in the Root–Soil Nexus Caused by Urease and Nitrification Inhibitors / G. Sneha et al. *Agronomy*, 2023, 13 (6), 1603. https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2023Agron..13.1603G/doi:10.3390/agronomy13061603.

12. Fungal biogeography. Global diversity and geography of soil fungi / L. Tedersoo et al. *Science*, 2014. 346:125. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25430773/>.

13. Kim D. G., Sagga, S. & Roudier P. The effect of nitrification inhibitors on soil ammonia emissions in nitrogen managed soils: a meta-analysis. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2012. 93, 51–64. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10705-012-9498-9>.

14. Kuypers M. M. M., Marchant H. K., Kartal B. The microbial nitrogen-cycling network. *Nat Rev Microbiol*. 2018. 16: 263–276. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2018.9>.

15. Laforge J, Corkal V. & Cosbey A. Farming the Future: *Agriculture and climate change on the Canadian Prairies*, 2021. <https://www.iisd.org/publications/report/farming-future-agriculture-and-climate-change-canadian-prairies>.

16. Long-acting mechanisms of concentrated urea application – High urea concentrations are biological inhibitors / L. Cheng et al. *Applied Soil Ecology*.

4. Fundamentals of scientific research in agronomy / V. O. Yeshchenko et al. ; za red. V. O. Yeshchenka. Vinnytsia : PP «TD «Edelveis i K», 2014. 332 p.

5. A meta-analysis to examine whether nitrification inhibitors work through selectively inhibiting ammonia-oxidizing bacteria / J. Lei et al. *Front Microbiol*, 2022. 13: 962146. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.962146>.

6. Ammonia emissions from urea, stabilized urea and calcium ammonium nitrate: insights into loss abatement in temperate grassland / P. J. Forrester et al. *Soil Use Manag*, 2016. 32: 92–100. <https://doi.org/10.1111/sum.12232>.

7. A re-evaluation of the agronomic effectiveness of the nitrification inhibitors DCD and DMPP and the urease inhibitor NBPT / T. J. Rose et al. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2018. Vol. 258, 2018. P. 69–73. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.10.008>.

8. Burton D. A review of the recent scientific literature documenting the impact of 4R management on N₂O emissions relevant to a Canadian context. Dalhousie University and Land Resource Consulting Services, March, 2018. <https://fertilizercanada.ca/wp-content/uploads/2018/08/NERP-Science-Review-Paper-.pdf>.

9. Comammox Nitrospira play an active role in nitrification of agricultural soils amended with nitrogen fertilizers / C. Li et al. *Soil Biol Biochem*, 2019. 138: 107609. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107609>.

10. Council Directive 91/676/EEC of 12 December 1991 concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. *Official Journal L* 375, 31/12/1991. Ch. 15 Vol. 10. P. 0192. <http://data.europa.eu/eli/dir/1991/676/oj>.

11. Deciphering the Interactions in the Root–Soil Nexus Caused by Urease and Nitrification Inhibitors / G. Sneha et al. *Agronomy*, 2023, 13 (6), 1603. https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2023Agron..13.1603G/doi:10.3390/agronomy13061603.

12. Fungal biogeography. Global diversity and geography of soil fungi / L. Tedersoo et al. *Science*, 2014. 346:125. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25430773/>.

13. Kim D. G., Sagga, S. & Roudier P. The effect of nitrification inhibitors on soil ammonia emissions in nitrogen managed soils: a meta-analysis. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2012. 93, 51–64. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10705-012-9498-9>.

14. Kuypers M. M. M., Marchant H. K., Kartal B. The microbial nitrogen-cycling network. *Nat Rev Microbiol*. 2018. 16: 263–276. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2018.9>.

15. Laforge J, Corkal V. & Cosbey A. Farming the Future: *Agriculture and climate change on the Canadian Prairies*, 2021. <https://www.iisd.org/publications/report/farming-future-agriculture-and-climate-change-canadian-prairies>.

2023. V. 182, 104723. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139322003390?via%3Dihub>.
17. Modelling the impacts of inhibitors and fertilizer placement on maize yield and ammonia, nitrous oxide and nitrate leaching losses in southwestern Ontario, Canada / R. Jiang et al. *Journal of Cleaner Production*, 2023. 384, 135511. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135511>.
18. Myrold D. D. Soil nitrogen cycle. In: Encyclopedia of environmental microbiology, Wiley. 2003. <https://doi.org/10.1002/0471263397.env149>.
19. Nelson M. B., Martiny A. C. & Martiny J. B. Global biogeography of microbial nitrogen-cycling traits in soil. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2016. 113: 8033–8040. <https://doi.org/10.1073/pnas.1601070113>.
20. Nitrogen source, application time and tillage effects on soil N₂O emissions and corn grain yields / C. F. Drury et al. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2012. 76: 1268–1279. <https://doi.org/10.2136/sssaj2011.0249>.
21. Pitsyk Y. & Hnativ P. Nitrogen stabilization in dark gray soil under high doses of mineral fertilizer in the Western Forest Steppe. *Збірник матеріалів конференцій «Сучасні проблеми ґрунтознавства в Україні і Світі»*. ПДАТУ, 2024. С. 29–32. <http://188.190.43.194:7980/jspui/bitstream/123456789/12940/1/29-32.pdf>.
22. Plant diversity predicts beta but not alpha diversity of soil microbes across grasslands worldwide / S. M. Prober et al. *Ecol Lett*, 2015. 18: 85–95. <https://doi.org/10.1111/ele.12381>.
23. Restricted nitrous oxide emissions by ammonia oxidizers in two agricultural soils following excessive urea fertilization / Z. M. Chen et al. *J. Soil Sediment*, 2020. 20 (5), p. 1502–1512.
24. Sigurdarson J. J., Svane S. & Karring H. The molecular processes of urea hydrolysis in relation to ammonia emissions from agriculture. *Rev Environ Sci Biotechnol*. 2018. 17: 241–258. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11157-018-9466-1>.
25. Singh J. Impact of urease inhibitor on ammonia and nitrous oxide emissions from temperate pasture soil cores receiving urea fertilizer and cattle urine. *Sci Total Environ*, 2013. 465: 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.02.018>.
26. Structural characteristics of phosphoramidate derivatives as urease inhibitors. Requirements for activity / M. Font et al. *J Agric Food Chem*. 2008. 56: 8451–8460. <https://doi.org/10.1021/jf801786d>.
27. Zhang Y. Y., Wang W. J. & Yao H. Y. Urea-based nitrogen fertilization in agriculture: a key source of N₂O emissions and recent development in mitigating strategies. *Arch. Agron. Soil Sci.* 2022. <https://doi.org/10.1080/03650340.2022.2025588>.
16. Long-acting mechanisms of concentrated urea application – High urea concentrations are biological inhibitors / L. Cheng et al. *Applied Soil Ecology*. 2023. V. 182, 104723. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139322003390?via%3Dihub>.
17. Modelling the impacts of inhibitors and fertilizer placement on maize yield and ammonia, nitrous oxide and nitrate leaching losses in southwestern Ontario, Canada / R. Jiang et al. *Journal of Cleaner Production*, 2023. 384, 135511. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135511>.
18. Myrold D. D. Soil nitrogen cycle. In: Encyclopedia of environmental microbiology, Wiley. 2003. <https://doi.org/10.1002/0471263397.env149>.
19. Nelson M. B., Martiny A. C. & Martiny J. B. Global biogeography of microbial nitrogen-cycling traits in soil. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2016. 113: 8033–8040. <https://doi.org/10.1073/pnas.1601070113>.
20. Nitrogen source, application time and tillage effects on soil N₂O emissions and corn grain yields / C. F. Drury et al. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2012. 76: 1268–1279. <https://doi.org/10.2136/sssaj2011.0249>.
21. Pitsyk Y. & Hnativ P. Nitrogen stabilization in dark gray soil under high doses of mineral fertilizer in the Western Forest Steppe. *Збірник матеріалів конференцій «Сучасні проблеми ґрунтознавства в Україні і Світі»*. ПДАТУ, 2024. С. 29–32. <http://188.190.43.194:7980/jspui/bitstream/123456789/12940/1/29-32.pdf>.
22. Plant diversity predicts beta but not alpha diversity of soil microbes across grasslands worldwide / S. M. Prober et al. *Ecol Lett*, 2015. 18: 85–95. <https://doi.org/10.1111/ele.12381>.
23. Restricted nitrous oxide emissions by ammonia oxidizers in two agricultural soils following excessive urea fertilization / Z. M. Chen et al. *J. Soil Sediment*, 2020. 20 (5), p. 1502–1512.
24. Sigurdarson J. J., Svane S. & Karring H. The molecular processes of urea hydrolysis in relation to ammonia emissions from agriculture. *Rev Environ Sci Biotechnol*. 2018. 17: 241–258. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11157-018-9466-1>.
25. Singh J. Impact of urease inhibitor on ammonia and nitrous oxide emissions from temperate pasture soil cores receiving urea fertilizer and cattle urine. *Sci Total Environ*, 2013. 465: 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.02.018>.
26. Structural characteristics of phosphoramidate derivatives as urease inhibitors. Requirements for activity / M. Font et al. *J Agric Food Chem*. 2008. 56: 8451–8460. <https://doi.org/10.1021/jf801786d>.
27. Zhang Y. Y., Wang W. J. & Yao H. Y. Urea-based nitrogen fertilization in agriculture: a key source of N₂O emissions and recent development in mitigating strategies. *Arch. Agron. Soil Sci.* 2022. <https://doi.org/10.1080/03650340.2022.2025588>.

DOI: 10.32636/01308521.2026-(80)-1-6

Оригінальна наукова стаття

УДК 631.547:581.132.1:633.15

**ФОРМУВАННЯ АСИМІЛЯЦІЙНОЇ ПОВЕРХНІ
ТА НАКОПИЧЕННЯ ВМІСТУ ХЛОРОФІЛІВ «А» ТА «В»
У РОСЛИН КУКУРУДЗИ ЗАЛЕЖНО ВІД АЗОТНИХ ДОБРІВ****Р. В. Говенько¹, Т. В. Антал²**

¹Відокремлений структурний підрозділ «Роменський фаховий коледж Сумського національного аграрного університету»

вул. Героїв Роменичини, 56А,
м. Ромни, Сумська обл., 42001

²Національний університет біоресурсів і природокористування України

вул. Героїв Оборони, 14, м. Київ,
03041

Про авторів:

Роман ГОВЕНЬКО,
доктор філософії (PhD)
ORCID: 0000-0002-9702-0301

Тетяна АНТАЛ,
кандидат сільськогосподарських наук
ORCID: 0000-0002-6225-9347

Для листування:

Тетяна АНТАЛ
e-mail: taniantal@ukr.net

Інформація про фінансування:

Національна академія аграрних наук України

Отримано:

12 травня 2026 р.

Погоджено до друку:

7 вересня 2026 р.

Опубліковано:

30 вересня 2026 р.

У статті наведено результати досліджень площі листової поверхні посівів кукурудзи та накопичення хлорофілу в її листках залежно від умов вирощування, фаз росту та розвитку культури. Вирішальну роль у цьому процесі відіграє асиміляційна поверхня, представлена листовим апаратом, який забезпечує поглинання сонячної енергії та синтез органічних речовин. Доведено, що площа листової поверхні є одним із ключових показників продуктивності посівів, оскільки визначає інтенсивність фотосинтетичних процесів. Встановлено, що серед досліджуваних гібридів вищі показники площі листової поверхні формував гібрид ЕС Конкорд (46,5 тис. м²/га) у фазу викидання волоті (ВВСН 51-59) за внесення Діамофоски (N₂₂P₅₇K₅₇) + КАС 32, що свідчить про його вищий генетичний потенціал порівняно з гібридом ЕС Астероїд. Досліджено динаміку накопичення хлорофілів «а» і «b» у листках рослин кукурудзи та визначено їх співвідношення залежно від виду азотних добрив. Виявлено, що максимальне значення сумарного вмісту хлорофілів «а» і «b» зафіксовано у гібрида ЕС Конкорд (35,7 мг/г) за варіанту Діамофоска (N₂₂P₅₇K₅₇) + КАС 32 порівняно з контрольним варіантом.

Ключові слова: кукурудза, гібрид, фенологічна фаза, удобрення, види азотних добрив, площа листової поверхні, хлорофіл.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

© Говенько Р. В., Антал Т. В., 2026

Formation of assimilation surface and accumulation of chlorophyll «a» and «b» in maize plants depending on phenological development stages

¹Separate Structural Subdivision
«Romny Professional College of
Sumy National Agrarian University»
56A Heroiv Romenshchyny St.,
Romny, Sumy Region, 42001

²National University of Life and
Environmental Sciences of Ukraine
14 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041

About authors:

Roman HOVENKO
ORCID: 0000-0002-9702-0301

Tatiana ANTAL
ORCID: 0000-0002-6225-9347

Corresponding author:

Tatiana ANTAL
e-mail: taniantal@ukr.net

Funding information:

National Academy of Agrarian
Sciences of Ukraine

Received:
May 12, 2026
Accepted:
September 7, 2026
Published:
September 30, 2026

The article presents the results of studies on the leaf surface area of maize crops and the accumulation of chlorophyll in maize leaves as influenced by cultivation conditions, as well as the growth and developmental stages of the crop. A decisive role in this process is played by the assimilation surface, represented by the leaf system, which ensures the absorption of solar energy and the synthesis of organic compounds. It has been demonstrated that leaf surface area is one of the key indicators of crop productivity, as it determines the intensity of photosynthetic processes. It was established that among the studied hybrids, were recorded for the ES Concord hybrid, reaching $46.5 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{ha}$ at the tasseling stage (BBCH 51-59) under the application of Diamofoska ($\text{N}_{22}\text{P}_{57}\text{K}_{57}$) + UAN-32 (urea-ammonium nitrate), indicating its higher genetic potential compared to the hybrid ES Asteroid. The dynamics of *chlorophyll a* i *chlorophyll b* accumulation in maize leaves were investigated, and their ratio was determined depending on the type of nitrogen fertilizers applied. It was found that the maximum total *chlorophyll (a + b)* content was recorded in the ES Concord hybrid – 35.7 mg/g under the Diamofoska ($\text{N}_{22}\text{P}_{57}\text{K}_{57}$) + CAS 32 treatment, compared with the control.

Keywords: maize, hybrid, phenological stage, fertilization, nitrogen fertilizer types, leaf surface area, chlorophyll.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Вступ. Кукурудза (*Zea mays* L.) залишається стратегічною зерновою культурою для України завдяки високому експортному потенціалу та врожайності. Її вирощують практично в усіх регіонах України, незалежно від кліматичних умов і розмірів господарств [23].

Високий продуктивний потенціал кукурудзи зумовлює її широке використання у різних галузях аграрного виробництва. Водночас рівень реалізації генетичного потенціалу гібридів значною мірою залежить від умов вирощування та ефективності перебігу фізіолого-біохімічних процесів у рослинах [1].

Формування асиміляційної поверхні та функціонування фотосинтетичного апарату є ключовими чинниками продуктивності рослин кукурудзи. У

сучасних дослідженнях значна увага приділяється взаємозв'язку між площею листової поверхні, інтенсивністю фотосинтезу та накопиченням пігментів, зокрема хлорофілів «a» і «b», які визначають ефективність поглинання світлової енергії [4, 24].

Кукурудза є однією з найбільш продуктивних зернових культур, рівень урожайності якої значною мірою визначається ефективністю фотосинтетичної діяльності посівів. Важливу роль у формуванні врожаю кукурудзи відіграє асиміляційна поверхня рослин, тобто листовий апарат, а також вміст фотосинтетичних пігментів – хлорофілів «a» і «b», які забезпечують поглинання і трансформацію світлової енергії.

Особливої актуальності набуває вивчення динаміки формування асиміляційної поверхні та вмісту хлорофілу в різні фенологічні фази розвитку рослин кукурудзи. Відомо, що найбільш інтенсивний розвиток листкового апарату і максимальний вміст хлорофілу спостерігаються у період викидання волоті – цвітіння, тоді як на початкових етапах ці показники обмежені, а в період досягання – знижуються внаслідок старіння листків і перерозподілу пластичних речовин. В умовах змін клімату, дефіциту вологи та необхідності підвищення ефективності використання ресурсів важливим є встановлення закономірностей формування фотосинтетичного апарату кукурудзи [10]. Тому дослідження особливостей формування асиміляційної поверхні та накопичення хлорофілів «а» і «b» у рослин кукурудзи залежно від фенологічних фаз розвитку є актуальним науковим і практичним завданням, що дозволяє науково обґрунтувати елементи технології вирощування, підвищити ефективність використання ресурсів і забезпечити стабільне зростання врожайності культури.

Вченими доведено, що у формуванні площі листкової поверхні важливу роль відіграють агротехнічні заходи, зокрема норма висіву, рівень мінерального живлення та забезпечення вологою. Поєднання цих факторів сприяє створенню оптимальної структури агроценозу, що, своєю чергою, забезпечує підвищення інтенсивності фотосинтезу [8, 9].

Надмірне загущення посівів призводить до затінення листків, зниження фотосинтетичної активності та передчасного відмирання нижніх ярусів [15, 22].

Асиміляційна поверхня кукурудзи формується впродовж усього вегетаційного періоду і залежить від генотипу, густоти стояння рослин, рівня мінерального живлення та умов вирощування [11].

Науковці В. А. Мокрієнко, Я. А. Приндюк вважають, що максимальне значення площі листкової поверхні

досягається у період інтенсивного вегетативного росту – від фази 8–10 листків до викидання волоті. Саме в цей період формується основний фотосинтетичний потенціал посівів [15]. Площа листкової поверхні залежить від кліматичних умов року та забезпеченості рослин мікро- та макроелементами [2]. За результатами досліджень М. В. Степаненко та ін. встановлено, що внесення азотних добрив N_{40} перед сівбою у поєднанні з мікродобривом забезпечує найбільшу площу листкової поверхні у фазу молочної стиглості – 41,35 тис. $m^2/га$, а у фазу повної стиглості зерна – 37,60 тис. $m^2/га$ [7, 20].

Згідно з дослідженнями В. А. Мазура, В. Д. Паламарчука та ін., площа листкової поверхні за використання комплексу обробки насіння Поліміксобактерином та обробки посівів Мікро-Мінераліс (кукурудза) + Стимпо у фазу 12 листків становила 28,3 тис. $m^2/га$, а у фазу цвітіння була найвищою – 49,5 тис. $m^2/га$ [12, 17].

Не менш важливим показником є хлорофіл – біологічно активний пігмент, що визначає перебіг фотосинтетичних процесів у рослинах. Саме хлорофіл забезпечує поглинання світлової енергії та її перетворення на хімічну, що лежить в основі формування органічної речовини та продуктивності агроценозів. Найбільш поширеними формами є хлорофіли «а» і «b», які відрізняються спектрами поглинання світла та функціонально доповнюють один одного у процесі фотосинтезу [19].

У рослин кукурудзи рівень накопичення хлорофілу змінюється залежно від фенологічних фаз розвитку, умов вирощування та рівня мінерального живлення. Максимальні значення вмісту хлорофілу зазвичай спостерігаються у період активного росту і формування генеративних органів, тоді як у фазі досягання відбувається його поступове зниження внаслідок старіння листкового апарату.

В. Д. Паламарчук стверджує, що вміст хлорофілу в гібридах кукурудзи істотно залежить від їхніх біологічних

особливостей. Гібриди кукурудзи середньоранньої групи по-різному різному реагують на позакореневе підживлення. Вміст хлорофілу істотно відрізняється і може становити від 33,5 до 50,9 мг/см² [16].

Вченими О. І. Циліориком та В. О. Тищенком [21] доведено, що внесення добрив у дозах N₃₀₋₆₀P₃₀₋₆₀K₃₀₋₆₀ сприяє збільшенню вмісту хлорофілу в листках кукурудзи до SPAD 50,6–55,4 од. SPAD, що на 2,6–13,9 одиниць SPAD, або на 4,1–24,7 % більше порівняно з посівами без внесення добрив.

Метою роботи було встановити закономірності формування асиміляційної поверхні та накопичення хлорофілів «а» і «b» у рослинах кукурудзи залежно від рівня азотного живлення, а також визначити вплив азотних добрив на формування фотосинтетичного апарату культури.

Матеріали і методи. У ході виконання роботи застосовували лабораторний метод для визначення площі листової поверхні та вмісту хлорофілу в листках кукурудзи, а математично-статистичний – для оцінки достовірності отриманих результатів досліджень. Асиміляційну поверхню досліджуваних гібридів кукурудзи визначали у фенологічні фази 7–8 листків і до настання молочно-воскової стиглості. Площу листової поверхні визначали розрахунковим методом шляхом множення довжини листка на його найбільшу ширину та на коефіцієнт 0,75 на 10 типових рослинах за формулою:

$$S = k * l * n,$$

де S – площа листової поверхні, см²;
k – середній поправочний коефіцієнт,

рівний 0,75; l – довжина листка, см; n – ширина листка у найширшому місці, см.

Дослідження вмісту хлорофілу в листках кукурудзи проводили в лабораторних умовах методом спектрофотометричного аналізу. Для визначення вмісту хлорофілу відбирали типові, добре розвинені листки кукурудзи. Зразки подрібнювали ножицями. Подрібнену рослинну масу (0,2–0,5 г) переносили в ступку та додавали 2–3 мл 96 % етанолу. Зразок ретельно розтирали до повного знебарвлення тканини. Отриманий екстракт фільтрували, після чого вимірювали оптичну густину розчину на спектрофотометрі при довжинах хвиль 663 нм для хлорофілу «а», 645 нм для хлорофілу «b» та сумарно для хлорофілу «а» і «b». Математичний аналіз результатів лабораторних досліджень проведено за допомогою дисперсійного методу у викладі А. О. Рожкова [6].

Польові досліди було закладено в сівозміні ФГ «Богатирівське», що розташоване в Роменському районі Сумської області та належить до північної частини Лівобережного Лісостепу. Ґрунт дослідної ділянки – легкосуглинковий темно-сірий опідзолений із крупнопилуватою структурою. Клімат помірно-континентальний, придатний для вирощування сільськогосподарських культур, зокрема кукурудзи.

Для встановлення ефективності та обґрунтування впливу видів азотних добрив на площу листової поверхні посівів кукурудзи, а також на накопичення хлорофілу «а» і «b» у її листках, було закладено двофакторний дослід (табл. 1).

1. Схема досліду

Гібрид (фактор А)		Норма добрив (фактор В)		
позначення варіанту	гібрид	позначення варіанту	норма, кг/га д. р.	добриво
A1	ЕС Конкорд	B1	контроль (без добрив)	
A2	ЕС Астероїд	B2	N ₂₂ P ₅₇ K ₅₇ – фон (Ф)	
		B3	Ф + N ₁₂₀	
		B4	Ф + N ₁₂₀	
		B5	Ф + N ₁₂₀	
				Діамофоска
				Аміачна вода
				КАС
				Карбамід

Результати та обговорення.

Позитивний вплив азотних добрив на інтенсивність формування листків рослин кукурудзи позначався на розмірах листової поверхні. Збільшення площі асиміляції рослин під впливом добрив спостерігалось ще до початку появи волотей, причому її величина залежала від виду добрив. За варіантами досліду визначення площі листової поверхні

рослин кукурудзи проводили протягом усього вегетаційного періоду.

Відомо, що інтенсивність фотосинтетичної діяльності рослин кукурудзи змінюється залежно від фенологічних фаз розвитку – від початкових етапів росту до формування і наливу зерна. Максимальна продуктивність листового апарату досягається у фазу викидання волоті, коли фотосинтез є найбільш активним (табл. 2).

2. Площа листової поверхні посівів кукурудзи гібридів ЕС Астероїд та ЕС Конкорд залежно від удобрення, тис. м²/га

Гібрид (фактор А)	Удобреньня (фактор В)	Фенологічна фаза		
		7–8 листків (ВВСН 18-19)	викидання волоті (ВВСН 51-59)	молочно- воскова стиглість (ВВСН 73-75)
ЕС Астероїд (ФАО 290)	без добрив (контроль)	8,9	29,7	24,9
	Фон – Діаміфоска (N ₂₂ P ₅₇ K ₅₇)	9,6	32,6	27,7
	Фон + Аміачна вода	10,9	37,5	32,0
	Фон + КАС 32	11,8	45,6	37,5
	Фон + Карбамід	11,1	43,3	33,4
НІР _{0,5}		1,07	3,11	1,79
НІР _{0,5} по фактору А		0,48	1,39	0,80
НІР _{0,5} по фактору В		0,75	2,20	1,26
ЕС Конкорд (ФАО 250)	без добрив (контроль)	9,4	30,9	26,4
	Фон Діаміфоска (N ₂₂ P ₅₇ K ₅₇)	10,9	34,7	29,2
	Фон + Аміачна вода	11,3	39,8	34,6
	Фон + КАС 32	12,2	46,5	38,7
	Фон + Карбамід	11,6	42,8	35,9
НІР _{0,5}		1,02	2,11	1,63
НІР _{0,5} по фактору А		0,39	1,27	0,76
НІР _{0,5} по фактору В		0,64	2,08	1,16

Вимірювання площі листової поверхні проводили у різні фенологічні фази росту та розвитку рослин кукурудзи: у фазу 7–8 листків (ВВСН 18-19), викидання волоті (ВВСН 51-59) та молочно-воскової стиглості зерна (ВВСН 73-75) на двох досліджуваних гібридах: ЕС Астероїд та ЕС Конкорд. За результатами досліджень, площа листової поверхні посівів кукурудзи гібридів ЕС Астероїд та ЕС Конкорд була найнижчою на варіанті без внесення добрив (контроль), що підтверджує недостатню кількість

елементів живлення для формування ростових процесів рослин кукурудзи. Для гібриду ЕС Астероїд у фазі 7–8 листків показники варіюють від 8,9 до 11,8 тис. м²/га за внесення КАС-32, що свідчить про приріст на 32,6 %. У фазу викидання волоті значення зростають від 29,7 до 45,6 тис. м²/га, а у фазу молочно-воскової стиглості – від 24,9 до 37,5 тис. м²/га. Найефективнішим варіантом удобрення для цього гібриду є поєднання фону (діаміфоска) з КАС-32, що забезпечує максимальні показники площі

листяної поверхні в усіх фенологічних фазах росту та розвитку рослин кукурудзи.

Подібна закономірність характерна і для гібриду ЕС Конкорд, проте його показники дещо перевищують показники гібриду ЕС Астероїд. Так, у фазі 7–8 листків значення змінюються від 9,4 до 12,2 тис. м²/га на контролі та при застосуванні КАС 32 відповідно. У фазі викидання волоті показники становлять відповідно 30,9–46,5 тис. м²/га, а у фазі молочно-воскової стиглості – 26,4–38,7 тис. м²/га. Це свідчить про високу реакцію даного гібриду на інтенсифікацію живлення та його потенційно вищу продуктивність.

Хлорофіл і каротиноїди – найважливіші компоненти фотосинтетичного апарату листя. За хімічним складом хлорофіл є складним ефіром дикарбонової кислоти. Наявність двох варіантів феофітинової групи, які різняться між собою вмістом водню і кисню, зумовлює поділ хлорофілу на групи «a» і «b». Хлорофіл «a» має феофітинову групу з більшим числом атомів водню і меншим кисню, а хлорофіл «b», навпаки, з більшим вмістом кисню і меншим водню. За нормального розвитку листового апарату вміст хлорофілу в ньому варіює від 0,5 до 3,0 мг/г свіжої маси [3, 18].

Із загального вмісту пластидних пігментів значну частину займає хлорофіл «a», який є основним у пігментній системі. Високий вміст хлорофілу «a» у затінених листках забезпечує їх працездатність при

повному освітленні, а також сприяє синтезу більшої кількості органічної речовини. Підвищений вміст хлорофілу «b» в листках, постійно освітлених сонцем, викликає посилене засвоєння радіації в спектрі 450–480 нм, що дозволяє листкам ефективніше використовувати освітленість при їх затіненні або в похмурі дні. Хлорофіл «b» стабілізує пігментну систему, захищаючи її від різких змін освітлення, а також є більш стійким до дії несприятливих факторів навколишнього середовища [5, 14].

Співвідношення хлорофілу «a» і «b» у рослин зростало під впливом збільшення вмісту хлорофілу «a», що свідчить про більш активну участь цього пігменту у формуванні врожаю рослин, тому порівнювати вміст пігментів за варіантами буде недоцільно.

В окремих випадках співвідношення пігментів «a» і «b» зменшувалося за рахунок різкого збільшення частки хлорофілу «b», що підтверджує дані щодо його високої жаростійкості та кращої посухостійкості серед досліджених форм. У дослідженнях багатьох авторів зазначається пряма залежність між кількістю пігментів і життєдіяльністю, продуктивністю та стійкістю рослин до несприятливих умов [13]. У таблиці подано результати впливу різних варіантів удобрення на вміст хлорофілу «a», хлорофілу «b» та їх сумарний вміст у листках рослин кукурудзи двох гібридів: ЕС Астероїд та ЕС Конкорд (табл. 3).

3. Вміст хлорофілу в листках кукурудзи гібридів ЕС Астероїд та ЕС Конкорд залежно від виду азотних добрив (середнє за 2022–2024 рр.), мг/г

Варіант удобрення	Хлорофіл		Сума «a» і «b»	Вміст, мг/г
	«a»	«b»		
1	2	3	4	5
ЕС Астероїд				
Без добрив (контроль)	17,1	2,8	19,9	2,5
Фон – Діаміфоска (N ₂₂ P ₅₇ K ₅₇)	18,4	3,2	21,6	2,7
Фон + Аміачна вода	20,8	3,2	24,0	3,0
Фон + КАС 32	22,3	3,6	25,9	3,4
Фон + Карбамід	21,8	3,6	25,4	3,0

1	2	3	4	5
ЕС Конкорд				
Без добрив (контроль)	15,8	2,8	18,7	2,3
Фон – Діамофоска (N ₂₂ P ₅₇ K ₅₇)	18,7	3,0	21,7	2,7
Фон + Ам'ячна вода	21,5	3,1	24,6	3,1
Фон + КАС 32	32,5	3,2	35,7	4,5
Фон + Карбамід	22,5	2,9	25,4	3,2
НІР _{0,5}	12,76	0,77	12,48	1,40
НІР _{0,5} по фактору А	5,71	0,34	5,58	0,63
НІР _{0,5} по фактору В	9,03	0,55	8,82	0,99

Виходячи з результатів досліджень, було встановлено, що внесення мінеральних добрив сприяє зростанню вмісту хлорофілів у листках кукурудзи порівняно з контрольним варіантом без удобрення. У гібриду ЕС Астероїд на контрольному варіанті вміст хлорофілу «а» становить 17,1 мг/г, хлорофілу «b» – 2,8 мг/г, а в сумі «а» і «b» – 19,9 мг/г. Внесення діамофоски N₂₂P₅₇K₅₇ (фон) забезпечує підвищення цих показників відповідно до 18,4; 3,2 та 21,6 мг/г.

За удобрення посівів кукурудзи азотними добривами значно посилюється накопичення хлорофілу в листках. При використанні ам'ячної води вміст хлорофілу «а» зростає до 20,8 мг/г, а сума пігментів – до 24,0 мг/г. Найвищі значення для даного гібриду зафіксовано при застосуванні КАС-32: для хлорофілу «а» – 22,3 мг/г, хлорофілу «b» – 3,6 мг/г, а сума «а» і «b» становить 25,9 мг/г. Варіант із застосуванням карбаміду також показує високі результати (21,8; 3,6 та 25,4 мг/г відповідно), але дещо поступається варіанту з унесенням КАС-32.

Подібна закономірність спостерігається і для гібриду ЕС Конкорд, проте в окремих варіантах удобрення його реакція є більш вираженою. На контролі вміст хлорофілу «а» становить 15,8 мг/г, хлорофілу «b» – 2,8 мг/г, а сума пігментів – 18,7 мг/г, що є нижчим показником порівняно з гібридом ЕС Астероїд. Внесення діамофоски N₂₂P₅₇K₅₇ підвищує показники вмісту хлорофілу до 18,7; 3,0 та 21,7 мг/г відповідно. При застосуванні ам'ячної води спостерігається подальше зростання до 21,5 мг/г хлорофілу «а»,

3,1 мг/г хлорофілу «b» та 24,6 мг/г сумарно. Особливо суттєве підвищення зафіксовано у варіанті з КАС-32, де вміст хлорофілу «а» досягає 32,5 мг/г, хлорофілу «b» – 3,2 мг/г, сумарний вміст – 35,7 мг/г, що значно перевищує всі інші варіанти. Це свідчить про високу чутливість даного гібриду до інтенсивного азотного живлення. Варіант із карбамідом також забезпечує високий рівень пігментів (22,5; 2,9 та 25,4 мг/г), проте поступається КАС-32. Таким чином, результати досліджень підтверджують, що гібрид ЕС Конкорд у більшості варіантів удобрення формує вищий рівень фотосинтетичних пігментів, особливо за інтенсивного азотного живлення.

Висновки. В умовах Лівобережного Лісостепу на легкосуглинкових темно-сірих опідзолених ґрунтах посіви кукурудзи спроможні формувати високу площу листової поверхні та накопичувати високий вміст хлорофілів «а» і «b». Встановлено, що внесення азотних добрив забезпечує формування найбільшої площі листової поверхні. Максимальну площу листової поверхні отримано на варіанті «Діамофоска N₂₂P₅₇K₅₇ + КАС 32» у фазу викидання волоті (ВВСН 51-59): вона становила у гібриду ЕС Астероїд – 45,6 тис. м²/га, а у гібриду ЕС Конкорд – 46,5 тис. м²/га. Зростання цього показника становило, відповідно, 50,4 та 53,5 % порівняно з контрольним варіантом без добрив.

Застосування мінеральних добрив, особливо у поєднанні з азотним підживленням КАС 32, значно підвищує вміст хлорофілів «а» і «b» у листках кукурудзи. Найвищі значення вмісту

хлорофілу «а» і «b» (для гібриду ЕС Астероїд – 25,9 мг/г, для гібриду ЕС Конкорд – 35,7 мг/г) отримано при

застосуванні Діамофоски $N_{22}P_{57}K_{57}$ + КАС 32.

Список використаної літератури

1. Адаптивність польових культур за змінних умов вирощування / С. М. Каленська та ін. *Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. Київ, 2017. Вип. 25. С. 48–57.

2. Асанішвілі Н. М. Формування та функціонування фотосинтетичного апарату рослин кукурудзи за впливу елементів технології вирощування в Лісостепу. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2020. № 4 (86). 11 с. <https://scireports.com.ua/web/uploads/pdf/Vol.%2086,%20No.%204,%202020-127-137.pdf>.

3. Вміст пігментів і чиста продуктивність фотосинтезу кукурудзи за використання регуляторів росту рослин / А. В. Заболотна та ін. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2021. Вип. 46 (4). С. 9–15. <https://snaubulletin.com.ua/index.php/ab/article/view/574/518>.

4. Говенько Р. В., Каленська С. М., Антал Т. В. Застосування різних видів рідких азотних добрив на посівах кукурудзи в умовах ФГ «Богатирівське». *Органічне агропродукування: освіта і наука* : матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Київ, 31 жовтня 2019 р.). Київ, 2019. С. 6–9. https://nmc-vfpo.gov.ua/wp-content/uploads/2019/12/tezy-malynka-31_10_-2019-dopovnenno-165.pdf.

5. Говенько Р. В. Продуктивність кукурудзи залежно від удобрення в умовах лівобережного Лісостепу України : дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук, за спец. : 201 «Агрономія» 20 «Аграрні науки та продовольство». Київ, 2023. 193 с.

6. Дослідна справа в агрономії : навч. посібник : у 2 кн. Кн. 1. Теоретичні аспекти дослідної справи / А. О. Рожков та ін. ; за ред. А. О. Рожкова. Харків : Майдан, 2016. 316 с. <https://repo.btu.kharkiv.ua/server/api/core/bitstreams/b65f5cc6-4d10-4134-a65f-16c7b4020bda/content>.

7. Ефективність позакореневого підживлення кукурудзи мікроелементними препаратами сумісно з азотним мінеральним добривом / В. С. Циков та ін. *Бюлетень ІЗГ степової зони НААН України*. 2016. № 11. С. 23–27. <https://institut-zerna.com/library/pdf11/6.pdf>.

8. Каленська С. М., Гордіна О. Ю. Асиміляційна поверхня пшениці озимої залежно від передпосівної обробки насіння біологічними препаратами. *Новітні агротехнології*. 2023. Т. 11, № 2. 12 с. <https://doi.org/10.47414/na.11.2.2023.285330>.

9. Каленська С. М., Таран В. Г., Данилів П. О. Розвиток кореневої системи кукурудзи на ранніх етапах розвитку. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. Агрономія*. 2017. Вип. 269. С. 10–17.

References

1. Adaptability of field crops under changing growing conditions / S. M. Kalenska et al. *Naukovi pratsi instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovyykh buriakiv*. Kyiv, 2017. Issue 25. P. 48–57.

2. Asanishvili N. M. Formation and functioning of the photosynthetic apparatus of corn plants under the influence of elements of cultivation technology in the Forest-Steppe. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy*. 2020. No. 4. 11 p. <https://scireports.com.ua/web/uploads/pdf/Vol.%2086,%20No.%204,%202020-127-137.pdf>.

3. Pigment content and net photosynthetic productivity of corn with the use of plant growth regulators / A. V. Zabolotna et al. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu*. 2021. Issue 46 (4). P. 9–15. <https://snaubulletin.com.ua/index.php/ab/article/view/574/518>.

4. Hovenko R. V., Kalenska S. M., Antal T. V. Application of different types of liquid nitrogen fertilizers on corn crops in the conditions of the Bogatyriyske Farm. *Orhanichne ahrovyrobnytstvo: osvita i nauka* : materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii (m. Kyiv, 31 zhovtnia 2019 r.). Kyiv, 2019. P. 6–9. https://nmc-vfpo.gov.ua/wp-content/uploads/2019/12/tezy-malynka-31_10_-2019-dopovnenno-165.pdf.

5. Hovenko R. V. Corn productivity depending on fertilization in the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine: dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. s.-h. nauk, za spets. : 201 «Ahronomiia» 20 «Ahrarni nauky ta prodovolstvo». Kyiv, 2023. 193 p.

6. Experimental Work in Agronomy: Study Guide: in 2 Books. Book 1. Theoretical Aspects of Experimental Work / A. O. Rozhkov et al. Kharkiv : Maidan, 2016. 316 p.

7. The effectiveness of foliar feeding of corn with microelement preparations in combination with nitrogen mineral fertilizer / V. S. Tsykov et al. *Biuletyn IZGh stepovoi zony NAAN Ukrainy*. 2016. No. 11. P. 23–27. <https://institut-zerna.com/library/pdf11/6.pdf>.

8. Kalenska S. M., Hordyna O. Yu. Assimilation surface of winter wheat depending on pre-sowing seed treatment with biological preparations. *Novitni ahrotekhnolohii*. 2023. Vol. 11, no. 2. 12 p. <https://doi.org/10.47414/na.11.2.2023.285330>.

9. Kalenska S. M., Taran V. H., Danyliv P. O. Development of the corn root system in the early stages of development. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Ser. Ahronomiia*. 2017. Issue 269. P. 10–17.

10. Kaminskyi V. F., Asanishvili N. M. Features of the growth and development of corn plants in crops and

10. Камінський В. Ф., Асанішвілі Н. М. Особливості росту і розвитку рослин кукурудзи в посівах та їх фотосинтетична діяльність залежно від технології вирощування в умовах Лісостепу. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2020. Вип. 67 (II). С. 92–112. [https://doi.org/10.32636/01308521.2020-\(67\)-2-6](https://doi.org/10.32636/01308521.2020-(67)-2-6).
11. Лихочвор В. В., Шинкарук Л. М. Фотосинтетичні показники рослин кукурудзи залежно від елементів удобрення. *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти* : зб. тез IV Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, квітень 2021 р.). Київ : Науковометодичний центр ВФПО, 2021. С. 95–97.
12. Мазур В. А., Шевченко Н. В. Формування площі листової поверхні рослин гібридів кукурудзи залежно від технологічних прийомів вирощування. *Біоресурси і природокористування*. 2018. Т. 10. № 1–2. С. 108–114. <https://doi.org/10.31548/bio2018.01.014>.
13. Максін В. І. Мікродобрива в рослинництві. *Агроном*. Травень, 2023. № 2 (80). С. 9–12. URL: <https://www.agronom.com.ua/mikrodbryva-vroslynnytstvi-vchora-sogodni-zavtrat> (дата звернення: 11.10.2024).
14. Мамчур О. В. Фізіолого-біохімічні особливості формування продуктивності кукурудзи за впливу регуляторів росту рослин. *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького*. 2013. Т. 15, № 1, ч. 2. С. 152–160. URL: https://nbuv.gov.ua/UJRN/nvlnu_2013_15_1%282%29_27.
15. Мокрієнко В. А., Приндюк Я. А. Формування та продуктивність асиміляційного апарату рослин кукурудзи залежно від норми висіву та удобрення. *Новітні агротехнології*. 2024. Т. 12, № 1. 8 с. <https://doi.org/10.47414/na.12.1.2024.297343>.
16. Паламарчук В. Д. Вплив позакореневих підживлень на вміст хлорофілу у гібридів кукурудзи різних груп стиглості. *Сільське господарство та лісівництво*. 2019. № 3 (14). С. 43–53.
17. Паламарчук В. Д., Соломон А. М. Дослідження формування площі асиміляційної поверхні у кукурудзи залежно від позакореневих підживлень. *Корми і кормовиробництво*. 2021. Вип. 92. С. 82–94. [file:///C:/Users/User_405/Downloads/ojsfriadmin,%D0%9A%D0%9E%D0%A0%D0%9C%D0%98-92_82-94%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/User_405/Downloads/ojsfriadmin,%D0%9A%D0%9E%D0%A0%D0%9C%D0%98-92_82-94%20(2).pdf).
18. Петриченко В. Ф., Томашук О. В. Особливості формування показників якості зерна кукурудзи за різних технологій вирощування в умовах Лісостепу Правобережного. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2019. Т. 10, № 2. 9 с. <https://doi.org/10.31548/agr2019.02.029>.
19. Практикум з фізіології рослин : навчальний посібник / М. І. Федорчук та ін. Миколаїв : МНАУ, 2020. 200 с.
20. Степаненко М. В. Формування площі листової поверхні кукурудзи залежно their photosynthetic activity depending on the cultivation technology in the Forest-Steppe conditions. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnystvo*. 2020. Issue 67 (II). P. 92–112. [https://doi.org/10.32636/01308521.2020-\(67\)-2-6](https://doi.org/10.32636/01308521.2020-(67)-2-6).
11. Lykhochvor V. V., Shynkaruk L. M. Photosynthetic parameters of corn plants depending on fertilizer elements. *Klimatychni zminy ta silske hospodarstvo. Vyklyky dlia ahrarnoi nauky ta osvity* : zb. tez IV Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii (m. Kyiv, kviten 2021 r.). Kyiv : Naukovometodychnyi tsentr VFPO, 2021. P. 95–97.
12. Mazur V. A., Shevchenko N. V. Formation of leaf surface area of corn hybrid plants depending on technological cultivation methods. *Bioresursy i pryrodokorystuvannia*. 2018. Vol. 10. No. 1–2. P. 108–114. <https://doi.org/10.31548/bio2018.01.014>.
13. Maksin V. I. Microfertilizers in crop production. *Ahronom*. Traven, 2023. No. 2 (80). P. 9–12. URL: <https://www.agronom.com.ua/mikrodbryva-vroslynnytstvi-vchora-sogodni-zavtrat> (last accessed: 11.10.2024).
14. Mamchur O. V. Physiological and biochemical features of the formation of corn productivity under the influence of plant growth regulators. *Naukovyi visnyk LNUVMBT imeni S. Z. Gzhyskoho*. 2013. Vol. 15, no. 1, ch. 2. P. 152–160. URL: https://nbuv.gov.ua/UJRN/nvlnu_2013_15_1%282%29_27.
15. Mokriienko V. A., Pryndiuk Ya. A. Formation and productivity of the assimilation apparatus of corn plants depending on the seeding rate and fertilization. *Novitni ahrotekhnolohii*. 2024. Vol. 12, no. 1. 8 p. <https://doi.org/10.47414/na.12.1.2024.297343>.
16. Palamarchuk V. D. The effect of foliar fertilization on the chlorophyll content of corn hybrids of different maturity groups. *Silke hospodarstvo ta lisivnytstvo*. 2019. No. 3 (14). P. 43–53.
17. Palamarchuk V. D., Solomon A. M. Research on the formation of the assimilation surface area in corn depending on foliar fertilization. *Kormy i kormovyrobnytstvo*. 2021. Issue 92. P. 82–94. [file:///C:/Users/User_405/Downloads/ojsfriadmin,%D0%9A%D0%9E%D0%A0%D0%9C%D0%98-92_82-94%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/User_405/Downloads/ojsfriadmin,%D0%9A%D0%9E%D0%A0%D0%9C%D0%98-92_82-94%20(2).pdf).
18. Petrychenko V. F., Tomashuk O. V. Peculiarities of the formation of corn grain quality indicators under different growing technologies in the conditions of the Right Bank Forest-Steppe. *Roslynnytstvo ta gruntoznavstvo*. 2019. Vol. 10, no. 2. 9 p. <https://doi.org/10.31548/agr2019.02.029>.
19. Plant Physiology Workshop : Study Guide / M. I. Fedorchuk et al. Mykolaiv : MNAU, 2020. 200 p.
20. Stepanenko M. V. Formation of corn leaf surface area depending on the fertilization system. *Zernovi kultury*. 2023. Vol. 7, no. 2. P. 300–306. https://www.researchgate.net/publication/402598198_FORMUVANNA_PLOSI_LISTKOVOI_POVERHNI

від системи удобрення. *Зернові культури*. 2023. Т. 7, № 2. С. 300–306. https://www.researchgate.net/publication/402598198_FORMUVANNA_PLOSI_LISTKOVOI_POVERHNI_KUKURUDZI_ZALEZNO_VID_SISTEMI_UDOBRENNYA.

21. Циліурік О. І., Тищенко В. О. Вплив густоти стояння рослин та рівня мінерального живлення на уміст хлорофілу в листках кукурудзи. *Аграрні інновації*. 2024. № 27. С. 133–139.

22. Efficiency of corn hybrids growing technologies depending on the kinds of fertilizer application / T. Antal et al. *Book of proceedings. XIII International Scientific Agriculture Symposium “AGROSYM 2022”* Jahorina, Bosnia and Herzegovina, October 06–09, 2022. P. 276–282. URL: https://agrosym.ues.rs.ba/article/showpdf/BOOK_OF_PROCEEDINGS_2022.pdf (дата звернення: 23.04.2026).

23. Grain: World Markets and Trade. United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service. May 2026. 52 p. URL: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf> (дата звернення: 03.05.2026).

24. Hajibabae M., Azizi F., Zargari K. Effect of Drought Stress on Some Morphological, Physiological and Agronomic Traits in Various Foliage Corn Hybrids. *Am-Euras. J. Agric. & Environ Sci.* 2012. Vol. 12 (7). P. 890–896. https://www.researchgate.net/publication/266033134_Effect_of_Drought_Stress_on_Green_Fodder_Yield_and_Agronomic_Traits_of_Different_Corn_Hybrids.

KUKURUDZI ZALEZNO VID SISTEMI UDORENNA.

21. Tsyliryk O. I., Tyshchenko V. O. The effect of plant density and mineral nutrition level on chlorophyll content in corn leaves. *Ahrarni innovatsii*. 2024. No. 27. P. 133–139.

22. Efficiency of corn hybrids growing technologies depending on the kinds of fertilizer application / T. Antal et al. *Book of proceedings. XIII International Scientific Agriculture Symposium “AGROSYM 2022”* Jahorina, Bosnia and Herzegovina, October 06–09, 2022. P. 276–282. URL: https://agrosym.ues.rs.ba/article/showpdf/BOOK_OF_PROCEEDINGS_2022.pdf (дата звернення: 23.04.2026).

23. Grain: World Markets and Trade. United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service. May 2026. 52 p. URL: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf> (дата звернення: 03.05.2026).

24. Hajibabae M., Azizi F., Zargari K. Effect of Drought Stress on Some Morphological, Physiological and Agronomic Traits in Various Foliage Corn Hybrids. *Am-Euras. J. Agric. & Environ Sci.* 2012. Vol. 12 (7). P. 890–896. https://www.researchgate.net/publication/266033134_Effect_of_Drought_Stress_on_Green_Fodder_Yield_and_Agronomic_Traits_of_Different_Corn_Hybrids.

DOI: 10.32636/01308521.2026-(80)-1-7

Оригінальна наукова стаття

УДК 633.854.78:631.8:631.559

**ВПЛИВ СИСТЕМИ УДОБРЕННЯ
НА ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ ГІБРИДІВ СОНЯШНИКУ
В УМОВАХ ЗАХІДНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ****У. М. Карбівська, Р. О. Турак**

Карпатський національний
університет імені Василя Стефаника
вул. Шевченка 57,
м. Івано-Франківськ,
76018

Про авторів:

Уляна КАРБІВСЬКА,
доктор сільськогосподарських наук
ORCID: 0000-0002-0540-8887

Роман ТУРАК,
здобувач РВО «Доктор філософії»
ORCID: 0009-0005-6959-6310

Для листування:

Уляна КАРБІВСЬКА
e-mail: uliana.karbivska@pnu.edu.ua

Інформація про фінансування:

Карпатський національний
університет імені Василя Стефаника

Отримано:
3 серпня 2026 р.
Погоджено до друку:
27 серпня 2026 р.
Опубліковано:
30 вересня 2026 р.

Соняшник є однією з провідних олійних культур України, рівень продуктивності якої значною мірою визначається оптимізацією елементів технології вирощування. Проаналізовано результати трирічних польових досліджень (2023–2025 рр.) щодо оцінки впливу різних систем удобрення на продуктивність сучасних гібридів соняшнику РТЖ Волльф, Бельведер, НК Конді та Арізона в умовах Західного регіону України. Польові дослідження проводили на чорноземі опідзоленому із застосуванням загальноприйнятих методик польового експерименту та статистичної обробки результатів. Установлено, що рівень урожайності істотно залежав як від генетичних особливостей гібридів, так і від системи удобрення та погодних умов року. Найнижчу продуктивність у всі роки досліджень забезпечував контроль, де середня врожайність становила 1,68–2,12 т/га. Застосування мінерального удобрення $N_{50}P_{40}K_{50}$ сприяло підвищенню врожайності до 2,56–3,76 т/га, а поєднання його з біопрепаратом або побічною продукцією попередника (П.П.) забезпечувало подальше зростання показників продуктивності. Встановлено, що система удобрення суттєво підвищувала урожайність соняшнику незалежно від групи стиглості гібридів, а найвищу продуктивність забезпечувало комплексне застосування $N_{50}P_{40}K_{50}$, біопрепарату та побічної продукції попередника. Серед досліджуваних гібридів найвищу середню урожайність сформував середньоранній РТЖ Волльф – 3,76 т/га, тоді як середньоранній Бельведер – 3,73 т/га, середньостиглі НК Конді – 3,40 т/га та Арізона – 2,56 т/га. Максимальний приріст урожайності порівняно з контролем досягав 1,7 т/га. Отримані результати підтверджують доцільність комплексного застосування мінеральних добрив, біопрепарату та побічної продукції попередника для підвищення продуктивності соняшнику в ґрунтово-кліматичних умовах Західного регіону України та можуть бути використані при удосконаленні технології вирощування культури.

Ключові слова: мінеральні добрива, біопрепарат, позакореневе підживлення, продуктивність, агрокліматичні умови.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

Effect of the Fertilization System on Sunflower Hybrid Yield Formation in the Western Region of Ukraine

Vasyl Stefanyk Carpathian National University,
57 Shevchenko Street,
Ivano-Frankivsk, 76018

About authors:

Uliana KARBIVSKA
ORCID: 0000-0002-0540-8887

Roman TURAK
ORCID: 0009-0005-6959-6310

For corresponding:
Uliana KARBIVSKA
e-mail: uliana.karbivska@pnu.edu.ua

Funding information:
Vasyl Stefanyk Carpathian National University

Received:
August 3, 2026
Accepted:
August 27, 2026
Published:
September 30, 2026

Sunflower is one of the leading oilseed crops in Ukraine, with its productivity largely determined by the optimization of crop production technology. The results of three-year field studies (2023–2025) assessing the effects of different fertilization systems on the productivity of modern sunflower hybrids RTZH Vollf, Belveder, NK Kondi, and Arizona in the conditions of the Western region of Ukraine were analyzed. The field experiments were conducted on podzolic chernozem using generally accepted methods of field experimentation and statistical analysis of the obtained data. It was established that yield levels significantly depended on the genetic characteristics of the hybrids, the fertilization system, and weather conditions during the growing season. The lowest productivity throughout the study period was recorded in the control treatment without fertilizers, where the average yield ranged from 1.68 to 2.12 t/ha. The application of mineral fertilizers at a rate of $N_{50}P_{40}K_{50}$ increased yield to 2.56–2.76 t/ha, while their combination with a biological preparation or by-products of the preceding crop resulted in a further increase in productivity. It was established that the fertilization system substantially increased sunflower yield regardless of the maturity group of the hybrids, while the highest productivity was achieved through the combined application of $N_{50}P_{40}K_{50}$, a biological preparation, and by-products of the preceding crop. Among the studied hybrids, the highest average yield was recorded for the mid-early hybrid RTZH Vollf, at 3.76 t/ha, followed by Belvedere at 3.73 t/ha, and the medium-maturity hybrids NK Kondi and Arizona, at 3.40 t/ha and 2.56 t/ha, respectively. The maximum yield increase compared with the control reached 1.7 t/ha. The obtained results confirm the feasibility of the integrated application of mineral fertilizers, a biological preparation, and by-products of the preceding crop to increase sunflower productivity in the soil and climatic conditions of the Western region of Ukraine and may be used to improve sunflower cultivation technology.

Keywords: mineral fertilizers, biological preparation, foliar feeding, productivity, agroclimatic conditions.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Вступ. Соняшник (*Helianthus annuus* L.) є однією з провідних олійних культур України та займає вагоме місце у структурі посівних площ. Його господарське значення зумовлене високим попитом на насіння та соняшникову олію на внутрішньому і світовому ринках, сприятливими ґрунтово-кліматичними умовами вирощування, а також високою економічною ефективністю виробництва [1, 15, 19]. Саме поєднання цих чинників сприяло суттєвому розширенню посівних площ культури в Україні протягом останніх десятиліть [8].

Водночас збільшення посівних площ не завжди супроводжується відповідним зростанням урожайності. Її рівень значною мірою залежить від дотримання технологічних вимог, ґрунтово-кліматичних умов, рівня мінерального живлення та біологічних особливостей гібридів. Порушення агротехнічних вимог, незбалансоване застосування добрив та несприятливі погодні умови можуть обмежувати реалізацію продуктивного потенціалу культури [18, 20]. За даними літературних джерел, урожайність насіння соняшнику в Україні переважно становить 1,5–3,0 т/га, тоді як використання

високопродуктивних гібридів та оптимізація технології вирощування з урахуванням конкретних ґрунтово-кліматичних умов дають змогу підвищити цей показник до 2,9–3,5 т/га [22].

Важливим резервом підвищення продуктивності соняшнику є використання сучасних високопродуктивних гібридів, адаптованих до конкретних умов вирощування. Їх характеризує високий генетичний потенціал урожайності, стійкість до основних хвороб та здатність ефективно використовувати доступні ресурси середовища. Проте повнота реалізації потенціалу гібрида значною мірою визначається умовами живлення та відповідністю технології його біологічним особливостям [11, 12]. Застосування мікроелементних добрив і регуляторів росту сприяє оптимізації фізіолого-біохімічних процесів, покращенню росту й розвитку рослин та формуванню високої продуктивності [6, 14].

Важливим компонентом технології вирощування є система удобрення, ефективність якої визначається рівнем родючості ґрунту, його агрохімічними властивостями, погодними умовами, запланованою врожайністю та потребами конкретного гібрида. Тривале застосування органічних і мінеральних добрив у сівозміні сприяє підтриманню та відтворенню родючості ґрунту. Зокрема, систематичне внесення органічних добрив у поєднанні з мінеральними сприяє підвищенню вмісту гумусу та загального азоту порівняно з неудобреними варіантами [7].

Мінеральне живлення безпосередньо впливає на інтенсивність росту і розвитку рослин, перебіг обмінних процесів, формування генеративних органів, урожайність та якість насіння. Ефективність використання поживних речовин залежить від їх доступності в ґрунті, співвідношення між окремими елементами та здатності кореневої системи забезпечувати потреби рослин. Із підвищенням продуктивності сучасних гібридів зростає їхня потреба в макро- та

мікроелементах, що потребує відповідного коригування системи живлення [10, 13].

Соняшник характеризується значною потребою в основних елементах мінерального живлення, особливо в азоті, фосфорі та калії. За даними літератури, для формування 1 ц насіння рослини засвоюють у середньому 5–7 кг азоту, 2,5–2,8 кг фосфору та 12–16 кг калію. За врожайності близько 2,1 т/га загальний винос із ґрунту становить приблизно 120 кг азоту, 45 кг фосфору та 235 кг калію [4]. Наведені показники свідчать про значну потребу культури в елементах живлення та необхідність їх збалансованого надходження протягом вегетації.

Поглинання поживних елементів соняшником відбувається нерівномірно залежно від фази росту і розвитку. Азот засвоюється протягом усього вегетаційного періоду, однак найбільша інтенсивність його поглинання спостерігається від фази трьох-чотирьох пар листків до початку цвітіння, коли рослини використовують до 70–80 % загальної потреби. Його дефіцит у цей період обмежує формування листового апарату, кошика та потенційної врожайності, тоді як надлишок може спричинити надмірний розвиток вегетативної маси та негативно впливати на олійність насіння [2, 3, 17].

Фосфор відіграє особливо важливу роль на ранніх етапах онтогенезу, забезпечуючи формування кореневої системи, листового апарату та стебла. Після початку формування кошика інтенсивність його засвоєння поступово знижується. Калій поглинається рослинами протягом значної частини вегетаційного періоду, а його достатня кількість сприяє регуляції водного режиму, підвищенню стійкості рослин до несприятливих умов середовища та ефективному формуванню врожаю [2, 3, 5, 17]. Отже, результати аналізу літературних джерел свідчать, що формування продуктивності соняшнику є результатом взаємодії генотипових особливостей гібридів, рівня мінерального живлення та умов середовища. Особливого значення набуває адаптація системи

удобрення до ґрунтово-кліматичних умов регіону та біологічних особливостей сучасних гібридів. Водночас реакція гібридів різних груп стиглості на поєднання мінеральних добрив, біологічних препаратів і побічної продукції попередника в умовах Західного регіону України потребує подальшого експериментального вивчення. Саме це визначає актуальність проведення досліджень щодо оптимізації системи живлення соняшнику та оцінки її впливу на продуктивність сучасних гібридів.

Мета досліджень – встановити вплив системи удобрення на формування продуктивності гібридів соняшнику різних груп стиглості в умовах Західного регіону України.

Матеріали і методи. Дослідження проводили протягом 2023–2025 рр. у фермерському господарстві «Поточище», розташованому на території Коломийської

міської територіальної громади Івано-Франківської області.

Експеримент заклали на чорноземі опідзоленому легкосуглинковому. Агрохімічна характеристика орного шару ґрунту перед початком досліджень була такою: вміст гумусу – 3,81 %, лужногідролізованого азоту – 115 мг/кг, рухомих сполук фосфору – 145 мг/кг, обмінного калію – 198 мг/кг, реакція ґрунтового розчину (рН сольовий) – 6,5.

Польовий дослід закладали за двофакторною схемою із застосуванням методу повної випадкової рендомізації. Кожен варіант розміщували у чотирьох повтореннях, що забезпечувало статистичну достовірність результатів. Схема дослід передбачала вивчення двох факторів: фактор А – гібриди соняшнику різних груп стиглості, фактор В – система удобрення. Посів проводили при температурі ґрунту +12 °С. Попередник соняшнику – озима пшениця (табл. 1).

1. Схема дослід

Фактор А – гібриди, група стиглості	Фактор В – добрива
Середньоранні: РТЖ Волльф Бельведер Середньостиглі: НК Конді Арizona	Контроль
	N ₅₀ P ₄₀ K ₅₀
	N ₅₀ P ₄₀ K ₅₀ + біопрепарат
	N ₅₀ P ₄₀ K ₅₀ + П.П.*
	N ₅₀ P ₄₀ K ₅₀ + біопрепарат + П.П.*

Примітка. *П.П. – побічна продукція попередника; біопрепарат – «Фреш Енергія».

На усіх варіантах дослід, включно з контролем, вносили фонове удобрення N₇₀P₄₀K₁₀₀ кг д. р./га, з яких азотні добрива – навесні під час сівби, а фосфорні та калійні – восени під основний обробіток ґрунту. Для удобрення використовували аміачну селітру, подвійний суперфосфат та хлористий калій. Біопрепарат «Фреш Енергія» вносили методом позакореневого (листяного) підживлення у період активної вегетації (у фазу 3–4 пар листків), а також у фазу бутонізації, з нормою витрати 0,5 кг/га. Така постановка експерименту дала змогу оцінити як окремий, так і сумісний вплив досліджуваних факторів на ріст, розвиток і

продуктивність соняшнику. Під час виконання досліджень використовували комплекс загальнонаукових і спеціальних методів, зокрема порівняльно-аналітичний, польовий експериментальний та розрахунково-статистичний. Вирощування соняшнику здійснювали відповідно до загальноприйнятої технології для умов Західного регіону України з дотриманням рекомендованих агротехнічних заходів. Усі елементи технології залишалися незмінними, за винятком факторів, передбачених схемою дослід.

Погодні умови впродовж 2023–2025 рр. відзначалися мінливістю та характеризувалися відхиленнями

температурного режиму й кількості атмосферних опадів від середніх багаторічних значень. Попри коливання температури, розраховані показники гідротермічного коефіцієнта (ГТК) засвідчили достатній рівень вологозабезпечення ґрунту впродовж критичних фаз органогенезу рослин. Сума активних температур ($T > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$), накопичена за вегетаційний період, повністю відповідала біологічним потребам соняшнику, що забезпечило сприятливі гідротермічні умови для інтенсивного формування вегетативної біомаси.

Результати та обговорення. Одним із визначальних чинників формування високої врожайності соняшнику є генетичний потенціал гібридів, який значною мірою реалізується завдяки ефективному засвоєнню елементів мінерального живлення. Інтенсивність поглинання поживних речовин істотно залежить від морфологічних особливостей кореневої системи рослин. За дефіциту ґрунтової вологи соняшник активізує розвиток стрижневого кореня, який проникає у глибші горизонти ґрунту в пошуках води. Водночас ріст і галуження бічних коренів у верхньому шарі ґрунту пригнічуються, що обмежує використання поживних речовин, особливо локалізованих у зоні внесення припосівних добрив [24]. Аналіз результатів досліджень свідчить, що продуктивність гібридів соняшнику значною мірою залежала як від системи удобрення, так і від погодних умов років вирощування. В усі роки досліджень внесення мінеральних добрив у поєднанні з біопрепаратом та П.П. забезпечувало суттєве підвищення врожайності порівняно з контролем, однак величина приросту змінювалася залежно від генотипу гібрида та року вирощування.

Аналіз продуктивності гібрида РТЖ Вольф показав істотні відмінності у його

реакції на застосування добрив. Гібрид характеризувався стабільно високою врожайністю, особливо у 2024 р. У середньому за три роки на контролі (без добрив) було отримано 2,12 т/га, тоді як комплексне застосування $\text{N}_{50}\text{P}_{40}\text{K}_{50}$, біопрепарату та П.П. забезпечувало підвищення врожайності до 3,76 т/га в середньому, з максимальним показником 4,45 т/га (2024 р.) (рис. 1). Високою ефективністю також характеризувалося поєднання мінерального добрива з біопрепаратом ($\text{N}_{50}\text{P}_{40}\text{K}_{50}$ + біопрепарат), де середня врожайність становила 3,42 т/га.

Гібрид Бельведер продемонстрував найвищий потенціал продуктивності серед усіх досліджуваних генотипів. Середня врожайність на контролі за три роки становила 2,03 т/га, тоді як комплексна система удобрення ($\text{N}_{50}\text{P}_{40}\text{K}_{50}$ + біопрепарат + П.П.) забезпечила отримання 3,73 т/га в середньому з піковим значенням 4,36 т/га у 2024 р. (рис. 2). Навіть застосування лише $\text{N}_{50}\text{P}_{40}\text{K}_{50}$ дозволило отримати 3,09 т/га, а додавання біопрепарату підвищило цей показник до 3,48 т/га. Це свідчить про високу генетично зумовлену здатність гібрида ефективно використовувати елементи мінерального живлення.

Гібрид НК Конді характеризувався дещо нижчим рівнем продуктивності порівняно з гібридами РТЖ Вольф і Бельведер, однак також позитивно реагував на всі досліджувані варіанти удобрення. У середньому за роки досліджень врожайність на контролі становила 1,97 т/га, тоді як комплексне застосування добрив забезпечило підвищення показника до 3,40 т/га (рис. 3). Використання лише $\text{N}_{50}\text{P}_{40}\text{K}_{50}$ сприяло формуванню врожайності 2,75 т/га, а поєднання мінерального добрива з біопрепаратом підвищило її врожайність до 3,17 т/га.

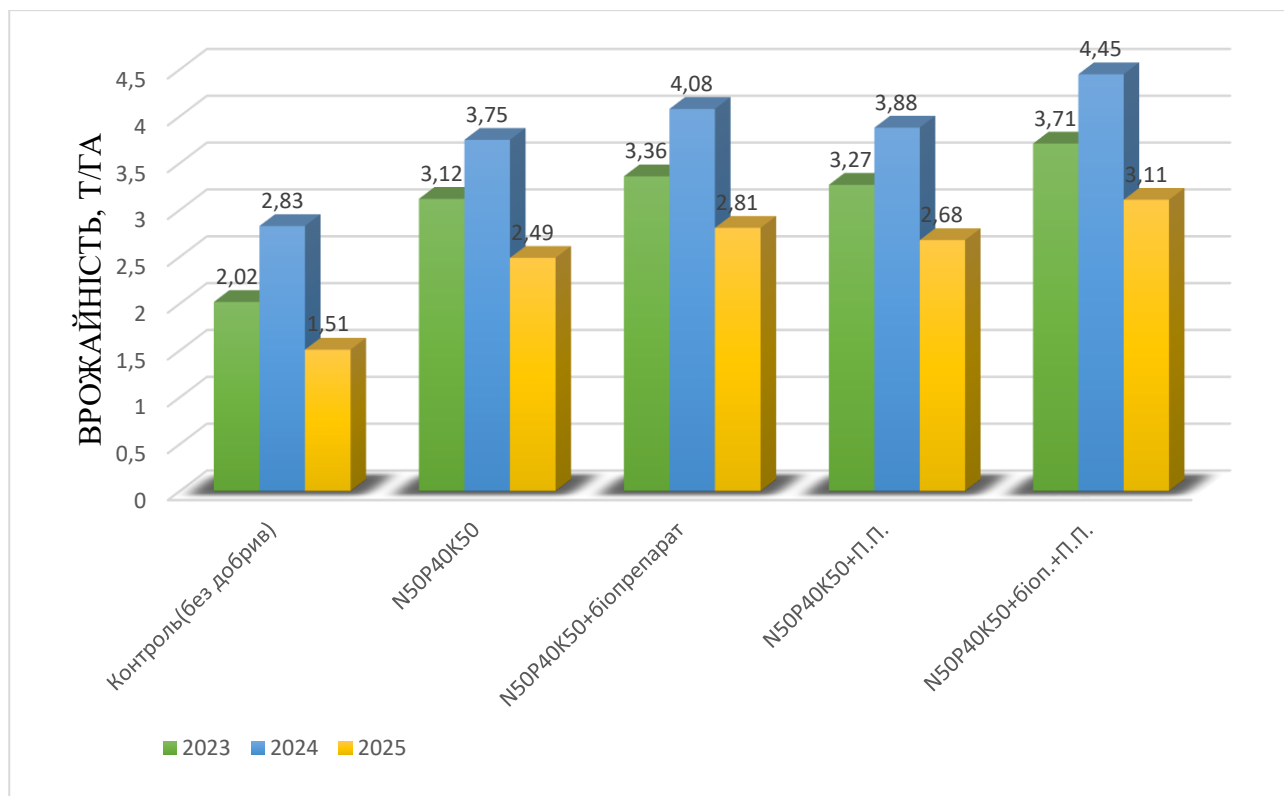


Рис. 1. Вплив удобрення на продуктивність гібрида РТЖ Вольф

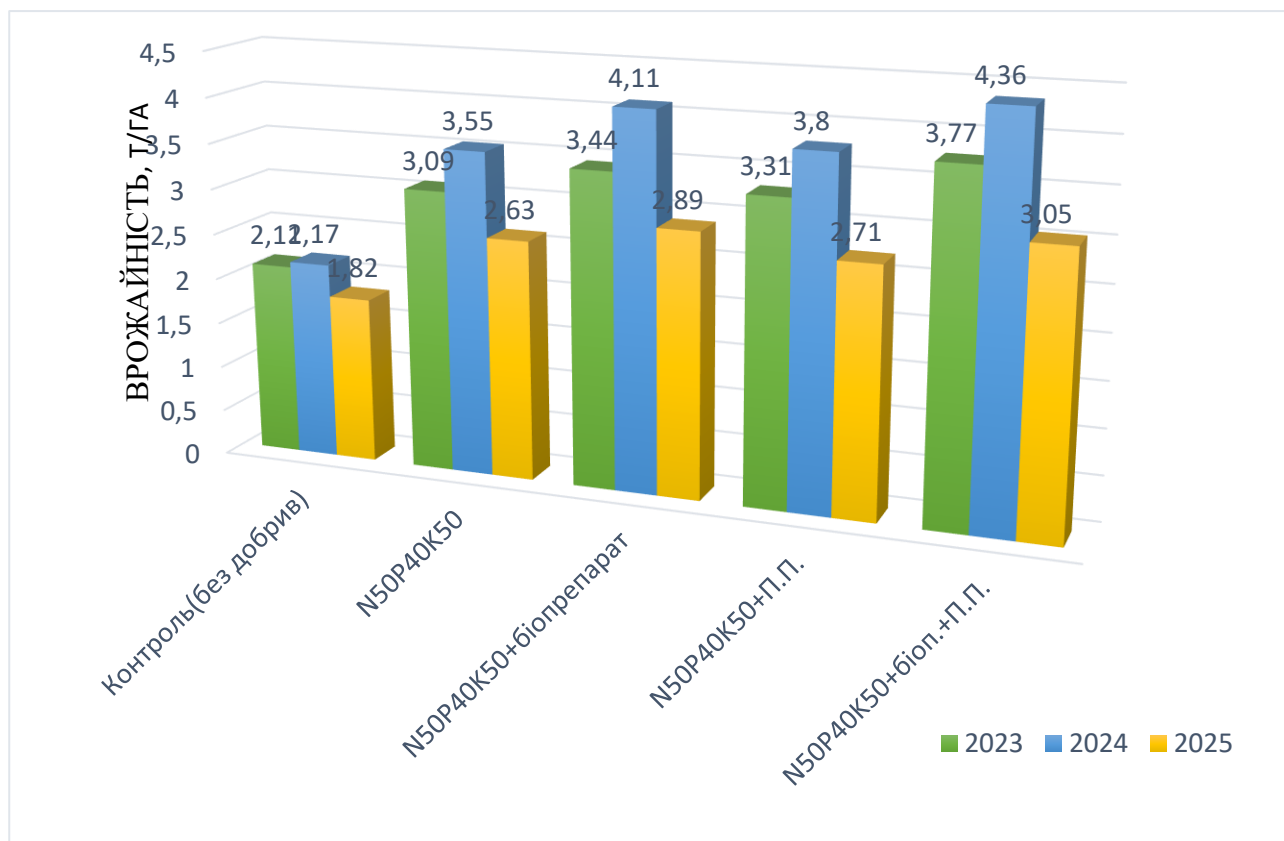


Рис. 2. Врожайність гібрида Бельведер залежно від удобрення

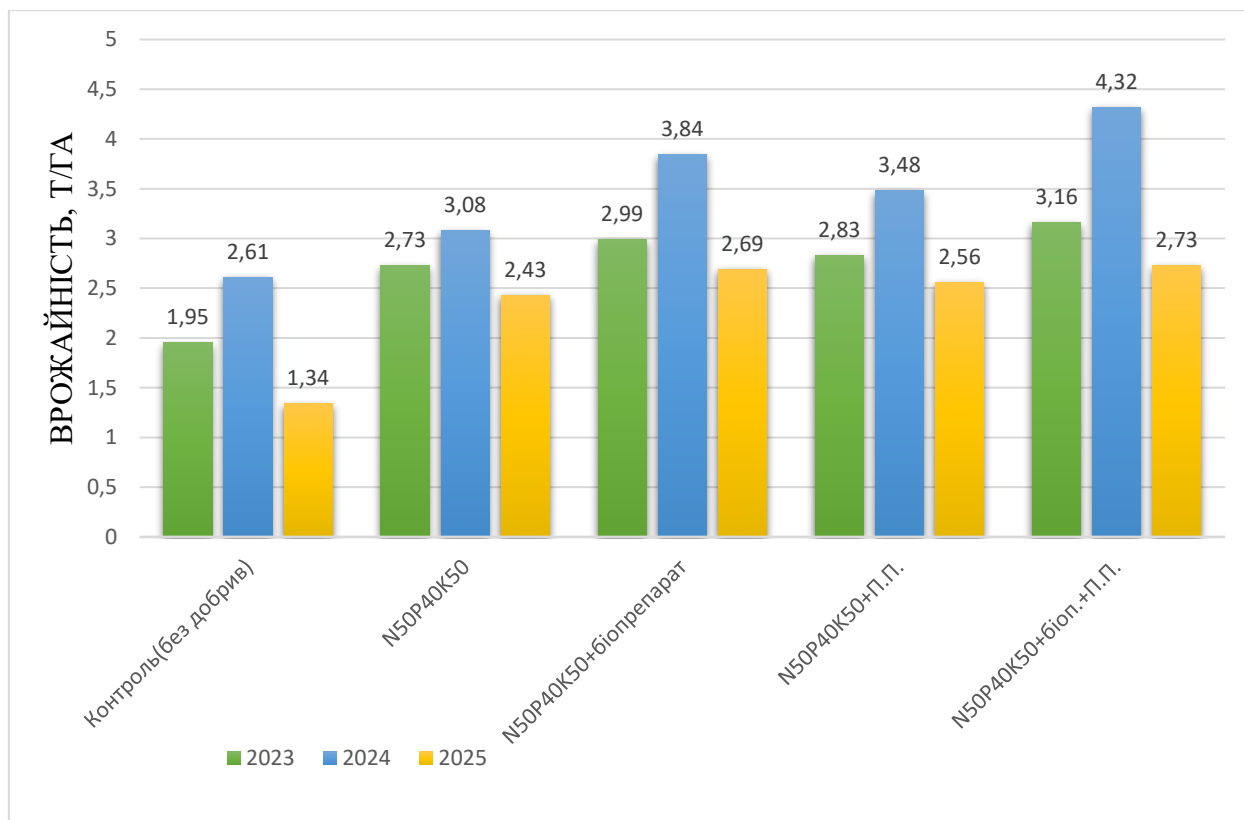


Рис. 3. Продуктивність гібрида НК Конді залежно від удобрення

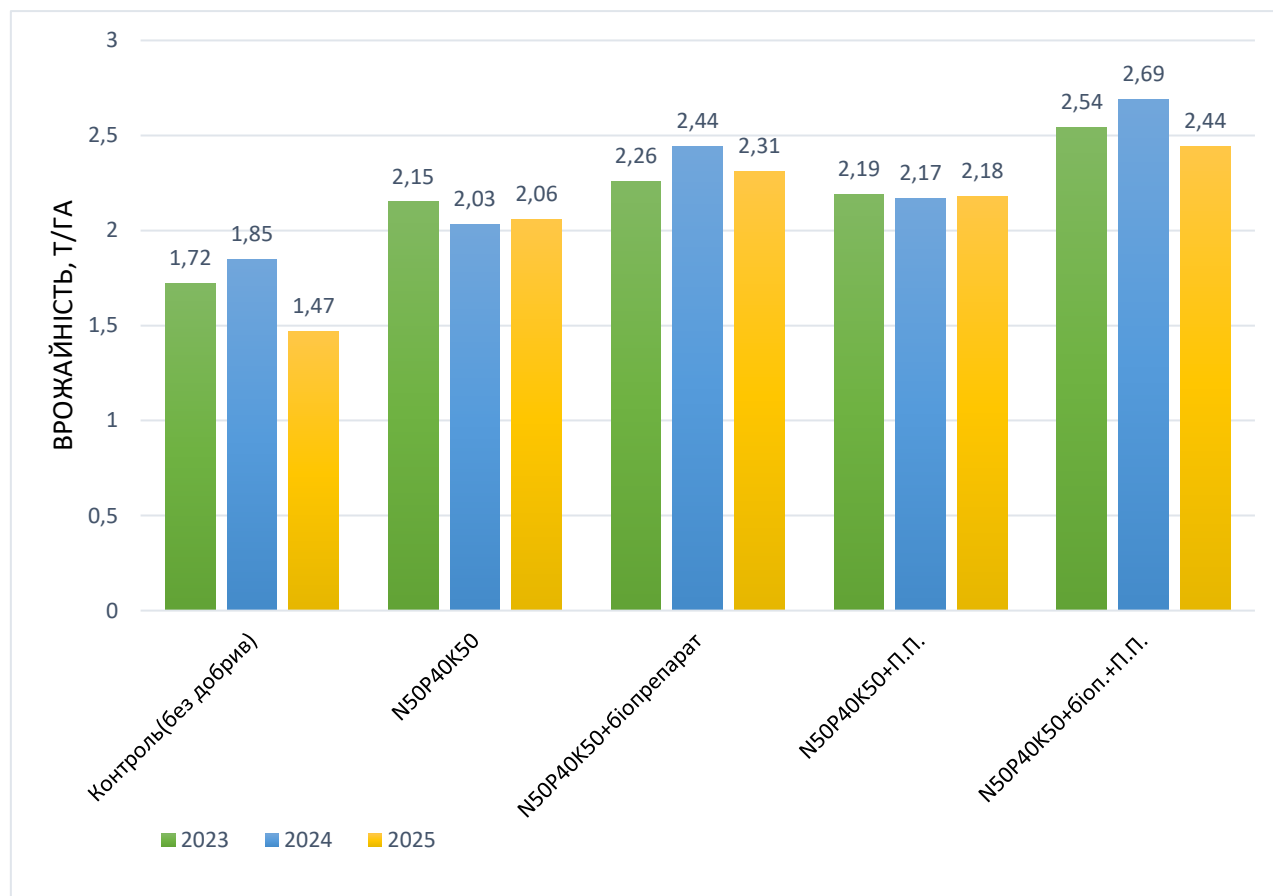


Рис. 4. Вплив удобрення на продуктивність гібрида Арізона

Гібрид Арізона також відзначався чіткою позитивною реакцією на покращення умов мінерального живлення, хоча його загальний потенціал був нижчим, ніж в інших гібридів. На контролі середня врожайність становила лише 1,68 т/га, тоді як застосування $N_{50}P_{40}K_{50}$ забезпечило її підвищення до 2,08 т/га (рис. 4). Найвищу продуктивність отримано за використання комплексної системи удобрення ($N_{50}P_{40}K_{50}$ + біопрепарат + П.П.) – 2,56 т/га в середньому. Разом з тим, за рівнем урожайності цей гібрид поступався гібридам РТЖ Вольф та Бельведеру.

За результатами досліджень В. Болоховського встановлено, що застосування біопрепаратів позитивно впливало на продуктивність соняшнику як за відсутності мінерального удобрення, так і на його фоні [23]. Використання біологічних препаратів забезпечувало підвищення врожайності культури: внесення одного препарату сприяло збільшенню врожаю на 6,9 %, тоді як їх комбіноване застосування – на 10,7 % порівняно з контролем без внесення добрив. За мінерального фону живлення ($N_{60}P_{60}K_{60}$) додатковий приріст урожайності внаслідок використання біопрепаратів становив 0,17–0,21 т/га залежно від рівня удобрення.

Результати досліджень продуктивності гібридів соняшнику протягом трьох років показали, що у 2023 р. на контролі врожайність гібридів РТЖ Вольф, Бельведер, НК Конді та Арізона становила відповідно 2,02; 2,11; 1,95 та 1,72 т/га. Застосування лише мінерального добрива $N_{50}P_{40}K_{50}$ забезпечило збільшення продуктивності до 3,09–3,12 т/га. Найвищу врожайність у цьому році забезпечило комплексне застосування мінерального добрива, біопрепарату та П.П. Найбільш продуктивним був гібрид Бельведер, урожайність якого досягла 3,77 т/га. Дещо нижчі показники сформували гібриди РТЖ Вольф – 3,71 т/га, НК Конді – 3,16 т/га та Арізона – 2,54 т/га.

У 2024 р. загальний рівень урожайності був найвищим за весь період

досліджень. Це підтверджується збільшенням продуктивності практично всіх варіантів досліду. На контролі врожайність становила: 2,83 т/га у гібрида РТЖ Вольф, 2,17 т/га у гібрида Бельведер, 2,61 т/га у гібрида НК Конді та 1,85 т/га у гібрида Арізона. За внесення $N_{50}P_{40}K_{50}$ врожайність підвищилася до 3,08–3,55 т/га. Найвищу продуктивність забезпечив варіант комплексного застосування $N_{50}P_{40}K_{50}$, біопрепарату та П.П. Максимальне значення було отримано для гібрида РТЖ Вольф – 4,45 т/га. Гібрид Бельведер сформував 4,36 т/га, НК Конді – 4,32 т/га, Арізона – 2,69 т/га.

У 2025 р. спостерігалось зниження продуктивності всіх гібридів незалежно від варіанта удобрення через менш сприятливі погодні умови. На контролі врожайність знизилася до 1,51 т/га у гібрида РТЖ Вольф, 1,82 т/га у Бельведер, 1,34 т/га у НК Конді та 1,47 т/га у Арізона. Незважаючи на це, застосування повної системи добрив дозволило компенсувати негативний вплив погодних чинників. Найкращі результати були отримані за комплексного застосування $N_{50}P_{40}K_{50}$, біопрепарату та П.П., де врожайність становила 3,11 т/га (РТЖ Вольф), 3,05 т/га (Бельведер), 2,73 т/га (НК Конді) та 2,44 т/га (Арізона).

Оптимізація системи живлення з урахуванням забезпеченості ґрунту макро- та мікроелементами є одним із ключових складників сучасних ресурсоощадних технологій вирощування соняшнику. Збалансоване застосування мінеральних добрив (NPK) у поєднанні з мікродобривами забезпечує синергічний ефект, що проявляється у підвищенні врожайності культури, збільшенні маси 1000 насінин та покращенні показників олійності насіння [21, 25]. Водночас надмірне азотне живлення стимулює інтенсивний розвиток вегетативної маси і сприяє накопиченню білка в насінні, однак може зумовлювати зниження вмісту жиру, що підкреслює необхідність науково обґрунтованого добору доз мінеральних добрив.

За результатами досліджень В. М. Тоцького та співавторів [26], проведених в умовах Лівобережного Лісостепу України, найбільший приріст урожайності трьох гібридів соняшнику та максимальний умовний вихід олії з одиниці площі було отримано за внесення мінеральних добрив у нормі $N_{32}P_{32}K_{32}$ у поєднанні з позакореневим підживленням карбамідом (10 кг/га) у фазі формування 5–6 пар листків. Водночас найвищі показники олійності насіння відзначено у варіантах із застосуванням амофосу ($N_{12}P_{52}$), що свідчить про визначальну роль достатнього фосфорного живлення у формуванні високоякісного врожаю соняшнику.

Результати наших досліджень в умовах Західного регіону України підтверджують високу ефективність застосування мінерального удобрення у поєднанні з біопрепаратом та П.П. для всіх досліджуваних гібридів соняшнику. Найвищий рівень продуктивності в середньому за 2023–2025 рр. забезпечили середньоранні гібриди: РТЖ Вольф (середня врожайність на комплексному удобренні – 3,76 т/га) та Бельведер (3,73 т/га), тоді як середньостиглі НК Конді (3,40 т/га) та Арізона (2,56 т/га) характеризувалися дещо нижчими показниками. Загалом комплексне застосування $N_{50}P_{40}K_{50}$, біопрепарату та П.П. виявилось найефективнішим

агротехнологічним заходом незалежно від погодних умов року.

Висновки. Установлено, що продуктивність соняшнику в умовах Західного регіону України істотно залежить від системи удобрення, біологічних особливостей гібридів та погодних умов року. Найвищу ефективність забезпечило застосування мінерального удобрення в дозі $N_{50}P_{40}K_{50}$ у поєднанні з біопрепаратом і побічною продукцією попередника, що сприяло найбільш повній реалізації продуктивного потенціалу сучасних гібридів соняшнику та підтверджує перспективність цього технологічного елемента для вдосконалення технології його вирощування. Серед досліджуваних гібридів найвищу середню врожайність за три роки вирощування сформували середньоранні гібриди РТЖ Вольф і Бельведер – відповідно 3,76 та 3,73 т/га, тоді як у середньостиглих гібридів НК Конді та Арізона цей показник становив 3,40 і 2,56 т/га відповідно. Отже, в умовах проведеного дослідження середньорання група стиглості характеризувалася вищим потенціалом продуктивності за оптимізованого живлення, що підтверджує важливу роль генотипових особливостей гібридів та системи удобрення у формуванні врожайності соняшнику.

Список використаної літератури

1. Вплив удобрення на продуктивність соняшнику та якість насіння / В. В. Гангур та ін. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2022. № 2 (2). С. 50–56. <https://journals.pdaa.edu.ua/visnyk/article/view/1635/2033>.
2. Гамаюнова В. В., Касянов П. В. Розробка ресурсощадних заходів вирощування соняшнику в умовах Південного Степу України. *Таврійський науковий вісник*. 2026. Вип. 147. Ч. 1. С. 98–105. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.147.1.13>.
3. Гамаюнова В. В., Кудріна В. С. Формування надземної маси і врожайності соняшнику під впливом окремих технологій вирощування. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. Миколаїв, 2020. Вип. 1 (105). С. 50–57. <https://bsagriculture.com.ua/web/uploads/pdf/Ukrainian>

References

1. Effect of fertilization on sunflower productivity and seed quality / V. V. Hanhur et al. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*. 2022. No. 2 (2). P. 50–56. <https://journals.pdaa.edu.ua/visnyk/article/view/1635/2033>.
2. Hamaiunova V. V., Kasianov P. V. Development of resource-saving measures for sunflower cultivation under the conditions of the Southern Steppe of Ukraine. *Tavriyskyi naukovyi visnyk*. 2026. Issue 147. Part 1. P. 98–105. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.147.1.13>.
3. Hamaiunova V. V., Kudrina V. S. Formation of aboveground biomass and sunflower yield under the influence of different cultivation technologies. *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomoria*. 2020. Issue 1 (105). P. 50–57. <https://doi.org/10.31521/2313-092X/2020-5/105/-7>.

[%20Black%20Sea%20Region%20Agrarian%20Science%202020%20Vol.%202024,%20No.%201-50-57.pdf](#).

4. Гречишкіна Т. А. Ефективність застосування мікроелементів у системі живлення рослин соняшнику (огляд літератури). *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 137. С. 63–69. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.8>.

5. Грицюк П. М., Бачишина Л. Д. Вплив зміни кліматичних умов на динаміку врожайності зернових в Україні. *Економіка України*. 2016. № 6 (655). С. 68–75. <https://nasu-periodicals.org.ua/index.php/economyukr/article/view/2016-06-6>.

6. Зозуля О. Соняшник: до кожного гібрида – свій підхід. *Пропозиція*. 2020. № 3. С. 102–104.

7. Інноваційні підходи до фіторемерації та фіторекультивування у сучасних системах землеробства : монографія / Я. Г. Цицюра та ін. Вінниця : ТОВ «Друк», 2022. 1200 с. <https://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/31038.pdf>.

8. Інноваційні технології в рослинництві : підручник / В. Д. Паламарчук та ін. Вінниця : ТОВ «Друк», 2024. 582 с.

9. Каламбет В. В. Формування продуктивності соняшнику (*Helianthus annuus* L.) залежно від агротехнічних прийомів. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. № 28 (2). С. 81–86. <https://journals.pdaa.edu.ua/visnyk/article/view/2078/2543>.

10. Клименко І. І. Вплив регуляторів росту рослин і мікродобрива на урожайність насіння ліній та гібридів соняшнику. *Селекція і насінництво*. 2015. Вип. 107. С. 183–188. [file:///C:/Users/User_405/Downloads/2015-107-22%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User_405/Downloads/2015-107-22%20(1).pdf).

11. Кузнецова І. В., Доморощенко М. Л. Переробка насіння соняшнику для отримання харчового білку. *Масложировий комплекс*. 2020. № 3. С. 22–23.

12. Лазнюк І. Експортно-виробничо-переробні рекорди. *Пропозиція*. 2020. № 3. С. 44–45.

13. Нестерчук В. В. Напрями оптимізації елементів технології вирощування гібридів соняшнику в умовах півдня України. *Зрошуване землеробство : міжвідомчий тематичний збірник наукових праць*. Херсон : Грін Д. С., 2015. Вип. 63. С. 84–86.

14. Паламарчук В. Д., Кричковський В. Ю. Продуктивність гібридів соняшнику залежно від позакоренових підживлень. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2025. Вип. 78 (1). [https://doi.org/10.32636/01308521.2025-\(78\)-1-9](https://doi.org/10.32636/01308521.2025-(78)-1-9).

15. Пелех Л. В., Онуфрійчук О. М. Основні технологічні заходи при вирощуванні соняшнику. *Аграрні інновації*. 2024. № 5. С. 43–45. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.25.7>.

16. Поляков О., Нікітенко О. Додаткове живлення соняшнику. *Пропозиція*. 2013. С. 57–58.

4. Hrechyshkina T. A. Efficiency of micronutrient application in the sunflower nutrition system (literature review). *Tavriyskiy naukovyi visnyk*. 2024. No. 137. P. 63–69. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.8>.

5. Hrytsiuk P. M., Bachyshyna L. D. Influence of climate change on the dynamics of grain crop yields in Ukraine. *Ekonomika Ukrainy*. 2016. No. 6 (655). P. 68–75.

6. Zozulia O. Sunflower: an individual approach to each hybrid. *Propozytsiia*. 2020. No. 3. P. 102–104.

7. Innovative approaches to phytoremediation and phytorecultivation in modern farming systems : monograph / Ya. H. Tsytsiura et al. Vinnytsia : TOV «Druk», 2022. 1200 p. <https://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/31038.pdf>.

8. Innovative technologies in crop production : textbook / V. D. Palamarchuk et al. Vinnytsia : TOV «Druk», 2024. 582 p.

9. Kalambet V. V. Formation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) productivity depending on agronomic practices. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. No. 28 (2). P. 81–86. <https://journals.pdaa.edu.ua/visnyk/article/view/2078/2543>.

10. Klymenko I. I. Effect of plant growth regulators and micronutrient fertilizers on seed yield of sunflower lines and hybrids. *Selektsiia i nasinnnytstvo*. 2015. Issue 107. P. 183–188. [file:///C:/Users/User_405/Downloads/2015-107-22%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User_405/Downloads/2015-107-22%20(1).pdf).

11. Kuznetsova I. V., Domoroshchenkova M. L. Processing of sunflower seeds for food protein production. *Maslozhировyi kompleks*. 2020. No. 3. P. 22–23.

12. Lazniuk I. Export, production and processing records. *Propozytsiia*. 2020. No. 3. P. 44–45.

13. Nesterchuk V. V. Directions for optimizing the elements of sunflower hybrid cultivation technology under the conditions of southern Ukraine. *Zroshuvane zemlerobstvo*. 2015. Issue 63. P. 84–86.

14. Palamarchuk V. D., Krychkovskiy V. Yu. Productivity of sunflower hybrids depending on foliar fertilization. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnnytstvo*. 2025. Issue 78 (1). [https://doi.org/10.32636/01308521.2025-\(78\)-1-9](https://doi.org/10.32636/01308521.2025-(78)-1-9).

15. Pelekh L. V., Onufriichuk O. M. Basic technological practices for sunflower cultivation. *Ahrarni innovatsii*. 2024. No. 25. P. 43–45. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.25.7>.

16. Poliakov O., Nikitenko O. Additional nutrition of sunflower. *Propozytsiia*. 2013. P. 57–58.

17. Comparative analysis of correlations between morphological traits and productivity of confectionery sunflower varieties under the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine / A. V. Melnyk et al. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu*. 2016. Issue 9. P. 117–120. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsna_agro_2016_9_29.

17. Порівняльний аналіз кореляцій морфологічних ознак та продуктивності сортів кондитерського соняшнику в умовах Лівобережного Лісостепу України / А. В. Мельник та ін. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. Суми, 2016. Вип. № 9. С. 117–120. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsna_agro_2016_9_29.
18. Турак Р. О. Продуктивність соняшнику залежно від системи удобрення в умовах Західного регіону України. *Український журнал природничих наук*. 2025. № 12. С. 240–247. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.12.2025.24>.
19. Формування продуктивності гібридів соняшника залежно від рівня удобрення та умов зволоження / В. А. Мазур та ін. *Сільське господарство та лісівництво*. 2020. № 4 (19). С. 208–220.
20. Шакалій С. М., Кулик Є. І. Вплив способів обробки біостимуляторами на посівні якості насіння соняшника. *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 137. С. 343–351. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.40>.
21. Kumar S., Kumar S., Mohapatra T. Interaction Between Macro- and Micro-Nutrients in Plants. *Front. Plant Sci.* 2021. Vol. 12. P. 665. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.665583>.
22. Melnyk A., Akuaku J., Makarchuk A. State and prospects of sunflower production in Ukraine. *AGROFOR International Journal*. 2017. Vol. 2, no. 3. P. 116–123. <https://agrofor.ues.rs.ba/data/20171117-15-MELNYK%20at%20all.pdf>.
23. Optimisation of plant nutrition under the influence of biopreparations in integrated sunflower cultivation technologies / V. Bolokhovskiy et al. *Plant and Soil Science*. 2024. 15 (4), 64–75. <https://doi.org/10.31548/plant4.2024.64>.
24. Sunflower root growth and distribution under varied water regimes in two edaphoclimatic conditions / L. H. Loose et al. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 2024. Vol. 6 (1). P. 65–69. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v46i1.65692>.
25. The Study of the Impact of Complex Foliar Fertilization on the Yield and Quality of Sunflower Seeds (*Helianthus annuus* L.) by Principal Component Analysis. F. Crista et al. *Agronomy*. 2023. Vol. 13 (8). P. 2074. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082074>.
26. Totskiy V., Hanhur V., Poliakova I. Yield and quality of seed of sunflower hybrids (*Helianthus annuus* L.) depending on the fertilizer system. *Scientific Progress & Innovations*. 2024. Vol. 27 (3), 5–11. <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.03.01>.
18. Turak R. O. Sunflower productivity depending on the fertilization system under the conditions of the Western region of Ukraine. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychkh nauk*. 2025. No. 12. P. 240–247. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.12.2025.24>.
19. Formation of sunflower hybrid productivity depending on fertilization level and moisture conditions / V. A. Mazur et al. *Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo*. 2020. No. 4 (19). P. 208–220.
20. Shakalii S. M., Kulyk Ye. I. Effect of biostimulator treatment methods on the sowing quality of sunflower seeds. *Tavriiskyi naukovi visnyk*. 2024. No. 137. P. 343–351. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.40>.
21. Kumar S., Kumar S., Mohapatra T. Interaction Between Macro- and Micro-Nutrients in Plants. *Front. Plant Sci.* 2021. Vol. 12. P. 665. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.665583>.
22. Melnyk A., Akuaku J., Makarchuk A. State and prospects of sunflower production in Ukraine. *AGROFOR International Journal*. 2017. Vol. 2, no. 3. P. 116–123. <https://agrofor.ues.rs.ba/data/20171117-15-MELNYK%20at%20all.pdf>.
23. Optimisation of plant nutrition under the influence of biopreparations in integrated sunflower cultivation technologies / V. Bolokhovskiy et al. *Plant and Soil Science*. 2024. 15 (4), 64–75. <https://doi.org/10.31548/plant4.2024.64>.
24. Sunflower root growth and distribution under varied water regimes in two edaphoclimatic conditions / L. H. Loose et al. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 2024. Vol. 6 (1). P. 65–69. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v46i1.65692>.
25. The Study of the Impact of Complex Foliar Fertilization on the Yield and Quality of Sunflower Seeds (*Helianthus annuus* L.) by Principal Component Analysis. F. Crista et al. *Agronomy*. 2023. Vol. 13 (8). P. 2074. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082074>.
26. Totskiy V., Hanhur V., Poliakova I. Yield and quality of seed of sunflower hybrids (*Helianthus annuus* L.) depending on the fertilizer system. *Scientific Progress & Innovations*. 2024. Vol. 27 (3), 5–11. <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.03.01>.

DOI: 10.32636/01308521.2026-(80)-1-8

Оригінальна наукова стаття

УДК 635.21:631.53:58.085

**ОСОБЛИВОСТІ БУЛЬБОУТВОРЕННЯ
КАРТОПЛІ СОРТУ СЛАУТА В УМОВАХ *IN VITRO*****Т. М. Купріянова, Н. В. Макарьчук, В. М. Мирончук**

Інститут картоплярства НААН
вул. Ярослава Мудрого, 22,
с. Немішаєве, Бучанський р-н,
Київська обл., 07853

Про авторів:

Тетяна КУПРІЯНОВА,
кандидат сільськогосподарських
наук
ORCID: 0000-0002-1039-9348

Наталія МАКАРЧУК,
молодший науковий співробітник
ORCID: 0000-0001-6852-0959

Валентина МИРОНЧУК,
молодший науковий співробітник
ORCID: 0009-0003-9541-6665

Для листування:

Тетяна КУПРІЯНОВА
e-mail: kyptm@meta.ua

Інформація про фінансування:

Національна академія
аграрних наук України

Отримано:
14 липня 2026 р.
Погоджено до друку:
1 вересня 2026 р.
Опубліковано:
30 вересня 2026 р.

В умовах лабораторного дослідження передбачали вивчення за короткого дня та відсутності освітлення впливу сахарози в кількості 3; 5; 6 і 8 %, а також в аналогічних умовах освітлення впливу кінетину (1; 1,75; 2,5 мг/л) і бензиламінопурину (1; 3; 5; 8 мг/л) на фоні 8 % сахарози на мікробульбоутворення. Впродовж 12 тижнів оцінювали терміни бульбоутворення та відносну кількість продуктивних рослин. За відсутності освітлення на безгормональному живильному середовищі мікробульби утворилися на 6-му тижні, за короткого дня – на 9-му тижні культивування. На безгормональному живильному середовищі фотоперіод був основним фактором, що визначав час ініціації мікробульб. В умовах короткого дня на живильних середовищах, що містили кінетин (1 мг/л) і бензиламінопурин (1 мг/л), мікробульби почали формуватися на першому тижні культивування. За відсутності освітлення на живильних середовищах з кінетином (1; 1,75; 2,5 мг/л) появу мікробульб відзначали на 2-му тижні, з бензиламінопурином (3 мг/л) – на 3-му тижні культивування. На фоні оптимальної концентрації сахарози (8 %) екзогенні цитокініни були основним фактором, що визначав час ініціації мікробульб. На фоні 8 % сахарози за відсутності освітлення кількість продуктивних рослин становила 45 %. В умовах короткого дня і відсутності освітлення з додаванням кінетину вона досягала 80–90 %, за відсутності освітлення з додаванням бензиламінопурину (5 мг/л) – 78 %. Для скорочення термінів індукції мікробульб і підвищення кількості продуктивних рослин потрібне поєднання кінетину (1; 1,75; 2,5 мг/л) або бензиламінопурину (5 мг/л) з оптимальною концентрацією сахарози (8 %) в умовах короткого дня або відсутності освітлення.

Ключові слова: картопля, рослини *in vitro*, фітогормони, кінетин, мікробульби, сахароза.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

© Купріянова Т. М., Макарьчук Н. В., Мирончук В. М., 2026

Features of tuber formation in the Slauta potato variety under *in vitro* conditions

Institute of Potato Research of
NAAS
22 Yaroslav Mudrogo str.,
Nemishaieve, Buchanskyi district,
Kyiv region, 07853

About authors:

Tetiana KUPRIANOVA
ORCID: 0000-0002-1039-9348

Nataliia MAKARCHUK
ORCID: 0000-0001-6852-0959

Valentyna MYRONCHUK
ORCID: 0009-0003-9541-6665

Corresponding author:
Tetiana KUPRIANOVA
e-mail: kyptm@meta.ua

Funding information:
National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine

Received:
July 14, 2026
Accepted:
September 1, 2026
Published:
September 30, 2026

The laboratory experiment was designed to study, under short-day conditions and in the absence of light, the effect of sucrose at 3, 5, 6, and 8%, as well as, under similar lighting conditions, the effect of kinetin (1, 1.75, 2.5 mg/L) and benzylaminopurine (1, 3, 5, 8 mg/L) against the background of 8% sucrose on microtuber formation. Over 12 weeks, the timing of tuber formation and the relative number of productive plants were assessed. In the absence of light on a hormone-free culture medium, microtubers formed in week 6, and under short-day conditions in week 9 of cultivation. On the hormone-free culture medium, the photoperiod was the main factor determining the time of microtuber initiation. Under short-day conditions on culture media containing kinetin (1 mg/L) and benzylaminopurine (1 mg/L), microtubers began to form in the first week of cultivation. In the absence of light on culture media with kinetin (1, 1.75, 2.5 mg/L), the appearance of microtubers was observed in week 2, and with benzylaminopurine (3 mg/L) in week 3 of cultivation. Against the background of the optimal sucrose concentration (8%), exogenous cytokinins were the main factor determining the time of microtuber initiation. Against the background of 8% sucrose in the absence of light, the number of productive plants was 45%. Under short-day conditions and in the absence of light with the addition of kinetin, it reached 80–90%, and in the absence of light with the addition of benzylaminopurine (5 mg/L), 78%. To shorten the microtuber induction period and increase the number of productive plants, kinetin (1, 1.75, 2.5 mg/L) or benzylaminopurine (5 mg/L) should be combined with the optimal sucrose concentration (8%) under short-day conditions or in the absence of light.

Keywords: potato, *in vitro* plants, phytohormones, kinetin, microtubers, sucrose.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Вступ. Мікробульби картоплі є проміжною стадією між рослинами *in vitro* та мінібульбами. Це перше покоління бульб, отриманих із культури тканин, їх використовують для розв'язання проблем зберігання та пересадки ніжних рослин *in vitro* з асептичних умов у природні. Бульбоутворення картоплі – це високоскоординований процес, який перебуває під комплексним гормональним та вуглеводним контролем [18].

Слід зазначити, що процес бульбоутворення картоплі *in vitro* можна розділити на декілька етапів: утворення та ріст столонів, індукція бульбоутворення, ініціація та ріст бульб. Всі перелічені етапи – це поступові процеси. В окремих випадках утворення бульб *in vivo* та в

культурі *in vitro* етап утворення та росту столонів може бути відсутнім. Також бульби можуть утворюватися безпосередньо з бруньок надземних стебел та сформованих раніше бульб [7, 14].

Гормональне регулювання індукції та росту бульб можна відтворити в асептичній культурі *in vitro*. Відомі два способи індукції бульбоутворення *in vitro*: використання екзогенних фітогормонів; модифікація таких умов культивування, як фотоперіод, інтенсивність освітлення, і тим самим послідовна зміна ендогенного гормонального балансу стеблових живців. На практиці їх об'єднують для підвищення ефективності процесу [8]. У бульбоутворенні рослин картоплі беруть участь усі відомі фітогормони (ауксини,

гібереліни, абсцизини, цитокініни, а також етилен), що перебувають у динамічній рівновазі, особливість якої полягає у високій чутливості до впливу зовнішніх і внутрішніх хімічних та фізичних факторів.

Цитокініни загалом вважають стимуляторами ініціації та росту бульб. Вони стимулюють поділ клітин, гальмують їх подовження та сприяють розширенню, а також посилюють атракційну здатність органів. В умовах *in vitro* цитокініни стимулюють ініціацію бульб, скорочують терміни утворення, сприяють збільшенню кількості бульб [11]. Активність цих фітогормонів проявляється на найраніших етапах ініціації бульб. Встановлено, що для прискорення ініціації бульб присутність кінетину у живильному середовищі потрібна лише протягом перших 3–4 днів культивування. Додавання його до живильного середовища сприяє збільшенню кількості сформованих мікробульб. Бензиламінопурин (БАП) прискорює процес мікробульбоутворення та стимулює збільшення маси мікробульб [22].

У живильному середовищі для стимулюючої дії кінетину потрібна субоптимальна (5 %) та оптимальна (8 %) кількість сахарози [23].

Фотосинтетична активність рослин картоплі в культурі *in vitro* значно знижена. Тому сахароза в таких умовах є незамінним джерелом енергії та будівельним матеріалом для утворення нових клітин [3]. Ріст і розвиток рослин *in vitro* картоплі відбувається за низької концентрації сахарози (2–3 %). Для формування бульб потрібна більша кількість вуглеводів у живильному середовищі. Висока концентрація сахарози (6–8 %) стимулює ріст біомаси, індукує утворення мікробульб, а також підвищує вміст сухої речовини в мікробульбах [2].

Осмотичний тиск, що створюється сахарозою у живильному середовищі, слугує сигналом для індукції та росту мікробульб [15, 20]. З підвищенням її вмісту виявлено зміни в експресії генів, що реагують на гормональні сигнали, а також в

активності та співвідношенні ферментів, що беруть участь у синтезі крохмалю [1]. У процесі ініціації та росту бульб відбувається активний біосинтез крохмалю та його відкладення у вигляді крохмальних зерен в амілопластах клітин бульби.

Гормональний статус рослин значною мірою залежить від фотоперіоду. Встановлено, що закономірності морфогенетичного впливу світла на формування бульб однаковою мірою поширюються як на рослини картоплі *in vivo*, так і на рослини, що культивуються в асептичній культурі *in vitro* [21].

М. М. Khalil, А. М. Н. Abd El Aal, М. М. Samy [21], дослідивши бульбоутворення *in vitro* в умовах довгого (16/8 год) і короткого (8/16 год) дня, а також повної відсутності освітлення (0/24 год), показали, що за короткого дня відбувається найбільш інтенсивне формування мікробульб. У темряві та особливо за довгого дня вони фіксували зниження їх маси порівняно з коротким днем.

Е. V. Gülsün, Т. Ozsan та ін. [19] встановили позитивний вплив на бульбоутворення одночасного використання екзогенних фітогормонів та модифікації умов культивування рослин. Жасмонова кислота та споріднені з нею сполуки є нещодавно визнаними регуляторами росту рослин, і відомо, що вони впливають на багато фізіологічних процесів. Тому дослідження було спрямовано на визначення впливу метилжасмонату та сахарози на формування мікробульб при розмноженні картоплі. Для досягнення цієї мети досліджували взаємозв'язки між дванадцятьма комбінаціями середовищ, різними концентраціями сахарози (3; 6 та 9 %) окремо або в поєднанні з метилжасмонатом. Результати показали, що використання метилжасмонату в середовищі позитивно впливає на утворення мікробульб і може бути рекомендовано для комерційного використання в масовому виробництві.

Ю. О. Лавриненко, Г. С. Балашова, О. І. Котова [6] у своїх дослідженнях з

визначення оптимальних елементів технології вирощування мікробульб ранньостиглого сорту картоплі Кобза у культурі *in vitro* встановили, що кращі показники продуктивності та економічної ефективності забезпечує вирощування пробіркових рослин за температури 14–16 °C та інтенсивності освітленості 3000 лк. При цьому кількість мікробульб на одну рослину становить 1,2 шт., маса середньої мікробульби – 262,0 мг, маса мікробульб на одну рослину – 363,7 мг, кількість мікробульб масою понад 350,0 мг – 20,9 %, собівартість мікробульби – 5,31 грн за рентабельності 201 %.

За результатами досліджень Ю. О. Лавриненко, Г. С. Балашової, О. І. Котової [5], проведених для визначення оптимального поживного середовища, яке сприяє максимальному підвищенню продуктивності рослин *in vitro* для отримання мікробульб картоплі, встановлено, що кращим є варіант з температурним режимом 16–18 °C і концентрацією натрію молібденовокислого у рідкому поживному середовищі 0,30 мг/л: маса середньої мікробульби – 238,2 мг, маса мікробульб на 1 рослину – 251,2 мг, вихід мікробульб масою понад 300 мг – 21,9 %, інтенсивність бульбоутворення – 104,9 %.

Оптимальні умови для індукції бульб створюються у випадку, коли перед її початком в умовах короткого дня проводять попереднє культивування рослин за тривалого світлового фотоперіоду, щоб сформувати сприятливий рівень енергетичного розвитку листя та стебла.

А. Belguendouz, М. Kaide Harche, В. Benmahiouл [13] у своїх дослідженнях застосували відтворювану систему для двох сортів картоплі, які було оцінено за їх ростом та реакцією мікробульбоутворення на вплив типів живильного середовища та різних концентрацій активованого вугілля (АВ). Культивування на напівтвердому середовищі мало значний вплив на характеристики росту мікробульб картоплі.

Навпаки, рідке середовище збільшило кількість мікробульб, але розмір та маса залишалися низькими порівняно з іншими методами обробки. Усі варіанти з активованим вугіллям значно вплинули на процес мікробульбоутворення. Зокрема, більший розмір мікробульб отримано за 2 г/л АВ, тоді як вища концентрація АВ (10 г/л) стимулювала утворення більших мікробульб.

Екологічні фактори, вуглеводи та фітогормони визначають параметри бульбоутворення в культурі *in vitro*: кількість мікробульб, їх розмір і масу, а також динаміку процесу бульбоутворення. Серед них найменше вивчено комплексний вплив екзогенних та ендогенних факторів на динаміку бульбоутворення. Найчастіше автори робіт оцінювали вплив одного-двох факторів [12, 14, 17, 24, 25].

Таким чином, вивчення впливу зовнішніх і внутрішніх стимулів, а також їх взаємодії на перебіг процесів формування та росту мікробульб у часі є актуальним і має як теоретичне, так і практичне значення.

Метою роботи було дослідити динаміку утворення мікробульб картоплі (*Solanum tuberosum* L.) сорту Слаута в асептичній культурі *in vitro* залежно від умов освітлення та складу живильного середовища.

Матеріали і методи. Дослідження проводили в відділі біотехнології та біотехнічних систем Інституту картоплярства НААН. Об'єктом дослідження були рослини *in vitro* картоплі (*Solanum tuberosum* L.) сорту Слаута. Сорт надранній, столового призначення. Урожайність: 25,0 т/га на 40–45 день після сходів, 50,0 т/га в кінці вегетації, на поливі – 70,0 т/га. Вміст крохмалю в бульбах 15,4 %. Споживчі якості 8,6 бала. Стійкий проти раку картоплі, золотистої цистоутворюючої картопляної нематоди, фітофторозу. Морфологічні ознаки: бульби округло-овальні, рожеві, м'якоть кремова, квітки червоно-фіолетові. Рекомендована зона вирощування: Лісостеп. Особливостями сорту є: надранне

формування товарного врожаю; придатний для вирощування двоурожайною культурою на Півдні України; висока стійкість до механічних пошкоджень бульб; висока польова стійкість проти вірусних хвороб; підвищена стійкість до потемніння м'якоті бульб. Створений в Інституті картоплярства НААН.

Вихідні рослини розмножували живцюванням *in vitro* на агаризованому середовищі Мурасіге і Скуга (МС) в модифікації Інституту картоплярства НААН. Культивували за температури 20–23 °С та 16/8-годинного (3000–5000 лк) фотоперіоду. При формуванні 5 міжвузлів рослини живцювали на одновузлові сегменти (з одним листком) і переносили на живильне середовище для бульбоутворення.

Ці середовища готували на основі агаризованого середовища МС, варіюючи вміст сахарози та фітогормонів, рН доводили до 5,74, автоклаували за 1 атм. протягом 35 хв. Досліди проводили в скляних пробірках (діаметром 1,5 см), в які висаджували по одній рослині. На першому етапі експерименту для нарощування біомаси живці протягом 2 тижнів культивували при довгому дні (16/8 год день/ніч) і температурі 20–23 °С. Далі їх переносили в умови короткого дня (8/16 год день/ніч) і відсутності освітлення (0/24 год день/ніч).

Спостереження за утворенням мікробульб проводили впродовж 12 тижнів. У дослідженні на безгормональному живильному середовищі оцінювали вплив фотоперіоду та концентрації сахарози. Контролем слугували рослини, висаджені на безгормональному живильному середовищі з низьким вмістом сахарози (3 %).

На живильному середовищі, що містило фітогормони, визначали вплив фотоперіоду, кінетину та БАП. Експеримент проводили за умови оптимальної концентрації сахарози (8 %). Досліджували вплив трьох концентрацій кінетину (1,0; 1,75 та 2,5 мг/л) та чотирьох концентрацій БАП (1,0; 3,0; 5,0; та 8,0 мг/л).

Контролем слугували рослини, висаджені на безгормональному живильному середовищі з високим вмістом сахарози (8 %).

У ході експерименту щотижня відзначали початок ініціації мікробульб у вигляді потовщень столонів або появи потовщень безпосередньо з бруньок стебел. Рослини з новоутвореною мікробульбою додавали з рослинами, що раніше сформували мікробульби, й обчислювали відносну кількість продуктивних рослин від загальної кількості висаджених живців на день проведення спостережень (у %). Продуктивними рослинами вважали зразки, що сформували як мінімум одну мікробульбу.

На безгормональному живильному середовищі в кожному варіанті досліді було висаджено по 20 рослин, а на гормональному живильному середовищі – 40 рослин.

Всі обліки, аналізи та спостереження здійснювали згідно з «Методичними рекомендаціями щодо проведення досліджень з картоплею» та «Методикою дослідної справи» [4, 9, 10].

Статистичну обробку отриманих даних проводили з допомогою програми Microsoft Excel 2007 і Statistica 8.0. У табл. 2 наведено результати непараметричного тесту U-критерію Манна – Уїтні для незалежних вибірок з оцінки впливу фотоперіоду та концентрації фітогормонів на відносну кількість продуктивних рослин.

Результати та обговорення. У процесі культивування *in vitro* рослин сорту Слаута в умовах короткого дня і відсутності освітлення на живцях рослин з'являлися такі новоутворення: бульби, корені, етіольовані пагони. В умовах короткого дня одночасно росли рослини і формувалися мікробульби.

Ріст більшості (90 %) досліджуваних рослин на безгормональних і гормонівмісних живильних середовищах припинився до 10-го тижня культивування. Одночасно зупинився процес росту мікробульб. Надалі спостерігали

відмирання рослин і дозрівання мікробульб, що супроводжувалося зміною забарвлення шкірки та появою незначної шорсткості на їхній поверхні. Рослини на безгормональному живильному середовищі з оптимальним вмістом (8 %) сахарози почали відмирати на 1–2 тижні пізніше, ніж в інших варіантах дослідження. Ймовірно, пролонгований ріст і формування мікробульб пов'язані з високим (8 %) вмістом сахарози в живильному середовищі. Таким чином,

вегетація рослин і утворення мікробульб в асептичній культурі *in vitro* у надраннього сорту Слаута тривали до 12 тижнів залежно від складу живильного середовища та фотоперіоду.

В умовах відсутності освітлення на безгормональному живильному середовищі перші мікробульби з'явилися на 6-му тижні культивування живців (табл. 1). За короткого дня бульбоутворення починалося на 3 тижні пізніше.

1. Вплив концентрації сахарози та фотоперіоду на динаміку бульбоутворення сорту Слаута в умовах *in vitro*

Вміст сахарози, %	Фотоперіод	Період культивування, тиждень						
		6	7	8	9	10	11	12
		Кількість рослин, що утворили мікробульби, %						
3	8/16 год	0	0	0	25	25	25	25
3	0/24 год	5	5	5	5	5	5	5
5	8/16 год	0	0	0	30	30	30	30
5	0/24 год	10	20	20	25	25	25	25
6	8/16 год	0	0	0	25	25	25	25
6	0/24 год	30	30	30	30	30	30	30*
8	8/16 год	2	0	0	5	10	25	25
8	0/24 год	25	25	35	45	45	45	45*

* $p < 0,05$ (U-критерій Манна – Уїтні).

При культивуванні рослин сорту Слаута на безгормональному живильному середовищі в умовах короткого дня відносна кількість продуктивних рослин досягала 25–30 % і не залежала від концентрації сахарози. Це пов'язано з фотосинтетичною активністю рослин картоплі в культурі *in vitro*. На світлі вони здатні синтезувати вуглеводи, які своєю чергою виступають фактором індукції формування мікробульб. Тому в умовах короткого дня на безгормональному живильному середовищі стимуляція бульбоутворення не залежала від наявності екзогенних вуглеводів.

За відсутності освітлення відносна кількість продуктивних рослин збільшувалася у міру підвищення концентрації сахарози. За низького осмотичного тиску в живильному середовищі (концентрація сахарози 3 %) частота трансформації гормонального

статусу рослин під дією екзогенного екологічного чинника не перевищувала 5 %. Зміна концентрації сахарози з 3 до 8 % підвищувала відносну кількість продуктивних рослин з 5 до 45 %. На наш погляд, це можна пояснити відсутністю фотосинтетичної активності у рослин, вирощених в умовах повної темряви. За відсутності освітлення відносна кількість продуктивних рослин в експериментальних і контрольних варіантах вірогідно відрізнялася за концентрації сахарози 6 % ($p = 0,02$) і 8 % ($p = 0,014$).

Перші мікробульби на живильних середовищах, що містять окремо кінетин (1 мг/л) і БАП (1 мг/л), в умовах короткого дня з'явилися на 1-му тижні культивування живців картоплі. У темряві перші мікробульби виявлено на 2-му тижні культивування рослин, висаджених на живильних середовищах, що містять кінетин, незалежно від його концентрації.

За аналогічних умов на живильних середовищах, що містять БАП (3 мг/л), утворення бульб розпочалося на 3-му тижні культивування. У контрольних варіантах, в умовах короткого дня появу мікробульб відзначено на 9-му тижні, за відсутності освітлення – на 6-му тижні.

При культивуванні рослин сорту Слаута на середовищах, що містять кінетин та оптимальну кількість сахарози (8 %), в умовах короткого дня та відсутності освітлення відносна кількість продуктивних рослин досягала 80–90 %. На

всіх живильних середовищах, що містять кінетин, величина цього показника була вірогідно ($p < 0,05$) вищою, ніж у контролі. На живильних середовищах, що містять БАП, в умовах короткого дня та відсутності освітлення відносна кількість продуктивних рослин варіювала в межах 60–80 %. На всіх живильних середовищах з БАП в умовах короткого дня і за концентрації фітогормону 5 мг/л та відсутності освітлення вона була вірогідно ($p < 0,05$) вищою, ніж у контролі (табл. 2).

2. Вплив фотоперіоду та концентрації фітогормонів на відносну кількість продуктивних рослин (за тестом U-критерію Манна – Уїтні)

Варіант	N	U-критерій Манна – Уїтні	p – рівень значущості ($p < 0,05$)
Фотоперіод 8/16 год			
Контроль, 8 % сахарози	40	-	-
Концентрація кінетину 1 мг/л	40	170	0,0003
Концентрація кінетину 1,75 мг/л	40	160	0,0001
Концентрація кінетину 2,5 мг/л	40	150	0,00008
Концентрація БАП 1 мг/л	40	240	0,012
Концентрація БАП 3 мг/л	40	180	0,0005
Концентрація БАП 5 мг/л	40	220	0,004
Концентрація БАП 8 мг/л	40	220	0,004
Фотоперіод 0/24 год			
Контроль, 8 % сахарози	40	-	-
Концентрація кінетину 1 мг/л	40	240	0,012
Концентрація кінетину 1,75 мг/л	40	240	0,012
Концентрація кінетину 2,5 мг/л	40	230	0,007
Концентрація БАП 1 мг/л	40	300	0,11
Концентрація БАП 3 мг/л	40	330	0,27
Концентрація БАП 5 мг/л	40	270	0,04
Концентрація БАП 8 мг/л	40	330	0,27

При порівнянні відносної кількості продуктивних рослин, отриманих у контрастних умовах короткого дня та відсутності освітлення на живильних середовищах, що містять однакову кількість фітогормону, статистично значущих відмінностей не виявлено.

Висновки. Утворення мікробульб в асептичній культурі *in vitro* у надраннього сорту Слаута починалося в різні терміни залежно від складу живильного середовища та фотоперіоду і повністю завершувалося

до 12-го тижня культивування. На живильних середовищах, що містять окремо кінетин (1 мг/л) і БАП (1 мг/л) у поєднанні з 8 % сахарози, за короткого дня мікробульби отримано вже на 1-му тижні культивування живців картоплі.

На безгормональному живильному середовищі на терміни початку бульбоутворення рослин сорту Слаута впливав фотоперіод. При поєднанні в живильному середовищі фітогормонів та оптимальної концентрації сахарози (8 %) до 12-го тижня культивування.

час індукції бульб на рослинах сорту Слаута залежав від екзогенних цитокінінів (кінетин і БАП), фотоперіод не мав впливу на досліджуваний показник. Найбільш ефективними виявилися низькі концентрації фітогормонів (1 мг/л).

В умовах короткого дня на безгормональному живильному середовищі відносна кількість продуктивних рослин не залежала від екзогенних вуглеводів, а за відсутності освітлення концентрація сахарози в живильному середовищі визначала величину цього показника. За відсутності світла на безгормональному живильному середовищі поєднання двох факторів бульбоутворення: фотоперіоду та сахарози

впливало на відносну кількість продуктивних рослин. При культивуванні рослин сорту Слаута на живильному середовищі, що містить фітогормони та оптимальну кількість сахарози (8 %), відносна кількість продуктивних рослин перебувала під контролем цитокінінів.

Для скорочення термінів індукції мікробульб та підвищення відносної кількості продуктивних рослин в асептичній культурі *in vitro* потрібне поєднання екзогенних фітогормонів кінетину (1; 1,75; 2,5 мг/л) або БАП (5 мг/л) та оптимальної концентрації сахарози (8 %) в умовах культивування за короткого дня або відсутності освітлення.

Список використаної літератури

1. Балашова Г. С., Лавриненко Ю. О., Котов Б. С. Вплив концентрації сахарози та фітогормонів на процес бульбоутворення картоплі в культурі стolonів *in vitro*. *Вісник аграрної науки*. 2017. Т. 95, № 8. С. 51–55.
2. Вплив живильного середовища на індукцію бульбоутворення картоплі *in vitro* сортів різних груп стиглості / Г. С. Балашова та ін. *Зрошуване землеробство*. 2019. Вип. 71. С. 133–136. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2019.71.28>.
3. Індукція бульбоутворення картоплі в культурі *in vitro* залежно від тривалості фотоперіоду та рівня азотного живлення / Г. С. Балашова та ін. *Аграрні інновації*. 2020. № 1. С. 74–78. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.1.12>.
4. Картоплярство: методика дослідної справи / за ред. А. А. Бондарчука, В. А. Колтунова. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2019. 652 с.
5. Лавриненко Ю. О., Балашова Г. С., Котова О. І. Вплив температури та інтенсивності освітлення на процеси бульбоутворення картоплі в культурі *in vitro*. *Зрошуване землеробство*. 2012. Вип. 57. С. 165–171.
6. Лавриненко Ю. О., Балашова Г. С., Котова О. І. Вплив температурного режиму культивування та концентрації мікросолей у живильному середовищі на бульбоутворення картоплі в культурі *in vitro*. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2017. Вип. 98. С. 82–88.
7. Лавриненко Ю. О., Балашова Г. С., Котова О. І. Культивування рослин картоплі *in vitro* за мікроклонального розмноження. *Вісник аграрної науки*. 2016. № 11. С. 43–47.
8. Мацкевич В. В., Подгаєцький А. А., Філіпова Л. М. Мікроклональне розмноження окремих видів рослин (протоколи технологій) : наук.-практ. посіб. Біла Церква : БНАУ, 2019. 85 с.

References

1. Balashova H. S., Lavrynenko Yu. O., Kotov B. S. Influence of sucrose concentration and phytohormones on the process of potato tuber formation in stolon culture *in vitro*. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2017. Vol. 95, no. 8. P. 51–55.
2. The influence of the nutrient medium on the induction of potato tuber formation *in vitro* of varieties of different maturity groups / H. S. Balashova et al. *Zroshuvane zemlerobstvo*. 2019. Issue 71. P. 133–136. <https://doi.org/10.32848/0135-2369.2019.71.28>.
3. Induction of potato tuber formation in *in vitro* culture depending on the duration of the photoperiod and the level of nitrogen nutrition / H. S. Balashova et al. *Ahrarni innovatsii*. 2020. No. 1. P. 74–78. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.1.12>.
4. Potato growing: methods of research / za red. A. A. Bondarchuka, V. A. Koltunova. Vinnytsia : TOV «TVORY», 2019. 652 p.
5. Lavrynenko Yu. O., Balashova H. S., Kotova O. I. The influence of temperature and light intensity on the processes of potato tuber formation in *in vitro* culture. *Zroshuvane zemlerobstvo*. 2012. Issue 57. P. 165–171.
6. Lavrynenko Yu. O., Balashova H. S., Kotova O. I. The Effect of Cultivation Temperature and Microsalt Concentration in the Culture Medium on Potato Tuber Formation in *In Vitro* Culture. *Tavriyskyi naukovyi visnyk. Seriya: Silskohospodarski nauky*. 2017. Issue 98. P. 82–88.
7. Lavrynenko Yu. O., Balashova H. S., Kotova O. I. Cultivation of potato plants *in vitro* by microclonal propagation. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2016. No. 11. P. 43–47.
8. Matskevych V. V., Podhaietskyi A. A., Filipova L. M. Microclonal propagation of certain plant species (technology protocols) : a scientific and practical guide. Bila Tserkva : BNAU, 2019. 85 p.

9. Методичні рекомендації щодо проведення досліджень з картоплею. Немішаєве : Інтас, 2002. 182 с.

10. Оздоровлення картоплі в культурі *in vitro* : наук.-метод. рек. / підгот. Р. А. Вожегова та ін. ; Ін-т зрош. землероб. Херсон, 2013. 20 с.

11. Трофічні та фітогормональні детермінанти онтогенезу *in vitro* / О. В. Мацкевич та ін. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія»*. 2022. Вип. 2 (48). С. 111–123. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.16>.

12. An academic and technical overview on plant micropropagation challenges / N. Abdalla et al. *Horticulturae*. 2022. No. 8. P. 1–28. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8080677>.

13. Belguendouz A., Kaide Harche M., Benmahioul B. Evaluation of different culture media and activated charcoal supply on yield and quality of potato microtubers grown *in vitro*. *Journal of Plant Nutrition*. 2021. 44 (14). P. 2123–2137. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1881545>.

14. Chifetete V. W., Dames J. F. Mycorrhizal Interventions for Sustainable Potato Production in Africa. *Front. Sustain. Food Syst.* 2020. Vol. 4. P. 1–17. 593053. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.593053>.

15. Dobránszki J., Magyar-Tábori K., Hudák I. *In Vitro* Tuberization in Hormone-Free Systems on Solidified Medium and Dormancy of Potato Microtubers. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology*. 2009. P. 83–91.

16. Elkazzaz A. Micropropagation of four potato cultivars *in vitro*. *Academia Journal of Agricultural Research*. 2015. Vol. 3 (9). P. 184–188. <https://doi.org/10.15413/ajar.2015.0145>.

17. Furrow-ridge mulching managements affect the yield, tuber quality and storage of continuous cropping potatoes / Y. Kang et al. *Plant, Soil and Environment*. 2020. No. 66 (11). P. 576–583. <https://doi.org/10.17221/316/2020-PSE>.

18. Influence of potato genotypes on “in vitro” production of microtubers / A. Nistor et al. *Romanian Biotechnological Letters*. 2010. Vol. 15, no. 3. P. 5317–5324.

19. In vitro micro tuber formation in potato (*Solanum tuberosum* L.): is there any Relation between Methyl Jasmonate, Sugars, and Explants? / E. V. Gülsün et al. *International Journal of Biotech Trends and Technology*. 2018. Vol. 8, issue 1. P. 1–8.

20. *In vitro* propagation and microtuberization of potato (*Solanum tuberosum* L.) Spunta variety in Lebanon / M. Dalleh et al. *Advances in Horticultural Science*. 2023. Vol. 37, no. 3. P. 243–253. <https://doi.org/10.36253/ahsc-13895>.

21. Khalil M. M., Abd El Aal A. M. H., Samy M. M. Growth Improvement of Potato Plants Produced from Tissue Culture. *Middle East journal of Agriculture Research*. 2016. Vol. 5, issue 4. P. 666–671.

22. Lohar P. S. Textbook of Biotechnology. Hawthorne, CA : MJF Publisher, 2019. 774 p.

9. Methodical recommendations for conducting research with potatoes. Nemishaieva : Intas, 2002. 182 p.

10. Improvement of potato in culture *in vitro* : nauk.-metod. rek. / pidhot. R. A. Vozhehova et al. ; In-t zrosh. zemlerob. Kherson, 2013. 20 p.

11. Trophic and phytohormonal determinants of ontogenesis *in vitro* / O. V. Matskevych et al. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serii «Ahronomiia i biolohiia»*. 2022. Issue 2 (48). P. 111–123. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.16>.

12. An academic and technical overview on plant micropropagation challenges / N. Abdalla et al. *Horticulturae*. 2022. No. 8. P. 1–28. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8080677>.

13. Belguendouz A., Kaide Harche M., Benmahioul B. Evaluation of different culture media and activated charcoal supply on yield and quality of potato microtubers grown *in vitro*. *Journal of Plant Nutrition*. 2021. 44 (14). P. 2123–2137. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1881545>.

14. Chifetete V. W., Dames J. F. Mycorrhizal Interventions for Sustainable Potato Production in Africa. *Front. Sustain. Food Syst.* 2020. Vol. 4. P. 1–17. 593053. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.593053>.

15. Dobránszki J., Magyar-Tábori K., Hudák I. *In Vitro* Tuberization in Hormone-Free Systems on Solidified Medium and Dormancy of Potato Microtubers. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology*. 2009. P. 83–91.

16. Elkazzaz A. Micropropagation of four potato cultivars *in vitro*. *Academia Journal of Agricultural Research*. 2015. Vol. 3 (9). P. 184–188. <https://doi.org/10.15413/ajar.2015.0145>.

17. Furrow-ridge mulching managements affect the yield, tuber quality and storage of continuous cropping potatoes / Y. Kang et al. *Plant, Soil and Environment*. 2020. No. 66 (11). P. 576–583. <https://doi.org/10.17221/316/2020-PSE>.

18. Influence of potato genotypes on “in vitro” production of microtubers / A. Nistor et al. *Romanian Biotechnological Letters*. 2010. Vol. 15, no. 3. P. 5317–5324.

19. In vitro micro tuber formation in potato (*Solanum tuberosum* L.): is there any Relation between Methyl Jasmonate, Sugars, and Explants? / E. V. Gülsün et al. *International Journal of Biotech Trends and Technology*. 2018. Vol. 8, issue 1. P. 1–8.

20. *In vitro* propagation and microtuberization of potato (*Solanum tuberosum* L.) Spunta variety in Lebanon / M. Dalleh et al. *Advances in Horticultural Science*. 2023. Vol. 37, no. 3. P. 243–253. <https://doi.org/10.36253/ahsc-13895>.

21. Khalil M. M., Abd El Aal A. M. H., Samy M. M. Growth Improvement of Potato Plants Produced from Tissue Culture. *Middle East Journal of Agriculture Research*. 2016. Vol. 5, issue 4. P. 666–671.

23. Mohamed A. E. Somaclonal variation in micro-propagated strawberry detected at the molecular level. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2007. Vol. 9, no. 5. P. 721–725.

24. Potato protein: An emerging source of high quality and allergy free protein, and its possible future based products / M. Hussain et al. *Food Research International*. 2021. Vol. 148. 110583. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110583>.

25. Wild relatives of potato may bolster its adaptation to new niches under future climate scenarios / N. Fumia et al. *Food Energy Secur.* 2022. 11. P. 1–15. <https://doi.org/10.1002/fes3.360>.

22. Lohar P. S. Textbook of Biotechnology. Hawthorne, CA : MJP Publisher, 2019. 774 p.

23. Mohamed A. E. Somaclonal variation in micro-propagated strawberry detected at the molecular level. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2007. Vol. 9, no. 5. P. 721–725.

24. Potato protein: An emerging source of high quality and allergy free protein, and its possible future based products / M. Hussain et al. *Food Research International*. 2021. Vol. 148. 110583. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110583>.

25. Wild relatives of potato may bolster its adaptation to new niches under future climate scenarios / N. Fumia et al. *Food Energy Secur.* 2022. 11. P. 1–15. <https://doi.org/10.1002/fes3.360>.

DOI: 10.32636/01308521.2026-(80)-1-9

Оригінальна наукова стаття

УДК 631.547.6:551.5:581.134:633.111"321"(292.485:477.4)

**ВПЛИВ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ
НА ВМІСТ БІЛКА У ЗЕРНІ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ЯРОЇ
В УМОВАХ ПРАВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ****Б. М. Лозінський, М. Б. Грабовський**

Білоцерківський національний
аграрний університет
пл. Соборна 8/1, м. Біла Церква,
Київська обл., 09117

Про авторів:

Богдан ЛОЗІНСЬКИЙ,
здобувач ступеня доктора
філософії
ORCID: 0009-0003-2068-0525

Микола ГРАБОВСЬКИЙ,
доктор сільськогосподарських наук,
професор
ORCID: 0000-0002-8494-7896

Для листування:

Микола ГРАБОВСЬКИЙ
e-mail: nikgr1977@gmail.com

Інформація про фінансування:

Міністерство освіти і науки
України

Отримано:

29 липня 2026 р.

Погоджено до друку:

22 вересня 2026 р.

Опубліковано:

30 вересня 2026 р.

Пшениця м'яка яра є важливою стратегічною культурою, яка за короткий вегетаційний період формує високоякісне зерно, тому оптимізація системи догляду за посівами набуває важливого значення для досягнення високих стабільних показників урожайності і якості зерна. Метою досліджень було виявлення особливостей формування вмісту білка у зерні сортів пшениці м'якої ярої залежно від позакореневого підживлення добривами і застосування фунгіцидів в умовах Правобережного Лісостепу України. Дослідження виконували за двофакторною схемою: фактор А – сорти пшениці м'якої ярої Оксамит миронівський і Дубравка, фактор В – позакореневе підживлення добривами і застосування фунгіцидів. Внесення фунгіцидів Амистар Екстра 280 SC (0,6 л/га), Елатус Ріа 358 SC (0,5 л/га) і позакореневе підживлення сечовиною (7 кг/га), сульфатом магнію (1 кг/га) і «Нутривантом Плюс Зерновий» (2 кг/га) проводили у фазу кушення (ВВСН 21–23) – варіанти 2–5. На варіантах 7–10 перше позакореневе підживлення добривами і застосування фунгіцидів виконали у фазі кушення (ВВСН 21–23), повторне – у фазі формування і розвитку колоса (ВВСН 41–45). У середньому за 2024 і 2025 рр. найбільший вміст білка (13,54 %) у зерні пшениці м'якої ярої виявили у сорту Дубравка за дворазового застосування фунгіциду Елатус Ріа 358 SC і позакореневого підживлення добривами: сечовина + сульфат магнію + «Нутривант Плюс Зерновий» у фазі кушення (ВВСН 21–23) та фазі формування і розвитку колоса (ВВСН 41–45). За такого варіанту застосування фунгіциду і позакореневого підживлення добривами встановили суттєве перевищення над контролем (дворазовий обробіток водою у відповідні фази – варіант 6) на 1,49 %. В аналогічному варіанті сорт Оксамит миронівський сформував вміст білка на рівні 13,13 %, що достовірно менше сорту Дубравка на 0,41 %, але із суттєвим перевищенням контролю на 1,44 %.

Ключові слова: сорт, фунгіцид, позакореневе підживлення, гідротермічний коефіцієнт, фактори впливу.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

© Лозінський Б. М., Грабовський М. Б., 2026

The effect of cultivation technology factors on the protein content in soft spring wheat grains in the Right-bank Forest-steppe region of Ukraine

Bila Tserkva National Agrarian University
Soborna Square, 8/1, Bila Tserkva,
Kyiv region, 09117

About authors:

Bohdan LOZINSKYI
ORCID: 0009-0003-2068-0525

Mykola GRABOVSKIY
ORCID: 0000-0002-8494-7896

Corresponding author:
Mykola GRABOVSKIY
e-mail: nikqr1977@gmail.com

Funding information:
Ministry of Education and Science
of Ukraine

Received:
July 29, 2026
Accepted:
September 22, 2026
Published:
September 30, 2026

Spring soft wheat is an important strategic crop that produces high-quality grain during a short growing season; therefore, optimizing the crop management system is crucial for achieving high and stable yields and grain quality. The aim of the study was to identify the characteristics of protein content formation in the grain of spring soft wheat varieties depending on foliar fertilization and the application of fungicides under the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. The study was conducted using a two-factor design: Factor A – spring soft wheat varieties Oksamyт Myronivskyi and Dubravka; Factor B – foliar fertilization and fungicide application. In treatments 2–5, the fungicides Amistar Extra 280 SC (0.6 L/ha) and Elatus Ria 358 SC (0.5 L/ha) and foliar fertilization with urea (7 kg/ha), magnesium sulfate (1 kg/ha) and Nutrivant Plus Grain (2 kg/ha) were applied at the tillering stage (BBCH 21–23). In treatments 7–10, the first foliar fertilization and fungicide application were carried out at the tillering stage (BBCH 21–23), with a repeat application at the ear formation and development stage (BBCH 41–45). On average over 2024–2025, the highest protein content in spring soft wheat grain (13.54 %) was observed in the Dubravka variety after two applications of the fungicide Elatus Ria 358 SC and foliar fertilization with urea + magnesium sulfate + Nutrivant Plus Grain at the tillering stage (BBCH 21–23) and the ear formation and development stage (BBCH 41–45). With this treatment regimen, combining fungicide application and foliar fertilization, protein content increased significantly by 1.49 percentage points compared with the control (two water applications at the corresponding growth stages, treatment 6). Under the same treatment, the Oksamyт Myronivskyi variety achieved a protein content of 13.13 %, which was significantly lower than that of the Dubravka variety by 0.41 percentage points but significantly higher than the control by 1.44 percentage points.

Keywords: spring wheat, variety, protein content, fungicide, foliar fertilization, hydrothermal coefficient, technology factors.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Вступ. Зернова галузь України є однією з ключових складових аграрного виробництва та важливим чинником економічного розвитку держави [1, 26, 27]. У структурі посівних площ сільськогосподарських культур близько 90 % займають пшениця, кукурудза, соняшник, ячмінь, ріпак і соя [9]. Завдяки високій поживній цінності зерно пшениці широко використовується у харчовій промисловості та є одним із найважливіших продуктів харчування населення світу [16, 25].

Сприятливі ґрунтово-кліматичні ресурси та вигідне географічне розташування забезпечують Україні статус

одного з провідних світових виробників зернових культур, що суттєво впливає на світовий ринок зерна [3, 14]. Водночас сучасне зерновиробництво функціонує в умовах суттєвих викликів, зумовлених глобальними змінами клімату, які проявляються підвищенням середньорічної температури повітря, нерівномірним розподілом опадів і зростанням частоти екстремальних погодних явищ [11, 33, 36], а також наслідками військової агресії [12, 17]. За таких умов особливої актуальності набуває розроблення ефективних технологічних рішень, спрямованих на підвищення продуктивності зернових культур і

забезпечення внутрішнього та зовнішнього ринків високоякісним зерном пшениці.

Пшениця м'яка яра є практично єдиною повноцінною страховою культурою у разі загибелі або значного зрідження посівів пшениці озимої. За порівняно короткий період вегетації вона здатна формувати високоякісне зерно з широкими можливостями використання у переробній промисловості. Крім того, вирощування пшениці ярої сприяє стабілізації виробництва зерна та оптимізації структури посівних площ і технологічних процесів у господарствах із різною спеціалізацією [2].

Однією з основних передумов реалізації продуктивного потенціалу сучасних сортів пшениці є оптимізація мінерального живлення рослин, що досягається завдяки раціональному застосуванню добрив [8, 31]. Однак рівень використання мінеральних добрив в Україні залишається недостатнім і в середньому не перевищує 10–15 % від науково обґрунтованої потреби [6]. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває впровадження альтернативних або додаткових способів забезпечення рослин елементами живлення, які дозволяють підвищити ефективність використання добрив і сприяють формуванню більш сталих агрофітоценозів [4, 6, 30].

Одним із перспективних технологічних прийомів є позакореневе підживлення, яке ефективно доповнює основне удобрення та забезпечує оперативне усунення дефіциту елементів живлення [4, 22]. Позакореневе внесення добрив сприяє оптимізації росту і розвитку рослин, підвищує їхню стійкість до біотичних та абіотичних стресових чинників, а також може ефективно поєднуватися із застосуванням засобів захисту рослин. До його переваг належать швидке проникнення та засвоєння поживних речовин, використання невеликих норм добрив і можливість сумісного внесення з пестицидами [29]. Науково обґрунтоване застосування позакореневого підживлення сприяє також

зменшенню антропогенного навантаження на довкілля та підвищенню економічної ефективності виробництва [34]. Результати досліджень свідчать, що застосування позакореневого підживлення азотом у посівах пшениці м'якої та твердої забезпечує формування високої врожайності й підвищення вмісту білка у зерні [21, 35].

Особливу увагу в сучасних умовах привертає проблема якості зерна пшениці, значна частина якого не повною мірою відповідає вимогам міжнародних стандартів, тоді як внутрішній ринок потребує достатньої кількості високоякісного борошна для виробництва хлібопродуктів [24]. Одним із найважливіших показників хлібопекарської якості зерна є вміст білка, який визначає технологічні властивості борошна та його придатність для переробки [18].

Проведені в умовах лівобережного Лісостепу дослідження з вивчення впливу позакореневого підживлення рослин пшениці озимої мікродобривами свідчать про збільшення показників склоподібності, вмісту білка (з 1 % до 1,5 %) та клейковини, що в цілому зумовило зростання якості зерна з третього до другого класу. За всіма технологічними показниками якості найкращим було зерно пшениці м'якої озимої, отримане у варіанті позакореневого підживлення «РОСТОК» Макро (2 л/га) + «РОСТОК» Мідь (1 л/га) [29]. У зарубіжній літературі також відзначається позитивний вплив позакореневого підживлення добривами на фоні основного удобрення на врожайність і якість зерна пшениці [28]. Науковці також відзначають доцільність диференційованого підходу до вибору препаратів фунгіцидного захисту посівів пшениці м'якої озимої з урахуванням сортових особливостей та поєднанням із позакореним підживленням мікродобривами [7].

Незважаючи на значну кількість досліджень щодо впливу систем удобрення на продуктивність пшениці, питання комплексної оцінки ефективності окремих

елементів технології вирощування, зокрема позакореневого підживлення в поєднанні із сортовими особливостями, щодо формування вмісту білка у зерні пшениці м'якої ярої в умовах Правобережного Лісостепу України залишається недостатньо вивченим. Саме тому дослідження впливу елементів технології вирощування на формування білковості зерна є актуальним як з наукової, так і з практичної точки зору, оскільки сприятиме вдосконаленню технології вирощування культури та підвищенню якості зернової продукції.

Метою досліджень було виявлення особливостей формування вмісту білка у зерні сортів пшениці м'якої ярої залежно від позакореневого підживлення добривами та застосування фунгіцидів в умовах Правобережного Лісостепу України.

Матеріал і методи. Дослідження проводили у 2024–2025 рр. в умовах дослідного поля навчально-виробничого центру Білоцерківського національного аграрного університету. Ґрунт дослідної ділянки – чорнозем типовий глибокий малогумусний крупнопилувато-легкосуглинковий на лесі з вмістом: загального гумусу – 3,15 %; лужногідролізованого азоту – 98 мг/кг ґрунту; рухомого фосфору – 106 мг/кг; обмінного калію – 88 мг/кг. У цілому ґрунти нейтральні за реакцією ґрунтового розчину, низькозабезпечені доступними для рослин формами азоту, підвищенозабезпечені рухомим фосфором та середньозабезпечені обмінним калієм.

Дослідження проводили за двофакторною схемою: фактор А – сорти пшениці м'якої ярої Оксамит миронівський і Дубравка; фактор В – позакореневе підживлення добривами та застосування фунгіцидів:

1. Контроль (обприскування водою) у фазі кушення (BBCH 21–23);

2. Амістар Екстра 280 SC (0,6 л/га) + сечовина (7 кг/га) + сульфат магнію (1 кг/га) у фазі кушення (BBCH 21–23);

3. Елатус Ріа 358 SC (0,5 л/га) + сечовина (7 кг/га) + сульфат магнію (1 кг/га) у фазі кушення (BBCH 21–23);

4. Амістар Екстра 280 SC (0,6 л/га) + Нутривант Плюс Зерновий (2 кг/га) у фазі кушення (BBCH 21–23);

5. Елатус Ріа 358 SC (0,5 л/га) + Нутривант Плюс Зерновий (2 кг/га) у фазі кушення (BBCH 21–23);

6. Контроль (обприскування водою) у фазах кушення (BBCH 21–23) та формування колоса (BBCH 41–45);

7. Амістар Екстра 280 SC (0,6 л/га) + сечовина (7 кг/га) + сульфат магнію (1 кг/га) у фазах кушення (BBCH 21–23) та формування колоса (BBCH 41–45);

8. Елатус Ріа 358 SC (0,5 л/га) + сечовина (7 кг/га) + сульфат магнію (1 кг/га) у фазах кушення (BBCH 21–23) та формування колоса (BBCH 41–45);

9. Амістар Екстра 280 SC (0,6 л/га) + сечовина (7 кг/га) + сульфат магнію (1 кг/га) + Нутривант Плюс Зерновий (2 кг/га) у фазах кушення (BBCH 21–23) та формування колоса (BBCH 41–45);

10. Елатус Ріа 358 SC (0,5 л/га) + сечовина (7 кг/га) + сульфат магнію (1 кг/га) + Нутривант Плюс Зерновий (2 кг/га) у фазах кушення (BBCH 21–23) та формування колоса (BBCH 41–45).

На усіх варіантах дослідів, включно з контролем, під час передпосівної культивування вносили мінеральні добрива: аміачну селітру (NH_4NO_3) у дозі N_{35} та нітроаммофоску марки NPK 17:17:17 – 1 ц/га. Перед сівбою насіння пшениці протруювали препаратом «Селест Макс 165 FS, ТН» – 2 л/т зерна. Попередник – кукурудза на зерно. Варіанти розміщували рандомізовано, систематично послідовно. Повторність трикратна. Площа посівної ділянки – 30 м², облікової – 24 м². Дослідження проводили відповідно до чинних методичних рекомендацій [5]. Вміст білка визначали методом інфрачервоної спектроскопії (FOSS Infratec 1241 Grain Analyzer) згідно з «Методикою проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Методи визначення показників якості

продукції рослинництва» [19] у триразовій повторності.

Агротехніка вирощування пшениці м'якої ярої – загальноприйнята для умов Лісостепу України, за винятком досліджуваних факторів. Сівбу проводили сівалкою «Клен-1,5». Норму висіву – 5 млн схожих зерен на 1 га.

Для оцінки умов вологозабезпечення в період вегетації пшениці м'якої ярої обраховували гідротермічний коефіцієнт (ГТК) за методикою Г. Т. Селянінова [15] з наступною диференціацією показників ГТК: < 0,4 – дуже сильна посуха; 0,4–0,5 – сильна посуха; 0,5–0,6 – середня посуха; 0,6–0,7 – слабка посуха; 0,7–0,9 – помірна

посуха; 1,0–1,5 – достатнє зволоження; > 1,5 – надмірне зволоження.

Результати та обговорення. Формування продуктивності та якості зерна пшениці м'якої ярої значною мірою визначається погодними умовами впродовж вегетаційного періоду. Особливий вплив мають температурний режим, кількість атмосферних опадів та рівень вологозабезпечення рослин, які безпосередньо впливають на перебіг ростових процесів, формування врожайності та накопичення білка у зерні. Тому для об'єктивної оцінки отриманих результатів проведено аналіз метеорологічних умов 2024–2025 рр. (табл. 1).

1. Метеорологічні умови вегетаційного періоду пшениці м'якої ярої у 2024–2025 рр. за даними Білоцерківської метеостанції

Місяць	Декада	Опади, мм			Температура повітря, °C		
		2024 р.	2025 р.	середні багаторічні*	2024 р.	2025 р.	середні багаторічні*
Січень	-	40	15	35	-2,2	2,0	-5,9
Лютий	-	39	3	33	3,3	-3,8	-4,4
Березень	I	0,0	0,0	9	2,4	6,3	-2,0
	II	43,8	18	9	2,2	6,2	-0,3
	III	6,2	7	12	8,3	7,8	3,1
Квітень	I	5,3	23	14	14,1	4,8	7,0
	II	39,8	5	17	11,6	11,4	7,8
	III	32,9	0,0	16	11,5	14,4	10,4
Травень	I	0,8	17	16	14,8	11,6	13,5
	II	0,0	23	12	12,9	10,6	15,3
	III	11,8	44	18	19,4	16,7	15,8
Червень	I	21,8	9	23	21,3	21,4	17,3
	II	58,8	17	27	20,0	17,4	17,4
	III	0,8	9	23	21,2	17,7	18,7
Липень	I	0,0	1	35	22,5	22,7	18,5
	II	40,9	14	24	26,5	20,6	19,4
	III	1,2	114	26	21,4	21,9	19,1

Примітка: * – використано базову норму за 1991–2020 рр.

На період сівби пшениці м'якої ярої (26 березня 2024 р.) у ґрунті сформувалися достатні запаси продуктивної вологи. Так, упродовж січня–лютого випало 79 мм опадів за середньобагаторічної норми 68 мм. У березні кількість опадів становила 50 мм, що на 20 мм перевищувало

середньобагаторічний показник (30 мм) і забезпечило сприятливі умови для отримання дружних сходів культури. У 2025 р. сівбу проводили 19 березня, однак за січень–березень випало лише 43 мм опадів, що становило 43,9 % середньобагаторічної кількості. Водночас

опадів першої декади квітня (23 мм) дещо покращили вологозабезпечення посівів пшениці м'якої ярої.

У 2024 р. з першої декади квітня до третьої декади липня ріст і розвиток рослин відбувалися загалом за умов надмірного зволоження, про що свідчить гідротермічний коефіцієнт (ГТК), який становив 1,68. Разом із тим погодні умови характеризувалися значною нерівномірністю. Так, у травні за випадання лише 12,6 мм опадів спостерігалася дуже сильна посуха (ГТК = 0,26). За винятком другої декади травня, в усі інші декади температура повітря перевищувала середньобогаторічні показники. Найбільші позитивні відхилення відмічено у першій декаді квітня та другій декаді липня (+7,1 °C), а також у перших декадах червня і липня (+4,0 °C).

У 2025 р. з другої декади квітня до третьої декади липня вегетація пшениці м'якої ярої проходила за умов слабкої посухи (ГТК = 0,84). Водночас у другій і третій декадах квітня (ГТК = 0,22), а також у першій і другій декадах липня (ГТК = 0,35) відзначено дуже сильну посуху. На відміну від 2024 р., у 2025 р. окремі періоди характеризувалися температурами, нижчими за середньобогаторічні: у першій декаді квітня (-2,2 °C), першій (-1,9 °C) та другій (-4,7 °C) декадах травня, а також у третій декаді червня (-1,0 °C). Найбільше перевищення середньобогаторічної температури зафіксовано у першій декаді липня (+4,2 °C), першій декаді червня (+4,1 °C), другій (+3,6 °C) і третій (+4,0 °C) декадах квітня.

Формування зерна пшениці м'якої ярої у третій декаді липня відбувалося за контрастних погодних умов. У 2024 р. цей період характеризувався дуже сильною посухою (ГТК = 0,05), тоді як у 2025 р. спостерігалася надмірна зволоження (ГТК = 4,73), що було зумовлено випаданням 114 мм опадів у третій декаді липня.

Аналіз метеорологічних умов свідчить, що 2024 та 2025 роки суттєво відрізнялися між собою й від середньобогаторічних показників за температурним режимом і кількістю атмосферних опадів. Такі контрастні погодні умови зумовили різний рівень вологозабезпечення рослин упродовж вегетації, що вплинуло на формування продуктивності та якісних показників зерна. Однією з причин зниження вмісту білка у зерні пшениці м'якої ярої у 2025 р. стало надмірне зволоження під час досягання культури, зокрема випадання 114 мм опадів у третій декаді липня.

Результати досліджень вказують на істотний вплив системи позакореневого підживлення та застосування фунгіцидів на формування вмісту білка у зерні пшениці м'якої ярої. У середньому за 2024–2025 рр. найвищий вміст білка встановлено у сорту Дубравка на варіанті 10, де проводили дворазове застосування фунгіциду Елатус Ріа 358 SC (0,5 л/га) у поєднанні з позакореневим підживленням сечовиною (7 кг/га), сульфатом магнію (1 кг/га) та комплексним добривом Нутрівант Плюс Зерновий (2 кг/га) у фазах кущення (ВВСН 21–23) та формування й розвитку колоса (ВВСН 41–45). За цих умов вміст білка досягав 13,54 %, що достовірно перевищувало контроль (варіант 6) на 1,49 % (табл. 2).

У сорту Оксамит миронівський за аналогічної технології вирощування вміст білка становив 13,13 %, що було на 0,41 % менше порівняно із сортом Дубравка, проте достовірно перевищувало контроль на 1,44 %. Дещо нижчі показники одержано на варіанті 9, де застосовували фунгіцид Амістар Екстра 280 SC (0,6 л/га) у поєднанні з аналогічною схемою позакореневого підживлення. Вміст білка становив 13,37 % у сорту Дубравка та 13,05 % у сорту Оксамит миронівський, що перевищувало контроль відповідно на 1,32 % і 1,36 %.

2. Вплив сорту та елементів технології вирощування на вміст білка у зерні ярої м'якої пшениці, %

Сорт (фактор А)	Застосування фунгіцидів і добрих у позакореневе підживлення (фактор В)	2024 р.	2025 р.	Середнє
Оксамит миронівський	1	12,13	11,20	11,67
	2	12,40	11,43	11,92
	3	12,53	11,53	12,03
	4	12,73	12,03	12,38
	5	12,90	12,13	12,52
	6	12,10	11,27	11,69
	7	13,23	12,03	12,63
	8	13,40	12,23	12,82
	9	13,57	12,53	13,05
	10	13,63	12,63	13,13
Дубравка	1	12,57	11,47	12,02
	2	12,67	11,67	12,17
	3	12,97	11,80	12,39
	4	13,20	12,27	12,74
	5	13,33	12,37	12,85
	6	12,63	11,47	12,05
	7	13,53	12,27	12,90
	8	13,63	12,47	13,05
	9	13,97	12,77	13,37
	10	14,17	12,90	13,54
НІР ₀₅ , для	А	0,03	0,03	-
	В	0,06	0,06	-
	АВ	0,08	0,09	-

Примітка: * – варіанти дослідів 1–5: одноразовий обробіток у фазі кушення (ВВСН 21–23): 1. Контроль (обприскування водою); 2. Амістар Екстра 280 SC (0,6 л/га) + сечовина (7 кг/га) + сульфат магнію (1 кг/га); 3. Елатус Ріа 358 SC (0,5 л/га) + сечовина (7 кг/га) + сульфат магнію (1 кг/га); 4. Амістар Екстра 280 SC (0,6 л/га) + Нутривант Плюс Зерновий (2 кг/га); 5. Елатус Ріа 358 SC (0,5 л/га) + Нутривант Плюс Зерновий (2 кг/га). Варіанти дослідів 6–10 включали дворазовий обробіток: 1 – у фазі кушення (ВВСН 21–23); 2 – у фазі формування і розвитку колоса (ВВСН 41–45). 6. Контроль (обприскування водою); 7. Амістар Екстра 280 SC (0,6 л/га) + сечовина (7 кг/га) + сульфат магнію (1 кг/га); 8. Елатус Ріа 358 SC (0,5 л/га) + сечовина (7 кг/га) + сульфат магнію (1 кг/га); 9. Амістар Екстра 280 SC (0,6 л/га) + сечовина (7 кг/га) + сульфат магнію (1 кг/га) + Нутривант Плюс Зерновий (2 кг/га); 10. Елатус Ріа 358 SC (0,5 л/га) + сечовина (7 кг/га) + сульфат магнію (1 кг/га) + Нутривант Плюс Зерновий (2 кг/га).

За одноразового застосування фунгіцидів і позакореневого підживлення добривами у фазі кушення (варіанти 2–5) вміст білка був меншим порівняно з дворазовим застосуванням цих препаратів. На контролі (варіант 1) вміст білка становив 11,67 % у сорту Оксамит миронівський та 12,02 % у сорту Дубравка. Найефективнішим у цій схемі виявився варіант 5 із застосуванням фунгіциду Елатус Ріа 358 SC (0,5 л/га) та добрива

Нутривант Плюс Зерновий (2 кг/га), де вміст білка зріс до 12,85 % у сорту Дубравка та 12,52 % у сорту Оксамит миронівський, що забезпечило достовірне перевищення контролю відповідно на 0,83 та 0,85 %.

Порівняно з контролем, за одноразового застосування фунгіцидів і позакореневого підживлення добривами (варіанти 2 і 3) приріст вмісту білка становив у сорту Оксамит миронівський 0,25 і 0,36 %, а у сорту Дубравка – 0,15 і

0,37 %. За дворазового застосування фунгіцидів і позакореневого підживлення (варіанти 7 і 8) ефективність технології була вищою: приріст відносно контролю становив відповідно 0,94 і 1,13 % у сорту Оксамит миронівський та 0,85 і 1,00 % у сорту Дубравка. Таким чином, повторне внесення фунгіцидів у поєднанні з позакореневим підживленням добривами у фазі формування колоса забезпечувало інтенсивніше накопичення білка у зерні порівняно з одноразовим їх застосуванням.

Отримані результати узгоджуються з даними інших дослідників. Зокрема, за даними Л. М. Олексій та ін. [13], встановлено, що позакореневе підживлення пшениці м'якої озимої мікродобривами Росток Zn (0,5 л/га), Росток Cu (1,0 л/га) та Росток Mn (1,0 л/га), проведене у фазі весняного кушення, виходу в трубку та колосіння, забезпечувало підвищення вмісту білка в зерні на 0,5 %. Аналогічну закономірність відзначено і в наших дослідженнях, де застосування комплексного позакореневого підживлення в поєднанні з фунгіцидним захистом сприяло достовірному збільшенню вмісту білка порівняно з контролем.

Т. М. Коткова і Л. Л. Довбиш [10] довели, що використання препаратів «НАЙС зернові» та «Акселератор Мікро» на фоні мінерального удобрення підвищувало врожайність пшениці озимої на 7,9–11,5 %, вміст клейковини – на 14,4–20,9 %, а вміст білка – до 13,6–14,1 %. Отримані нами показники вмісту білка (13,13–13,54 %) є близькими до наведених авторами, що підтверджує високу ефективність поєднання основного удобрення та позакореневого живлення рослин добривами.

Подібні результати наведено також у роботі W. Jarecki та M. Czernicka [28], у якій застосування комплексних добрив YaraVita Gramitrel, YaraVita Kombiphos та YaraVita Thiotrac покращувало забезпечення рослин елементами живлення, сприяло збільшенню площі листової поверхні, врожайності та підвищенню вмісту білка в зерні. Це свідчить про важливу роль

збалансованого мінерального живлення у формуванні високої якості зерна пшениці.

Результати наших досліджень також підтверджують висновки досліджень О. В. Сидякіної та В. В. Гамаюнової [32, які встановили, що поєднання основного удобрення з позакореневими підживленнями азотними, органо-мінеральними та бактеріальними препаратами забезпечувало підвищення вмісту білка у зерні пшениці ярої на 0,7–1,4 %. Максимальні показники якості зерна (14,9 % білка та 28,1 % клейковини) отримано за внесення $N_{30}P_{30}$ у поєднанні з позакореневим підживленням сечовиною у фазі колосіння. У наших дослідженнях найбільший вміст білка у зерні пшениці м'якої ярої забезпечило дворазове позакореневе підживлення із застосуванням сечовини (7 кг/га), сульфату магнію (1 кг/га) у поєднанні з комплексним добривом «Нутривант Плюс Зерновий» (2 кг/га) та фунгіцидним захистом «Амістар Екстра 280 SC» (0,6 л/га) або «Елатус Ріа 358 SC» (0,5 л/га).

За роками досліджень більш сприятливими для накопичення білка в зерні були погодні умови 2024 р. Так, на 10-му варіанті досліду у сорту Дубравка вміст білка становив 14,17 %, що достовірно перевищувало контроль на 1,54 % і було на 0,54 % більше, ніж у сорту Оксамит миронівський. У 2025 р. на цьому ж варіанті вміст білка зменшився до 12,90 % у сорту Дубравка та 12,63 % у сорту Оксамит миронівський, тобто був нижчим порівняно з попереднім роком відповідно на 1,27 та 1,00 %.

Важливо відзначити, що незалежно від погодних умов року та варіанту технології вирощування сорт Дубравка стабільно мав вищий вміст білка порівняно із сортом Оксамит миронівський. Зниження показників у 2025 р. було пов'язане з надмірним зволоженням під час досягання зерна, коли у третій декаді липня випало 114 мм опадів, що майже у 4,4 раза перевищувало середньобаторічний показник (26 мм). Нами встановлено, що в умовах 2024 р. найбільший вплив на

формування вмісту білка у зерні пшениці м'якої ярої мав фактор В, а саме застосування фунгіцидів і добрив для позакореневого підживлення – 86,58 %.

Фактор А (сорт пшениці ярої) визначав формування показника на рівні 12,19 %, а взаємодія досліджуваних факторів – 0,74 % (рис. 1).

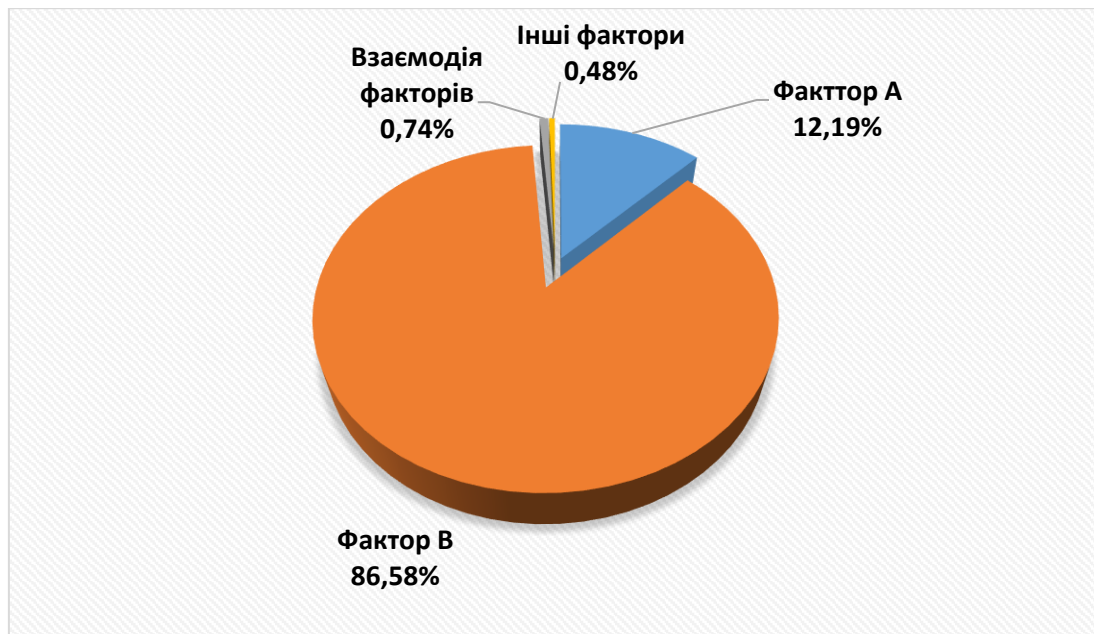


Рис. 1. Частка впливу досліджуваних факторів на вміст білка у зерні ярої м'якої пшениці, 2024 р.

У 2025 р. досліджено зростання впливу фактора В (застосування фунгіцидів і добрив при позакореновому підживленні) на формування вмісту білка у зерні до 93,66 % за значного зменшення (до 5,63 %)

частки фактора А (сорт м'якої ярої пшениці) та впливу взаємодії досліджуваних факторів – до 0,04 % (рис. 2).



Рис. 2. Частка впливу досліджуваних факторів на вміст білка у зерні ярої м'якої пшениці, 2025 р.

Отримані результати дисперсійного аналізу свідчать, що у 2024–2025 рр. головну роль у формуванні вмісту білка у зерні пшениці м'якої ярої відіграло застосування фунгіцидів і позакореневе підживлення добривами.

Висновки. Формування високопродуктивних агрофітоценозів пшениці м'якої ярої з високими показниками якості зерна в мінливих агрокліматичних умовах Правобережного Лісостепу України потребує оптимізації системи живлення рослин і фунгіцидного захисту. Встановлено, що вдосконалення фунгіцидного захисту в поєднанні зі збалансованим позакореневим підживленням добривами у критичні фази онтогенезу сприяє реалізації генетичного потенціалу сортів та підвищенню вмісту білка у зерні.

Комбіноване дворазове застосування фунгіцидів Амістар Екстра 280 SC (0,6 л/га) або Елатус Ріа 358 SC (0,5 л/га) і позакореневого підживлення добривами у фазі кушення (ВВСН 21–23) з повторним внесенням у фазі формування і розвитку колоса (ВВСН 41–45) забезпечило істотне підвищення вмісту білка у зерні пшениці м'якої ярої. Порівняно з контролем (варіант 6) приріст вмісту білка у середньому за 2024–2025 рр. становив у сорту Дубравка 0,85–1,49 %, а у сорту Оксамит миронівський – 0,94–1,44 %. Найвищий вміст білка у сортів Дубравка і Оксамит миронівський сформувався на 10-му варіанті дослідів при застосуванні бакової суміші фунгіциду Елатус Ріа 358 SC (0,5 л/га), сечовини (7 кг/га), сульфату

магнію (1 кг/га) та комплексного добрива Нутрівант Плюс Зерновий (2 кг/га) – 13,54 і 13,13 % відповідно.

На всіх варіантах дослідів сорт Дубравка формував достовірно вищий вміст білка у зерні порівняно із сортом Оксамит миронівський. Водночас обидва сорти характеризувалися подібною реакцією на досліджувані агротехнічні заходи, забезпечуючи максимальне накопичення білка за комплексного дворазового застосування фунгіцидів і позакореневого підживлення добривами у фазах ВВСН 21–23 та ВВСН 41–45.

Дисперсійний аналіз засвідчив, що визначальний вплив на формування вмісту білка у зерні мав фактор В (застосування фунгіцидів і позакореневого підживлення добривами), частка якого становила 86,58 % у 2024 р. та 93,66 % у 2025 р. Частка впливу фактора А (сорт) була значно меншою – 12,19 і 5,63 %, тоді як взаємодія факторів А × В становила лише 0,74 та 0,04 %.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на оцінку впливу досліджуваних систем живлення та фунгіцидного захисту на формування клейковини і її якісних показників, визначення економічної та енергетичної ефективності дворазового застосування фунгіцидів і позакореневого підживлення добривами, а також розширення спектра досліджуваних сортів для виділення генотипів, найбільш адаптованих до гідротермічних умов Правобережного Лісостепу України.

Список використаної літератури

1. Бараболя О. В., Доронін С. М. Вплив погодних умов і систем удобрення на урожайність пшениці озимої. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. 26 (1). С. 24–30. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.01.04>.
2. Врожайність та посівні якості насіння пшениці ярої залежно від обробки посівів фунгіцидами / С. Лісковський та ін. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія : Агрономія*. 2020. № 24. С. 176–180. https://web.archive.org/web/20201213025745id_/http://visnuk.kl.com.ua/joom/images/archive/agro/24-

References

1. Barabolia O. V., Doronin S. M. Influence of weather conditions and fertilizer systems on the winter wheat yield. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. 26 (1). 24–30. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.01.04>.
2. Yield and sowing quality of spring wheat seeds depending on fungicide treatment of crops / S. Liskovskyi et al. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu: ahronomiia*. 2020. No. 24. P. 176–180. https://web.archive.org/web/20201213025745id_/http://visnuk.kl.com.ua/joom/images/archive/agro/24-

visnuk.kl.com.ua/joom/images/archive/agro/24-2020/Agro-24-2020-32.pdf.

3. Горох О. В., Остапенко Р. М., Тихий О. М. Продовольча безпека України і світу в контексті інноваційного підходу до сталого розвитку економіки. *Економіка та суспільство*. 2023. Вип. 58. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-58-31>.

4. Дем'янюк О. С., Полтава О. П. Позакореневе підживлення як ефективний спосіб підвищення продуктивності сільськогосподарських культур. *Агроекологічний журнал*. 2025. № 4. С. 143–150. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2025.345451>.

5. Дослідна справа в агрономії : навчальний посібник / А. О. Рожков та ін. У 2 кн. Кн. 2. *Статистична обробка результатів агрономічних досліджень*. Харків : Майдан, 2016. 342 с.

6. Ефективність застосування хелатних добрив при вирощуванні пшениці ярої твердої / А. О. Османов та ін. *Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва : матеріали IX Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 28 лист. 2025 р.)*. Харків : ДБТУ, 2025. С. 119–122. <https://repo.btu.kharkiv.ua/handle/123456789/77706>.

7. Заїма О., Каліцінська О. Урожайність та якість зерна пшениці м'якої озимої за обприскування посівів фунгіцидами і мікродобривом. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2025. Т. 77 (1). С. 67–76. [https://doi.org/10.32636/01308521.2025-\(77\)-1-6](https://doi.org/10.32636/01308521.2025-(77)-1-6).

8. Іваніна В., Прокоп'юк Т. Стан родючості чорнозему вилугуваного за тривалого застосування добрив у зерно-буякових сівоzmінах. *Вісник аграрної науки*. 2024. Том 102, №. 11. С. 18–25. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202411-03>.

9. Ільчук М. М., Березовська Л. О. Перспективи експорту зерна українських нішевих культур. *Підприємництво та інновації*. 2025. № 34. С. 205–210. <https://doi.org/10.32782/2415-3583/34.33>.

10. Коткова Т. М., Довбиш Л. Л. Вплив позакореневого (фоліарного) підживлення рослин пшениці озимої на урожай і якість зерна. *Український журнал природничих наук*. 2023. № 3. С. 176–185. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.3.2023.176-185>.

11. Лихочвор В. В., Альохін В. В. Урожайність пшениці озимої залежно від сорту в умовах Західного Лісостепу. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2026. Т. 79, № 2. С. 60–68. [https://doi.org/10.32636/01308521.2026-\(79\)-2-6](https://doi.org/10.32636/01308521.2026-(79)-2-6).

12. Лозінський Б. М., Грабовський М. Б. Захист посівів пшениці ярої від хвороб за змін клімату. Збірник матеріалів науково-практичної конференції «Наукові читання до 100-річчя від дня народження Філіп'єва Івана Давидовича – видатного вченого у галузі агрохімії та ґрунтознавства», присвяченої пам'яті доктора с.-г. наук, професора, Заслуженого

2020/Agro-24-2020-32.pdf.

3. Horokh O. V., Ostapenko R. M., Tykhyi O. M. Food security of Ukraine and the world in the context of an innovative approach to sustainable economic development. *Ekonomika ta suspilstvo*. 2023. Issue 58. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-58-31>.

4. Demianiuk O. S., Poltava O. P. Foliar fertilization as an effective method for increasing the productivity of agricultural crops. *Ahroekolohichniy zhurnal*. 2025. No. 4. P. 143–150. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2025.345451>.

5. Experimental work in agronomy : textbook / A. O. Rozhkov et al. In 2 books. Book 2. *Statistical processing of results of agronomic research*. Kharkiv : Maidan, 2016. 342 p.

6. Efficiency of chelated fertilizers application in the cultivation of durum spring wheat / A. O. Osmanov et al. *Scientific principles for enhancing the efficiency of agricultural production: materialy IX Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (Kharkiv, Nov. 28, 2025 r.)*. Kharkiv : DBTU, 2025. P. 119–122. <https://repo.btu.kharkiv.ua/handle/123456789/77706>.

7. Zaima O., Kalitsinska O. Yield and grain quality of soft winter wheat following the application of fungicides and micro-fertiliser to crops. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnystvo*. 2025. Vol. 77 (1). P. 67–76. [https://doi.org/10.32636/01308521.2025-\(77\)-1-6](https://doi.org/10.32636/01308521.2025-(77)-1-6).

8. Ivanina V., Prokopiuk T. State of fertility of leached chernozem under long-term application of fertilizers in grain-beet crop rotations. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2024. Issue 102, no. 11. P. 18–25. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202411-03>.

9. Ilchuk M. M., Berezovska L. O. Prospects for export of Ukrainian niche crop grains. *Pidpriumnystvo ta innovatsii*. 2025. No. 34. P. 205–210. <https://doi.org/10.32782/2415-3583/34.33>.

10. Kotkova T. M., Dovbysh L. L. Influence of foliar fertilization of winter wheat plants on yield and grain quality. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychkh nauk*. 2023. No. 3. P. 176–185. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.3.2023.176-185>.

11. Lykhochvor V. V., Alokhin V. V. Winter wheat yield depending on variety under conditions of the Western Forest-Steppe. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnystvo*. 2026. Vol. 79, no. 2. P. 60–68. [https://doi.org/10.32636/01308521.2026-\(79\)-2-6](https://doi.org/10.32636/01308521.2026-(79)-2-6).

12. Lozinskyi B. M., Grabovskyi M. B. Protection of spring wheat crops from diseases under climate change. Zbirnyk materialiv naukovo-praktychnoi konferentsii «Scientific Readings Marking the Centenary of the Birth of Ivan Davydovych Filipiiev, an Eminent Scientist in the Fields of Agricultural Chemistry and Soil Science», dedicated to the memory of Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Honoured Worker of Science and Technology of Ukraine, FILIPiEVA IVANA DAVYDOVYChA (m. Odesa, 20 veresnia 2024 r.). Odesa : IKOSH NAAN,

діяча науки і техніки України, ФІЛІП'ЄВА ІВАНА ДАВИДОВИЧА (м. Одеса, 20 вересня 2024 р.). Одеса : ІКОСГ НААН, 2024. С. 177–179.

13. Олексій Л. М., Шубала Г. В., Семець Н. П. Продуктивність пшениці озимої залежно від внесення мікродобрив в умовах Західного Лісостепу. *Вісник аграрної науки*. 2025. Т. 103, № 5. С. 51–59. https://agrovisnyk.com/pdf/ua_2025_05_06.pdf.

14. Побоченко Л. М., Татаренко Н. О., Прокоп'єва А. А. Сучасні тренди розвитку світового ринку зерна в умовах війни в Україні. *Економіка та суспільство*. 2023. Вип. 48. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-48-29>.

15. Польовий А. М., Божко Л. Ю., Вольвач О. В. Основи агрометеорології : підручник. Одеса : Вид-во «ТЕС», 2012. 250 с. <https://dspace.organic-platform.org/server/api/core/bitstreams/c7501621-4569-41c8-9a50-4e5c19ac019e/content>.

16. Роль аграрного сектору економіки в забезпеченні продовольчої безпеки України та світу / І. О. Андрощук та ін. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія : Міжнародні економічні відносини та світове господарство*. 2022. Вип. 45. С. 10–14. <https://doi.org/10.32782/2413-9971/2022-45-2>.

17. Сівозміна як захід ресурсозаощадження та екологічної рівноваги південного регіону України в повоєнний період / В. В. Гамаюнова та ін. *Climate-smart agriculture: science and practice : Scientific monograph*. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2023. Ch. 18. С. 361–394. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-389-7-18>.

18. Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва : практикум для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 201 «Агрономія» / В. І. Глеваський та ін. Біла Церква, 2021. 175 с. <http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/9839>.

19. Ткачик С. О., Присяжнюк О. І., Лещук Н. В. Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Загальна частина. 4-те вид., випр. і доп. Вінниця : ФОП Корзун Д. Ю., 2017. 119 с. <https://press.sops.gov.ua/catalog/view/1031/1699/11008>

20. Ямковий В. Ю., Буняк О. І., Ящук Н. О. Продуктивність та якість зерна пшениці озимої залежно від позакореневого підживлення в лівобережному Лісостепу. *Аграрні інновації*. 2021. № 5. С. 101–107. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.5.16>.

21. Comparing soil vs. foliar nitrogen supply of the whole fertilizer dose in common wheat / M. Ferrari et al. *Agronomy*. 2021. Vol. 11, no. 11. Article 2138. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112138>.

22. Effects of foliar fertilization: a review of current status and future perspectives / J. Niu et al. *Journal of*

2024. P. 177–179.

13. Oleksii L. M., Shubala H. V., Samets N. P. Winter wheat productivity depending on microfertilizer application under conditions of the Western Forest-Steppe. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2025. Vol. 103, no. 5. P. 51–59. https://agrovisnyk.com/pdf/ua_2025_05_06.pdf.

14. Pobochenko L. M., Tatarenko N. O., Prokopieva A. A. Modern trends in the development of the global grain market under conditions of the war in Ukraine. *Ekonomika ta suspilstvo*. 2023. Issue 48. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-48-29>.

15. Polovyi A. M., Bozhko L. Yu., Volvach O. V. Fundamentals of agrometeorology : textbook. Odessa : Vyd-vo "TES", 2012. 250 p. <https://dspace.organic-platform.org/server/api/core/bitstreams/c7501621-4569-41c8-9a50-4e5c19ac019e/content>.

16. The role of the agricultural sector of economy in ensuring food security of Ukraine and the world / I. O. Androshchuk et al. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu. Seriiia : Mizhnarodni ekonomichni vidnosyny ta svitove hospodarstvo*. 2022. Issue 45. P. 10–14. <https://doi.org/10.32782/2413-9971/2022-45-2>.

17. Crop rotation as a measure of resource saving and ecological balance of the southern region of Ukraine in the post-war period / V. V. Hamaiunova et al. *Climate-smart agriculture: science and practice: Scientific monograph*. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2023. P. 361–394. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-389-7-18>.

18. Technology of storage and processing of crop production: practical manual for applicants of the first (bachelor's) level of higher education in speciality 201 "Agronomy" / V. I. Hlevaskyi et al. Bila Tserkva, 2021. 175 p. <http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/9839>.

19. Tkachyk S. O., Leshchuk N. V., Prysazhnuk O. I. Methodology for conducting qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. General part. 4th ed. Vinnytsia : FOP Korzun D. Yu., 2017. 119 p. <https://press.sops.gov.ua/catalog/view/1031/1699/11008>.

20. Iamkovyi V. Yu., Buniak O. I., Yashchuk N. O. Yield and grain quality of winter wheat in relation to foliar fertilisation in the Left-Bank Forest-Steppe. *Ahrarni innovatsii*. 2021. No. 5. P. 101–107. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.5.16>.

21. Comparing soil vs. foliar nitrogen supply of the whole fertilizer dose in common wheat / M. Ferrari et al. *Agronomy*. 2021. Vol. 11, no. 11. Article 2138. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112138>.

22. Effects of foliar fertilization: a review of current status and future perspectives / J. Niu et al. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2021. Vol. 21. P. 104–118. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00346-3>.

23. Enhancing grain yield and nitrogen accumulation in wheat plants grown under a Mediterranean arid environment by foliar spray with papain-released whey peptides / A. M. El-Sanatawy et

Soil Science and Plant Nutrition. 2021. Vol. 21. P. 104–118. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00346-3>.

23. Enhancing grain yield and nitrogen accumulation in wheat plants grown under a Mediterranean arid environment by foliar spray with papain-released whey peptides / A. M. El-Sanatawy et al. *Agronomy*. 2021. 11 (10). 1913. <https://doi.org/10.3390/agronomy11101913>.

24. High night temperature induced changes in grain starch metabolism alters starch, protein, and lipid accumulation in winter wheat / S. M. Impa et al. *Plant, Cell & Environment*. 2020. Vol. 43, no. 2. P. 431–447. <https://doi.org/10.1111/pce.13671>.

25. How Wheat Shortage Is Sparking a Global Food Crisis. *Earth.Org*. 30.05.2022. <https://earth.org/wheat-shortage/>.

26. Influence of mineral fertilizers on yielding capacity and quality of soft spring wheat grain / M. V. Radchenko et al. *Agronomy Research*. 2021. Vol. 19, no. 4. P. 1901–1913. <https://doi.org/10.15159/ar.21.104>.

27. Influence of seeding rate on the productivity and quality of soft spring wheat grain / M. Radchenko et al. *Agriculture and Forestry*. 2024. Vol. 70, no. 1. P. 91–103. <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.70.1.06>

28. Jarecki W., Czernicka M. Reaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) depending on the multi-component foliar fertilization. *Chemical Proceedings*. 2022. Vol. 10 (1). Article 68. <https://doi.org/10.3390/IOCAG2022-12292>.

29. Patil B., Chetah H. T. Foliar fertilization of nutrients : A review. *Marumegh*. 2018. Vol. 3. P. 49–53.

30. Plant nutrition challenges for a sustainable agriculture of the future / L. E. Hernandez et al. *Physiologia Plantarum*. 2024. Vol. 176, no. 6. Article e70018. <https://doi.org/10.1111/ppl.70018>.

31. Precision agriculture: temporal and spatial modeling of wheat canopy spectral characteristics / D. Zhang et al. *Agriculture*. 2025. Vol. 15, no. 3. P. 326. <https://doi.org/10.3390/agriculture15030326>.

32. Sydiakina, O., Gamajuova, V. Productivity of spring wheat depending on food backgrounds in the Southern Steppe of Ukraine. *Scientific Horizons*, 2020. 08 (93). 104–111. <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-93-8-104-111>.

33. The climate change impact on the development of droughts in Ukraine / A. Polevoy et al. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. Vol. 25, no. 6. P. 194–205. <https://doi.org/10.12911/22998993/187276>.

34. The effectiveness of microfertilizers for seed treatment and foliar applications of winter wheat crops / V. V. Hanhur et al. *Scientific Progress & Innovations*. 2021. (2), 46–51. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.05>.

35. Variations in yield and gluten proteins in durum wheat varieties under late-season foliar versus soil application of nitrogen fertilizer in a northern

al. *Agronomy*. 2021. 11 (10). 1913. <https://doi.org/10.3390/agronomy11101913>.

24. High night temperature induced changes in grain starch metabolism alters starch, protein, and lipid accumulation in winter wheat / S. M. Impa et al. *Plant, Cell & Environment*. 2020. Vol. 43, no. 2. P. 431–447. <https://doi.org/10.1111/pce.13671>.

25. How Wheat Shortage Is Sparking a Global Food Crisis. *Earth.Org*. 30.05.2022. <https://earth.org/wheat-shortage/>.

26. Influence of mineral fertilizers on yielding capacity and quality of soft spring wheat grain / M. V. Radchenko et al. *Agronomy Research*. 2021. Vol. 19, no. 4. P. 1901–1913. <https://doi.org/10.15159/ar.21.104>.

27. Influence of seeding rate on the productivity and quality of soft spring wheat grain / M. Radchenko et al. *Agriculture and Forestry*. 2024. Vol. 70, no. 1. P. 91–103. <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.70.1.06>.

28. Jarecki W., Czernicka M. Reaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) depending on the multi-component foliar fertilization. *Chemical Proceedings*. 2022. Vol. 10 (1). Article 68. <https://doi.org/10.3390/IOCAG2022-12292>.

29. Patil B., Chetah H. T. Foliar fertilization of nutrients : A review. *Marumegh*. 2018. Vol. 3. P. 49–53.

30. Plant nutrition challenges for a sustainable agriculture of the future / L. E. Hernandez et al. *Physiologia Plantarum*. 2024. Vol. 176, no. 6. Article e70018. <https://doi.org/10.1111/ppl.70018>.

31. Precision agriculture: temporal and spatial modeling of wheat canopy spectral characteristics / D. Zhang et al. *Agriculture*. 2025. Vol. 15, no. 3. P. 326. <https://doi.org/10.3390/agriculture15030326>.

32. Sydiakina, O., Gamajuova, V. Productivity of spring wheat depending on food backgrounds in the Southern Steppe of Ukraine. *Scientific Horizons*, 2020. 08 (93). 104–111. <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-93-8-104-111>.

33. The climate change impact on the development of droughts in Ukraine / A. Polevoy et al. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. Vol. 25, no. 6. P. 194–205. <https://doi.org/10.12911/22998993/187276>.

34. The effectiveness of microfertilizers for seed treatment and foliar applications of winter wheat crops / V. V. Hanhur et al. *Scientific Progress & Innovations*. 2021. (2), 46–51. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.05>.

35. 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 / G. Visioli et al. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2018. Vol. 98, no. 6. P. 2360–2369. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8727>.

36. Winter wheat (*Triticum aestivum* L.) yield depending on the duration of autumn vegetation and the terms of spring vegetation recovery: 50-years study in Ukraine / M. Lozinskyi et al. *Scientific Papers. Series*

Mediterranean environment / G. Visioli et al. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2018. Vol. 98, no. 6. P. 2360–2369. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8727>.

36. Winter wheat (*Triticum aestivum* L.) yield depending on the duration of autumn vegetation and the terms of spring vegetation recovery: 50-years study in Ukraine / M. Lozinskyi et al. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2023. Vol. LXVI, no. 1. P. 406–415. https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2023/issue_1/Art54.pdf.

A. Agronomy. 2023. Vol. LXVI, no. 1. P. 406–415. https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2023/issue_1/Art54.pdf.

DOI: 10.32636/01308521.2026-(80)-1-10

Оригінальна наукова стаття

УДК 633.2.031

**ВПЛИВ РЕЖИМІВ ВИКОРИСТАННЯ
НА ПРОДУКТИВНІСТЬ БАГАТОРІЧНИХ ТРАВСТОЇВ
В УМОВАХ ПІВДЕННОЇ ЧАСТИНИ ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ****В. О. Оліфірович, С. Д. Маковійчук, С. Й. Оліфірович**

Буковинська державна
сільськогосподарська дослідна
станція Інституту сільського
господарства Карпатського регіону
НААН

*вул. Крижанівського Богдана, 21-А,
м. Чернівці, 58025*

Про авторів:

Володимир ОЛІФІРОВИЧ,
кандидат сільськогосподарських
наук

ORCID: 0000-0001-8868-0204

Світлана МАКОВІЙЧУК,
науковий співробітник

ORCID: 0000-0003-3937-2154

Світлана ОЛІФІРОВИЧ,
науковий співробітник

ORCID: 0000-0002-3216-3547

Для листування:

Володимир ОЛІФІРОВИЧ

e-mail: buksaes@meta.ua

Інформація про фінансування:

Національна академія
аграрних наук України

Отримано:

25 травня 2026 р.

Погоджено до друку:

30 липня 2026 р.

Опубліковано:

30 вересня 2026 р.

Наведено результати досліджень щодо впливу режимів використання на вихід сухої речовини та ботанічний склад багаторічних травостоїв. Встановлено, що за проведення хімічної меліорації ґрунту багаторічні злакові травостої з участю люцерни посівної формують вищу урожайність порівняно з багаторічними злаковими травостоями з участю лядвенцю рогатого на нерозкислених ділянках. Так, за постійного укісного використання вихід сухої речовини зі злаково-люцернового травостою становив 8,41 т/га, зі злаково-лядвенцевого травостою – 6,25 т/га. Найнижчою продуктивність була при постійному пасовищному режимі використання – 4,89 т/га на злаково-люцерновому та 4,06 т/га сухої речовини на травостої з підсівом лядвенцю рогатого. Тому для постійного пасовищного використання на кислих ґрунтах без проведення вапнування доцільніше використовувати травостій з підсівом лядвенцю рогатого як екологічно пластичного та стійкого виду. Для злаково-люцернового агрофітоценозу необхідно використовувати перемінний або комбінований режим використання травостою, які забезпечили 6,37 та 7,02 т/га сухої речовини. На провапнованих ділянках частка люцерни посівної була високою протягом усіх трьох років пасовищного використання травостою і становила 37,9–46,4 %. На нерозкислених ділянках пасовища частка люцерни становила лише 0,7–7,6 %. Досить ефективним виявився підсів лядвенцю рогатого, частка якого становила 12,6–21,4 %. Комбіноване та перемінне використання травостою дозволили зберегти вищу частку бобового компоненту порівняно з постійним пасовищним використанням травостою.

Ключові слова: лядвенець рогатий, люцерна посівна, злакові трави, продуктивність, ботанічний склад.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

© Оліфірович В. О., Маковійчук С. Д., Оліфірович С. Й., 2026

Influence of Utilization Regimes on the Productivity of Perennial Grass Stands in the Southern Part of the Western Forest-Steppe

Bukovyna State Agricultural Research Station of the Institute of Agriculture of the Carpathian Region of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
21-A Kryzhanivskoho Bohdana St., Chernivtsi, 58025

About authors:

Volodymyr OLIFIROVYCH
ORCID: 0000-0001-8868-0204

Svitlana MAKОВИYCHUK
ORCID: 0000-0003-3937-2154

Svitlana OLIFIROVYCH
ORCID: 0000-0002-3216-3547

Corresponding author:

Volodymyr OLIFIROVYCH
e-mail: buksaes@meta.ua

Funding information:

National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

Received:
May 25, 2026
Accepted:
July 30, 2026
Published:
September 30, 2026

The results of studies on the effect of usage regimes on dry matter yield and botanical composition of perennial grass stands are presented. It has been established that, with chemical soil improvement, perennial grass stands with alfalfa produce higher yields compared to perennial grass stands with birdsfoot trefoil on non-deacidified plots. Thus, with permanent hay use, the dry matter yield from grass-alfalfa grass stands was 8.41 t/ha, and from grass-birdsfoot trefoil grass stands – 6.25 t/ha. The lowest productivity was observed with permanent grazing – 4.89 t/ha for grass-alfalfa and 4.06 t/ha of dry matter for grass stands with birdsfoot trefoil undersown. Therefore, for permanent pasture use on acidic soils without liming, it is more advisable to use a grass mixture with the addition of birdsfoot trefoil as an ecologically adaptable and resilient species. For grass-alfalfa agrophytocenosis, it is necessary to use an alternating or combined regime of grass cover, which provided 6.37 and 7.02 t/ha of dry matter. On limed plots, the proportion of alfalfa was high throughout the three years of pasture use of grass cover and amounted to 37.9–46.4 %. On unlimed pasture plots, the proportion of alfalfa was only 0.7–7.6 %. The undersowing of birdsfoot trefoil, which accounted for 12.6–21.4 %, proved to be quite effective. Combined and alternating use of grass cover allowed for a higher proportion of legumes to be preserved compared to permanent grazing use of grass cover.

Keywords: birdsfoot trefoil, alfalfa, grasses, productivity, botanical composition.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Вступ. Пасовища з бобово-злаковими травостоями, зокрема на основі люцерни посівної та лядвенцю рогатого, довели свою здатність покращувати поживність корму і продуктивність тварин [16]. Пасовищні сумішки костриці очеретяної з люцерною посівною чи лядвенцем рогатим з часткою бобових 29–33 % мали сприятливий для м'ясної худоби вміст поживних речовин [15]. Крім того, сезонний розподіл корму у сумішках лядвенцю рогатого чи люцерни посівної із злаковими травами був більш рівномірним порівняно з одновидовими посівами [18].

Люцерна посівна є однією з найбільш поширених культур у кормовиробництві. Однак за несприятливих ґрунтових умов її стійкість може бути порушена, і вона не

дасть очікуваного урожаю [14]. Водночас лядвенець рогатий відомий своєю витривалістю в складних ґрунтово-кліматичних умовах [17]. Агрофітоценози лядвенцю рогатого відзначалися сталим за роками насиченням бобовим компонентом [3]. Сумісне вирощування лядвенцю рогатого з іншими видами кормових трав забезпечує високу поживність пасовищного корму [22, 24]. Бінарні сумішки лядвенцю рогатого зі злаковими травами покращували споживання пасовищного корму великою рогатою худобою порівняно з одновидовим посівом [25]. Однак збереження запланованої частки бобових трав по роках є складним завданням в умовах інтенсивного випасу [21, 23].

Багатовидові посіви бобових та злакових трав найкраще використовувати для створення пасовищного агрофітоценозу [12]. В Україні організація пасовищних конвеєрів на поліпшених і культурних пасовищах забезпечує безперебійне випасання худоби в період з кінця першої декади травня до початку листопада. Орієнтовна тривалість пасовищного періоду становить 170–180 діб [11]. Кліматичні ресурси України за показниками природної родючості ґрунтів, умов вологозабезпеченості, температурного і світлового режимів є сприятливими для максимальної реалізації біологічного потенціалу кормової продуктивності різних екотипів люцерни посівної [8]. Так, у перші шість років життя і користування в разі залуження за безпокрової сівби формуються травостої з домінуванням висіяних компонентів із часткою люцерни посівної в одновидовому посіві на рівні 84 %, а в люцерно-злакових сумішах – 43–63 % [5].

Однак люцерна посівна негативно реагує на підвищену кислотність ґрунту [2]. Тому внесення вапна значно підвищує продуктивність люцерни на кислих ґрунтах [19]. Також використання вапна при створенні бобово-злакових фітоценозів сприяло підвищенню відсотка бобових компонентів до 61 % [7]. Вапнування ґрунту – це затратна операція. За даними Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН, використання вапнякових матеріалів значно підвищує вихід кормових одиниць, однак при цьому сприяє зростанню сумарних витрат на створення бобово-злакового травостою втричі порівняно з технологіями без вапна [20]. Лядвенець рогатий може формувати якісну трав'яну масу на кислих ґрунтах без вапнування [1]. Отже, продуктивність пасовищних систем значною мірою залежить від наявних ґрунтово-кліматичних умов, видового складу бобово-злакових травосумішок, технологій їх вирощування і використання та рівня навантаження худоби на одиницю площі

[10]. Для вдосконалення раніше розроблених технологій і обґрунтування нових способів поліпшення сіножатей і пасовищ необхідно передбачити їхню адресну адаптивність з урахуванням зонального різноманіття [9].

Матеріали і методи. Польові дослідження з вивчення впливу різних режимів використання на продуктивність багаторічних травосумішок проводили у 2021–2023 рр. у південній частині західного Лісостепу на схилі південно-західної експозиції на базі Буковинської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН. Кількість опадів за роки досліджень характеризувалася нерівномірним розподілом під час вегетації. Так, за весняний період 2021 р. випало 166,3 мм, 2022 р. – 53,4 мм, 2023 р. – 142,9 мм опадів (при середньому багаторічному показнику 169 мм). За літній період 2021 р. випало 273,8 мм, 2022 р. – 252,3 мм, 2023 р. – 227,4 мм опадів (при середньому багаторічному показнику 257 мм). Температура повітря в усі роки досліджень була значно вищою за середній багаторічний показник. Температура повітря за весняний період 2021 р. становила 8,8 °C, 2022–2023 рр. – 10,1 °C (при середньому багаторічному показнику 8,2 °C). Температура повітря за літній період 2021 р. становила 21,7 °C, 2022–2023 рр. – 21,8 °C (при середньому багаторічному показнику 18,4 °C). В цілому протягом усіх трьох років досліджень погодні умови були сприятливими для перезимівлі та вегетації багаторічних трав. Ґрунт дослідної ділянки – сірий лісовий середньопилувато-важкосуглинковий (pH_{сол} – 5,2; уміст лужногідролізованого азоту – 85 мг/кг; рухомого фосфору (P₂O₅) – 52 мг/кг; уміст обмінного калію (K₂O) – 170 мг/кг). Згідно зі схемою дослідів, перед висівом багаторічних трав (2018 р.) здійснено вапнування ґрунту (1 норма CaCO₃ за гідролітичною кислотністю). У 2021–2023 рр. мінеральні добрива на досліді не вносилися. Для сівби

на дослідних ділянках використано насіння багаторічних бобових і злакових трав таких сортів: люцерна посівна (с. Синюха – 4,5 млн насінин/га), тимофіївка лучна (с. Витава – 8,3 млн насінин/га), пажитниця багаторічна (с. Обрій – 3,2 млн насінин/га), костриця очеретяна (с. Людмила – 1,7 млн насінин/га). На нерозкислених ділянках, у зв'язку з різким зниженням частки люцерни посівної у травостої, у 2020 р. проведено підсів у дернину насіння лядвенцю рогатого (с. Аякс – 4,6 млн насінин/га). Площа посівної ділянки – 72 м², облікової – 20 м². Повторність чотириразова.

Дослідження проводили за загальноприйнятими у кормовиробництві та лукувництві методиками. Визначення ботанічного складу урожаю зеленої маси здійснювали, відбираючи з двох несуміжних повторень по 1 кг трави. Рослинність розподіляли за такими групами: бобові, злакові, різнотрав'я, визначаючи при цьому конкретні види бобових і злакових трав. Визначення урожайності зеленої маси проводили ваговим методом. Скошену траву одразу зважували, після чого відбирали середню пробу для визначення вмісту сухої речовини. Вміст сухої речовини в траві визначали термостатно-ваговим методом – шляхом висушування відібраних під час обліку проб у термостаті при температурі 105 °С до постійної ваги. Отримані дані обробляли методом дисперсійного аналізу [4, 6].

Результати та обговорення. Одним із найважливіших показників, що характеризує ефективність вирощування багаторічних трав, є урожайність. У середньому за 2021–2023 рр. вищий вихід сухої речовини забезпечив люцерно-злаковий травостій, створений на провапнованій ділянці, порівняно з люцерно-злаковим травостоєм, створеним на ділянці без вапнування ґрунту, але з підсівом лядвенцю рогатого. Так, за укісного використання продуктивність травостою на варіанті з вапнуванням у сумі за три укуси становила 8,41 т/га сухої

речовини, на варіанті з підсівом лядвенцю рогатого – 6,25 т/га. Вихід сухої речовини при пасовищному використанні також залежав від розкислення ґрунту та видового складу досліджуваних травостоїв. У сумі за 5 циклів випасання на провапнованому фоні продуктивність становила 4,89 т/га, тоді як на ділянках з підсіванням лядвенцю рогатого – 4,06 т/га. Правильне поєднання укісно-пасовищного використання може бути головним фактором підвищення ефективності використання пасовищ і збільшення продуктивного довголіття трав. Так, комбінований спосіб використання травостою (один укіс + три цикли випасання) на провапнованому фоні забезпечив 6,37 т/га сухої речовини, що на 1,48 т/га більше порівняно з постійним пасовищним використанням. На ділянках без вапнування ґрунту, але з підсівом лядвенцю рогатого комбінований спосіб використання травостою (один укіс + три цикли випасання) забезпечив 4,84 т/га сухої речовини, що на 0,78 т/га більше порівняно з постійним пасовищним використанням. Також на ділянках з підсівом лядвенцю рогатого виділився варіант з перемінним використанням травостою (у 2021 р. – укісне, у 2022 р. – пасовищне, у 2023 р. – укісне): в середньому за 2021–2023 рр. одержано 5,70 т/га сухої речовини, що на 1,64 т/га більше, ніж на варіанті з постійним пасовищним використанням травостою (табл. 1).

На пропонованому фоні варіант із перемінним режимом використання також суттєво переважав за продуктивністю варіант із пасовищним режимом використання травостою – на 2,13 т/га сухої речовини. Отже, люцерно-злаковий травостій, створений на розкисленому ґрунті, доцільніше використовувати в укісному режимі. При необхідності задіяти люцерно-злаковий агрофітоценоз як пасовище, необхідно використовувати перемінний або комбінований режим використання травостою, які забезпечили продуктивність травостою 7,02 та 6,37 т/га сухої речовини відповідно.

1. Вихід сухої речовини з багаторічного травостою (закладка 2018 р.) в середньому за 2021–2023 рр., т/га

Режим використання травостою	Укоси або цикли випасання					Разом
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	
Травосумішка: люцерна посівна + пажитниця багаторічна + тимофіївка лучна + костриця очеретяна + підсів лядвенцю рогатого (без вапнування ґрунту)						
Укісний	2,47	2,10	1,68	–	–	6,25
Пасовищний	0,98	0,81	0,88	0,61	0,78	4,06
Перемінний	2,13	1,66	1,40	0,22	0,29	5,70
Комбінований	2,43	0,87	0,83	0,71	-	4,84
Травосумішка: люцерна посівна + пажитниця багаторічна + тимофіївка лучна + костриця очеретяна (з вапнуванням ґрунту)						
Укісний	3,72	2,73	1,96	-	-	8,41
Пасовищний	1,20	0,97	1,03	0,82	0,87	4,89
Перемінний	2,92	1,96	1,60	0,23	0,31	7,02
Комбінований	3,60	0,97	0,99	0,81	-	6,37
НІР ₀₅	0,22	0,19	0,13	0,11	0,09	0,74

Ботанічний та видовий склад лучного агрофітоценозу динамічно змінюється впродовж вегетації. Частка його компонентів залежала від виду трав, системи удобрення та біологічних особливостей складових травостою. У середньому за 2021–2023 рр. ботанічний та видовий склад травостою суттєво змінювався залежно від укосу. Так, на невапнованих ділянках у першому укосі або циклі випасання домінували злаки, частка яких при пасовищному використанні становила 48,0 %, при укісному – 37,7 %, перемінному – 45,0 %, комбінованому – 43,9 %. Частка люцерни посівної у першому укосі або циклі випасання була низькою і становила 6,2–7,9 %. Із бобових компонентів на невапнованих ділянках переважав підсіяний лядвенець із часткою 18,2–24,7 %. Також у невеликій кількості (10,4–12,1 %) був поширений несіяний вид бобових трав – конюшина лучна. Вапнування ґрунту збільшувало частку бобового компонента у першому укосі або циклі випасання до 37,9–46,2 %. У другому укосі або циклі випасання відбулося збільшення частки лядвенцю рогатого до 21,4–30,2 % на варіантах без вапнування ґрунту, а люцерни посівної – до 46,2–65,3 %

на варіантах із внесенням вапнякового борошна. Найвищою частка люцерни посівної була при постійному укісному використанні травостою – 65,3 %. При комбінованому та перемінному використанні вона знизилася до 53 % і 51 % відповідно. Значно гірше цей бобовий компонент зберігався при постійному пасовищному використанні травостою, знизивши свою участь до 46,2 %. У третьому укосі або циклі випасання на ділянках без вапнування ґрунту частка люцерни посівної знизилася до 3,4–5,7 %, а з бобових видів переважав лядвенець рогатий із часткою 19,2–22,3 %. На провапнованих ділянках люцерна посівна була єдиним бобовим компонентом у складі травостою, і її частка становила 44,4–55,2 %. Окрім вапнування ґрунту, на динаміку ботанічного складу врожаю зеленої маси суттєвий вплив мав режим використання травостою. Так, на провапнованих ділянках найвищий вміст люцерни в усіх укосах спостерігали за постійного укісного використання травостою. За постійного пасовищного використання травостою частка бобового компонента знизилася на 8,3–19,1 % (табл. 2).

2. Ботанічний склад урожаю зеленої маси багаторічних трав (середнє за 2021–2023 рр.)

Культура, ботанічна група, режим використання	Укоси або цикли випасання				
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
Травосумішка: люцерна посівна + пажитниця багаторічна + тимофіївка лучна + костриця очеретяна + підсів лядвенцю рогатого (без вапнування ґрунту)					
Лядвенець рогатий	24,7	30,2	22,1	-	-
Люцерна посівна	7,7	8,8	5,7	-	-
Конюшина лучна	11,6	12,1	5,6	-	-
Злаки	37,7	28,9	48,5	-	-
Різнотрав'я (укісний)	18,3	20,0	18,1	-	-
Лядвенець рогатий	18,2	21,4	19,2	18,5	12,6
Люцерна посівна	7,6	4,7	3,4	2,1	0,7
Конюшина лучна	10,4	9,2	5,0	3,9	3,3
Злаки	48,0	46,6	53,4	53,6	63,6
Різнотрав'я (пасовищний)	15,8	18,1	19,0	21,9	19,8
Лядвенець рогатий	23,0	26,1	22,3	24,8	19,5
Люцерна посівна	6,2	8,5	5,4	5,2	3,8
Конюшина лучна	10,2	8,4	7,4	3,6	1,9
Злаки	45,0	38,6	46,0	47,7	58,3
Різнотрав'я (перемінний)	15,6	18,4	18,9	18,7	16,5
Лядвенець рогатий	20,7	25,2	20,6	19,1	-
Люцерна посівна	7,9	7,0	5,1	2,9	-
Конюшина лучна	12,1	11,6	7,3	3,9	-
Злаки	43,9	37,6	49,3	55,8	-
Різнотрав'я (комбінований)	15,4	18,6	17,7	18,3	-
Травосумішка: люцерна посівна + пажитниця багаторічна + тимофіївка лучна + костриця очеретяна (з вапнуванням ґрунту)					
Люцерна посівна	46,2	65,3	55,2	-	-
Злаки	47,8	26,3	35,5	-	-
Різнотрав'я (укісний)	6,0	8,4	9,3	-	-
Люцерна посівна	37,9	46,2	46,4	45,2	39,5
Злаки	53,0	45,3	43,6	44,5	49,9
Різнотрав'я (пасовищний)	9,1	8,5	10,0	10,3	10,6
Люцерна посівна	41,8	51,0	49,7	44,6	40,4
Злаки	52,5	40,9	41,5	46,3	52,7
Різнотрав'я (перемінний)	5,7	8,1	8,8	9,1	6,9
Люцерна посівна	43,2	53,0	51,9	44,9	-
Злаки	49,3	39,0	38,6	45,7	-
Різнотрав'я (комбінований)	7,5	8,0	9,5	9,4	-

У четвертому циклі на нерозкисленій ділянці при постійному пасовищному використанні травостою відмічено зниження частки лядвенцю рогатого до 18,5 % і зростання частки злакових трав до 53,6 %. Але найменшою частка лядвенцю рогатого була у п'ятому циклі випасання – 12,6 % з одночасним збільшенням частки злаків до 63,6 %.

Вважається, що пасовищний травостій найбільш повно відповідає потребам худоби, коли у його складі є не лише злакові, але й бобові трави, а також їстівне різнотрав'я (кульбаба лікарська, деревій, подорожник і ін.), яке в кількості до 15 % не погіршує якості корму [13]. В наших дослідженнях на люцерно-злаковому травостої за проведення вапнування частка різнотрав'я в урожаї

зеленої маси в жодному циклі випасання або укосі незалежно від режиму використання травостою не перевищувала 10,6 %. В той же час на нерозкислених ділянках з підсівом лядвенцю рогатого частка різнотрав'я в окремих укосах і циклах випасання досягала 15,4–21,9 %.

Висновки. При створенні укісно-пасовищних угідь на схилах з кислими ґрунтами за достатнього ресурсного забезпечення доцільно проводити розкислення ґрунту та створювати люцерно-злаковий травостій, що забезпечив у середньому за 2021–2023 рр. вихід 4,89–8,41 т/га сухої речовини. Для постійного пасовищного використання на кислих ґрунтах без проведення вапнування

можна використовувати травостій з підсівом лядвенцю рогатого як екологічно пластичного та стійкого виду.

Внесення вапнякового борошна було найбільш дієвим фактором зміни ботанічного та видового складу досліджуваного агрофітоценозу. На провапнованих ділянках частка люцерни посівної була високою протягом усіх трьох років пасовищного використання травостою і становила 37,9–46,4 %. На нерозкислених ділянках пасовищ частка люцерни становила лише 0,7–7,6 %. Частково вміст бобового компоненту компенсував підсіяний лядвенець рогатий, частка якого становила 12,6–21,4 %.

Список використаної літератури

1. Біохімічний склад та якість трав'яної маси конюшини повзучої і лядвенцю рогатого за фазами росту і розвитку рослин / О. В. Корнійчук та ін. *Корми і кормовиробництво*. 2021. Вип. 92. С. 116–128. <https://fri-journal.com/index.php/journal/article/view/895/766>.
2. Гетман Н. Я., Квітко М. Г., Циганський В. І. Люцерна посівна : монографія. Вінниця : ТВОРИ, 2021. 428 с. <https://repository.vsau.org/getfile.php/29810.pdf>.
3. Динаміка ботанічного складу багаторічних лучних агрофітоценозів за органічного виробництва кормової сировини. / Л. М. Бугрин та ін. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2025. Вип. 77 (2). С. 53–63. [https://doi.org/10.32636/01308521.2025-\(77\)-2-5](https://doi.org/10.32636/01308521.2025-(77)-2-5).
4. Дисперсійний і кореляційний аналіз у землеробстві та рослинництві : навч. посіб. / В. О. Ушкаренко та ін. Херсон : Айлант, 2008. 272 с.
5. Кормова продуктивність люцерно-злакових агрофітоценозів за тривалого користування / В. Г. Кургак та ін. *Вісник аграрної науки*. 2025. Том 103. № 11. С. 27–36. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202511-03>.
6. Методика проведення дослідів по кормовиробництву / за ред. А. О. Баби́ча. Вінниця, 1994. 88 с.
7. Панахид Г. Я., Коник Г. С., Котяш У. О. Формування новостворених бобово-злакових лучних травостоїв залежно від різних видів удобрення. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2019. Вип. 65. С. 114–124. [https://doi.org/10.32636/01308521.2019-\(65\)-10](https://doi.org/10.32636/01308521.2019-(65)-10).
8. Петриченко В. Ф., Гетман Н. Я., Векленко Ю. А. Обґрунтування продуктивності люцерни посівної за тривалого використання

References

1. Biochemical composition and quality of clover and birdsfoot trefoil herbaceous mass by plant growth and development stages / O. V. Kornychuk et al. *Kormy i kormovyrobnytstvo*. 2021. Issue 92. P. 116–128. <https://fri-journal.com/index.php/journal/article/view/895/766>.
2. Hetman N. Ya., Kvitko M. H., Tsyhanskyi V. I. Alfalfa for sowing : monograph.. Vinnytsia : TVORY, 2021. 428 p. <https://repository.vsau.org/getfile.php/29810.pdf>.
3. Dynamics of the botanical composition of perennial meadow agrophytocenoses in organic feed production / L. Buhryn et al. 2025. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnystvo*. Issue 77 (2). P. 53–63. [https://doi.org/10.32636/01308521.2025-\(77\)-2-5](https://doi.org/10.32636/01308521.2025-(77)-2-5).
4. Analysis of variance and correlation in agriculture and crop production : a textbook / V. O. Ushkarenko et al. Kherson : Ailant, 2008. 272 p.
5. Feed productivity of alfalfa-grass agrophytocenoses during long-term use / V. H. Kurhak et al. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2025. Vol. 103. No. 11. P. 27–36. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202511-03>.
6. Methods of conducting experiments on fodder production / za red. A. O. Babycha. Vinnytsia, 1994. 88 p.
7. Panakhid H. Ya., Konyk H. S., Kotiash U. O. Formation of newly created legume-grass meadow grasslands depending on different types of fertilization. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnystvo*. 2019. Issue 65. P. 114–124. [https://doi.org/10.32636/01308521.2019-\(65\)-10](https://doi.org/10.32636/01308521.2019-(65)-10).
8. Petrychenko V. F., Hetman N. Ya., Veklenko Yu. A. Justification of alfalfa productivity during long-term use of grass cover in conditions of climate change. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2020. Vol. 98. No. 3. P. 20–26. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202003-03>.

травостою в умовах зміни клімату. *Вісник аграрної науки*. 2020. Том 98. № 3. С. 20–26. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202003-03>.

9. Петриченко В. Ф., Корнійчук О. В., Векленко Ю. А. Наукові основи інтенсифікації виробництва кормів на луках та пасовищах України. *Корми і кормовиробництво*. 2020. № 89. С. 10–22. <https://fri-journal.com/index.php/journal/article/view/285/220>.

10. Петриченко В. Ф., Корнійчук О. В., Векленко Ю. А. Сталій розвиток лукопасовищного кормовиробництва в умовах змін клімату. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 6. С. 25–32. https://agrovisnyk.com/pdf/ua_2018_06_04.pdf.

11. Продуктивність поліпшених та культурних сіножатей і пасовищ у басейнах малих і середніх річок зони Лісостепу / В. Ф. Камінський та ін. 2021. *Вісник аграрної науки*. Том 99. № 3. С. 23–30. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202103-03>.

12. Терлецька М. І., Бурин Л. М., Сметана С. І. Урожайність та ботаніко-господарський склад пасовищного травостою залежно від травосумішок та удобрення. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2016. Вип. 60. С. 139–145. <https://phzt-journal.isgkr.com.ua/wp-content/uploads/zbirnik/60ua/22.pdf>.

13. Ярмолук М. Т., Котяш У. О., Демчишин Н. Б. Екобіологічні й агротехнічні основи створення та використання трав'янистих фітоценозів : монографія. Львів : ПАІС. 2010. 228 с. https://isgkr.com.ua/images/sampled/2020/04/20200404/ekobiologichni%20i%20agrotehnicni%20osnovu%20stvorennja%20fitocenoziv%20yarmoluk_m_t_kotyash_u_o_demchyshyn_n_b.pdf.

14. A two-year comparison on nutritive value and yield of eight lucerne cultivars and one red clover cultivar / D. Sousa et al. *Grass Forage Sci.* 2020. Vol. 75. Issue 1. P. 76–85. <https://doi.org/10.1111/gfs.12459>.

15. Binary mixtures of alfalfa and birdsfoot trefoil with tall fescue: Forage traits associated with the improved growth performance of beef steers / B. Waldron et al. *Grassl. Sci.* 2020. Vol. 66. Issue 2. P. 74–87. <https://doi.org/10.1111/grs.12257>.

16. Comparison of alfalfa, birdsfoot trefoil, and cicer milkvetch in combination with 25, 50, or 75 % tall fescue in a continuous-culture system / C. T. Noviandi et al. *Prof. Anim. Sci.* 2014. 30. P. 23–32. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30078-4](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30078-4).

17. Exploring clover-based nurse cropping for birdsfoot trefoil establishment and yield / S. Ates et al. *Grass Forage Sci.* 2025. Vol. 80. Issue 2. e12710. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gfs.12710>.

18. Forage production of grass–legume binary mixtures on intermountain western USA irrigated pastures / S. Cox et al. *Crop Sci.* 2017. Vol. 57. Issue 3. P. 1742–1753. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.04.0235>.

19. Grewal H. S. Alfalfa Responses to Combined Use of Lime and Limiting Nutrients on an Acidic Soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*.

9. Petrychenko V. F., Korniiichuk O. V., Veklenko Yu. A. Scientific basis for intensifying feed production on meadows and pastures in Ukraine. *Kormy i kormovyrobnytstvo*. 2020. No. 89. P. 10–22. <https://fri-journal.com/index.php/journal/article/view/285/220>.

10. Petrychenko V. F., Korniiichuk O. V., Veklenko Yu. A. Sustainable development of grassland fodder production in the context of climate change. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2018. No. 6. P. 25–32. https://agrovisnyk.com/pdf/ua_2018_06_04.pdf.

11. Productivity of improved and cultivated hayfields and pastures in the basins of small and medium-sized rivers in the Forest-Steppe zone / V. F. Kaminskyi et al. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2021. Vol. 99. No. 3. P. 23–30. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202103-03>.

12. Terletska M. I., Buhryn L. M., Smetana S. I. Yield and botanical and economic composition of pasture grass cover depending on grass mixtures and fertilization. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnystvo*. 2016. Issue 60. P. 139–145.

13. Yarmoliuk M. T., Kotiash U. O., Demchyshyn N. B. Ecobiological and agrotechnical foundations for the creation and use of herbaceous phytocenoses : monograph. Lviv : PAIS. 2010. 228 p. https://isgkr.com.ua/images/sampled/2020/04/20200404/ekobiologichni%20i%20agrotehnicni%20osnovu%20stvorennja%20fitocenoziv%20yarmoluk_m_t_kotyash_u_o_demchyshyn_n_b.pdf.

14. A two-year comparison on nutritive value and yield of eight lucerne cultivars and one red clover cultivar / D. Sousa et al. *Grass Forage Sci.* 2020. Vol. 75. Issue 1. P. 76–85. <https://doi.org/10.1111/gfs.12459>.

15. Binary mixtures of alfalfa and birdsfoot trefoil with tall fescue: Forage traits associated with the improved growth performance of beef steers / B. Waldron et al. *Grassl. Sci.* 2020. Vol. 66. Issue 2. P. 74–87. <https://doi.org/10.1111/grs.12257>.

16. Comparison of alfalfa, birdsfoot trefoil, and cicer milkvetch in combination with 25, 50, or 75 % tall fescue in a continuous-culture system / C. T. Noviandi et al. *Prof. Anim. Sci.* 2014. 30. P. 23–32. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30078-4](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30078-4).

17. Exploring clover-based nurse cropping for birdsfoot trefoil establishment and yield / S. Ates et al. *Grass Forage Sci.* 2025. Vol. 80. Issue 2. e12710. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gfs.12710>.

18. Forage production of grass–legume binary mixtures on intermountain western USA irrigated pastures / S. Cox et al. *Crop Sci.* 2017. Vol. 57. Issue 3. P. 1742–1753. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.04.0235>.

19. Grewal H. S. Alfalfa Responses to Combined Use of Lime and Limiting Nutrients on an Acidic Soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2010. 41 (19). P. 2247–2263. <https://doi.org/10.1080/00103624.2010.507832>.

20. Panakhyd, H., Konyk, H., Stasiv, O. Economic evaluation of models of establishment and use

2010. 41 (19). P. 2247–2263. <https://doi.org/10.1080/00103624.2010.507832>.

20. Panakhyd, H., Konyk, H., Stasiv, O. Economic evaluation of models of establishment and use technologies of legume-grass. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*. 2020. Vol. 6. No. 3. P. 221–234. <https://doi.org/10.51599/are.2020.06.03.12>.

21. Pasture Production, Persistence of Legumes and Lamb Growth in Summer-Dry Hill Pastures / Y. Gultekin et al. *Grass and Forage Science*. 2021. Vol. 76. P. 159–172. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/gfs.12497>.

22. Seeno E., Naumann H., Ates S. Production and Chemical Composition of Pasture Forbs with High Bioactive Compounds in a Low Input Production System in the Pacific Northwest. *Animal Feed Science and Technology*. 2022. Vol. 289. Article: 115324. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115324>.

23. The Effect of Increasing Pasture Species on Herbage Production, Chemical Composition and Utilization Under Intensive Sheep Grazing / C. Grace et al. *Grass and Forage Science*. 2018. Vol. 73. Issue 4. P. 852–864. <https://doi.org/10.1111/gfs.12379>.

24. The effects of organic grass and grass-birdsfoot trefoil pastures on dairy heifer development: Heifer growth, performance, and economic impact / J. A. Hadfield et al. *J. Dairy Sci.* 2021. Vol. 104. Issue 10. P. 10863–10878. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19524>.

25. The effects of organic grass and grass-birdsfoot trefoil pastures on Jersey heifer development: Herbage characteristics affecting intake / F. Rose Marcus et al. *Journal of Dairy Science*. 2021. Vol. 104. Issue 10. 10879–10895. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19563>.

technologies of legume-grass. *Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal*. 2020. Vol. 6. No. 3. P. 221–234. <https://doi.org/10.51599/are.2020.06.03.12>.

21. Pasture Production, Persistence of Legumes and Lamb Growth in Summer-Dry Hill Pastures / Y. Gultekin et al. *Grass and Forage Science*. 2021. Vol. 76. P. 159–172. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/gfs.12497>.

22. Seeno E., Naumann H., Ates S. Production and Chemical Composition of Pasture Forbs with High Bioactive Compounds in a Low Input Production System in the Pacific Northwest. *Animal Feed Science and Technology*. 2022. Vol. 289. Article: 115324. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115324>.

23. The Effect of Increasing Pasture Species on Herbage Production, Chemical Composition and Utilization Under Intensive Sheep Grazing / C. Grace et al. *Grass and Forage Science*. 2018. Vol. 73. Issue 4. P. 852–864. <https://doi.org/10.1111/gfs.12379>.

24. The effects of organic grass and grass-birdsfoot trefoil pastures on dairy heifer development: Heifer growth, performance, and economic impact / J. A. Hadfield et al. *J. Dairy Sci.* 2021. Vol. 104. Issue 10. P. 10863–10878. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19524>.

25. The effects of organic grass and grass-birdsfoot trefoil pastures on Jersey heifer development: Herbage characteristics affecting intake / F. Rose Marcus et al. *Journal of Dairy Science*. 2021. Vol. 104. Issue 10. 10879–10895. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19563>.

DOI: 10.32636/01308521.2026-(80)-1-11

Оригінальна наукова стаття

УДК 633.34

**ПОХОДЖЕННЯ КУЛЬТУРИ СОЇ
ТА СУЧАСНИЙ СТАН ВИРОБНИЦТВА****Н. М. Рудавська, Г. С. Коник, О. О. Стасів**

Інститут сільського господарства
Карпатського регіону НААН
вул. Грушевського, 5, с. Оброшине,
Львівський р-н., Львівська обл.,
81115

Про авторів:

Наталія РУДАВСЬКА,
кандидат сільськогосподарських
наук
ORCID: 0000-0002-4443-5319

Григорій КОНИК,
доктор сільськогосподарських наук
ORCID: 0000-0003-2841-2982

Олег СТАСІВ,
аспірант
ORCID: 0009-0000-5384-0597

Для листування:

Наталія РУДАВСЬКА
e-mail: nrudavska@ukr.net

Інформація про фінансування:

Національна академія
аграрних наук України

Отримано:
2 березня 2026 р.
Погоджено до друку:
28 травня 2026 р.
Опубліковано:
30 вересня 2026 р.

Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) є однією з провідних стратегічних культур світового землеробства завдяки високому вмісту білка та олії, універсальності використання й зростаючому попиту на рослинні білки. Окрім продовольчого й кормового напрямів, культуру широко застосовують у виробництві біопалива та біоматеріалів, що посилює її роль у глобальній економіці. На основі аналізу наукових джерел і статистичних даних узагальнено історію поширення сої, проаналізовано сучасний стан і перспективи виробництва. Встановлено, що культуру вирощують у понад 75 країнах світу, а світове виробництво перевищує 390 млн т за площі близько 137 млн га. Провідними виробниками є Бразилія, США та Аргентина, на які припадає понад 80 % валового збору, тоді як в Азії перевагу зберігає Китай. В аграрній структурі України соя за останні два десятиліття стала однією з найрентабельніших культур: посівні площі зросли до понад 2,6 млн га, а виробництво – до 6–7 млн т, що забезпечує країні місце серед десяти світових лідерів. Водночас урожайність характеризується значною регіональною мінливістю, зумовленою ґрунтово-кліматичними умовами та впливом погодних чинників. Обґрунтовано потребу вдосконалення адаптивних технологій вирощування, впровадження сучасних високопродуктивних сортів і оптимізації систем живлення та захисту рослин для реалізації потенціалу культури. В умовах кліматичних змін підвищення продуктивності й стабільності сої є ключовим напрямом розвитку аграрного виробництва України.

Ключові слова: соя, посівна площа, обсяг виробництва, врожайність.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

© Рудавська Н. М., Коник Г. С., Стасів О. О., 2026

The origin of soybean crop and the current status of production

Institute of Agriculture of
Carpathian Region of NAAS
Hrushevskoho street, 5,
Obroshyne village, Lviv district,
Lviv region, 81115

About authors:

Nataliia RUDAVSKA
ORCID: 0000-0002-4443-5319

Hryhorii Konyk
ORCID: 0000-0003-2841-2982

Oleh STASIV
ORCID: 0009-0000-5384-0597

Corresponding author:
Nataliia RUDAVSKA
e-mail: nrudavska@ukr.net

Funding information:
National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine

Received:
March 2, 2026
Accepted:
May 28, 2026
Published:
September 30, 2026

Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) represents one of the foremost strategic crops in global agriculture, owing to its high protein and oil content, broad applicability, and the increasing demand for plant-based proteins. Beyond its food and feed uses, soybean is extensively employed in the production of biofuels and bioproducts, further reinforcing its significance in the global economy. Based on a comprehensive review of scientific literature and statistical data, the history of soybean dissemination has been synthesized, and the current status and future prospects of its production analyzed. Soybean is cultivated in over 75 countries worldwide, with global production exceeding 390 million tons across approximately 137 million hectares. The leading producers – Brazil, the United States, and Argentina – account for roughly 80% of total output, while China remains the primary producer in Asia. In the agricultural sector of Ukraine, soybean has emerged as one of the most profitable crops over the past two decades: sown areas have expanded to over 2.6 million hectares, with production reaching 6–7 million tons, positioning Ukraine among the top ten global producers. Nevertheless, yield levels exhibit considerable regional variability, influenced by edaphic and climatic conditions as well as weather fluctuations. This underscores the need to enhance adaptive cultivation technologies, implement modern high-yielding varieties, and optimize nutrient management and crop protection strategies to fully realize the crop's potential. In the context of climate change, improving the productivity and stability of soybean cultivation represents a critical pathway for advancing Ukraine's agricultural development.

Keywords: soybean, sowing area, production volume, productivity.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Вступ. Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) протягом багатьох років належить до найважливіших культур світового землеробства [3]. Упродовж останніх років світовий ринок сої демонструє стійку тенденцію до зростання, що зумовлено її широким використанням у виробництві кормів для тварин і біопалива [6, 14]. За оцінками аналітиків, обсяг світового ринку сої у 2024 р. становив 199,66 млрд дол. США, до 2034 р. прогнозують його зростання до 310,07 млрд дол. США [56].

Цінність сої зумовлена унікальністю її хімічного складу, високою адаптивністю до різних умов вирощування, широкими напрямками використання та зростаючою потребою людства у соєвому білку, олії та інших цінних продуктах [31]. Насіння сої містить у середньому 38–42 % білка, 18–23 % жиру, 25–30 % вуглеводів, а також

ферменти, вітаміни та мінеральні речовини [22, 57]. Завдяки високому вмісту білка соя є важливою сировиною для виробництва різноманітних харчових продуктів, зокрема тофу, соєвого соусу, харчової олії та соєвого молока. Популярність цих рослинних продуктів значною мірою зумовлена зростанням інтересу до веганського та рослинно орієнтованого типу харчування, що додатково стимулює розвиток світового ринку сої [29, 41].

Сою вирощують на шістьох континентах планети. Її первинним генетичним центром походження вважають Південно-Східну Азію (зокрема територію сучасного Китаю), де її було введено в культуру понад 5000 років тому [11, 18, 19]. У давньокитайських рукописах сою згадано як одну з п'яти «святих рослин» (разом із рисом, пшеницею, ячменем та просом),

що свідчить про її фундаментальну роль у забезпеченні продовольчої безпеки тогочасного суспільства [50]. Водночас генетичні та історичні розвідки вказують на глибше коріння: одомашнення дикого предка сої (*Glycine soja* Sieb. & Zucc.) у Східній Азії могло розпочатися ще 6–9 тисячоліть тому [58]. З давніх часів соя у Китаї була одним з основних продуктів харчування, тепер її використовують як для харчових, так і для технічних потреб.

На теперішній час першість за посівними площами і валовими зборами та значенням у міжнародній торгівлі серед країн Азії належить Китаю. За статистичними даними, посіви сої в Китаї займають понад 10,3 млн га, що становить 42 % площі під культурою в Азійському регіоні, тобто 64,6 % валових зборів (20,6 млн т) [40]. Причому найважливішою зоною виробництва є його північно-східна частина, де вирощують найкраще за якістю насіння сої [11].

Близько 2000 років тому соя мігрувала до Японії, Індії та Індонезії, де її вирощують як основну харчову і кормову культуру [52, 59].

Процес поширення сої за межі Азійського регіону відбувався поступово. З Китаю сою у VII ст. було завезено до Японії [2]. У XVII–XVIII ст. завдяки місіонерам та мандрівникам культура потрапляє до Європи. Перші згадки про сою в європейських ботанічних садах датують 1740 роком (Париж), проте тривалий час її розглядали лише як екзотичну декоративну рослину. У Східній Європі вперше згадано про сою 1800 року. Її завезли моряки з Китаю під назвою «китайська жовта квасоля» і вирощували на території сучасної Хорватії.

Масштабне вивчення біологічних властивостей культури в США та країнах Західної Європи розпочалося у XIX ст., після Всесвітньої виставки у Відні, де соя привернула увагу як перспективна кормова та олійна культура. А вже на початку XX ст. стався справжній «соевий бум» [55].

На теренах України перші спроби вирощування сої датують кінцем XIX ст. у районі Коцман (сучасна Кіцмань) на Південному Заході України. Значний внесок у популяризацію культури зробив І. Г. Подоба, який проводив дослідження на Херсонщині (1874 р.). Сою почали випробовувати також на Полтавщині, Київщині, Чернігівщині, Харківщині, в Бессарабській губернії [11, 23].

Нове зростання інтересу до сої виникло в зв'язку з роботою І. Є. Овсинського (1893) на Поділлі. Попри численні невдалі спроби, йому вдалося акліматизувати до посушливих і спекотних умов Поділля два сорти – чорний і коричневий. Надалі ці сорти вивчалися не лише в Україні, а також у Західній Європі і США і стали вихідним матеріалом для робіт із селекції, акліматизації і гібридизації. Однак масштабне промислове освоєння сої розпочалося лише у 30-х роках XX ст. [55].

Сучасний етап розвитку культури характеризується стрімким розширенням посівних площ, що зумовлено високою затребуваністю на світовому ринку. Постійне нарощування обсягів світового виробництва сої зумовлене її унікальним хімічним складом, зокрема збалансованим вмістом макро- та мікроелементів, а також універсальністю використання. Стрімкий розвиток ринку соєвих бобів стимулюється зростанням споживчого попиту на альтернативні рослинні білки в межах трендів здорового харчування та вегетаріанства [33, 34, 48]. Крім харчового сектору, суттєвий вплив на популяризацію культури мають процеси урбанізації, а також розширення її застосування у промислових галузях, як-от будівництво та автомобілебудування [42, 44].

Сою вирощують у 75 країнах світу. За даними FAOSTAT (2026), на початку XXI ст. світове виробництво сої становило близько 176,6 млн т на площі 75,5 млн га. На сьогодні воно зросло на 225 %, досягнувши 397,6 млн т на площі 136,9 млн га (рис. 1).

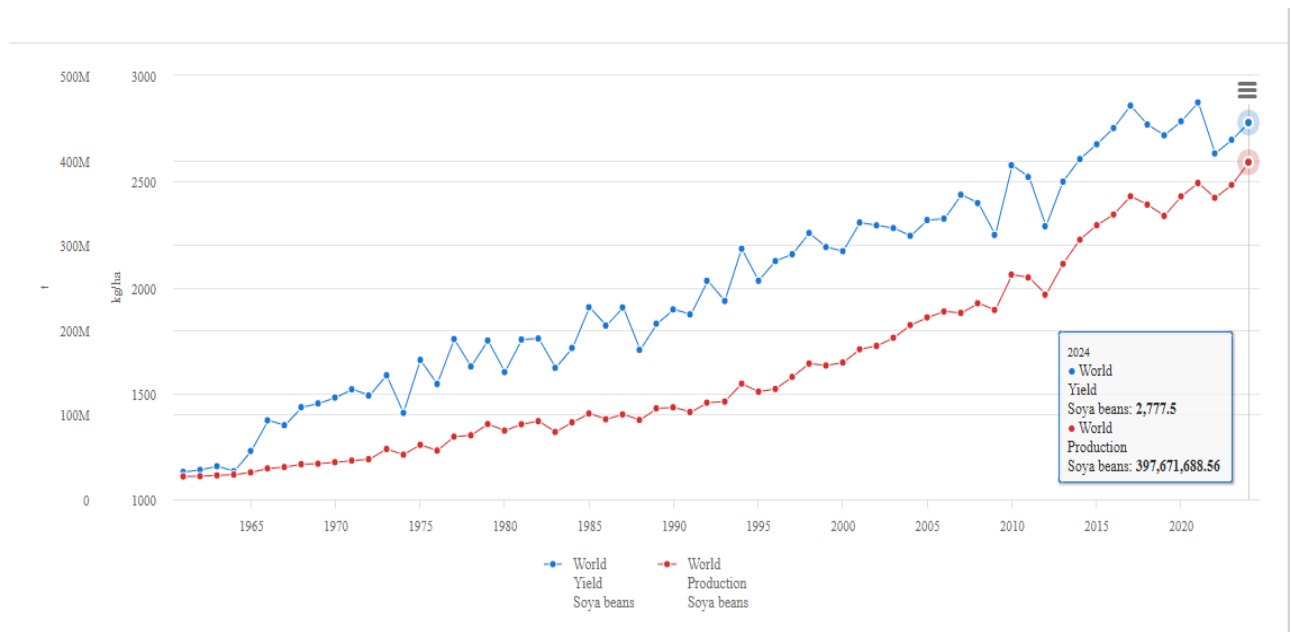


Рис. 1. Динаміка виробництва та врожайності сої у світі, 1961–2024 рр. (Джерело: FAOSTAT, 2026)

Селекційні досягнення та розвиток харчових технологій перетворили сою на світового лідера серед білково-олійних культур, особливо в країнах Північної та Південної Америки (США, Бразилія, Аргентина) [15], які сукупно виробляють

311,5 млн т, що становить майже 80 % світового виробництва соєвих бобів (рис. 2). Причому на Південну Америку припадає 50 % виробництва, на Північну Америку – 30 %.

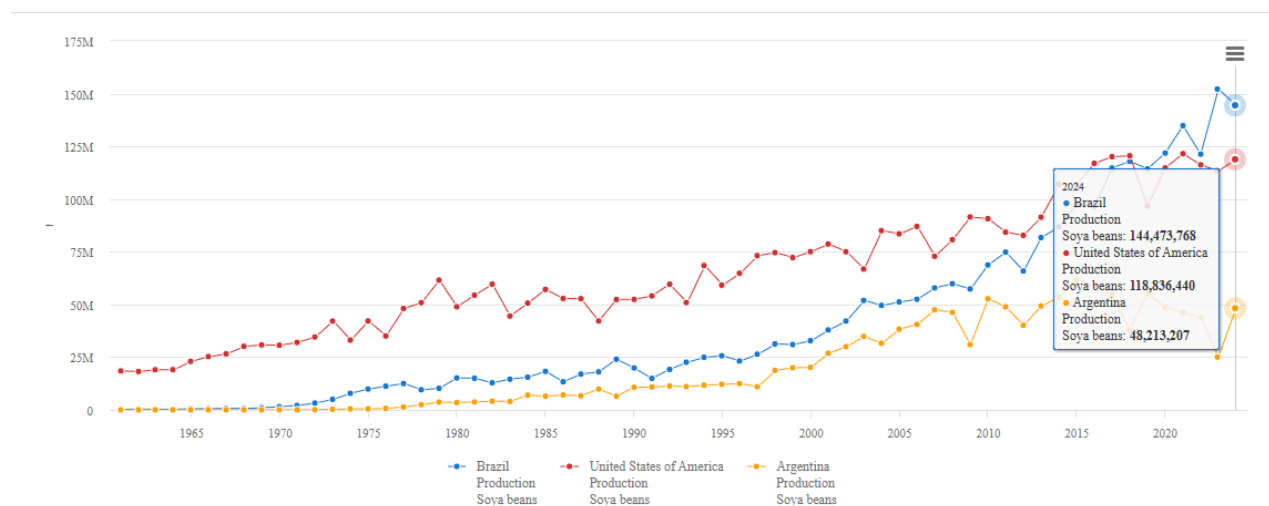


Рис. 2. Динаміка виробництва сої у США, Бразилії і Аргентині, 1961–2024 рр. (Джерело: FAOSTAT, 2026)

У структурі українського агровиробництва соя виступає як високорентабельна культура, що становить дієву конкуренцію традиційним олійним і технічним рослинам. Її вирощування

дозволяє аграріям диверсифікувати ризики та оптимізувати прибутковість завдяки стійкому попиту та стабільній маржинальності. Аналіз динаміки галузі свідчить про безпрецедентне зростання

інтересу агровиробників до цієї культури [8]. Згідно з даними FAOSTAT (2026), за цей період відбулося масштабування виробництва за всіма ключовими

показниками. Зокрема, посівні площі збільшилися з 60,6 тис. га до 2,7 млн га, а валовий збір – з 64,4 т до 6,6 млн т.

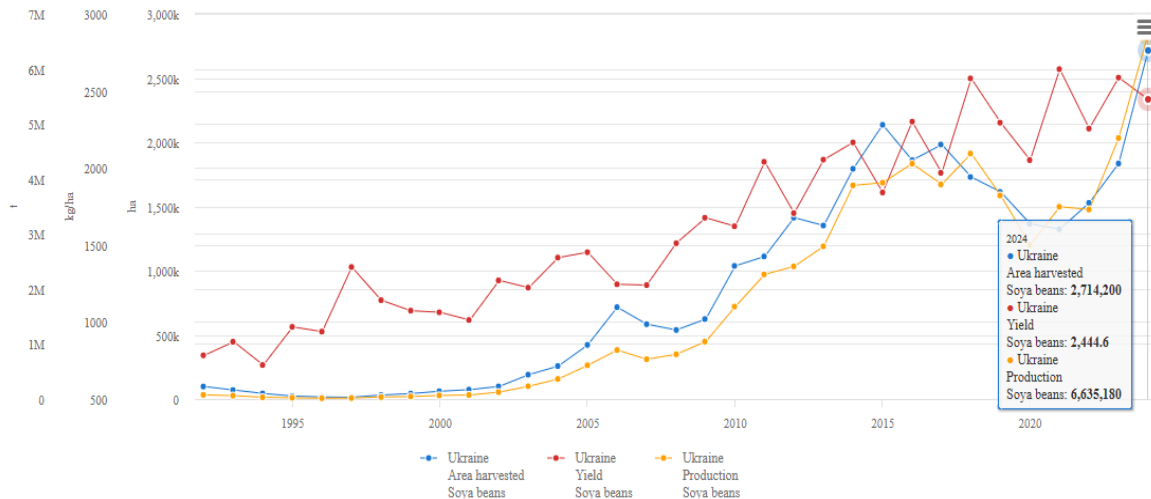


Рис. 3. Динаміка посівних площ, виробництва та врожайності сої в Україні, 1961–2024 рр. (Джерело: FAOSTAT, 2026)

Як видно з рис. 3, період з 1961 до 2024 рр. можна чітко розділити на етап тривалої стагнації та фазу активного «соевого буму», що розпочалася після 2000 р. Завдяки таким темпам розвитку Україна де-факто здобула статус лідера з виробництва сої в Європі. За даними асоціації «Дунайська соя» [35], у

2011–2012 рр. Україна виробляла найбільше сої серед країн Східної Європи (2,77 млн т), що перетворило її на одного з ключових гравців на ринку соєвих бобів і дозволило впевнено закріпитися у першій десятці світового рейтингу з часткою 2 % у загальному виробництві [56] (табл.).

Найбільші країни-виробники сої у світі

Місце	Країна	Виробництво (млн т)	Частка світового виробництва у 2024–25 рр. (%)
1	Бразилія	169,0	40
2	США	118,84	28
3	Аргентина	50,9	12
4	Китай	20,65	5
5	Індія	12,58	3
6	Парагвай	10,2	2
7	Канада	7,57	2
8	Україна	7,2	2
9	Росія	7,05	2
10	Уругвай	4,2	0,99

Джерело: <https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/2222000>.

Регіональний аналіз динаміки виробництва (1961–2024 рр.), представлений на рис. 4, демонструє

беззаперечне лідерство України серед країн Східної Європи, починаючи з 2005 року. Протягом досліджуваного періоду

спостерігається трансформація структури аграрного виробництва, де Україна

виокремилася як основний виробник соєвих бобів у регіоні.

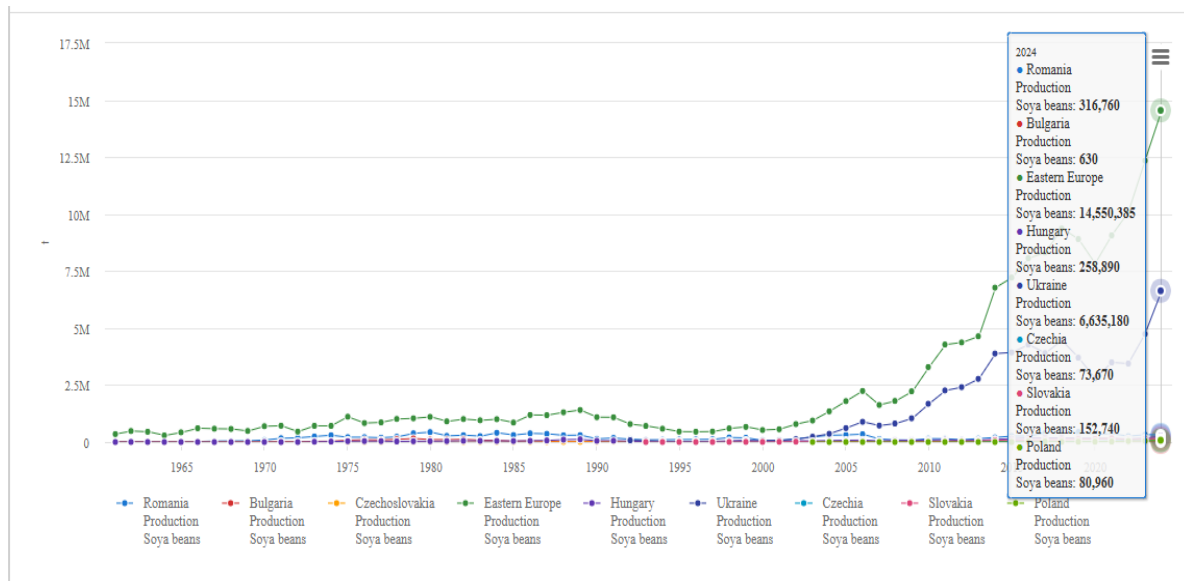


Рис. 4. Динаміка виробництва сої в Східній Європі, 1961–2024 рр. (Джерело: FAOSTAT, 2026)

Загальна посівна площа сої в Україні в 2024 р. становила 2616 тис. га, що дозволило отримати 6,6 млн т зерна. Найбільші посівні площі були зосереджені в Полтавській (290,64 тис. га), Хмельницькій (276,1 тис. га), Житомирській (216,28 тис. га), Київській (205,4 тис. га) і Черкаській областях (185,5 тис. га) [7].

Розширення виробництва сої в Україні є перспективним з огляду на наявність стабільних ринків збуту, зокрема завдяки вигідному географічному та логістичному розташуванню країни щодо одного з найбільших світових імпортерів цієї культури – Європейського Союзу [10]. На теперішній час європейський попит на зернові бобові, зокрема сою, є високим [34, 42, 49]. Європейський Союз разом із Великою Британією імпортує близько 14 млн т (Мт) соєвих бобів та 18 Мт соєвого шроту [47]. За даними [38], країни ЄС + Велика Британія виробляють лише 8 % від загальної потреби, а понад 85 % дефіциту білка покривається імпортом [46]. Серед ключових країн-імпортерів – Німеччина, Нідерланди, Італія, Угорщина, Чехія, а також Єгипет і Ліван. Водночас основними

постачальниками сої на європейський ринок залишаються Бразилія та США. Отже, ринки збуту для української сої є достатньо перспективними.

На сьогодні збільшення обсягів виробництва сої зумовлене як розширенням посівних площ, так і зростанням урожайності зерна [9, 13, 51]. Інтенсифікація сучасного виробництва дозволяє уникнути конкуренції за землю з іншими культурами та запобігти експансії у природні екосистеми. Водночас бобові можна вирощувати навіть на малопродуктивних ґрунтах [45]. Україна демонструє не лише найбільші обсяги виробництва, а й конкурентну врожайність, яка у сприятливі роки наближається до середньоєвропейських показників. Порівняно з 1992 р. середня врожайність сої зросла на 308 % і у 2024 р. досягла 2,44 т/га. Рекордну врожайність (2,64 т/га) було отримано у 2021 р. Крім того, українським виробникам сої належать два світові рекорди врожайності культури: 102,3 ц/га на зрошуваних та 74,9 ц/га на незрошуваних землях [24]. Використання сучасних високопродуктивних сортів у поєднанні з науково обґрунтованими

технологічними прийомами вирощування дозволяє стабільно формувати врожайність на рівні 4–5 т/га без значних ресурсних затрат [19, 25]. Проте через значну

залежність від погодних умов та велику площу посівів середня врожайність в Україні часто коливається сильніше, ніж у країнах ЄС (рис. 5) [4, 40].

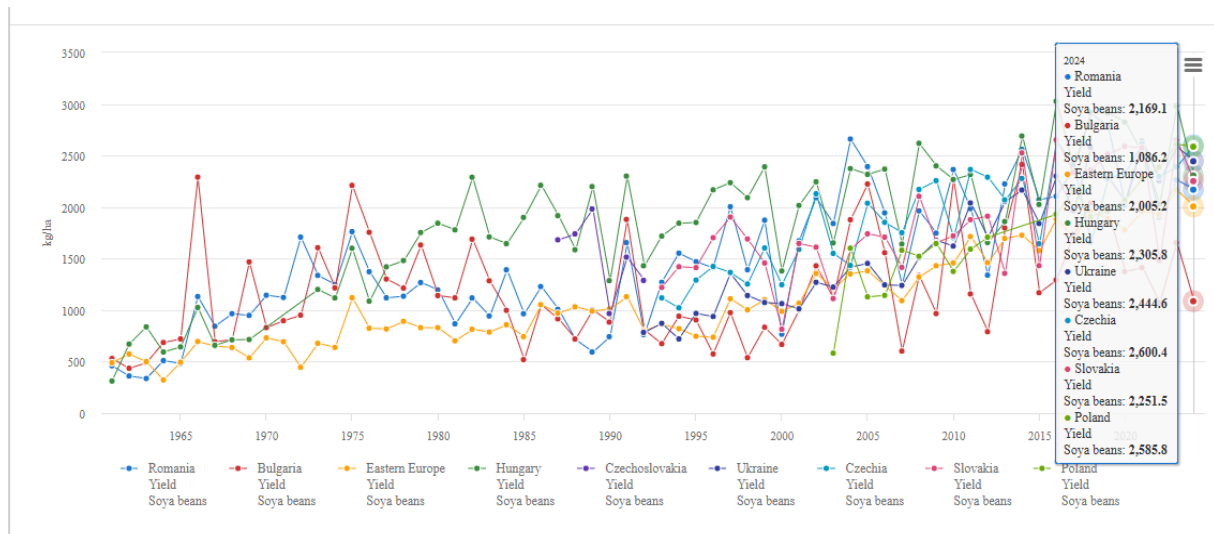


Рис. 5. Врожайність сої в країнах Східної Європи, 1961–2024 рр. (Джерело: FAOSTAT, 2026)

Аналіз середньої врожайності сої в регіонах за останні роки свідчить, що найвищий рівень характерний для західних областей. Зокрема, у 2024 р. урожайність сої в Івано-Франківській області була на рівні 3,2 т/га, Львівській – 3,1, Тернопільській, Рівненській і Волинській – 3,0, Закарпатській – 2,2 т/га, Чернівецькій – 2,4 т/га. Для порівняння: у Черкаській, Київській – 1,6 т/га, Харківській – 1,2 т/га, Одеській – 1,3 т/га, а середня в Україні у 2024 р. становила 2,4 т/га [26]. У 2025 р. середні показники знизилися, водночас суттєво поглибився дисбаланс між регіонами: якщо на Півдні врожайність становила менше ніж 1 т/га, то на Заході вона перевищила 3,5 т/га [5].

Водночас, за оцінками вчених, культура має суттєвий резерв для подальшого нарощування продуктивності [16, 17, 21]. За оцінкою дослідників, продуктивність сої не перевищує 51 % від потенційної врожайності [32, 38]. Цей значний резерв росту можна реалізувати завдяки впровадженню інноваційних рішень: високоінтенсивних сортів і гібридів, засобів захисту рослин нового

покоління, а також досягнень нанотехнологій [1, 27, 30, 53]. Крім того, через зміну клімату значні площі можуть стати більш придатними для виробництва сої в майбутньому [28, 36, 42].

Висновки. Глобальний ринок сої динамічно розвивається, стимульований попитом на кормовий білок, біопаливо та рослинні продукти харчування, з прогнозом досягнення обсягу в 310,07 млрд дол. США до 2034 р.

Україна перетворилася з імпортера знань про сою на найбільшого виробника в Європі та займає 8-ме місце у світі, маючи стабільний та високомаржинальний ринок збуту в країнах ЄС, які імпортують понад 85 % потрібного їм рослинного білка.

Основним вектором розвитку є інтенсифікація виробництва. Попри значні кліматичні ризики та регіональний дисбаланс урожайності (перевага Заходу над Півднем), використання сучасних технологій та нових сортів дозволяє реалізувати невикористаний біологічний потенціал культури без розширення посівних площ.

Список використаної літератури

1. Аналіз фітосанітарного стану посівів різних сортів сої в умовах Південного Степу України / Г. О. Балан та ін. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018. Т. 14, № 3. С. 295–301. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.3.2018.145300>.
2. Бабиць А. О. Соя для здоров'я і життя на планеті Земля. Київ : Аграрна наука, 1998. 271 с.
3. Бабиць А. О. Сучасне виробництво і використання сої. Київ : Урожай, 1993. 432 с.
4. Бербенець О. В. Світове виробництво сої як невичерпного джерела білків рослинного походження та місце України на світовому ринку торгівлі нею. *Агросвіт*. 2019. № 10. С. 41–45.
5. В Україні намололи майже 1 млн тонн сої: за врожайністю лідирує Львівщина. URL: <https://superagronom.com/news/21396-v-ukrayini-namolotili-mayje-1-mln-tonn-soyi-za-vrojajnistyu-lidiruye-lvivschina> (дата звернення: 18.02.2026).
6. Голодна А. В., Грицюк Я. В. Культура соя та її значення у сучасному світовому і вітчизняному агропромисловому виробництві. *Збалансоване природокористування*. 2024. № 2. С. 100–109.
7. Державна служба статистики України : офіційний сайт. URL: <http://ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 18.02.2026).
8. Дідур І. М., Голованюк А. Б. Стан та перспективи виробництва сої в Україні. *Аграрні інновації*. 2025. № 30. С. 193–196. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.30.27>.
9. Коробко А. А. Динаміка виробництва сої в Україні та світі. *Збалансоване природокористування*. 2021. № 4. С. 125–134. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2021.253098>.
10. Лебідь Л. Рекордне вирощування. Куди і як експортуватиметься українська соя. 2023. URL: <https://agroportal.ua/publishing/lichnyi-vzglyad/rekordne-viroshchuvannya-kudi-i-yak-eksportuvatimetsya-ukrajinska-soya> (дата звернення: 03.03.2026).
11. Лещенко А. К. Культура сои. Киев : Наук. думка, 1978. 236 с.
12. Лещенко А. К. Культура сої на Україні : монографія / за ред. М. М. Кулешова. Київ, 1962. 328 с.
13. Львовський О. Сучасний стан та перспективи вирощування сої в світі та Україні. *Сільське господарство та лісівництво*. 2025. № 4 (39). С. 177–184. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2025-4-15>.
14. Мазур О. В. Перспективи виробництва сої в Україні. *Зб. наук. пр. ВНАУ*. 2012. № 1 (57). С. 57–61.
15. Мельник В. Культура сої в Україні та світі: історія, сьогодення, перспективи. *Історія науки і біографістика*. 2024. № 3. С. 92–111.
16. Мізерник Д. В. Сучасний стан та перспективи вирощування сої в світі і Україні. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2024. Вип. 76 (1). С. 36–47. [https://doi.org/10.32636/01308521.2024-\(76\)-1-4](https://doi.org/10.32636/01308521.2024-(76)-1-4).

References

1. Analysis of the phytosanitary state of crops of various soybean varieties in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine / H. O. Balan et al. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018. Vol. 14, no. 3. P. 295–301. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.3.2018.145300>.
2. Babych A. O. Soy for health and life on planet Earth. Kyiv : Agrarna nauka, 1998. 271 p.
3. Babych A. O. Modern production and use of soybeans. Kyiv : Urozhai, 1993. 432 p.
4. Berbenets O. V. World-wide production of soya as an inexhaustible source of vegetable proteins and Ukraine's place in the global trading market. *Ahrosvit*. 2019. No. 10. P. 41–45.
5. Almost 1 million tons of soybeans were threshed in Ukraine: Lviv region leads in yield. URL: <https://superagronom.com/news/21396-v-ukrayini-namolotili-mayje-1-mln-tonn-soyi-za-vrojajnistyu-lidiruye-lvivschina> (last accessed: 18.02.2026).
6. Holodna A. V., Hrytsiuk Ya. V. Soybean culture and its importance in modern world and domestic agricultural production. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia*. 2024. No. 2. P. 100–109.
7. State Statistics Service of Ukraine : official website. URL: <http://ukrstat.gov.ua> (access date: 18.02.2026).
8. Didur I. M., Holovaniuk A. B. State and prospects of soybean production in Ukraine. *Ahrarni innovatsii*. 2025. No. 30. P. 193–196. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.30.27>.
9. Korobko A. A. Dynamics of soybean production in Ukraine and the world. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia*. 2021. No. 4. P. 125–134. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2021.253098>.
10. Lebid L. Record cultivation. Where and how will Ukrainian soybean be exported. 2023. URL: <https://agroportal.ua/publishing/lichnyi-vzglyad/rekordne-viroshchuvannya-kudi-i-yak-eksportuvatimetsya-ukrajinska-soya> (last accessed: 03.03.2026).
11. Leshchenko A. K. Soybean culture. Kiev : Nauk. dumka, 1978. 236 p.
12. Leshchenko A. K. Soybean culture in Ukraine : monograph / za red. M. M. Kuleshova. Kyiv, 1962. 328 p.
13. Lvovskyi O. Current state and prospects of soybean cultivation in the world and Ukraine. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo*. 2025. No. 4 (39). P. 177–184. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2025-4-15>.
14. Mazur O. V. Prospects for soybean production in Ukraine. *Zb. nauk. pr. VNAU*. 2012. No. 1 (57). P. 57–61.
15. Melnyk V. Soybean culture in Ukraine and the world: history, present, prospects. *Istoriia nauky i biohrafistyka*. 2024. No. 3. P. 92–111.
16. Mizernyk D. V. Current state and prospects for soybean cultivation in the world and Ukraine. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynystvo*. 2024. Issue 76 (1). P. 36–47.

17. Перетятко С. Г., Рудік О. Л. Сучасний стан та прикладні аспекти перспектив розвитку виробництва сої в Україні. *Зрошуване землеробство*. 2021. Вип. 76. С. 49–53.
18. Петриченко В. Ф. Виробництво та використання сої в Україні. *Агроном*. 2009. № 3. С. 79–81.
19. Петриченко В. Ф. Виробництво та використання сої в Україні. *Вісник аграрної науки*. 2008. № 3. С. 24–27.
20. Петриченко В., Лихочвор В. Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур : підручник. 5-те вид. Львів : Українські технології, 2022. 808 с.
21. Рибальченко А. М. Особливості формування сортових ресурсів та урожайності сої в Україні. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2022. № 3. С. 18–25. <https://doi.org/10.31210/visnyk2022.03.02>.
22. Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) : монографія / В. В. Кириченко та ін. Харків, 2016. 400 с.
23. Соя в інтенсивному землеробстві : монографія / В. А. Мазур та ін. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2022. 220 с.
24. Соя: вирощування, живлення, удобрення. URL: <https://agroelita.info/soya-vyroschuvannya-zhyvlennya-udobrennya/> (дата звернення: 18.02.2026).
25. Сучасне виробництво сої як елемент розв'язання проблеми харчового білка: світові тренди та вітчизняні реалії / О. Г. Жуйков та ін. *Таврійський науковий вісник*. 2020. № 116, ч. 1. С. 54–63.
26. Урожай сої за 2024 та 2023 роки в Україні та по всіх областях. URL: <https://superagronom.com/multimedia/infographics/94-urojay-soyi-za-2024-ta-2023-roki-v-ukrayini-ta-po-vsih-oblastyah> (дата звернення: 18.02.2026).
27. Addressing global food insecurity: Soil-applied zinc oxide nanoparticles promote yield attributes and seed nutrient quality in *Glycine max* L. / E. Yusefi-Tanha et al. *Science of the Total Environment*. 2023. Vol. 876. 162762. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162762>.
28. Agro-economic prospects for expanding soybean production beyond its current northerly limit in Europe / K. Karges et al. *European Journal of Agronomy*. 2022. 133. 126415.
29. Aiking H., de Boer J. The next protein transition. *Trends in Food Science & Technology*. 2020. Vol. 105. P. 515–522.
30. Alfonso M. Improving soybean seed oil without poor agronomics. *Journal of Experimental Botany*. 2020. Vol. 71, issue 22. P. 6857–6860. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa407>.
31. Assessing the yield potential of soybean maturity groups in different Ukrainian climatic zones / V. Yatsenko et al. *Agronomy Research*. 2025. Vol. 23, no. 3. P. 1697–1718. <https://doi.org/10.15159/AR.25.082>.
32. Cereal yield gaps across Europe / R. Schils et al. *European Journal of Agronomy*. 2018. Vol. 101. P. [https://doi.org/10.32636/01308521.2024-\(76\)-1-4](https://doi.org/10.32636/01308521.2024-(76)-1-4).
17. Peretiatko S. H., Rudik O. L. Current status and applied aspects of the prospects for the development of soybean production in Ukraine. *Zroshuvane zemlerobstvo*. 2021. Issue 76. P. 49–53.
18. Petrychenko V. F. Production and use of soybeans in Ukraine. *Ahronom*. 2009. No. 3. P. 79–81.
19. Petrychenko V. F. Production and use of soybeans in Ukraine. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2008. No. 3. P. 24–27.
20. Petrychenko V., Lykhochvor V. Crop production. New technologies for growing field crops : textbook. 5-te vyd. Lviv : Ukrainski tekhnolohii, 2022. 808 p.
21. Rybalchenko A. M. Features of the formation of varietal resources and soybean yields in Ukraine. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*. 2022. No. 3. P. 18–25. <https://doi.org/10.31210/visnyk2022.03.02>.
22. Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) : monograph / V. V. Kyrychenko et al. Kharkiv, 2016. 400 p.
23. Soybean in intensive farming : monograph / V. A. Mazur et al. Vinnytsia : Nilan-LTD, 2022. 220 p.
24. Soybean: cultivation, nutrition, fertilization. URL: <https://agroelita.info/soya-vyroschuvannya-zhyvlennya-udobrennya/> (last accessed: 18.02.2026).
25. Modern soybean production as an element of solving the problem of food protein: world trends and domestic realities / O. H. Zhuikov et al. *Tavriyskyi naukovyi visnyk*. 2020. No. 116, part 1. P. 54–63.
26. Soybean harvest for 2024 and 2023 in Ukraine and all regions. URL: <https://superagronom.com/multimedia/infographics/94-urojay-soyi-za-2024-ta-2023-roki-v-ukrayini-ta-po-vsih-oblastyah> (last accessed: 18.02.2026).
27. Addressing global food insecurity: Soil-applied zinc oxide nanoparticles promote yield attributes and seed nutrient quality in *Glycine max* L. / E. Yusefi-Tanha et al. *Science of the Total Environment*. 2023. Vol. 876. 162762. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162762>.
28. Agro-economic prospects for expanding soybean production beyond its current northerly limit in Europe / K. Karges et al. *European Journal of Agronomy*. 2022. 133. 126415.
29. Aiking H., de Boer J. The next protein transition. *Trends in Food Science & Technology*. 2020. Vol. 105. P. 515–522.
30. Alfonso M. Improving soybean seed oil without poor agronomics. *Journal of Experimental Botany*. 2020. Vol. 71, issue 22. P. 6857–6860. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa407>.
31. Assessing the yield potential of soybean maturity groups in different Ukrainian climatic zones / V. Yatsenko et al. *Agronomy Research*. 2025. Vol. 23, no. 3. P. 1697–1718. <https://doi.org/10.15159/AR.25.082>.
32. Cereal yield gaps across Europe / R. Schils et al. *European Journal of Agronomy*. 2018. Vol. 101. P.

32. Cereal yield gaps across Europe / R. Schils et al. *European Journal of Agronomy*. 2018. Vol. 101. P. 109–120.
33. Curran J. The nutritional value and health benefits of pulses in relation to obesity, diabetes, heart disease and cancer. *British Journal of Nutrition*. 2012. Vol. 108 (S1). P. S1–S2. <https://doi.org/10.1017/S0007114512003534>.
34. De Visser C. L. M., Schreuder R., Stoddard F. The EU's dependency on soya bean import for the animal feed industry and potential for EU produced alternatives. *OCL*. 2014. Vol. 21, no. 4. D407. 8 p.
35. Donau Soja : official website. URL: <https://www.donausoja.org> (last accessed: 18.02.2026).
36. Environment and not genotype drives soybean yield stability in Northern Germany / R. A. Omari et al. *Agronomy Journal*. 2025. 117. e70059. 18 p. <https://doi.org/10.1002/agj2.70059>.
37. Erbersdobler H. F., Barth C. A., Jahreis G. Legumes in human nutrition. Nutrient content and protein quality of pulses. *Ernährungs Umschau*. 2017. Vol. 64, no. 9. P. 134–139.
38. European soybean consumption and production / M. K. van Ittersum et al. *Our Future Proteins: A Diversity of Perspectives*. Amsterdam : VU University Press, 2023. P. 31–39.
39. European soybean to benefit people and the environment / J. L. Rotundo et al. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. 7612. 14 p. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57522-z>.
40. FAOSTAT. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (last accessed: 18.02.2026).
41. Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems / W. Willett et al. *The Lancet*. 2019. Vol. 393, no. 10170. P. 447–492.
42. Fraanje W., Garnett T. Soy: Food, Feed, and Land Use Change. Food Climate Research Network, 2020. <https://www.doi.org/10.56661/47e58c32>.
43. Future area expansion outweighs increasing drought risk for soybean in Europe / C. Nendel et al. *Global Change Biology*. 2023. Vol. 29, no. 5. P. 1340–1358. <https://doi.org/10.1111/gcb.16562>.
44. Global Market Report: Soybean Prices and Sustainability / V. Voora et al. IISD, 2024. 38 p. URL: <https://www.iisd.org/system/files/2024-02/2024-global-market-report-soybean.pdf> (last accessed: 18.02.2026).
45. Gogoi N., Baruah K. K., Meena R. S. Grain legumes: impact on soil health and agroecosystem. *Legumes for Soil Health and Sustainable Management*. Singapore : Springer, 2018. P. 511–539.
46. Grain legume production and use in European agricultural systems / C. A. Watson et al. *Advances in Agronomy*. 2017. Vol. 144. P. 235–303.
47. Grain legume production in Europe for food, feed and meat-substitution / M. P. van Loon et al. *Global Food Security*. 2023. Vol. 39. 100723. 9 p. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2023.100723>.
48. Maphosa Y., Jideani V. A. The role of legumes in human nutrition. *Functional Food – Improve Health* 109–120.
33. Curran J. The nutritional value and health benefits of pulses in relation to obesity, diabetes, heart disease and cancer. *British Journal of Nutrition*. 2012. Vol. 108 (S1). P. S1–S2. <https://doi.org/10.1017/S0007114512003534>.
34. De Visser C. L. M., Schreuder R., Stoddard F. The EU's dependency on soya bean import for the animal feed industry and potential for EU produced alternatives. *OCL*. 2014. Vol. 21, no. 4. D407. 8 p.
35. Donau Soja : official website. URL: <https://www.donausoja.org> (last accessed: 18.02.2026).
36. Environment and not genotype drives soybean yield stability in Northern Germany / R. A. Omari et al. *Agronomy Journal*. 2025. 117. e70059. 18 p. <https://doi.org/10.1002/agj2.70059>.
37. Erbersdobler H. F., Barth C. A., Jahreis G. Legumes in human nutrition. Nutrient content and protein quality of pulses. *Ernährungs Umschau*. 2017. Vol. 64, no. 9. P. 134–139.
38. European soybean consumption and production / M. K. van Ittersum et al. *Our Future Proteins: A Diversity of Perspectives*. Amsterdam : VU University Press, 2023. P. 31–39.
39. European soybean to benefit people and the environment / J. L. Rotundo et al. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. 7612. 14 p. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57522-z>.
40. FAOSTAT. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (last accessed: 18.02.2026).
41. Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems / W. Willett et al. *The Lancet*. 2019. Vol. 393, no. 10170. P. 447–492.
42. Fraanje W., Garnett T. Soy: Food, Feed, and Land Use Change. Food Climate Research Network, 2020. <https://www.doi.org/10.56661/47e58c32>.
43. Future area expansion outweighs increasing drought risk for soybean in Europe / C. Nendel et al. *Global Change Biology*. 2023. Vol. 29, no. 5. P. 1340–1358. <https://doi.org/10.1111/gcb.16562>.
44. Global Market Report: Soybean Prices and Sustainability / V. Voora et al. IISD, 2024. 38 p. URL: <https://www.iisd.org/system/files/2024-02/2024-global-market-report-soybean.pdf> (last accessed: 18.02.2026).
45. Gogoi N., Baruah K. K., Meena R. S. Grain legumes: impact on soil health and agroecosystem. *Legumes for Soil Health and Sustainable Management*. Singapore : Springer, 2018. P. 511–539.
46. Grain legume production and use in European agricultural systems / C. A. Watson et al. *Advances in Agronomy*. 2017. Vol. 144. P. 235–303.
47. Grain legume production in Europe for food, feed and meat-substitution / M. P. van Loon et al. *Global Food Security*. 2023. Vol. 39. 100723. 9 p. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2023.100723>.
48. Maphosa Y., Jideani V. A. The role of legumes in human nutrition. *Functional Food – Improve Health* 109–120.

Through Adequate Food. 2017. P. 13–27. <https://doi.org/10.5772/intechopen.69127>.

49. Martin N. Domestic soybean to compensate the European protein deficit: illusion or real market opportunity? *OCL*. 2015. Vol. 22, no. 5. D502. 9 p.

50. Needham J., Bray F. *Science and Civilisation in China. Part 2: Agriculture*. Cambridge : Cambridge University Press, 1986. 768 p.

51. Neglecting legumes has compromised human health and sustainable food production / C. H. Foyer et al. *Nature Plants*. 2016. Vol. 2. 16112.

52. Origin, variation, and selection of natural alleles controlling flowering and adaptation in wild and cultivated soybean / Z. Hou et al. *Molecular Breeding*. 2023. Vol. 43, no. 5. 15 p. <https://doi.org/10.1007/s11032-023-01382-4>.

53. Progress in soybean functional genomics over the past decade / M. Zhang et al. *Plant Biotechnology Journal*. 2022. Vol. 20. P. 256–282. <https://doi.org/10.1111/pbi.13682>.

54. Shurtleff W., Aoyagi A. *History of Soybeans and Soyfoods in Eastern Europe (including all of Russia) (1783–2020): extensively annotated bibliography and sourcebook*. Lafayette : Soyinfo Center, 2020. 1358 p.

55. Shurtleff W., Aoyagi A. *History of Soybeans and Soyfoods in France (1665–2015): extensively annotated bibliography and sourcebook*. Lafayette : Soyinfo Center, 2015. 1202 p.

56. Soybean Market Size Worth USD 310.07 Billion by 2034. *Towards FnB*. 2025. URL: <https://www.globenewswire.com/news-release/2025/11/04/3180320/0/en/Soybean-Market-Size-Worth-USD-310-07-Billion-by-2034-Towards-FnB.html> (last accessed: 18.02.2026).

57. Soybeans for Global Nutrition: A Numbers Story. *Sustainable Nutrition Initiative*. 2025. Oilseeds Focus. Vol. 11, no. 4. https://journals.co.za/doi/full/10.10520/ejc-vp_oilseeds_v11_n4_a18 (last accessed: 18.02.2026).

58. Tracing soybean domestication history: from nucleotide to genome / M. Y. Kim et al. *Breeding Science*. 2012. Vol. 61. P. 445–452. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.61.445>.

59. Wilson R. F. Soybean: market driven research needs. *Genetics and Genomics of Soybean. Plant Genetics and Genomics: Crops and Models* / G. Stacey (eds). New York : Springer, 2008. Vol. 2. https://doi.org/10.1007/978-0-387-72299-3_1.

Through Adequate Food. 2017. P. 13–27. <https://doi.org/10.5772/intechopen.69127>.

49. Martin N. Domestic soybean to compensate the European protein deficit: illusion or real market opportunity? *OCL*. 2015. Vol. 22, no. 5. D502. 9 p.

50. Needham J., Bray F. *Science and Civilisation in China. Part 2: Agriculture*. Cambridge : Cambridge University Press, 1986. 768 p.

51. Neglecting legumes has compromised human health and sustainable food production / C. H. Foyer et al. *Nature Plants*. 2016. Vol. 2. 16112.

52. Origin, variation, and selection of natural alleles controlling flowering and adaptation in wild and cultivated soybean / Z. Hou et al. *Molecular Breeding*. 2023. Vol. 43, no. 5. 15 p. <https://doi.org/10.1007/s11032-023-01382-4>.

53. Progress in soybean functional genomics over the past decade / M. Zhang et al. *Plant Biotechnology Journal*. 2022. Vol. 20. P. 256–282. <https://doi.org/10.1111/pbi.13682>.

54. Shurtleff W., Aoyagi A. *History of Soybeans and Soyfoods in Eastern Europe (including all of Russia) (1783–2020): extensively annotated bibliography and sourcebook*. Lafayette : Soyinfo Center, 2020. 1358 p.

55. Shurtleff W., Aoyagi A. *History of Soybeans and Soyfoods in France (1665–2015): extensively annotated bibliography and sourcebook*. Lafayette : Soyinfo Center, 2015. 1202 p.

56. Soybean Market Size Worth USD 310.07 Billion by 2034. *Towards FnB*. 2025. URL: <https://www.globenewswire.com/news-release/2025/11/04/3180320/0/en/Soybean-Market-Size-Worth-USD-310-07-Billion-by-2034-Towards-FnB.html> (last accessed: 18.02.2026).

57. Soybeans for Global Nutrition: A Numbers Story. *Sustainable Nutrition Initiative*. 2025. Oilseeds Focus. Vol. 11, No. 4. https://journals.co.za/doi/full/10.10520/ejc-vp_oilseeds_v11_n4_a18 (last accessed: 18.02.2026).

58. Tracing soybean domestication history: from nucleotide to genome / M. Y. Kim et al. *Breeding Science*. 2012. Vol. 61. P. 445–452. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.61.445>.

59. Wilson R. F. Soybean: market driven research needs. *Genetics and Genomics of Soybean. Plant Genetics and Genomics: Crops and Models* / G. Stacey (eds). New York : Springer, 2008. Vol. 2. https://doi.org/10.1007/978-0-387-72299-3_1.

DOI: 10.32636/01308521.2026-(80)-1-12

Оригінальна наукова стаття

УДК 633.11-152.75:631.527.85

**ПЛАСТИЧНІСТЬ ТА СТАБІЛЬНІСТЬ УРОЖАЮ ЗЕРНА
КОЛЕКЦІЙНИХ ЗРАЗКІВ ТРИТИКАЛЕ ОЗИМОГО
ЗА МІНЛИВИХ УМОВ ВИРОЩУВАННЯ****В. Д. Тромсюк, В. Д. Бугайов**

Інститут кормів та сільського
господарства Поділля НААН
проспект Юності, 16, м. Вінниця,
21100

Про авторів:

Валентина ТРОМСЮК,
кандидат сільськогосподарських
наук
ORCID: 0000-0003-4741-6284

Василь БУГАЙОВ,
кандидат сільськогосподарських
наук
ORCID: 0000-0003-1799-6599

Для листування:

Валентина ТРОМСЮК
e-mail: a08095@ukr.net

Інформація про фінансування:

Національна академія
аграрних наук України

Отримано:
14 травня 2026 р.
Погоджено до друку:
18 серпня 2026 р.
Опубліковано:
30 вересня 2026 р.

Представлено результати оцінки колекційних зразків тритикале озимого за показниками врожайності зерна, екологічної пластичності (b_i) та стабільності (Si^2) впродовж 2021–2025 рр. Визначено варіювання середньої врожайності від 5,52 т/га (2024 р.) до 6,68 т/га (2025 р.). Найбільш сприятливі умови склалися у 2023 та 2025 рр. (індекси середовища +0,62 та +0,66). За адаптивністю сорти розподілено на три групи. Високопластичні (інтенсивні) зразки ($b_i > 1,5$) Сибирський, Десятинне, Дінаго та Хлібодар зимуючий максимально збільшують зернову продуктивність у сприятливі роки. Помірно пластичні ($b_i = 0,8–1,4$) Маяк, Божич, Святозар, Remiko та Сергій характеризуються лінійною залежністю між рівнем урожайності та зміною умов середовища, що свідчить про їхню високу адаптивну здатність до типових умов вирощування. Зразки з низькою пластичністю ($b_i < 0,7$) Богодарське, Salto, Букет та Ярослава виявляють високу стійкість до стресових факторів. Найвищу стабільність урожаю зерна ($Si^2 < 1,5$) визначено в зразків Гермес, Никанор, Дінаго, Наварро та Aliko. Сорти Ураган, Ярослава та Стратег характеризувалися низькою прогнозованістю результатів ($Si^2 > 7,0$). Виділено кращі генотипи, що поєднують високу продуктивність із екологічною стійкістю (Гермес, Никанор, Salto). Одержані дані мають фундаментальне значення для селекції при підборі батьківських компонентів для створення адаптивних сортів тритикале озимого, здатних не знижувати продуктивність в умовах кліматичної нестабільності.

Ключові слова: сорт, продуктивність, гідротермічні умови, селекційна цінність, адаптивний потенціал.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

© Тромсюк В. Д., Бугайов В. Д., 2026

Plasticity and stability of grain yield of collection samples of winter triticale under changing growing conditions

Institute of Feed and Agriculture of
Podillya NAAS
Yunosti avenue, 16, Vinnytsia city,
21100

About authors:

Valentyna TROMSIUK
ORCID: 0000-0003-4741-6284

Vasyl BUHAIOV
ORCID: 0000-0003-1799-6599

Corresponding author:
Valentyna TROMSIUK
e-mail: a08095@ukr.net

Funding information:
National Academy
of Agrarian Sciences of Ukraine

Received:
May 14, 2026
Accepted:
August 18, 2026
Published:
September 30, 2026

The results of an assessment of winter triticale collection samples based on grain yield, environmental plasticity (b_i), and stability (S_i^2) during 2021–2025 are presented. Average yields varied from 5.52 t/ha (2024) to 6.68 t/ha (2025). The most favorable conditions were observed in 2023 and 2025 (environmental indices of +0.62 and +0.66, respectively). The varieties were categorized into three groups based on their adaptability. Highly plastic (intensive) samples ($b_i > 1.5$) – *Sybyrskyi*, *Desyatynne*, *Dinaro*, and *Khlibodar zymuiuchy* – maximize grain productivity in favorable years. Moderately plastic samples ($b_i = 0.8–1.4$) – *Mayak*, *Bozhych*, *Svyatozar*, *Remiko*, and *Sergyi* – exhibited a linear relationship between yield levels and changing environmental conditions, indicating high adaptability to typical growing environments. Samples with low plasticity ($b_i < 0.7$), including *Bohodarske*, *Salto*, *Buket*, and *Yaroslava*, demonstrated high resistance to stress factors. The highest stability ($S_i^2 < 1.5$) was observed in *Hermes*, *Nikanor*, *Dinaro*, *Navarro*, and *Aliko*. Conversely, the varieties *Uragan*, *Yaroslava*, and *Strateg* showed low predictability of results ($S_i^2 > 7.0$). The most promising genotypes combining high productivity with environmental stability (*Hermes*, *Nikanor*, *Salto*) were identified. These findings are fundamental for breeding programs in selecting parental components to develop adaptive winter triticale varieties capable of maintaining productivity amidst climatic instability.

Keywords: variety, productivity, hydrothermal conditions, breeding value, adaptive potential.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Вступ. Трансформація аграрної галузі на засадах адаптивного рослинництва створює нові вимоги до селекційних програм [1]. Суттєва різниця між генетично обумовленою врожайністю та реальними показниками в польових дослідах вказує на недостатню стійкість сучасних генотипів. Це зумовлює потребу перегляду методів селекції та розробки нових стратегій, що дозволять максимально наблизити фактичну врожайність до біологічного потенціалу сорту [2, 9]. Пріоритетність сталого рівня врожайності за роками над високим, але варіабельним потенціалом продуктивності зумовлена потребою забезпечення сталих зборів зерна за мінливих гідротермічних умов [3, 4].

Упродовж останнього десятиліття тритикале (*Triticosecale* Wittmack) займає провідне місце серед високоврожайних зернових культур [14, 20, 21]. Тритикале озиме характеризується високим

потенціалом зернової продуктивності та біомаси, переважаючи за цими показниками інші злакові культури в умовах екологічного стресу. Відзначається високою адаптивною здатністю, що дає змогу ефективно вирощувати його на піщаних та кислих ґрунтах, виявляє толерантність до токсичності іонів алюмінію та дефіциту вологи. Зазначені біологічні переваги зумовлюють зростання зацікавленості агровиробників та сприяють розширенню світових площ його вирощування [22].

Селекція тритикале в сучасних умовах спрямована на підвищення стабільності виробництва зерна, поліпшення його якісних показників, перезимівлі та збереження комплексу адаптивних властивостей [11, 13, 22, 23]. Основним бар'єром у досягненні цієї мети є взаємодія генотип / середовище, яка потребує застосування комплексних

параметрів оцінки екологічної пластичності. Сорти мають демонструвати низьку чутливість до змін довкілля при збереженні максимальної реалізації продуктивності [12, 17–19].

Мета дослідження – оцінити колекційні зразки тритикале озимого за показниками пластичності та стабільності врожайності зерна в мінливих гідротермічних умовах вирощування та виділити найбільш адаптивні генотипи.

Матеріали і методи. Дослідження проведено у 2021–2025 рр. на полях Інституту кормів та сільського господарства Поділля НААН. Посіви тритикале озимого розміщували за схемою семипільної селекційної сівозміни, попередник – гірчиця біла. Сформовано колекцію з 35 зразків тритикале озимого різного еколого-географічного походження, отриманих із Національного центру генетичних ресурсів рослин України. Сівбу проводили селекційною сівалкою «Клен-1,5», площа дослідної ділянки – 10 м². Повторність

експерименту – триразова, розміщення – систематичне.

Агротехніка загальноприйнята для зони Лісостепу. Порівняльну оцінку досліджуваних зразків проводили з сортом-стандартом Богодарське (селекції Інституту кормів) [8].

Параметри екологічної пластичності та стабільності зразків тритикале озимого визначали за методикою S. A. Eberhart, W. A. Russell. Рівень пластичності оцінювали за коефіцієнтом лінійної регресії (bi), який відображає інтенсивність реакції генотипу на зміну умов довкілля. Показник стабільності розраховували за середньоквадратичним відхиленням від лінії регресії (S^2) [15].

Упродовж 2021–2025 рр. гідротермічні умови в період вегетації рослин тритикале озимого характеризувалися суттєвою варіативністю та загальною тенденцією до підвищення температурного режиму щодо середньобаторічних значень. Рівень відповідності погодних умов середнім багаторічним показникам представлено за допомогою графічного матеріалу (рис. 1; 2).

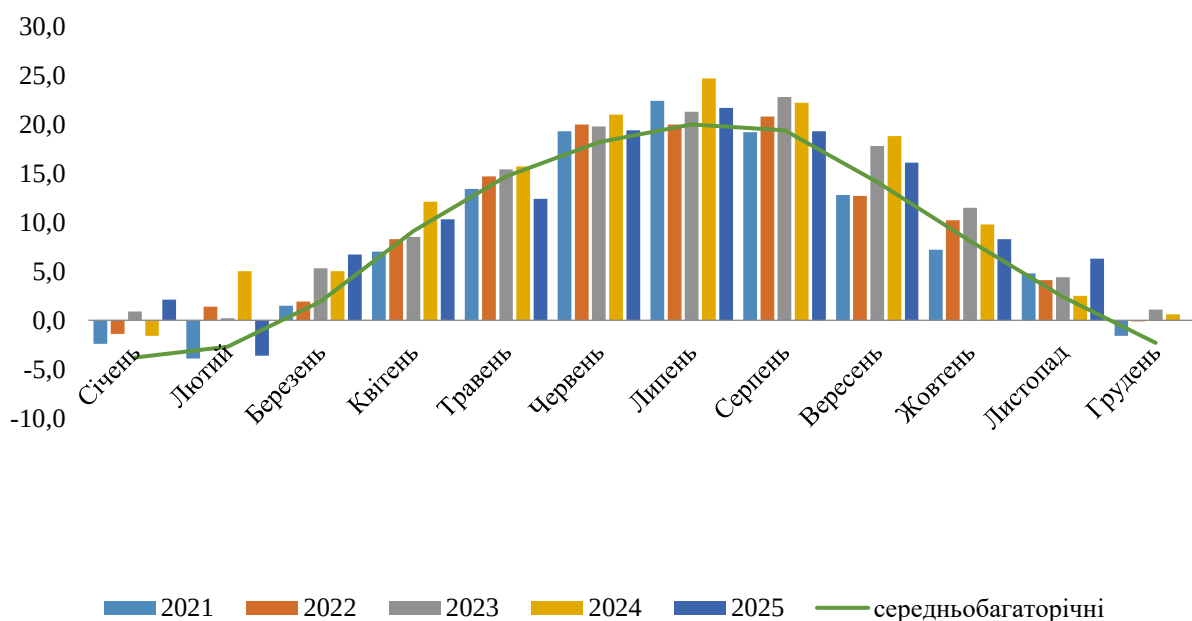


Рис. 1. Температурний режим (°C) порівняно з середньобаторічними значеннями за період досліджень 2021–2025 рр.

Зимовий період 2021–2025 рр. характеризувався помірно теплим

режимом. Середньомісячні температури січня (–2,4...+2,1 °C) перевищували

середньобогаторічні показники ($-3,8^{\circ}\text{C}$), що в поєднанні з достатнім, а в окремі роки (2021; 2024) надмірним рівнем опадів, сприяло добрій перезимівлі та зниженню ризиків вимерзання рослин. Винятком став початок 2025 р., за позитивних температур спостерігали дефіцит вологи (лише 18–50 % від норми). Стійке потепління у березні (на $3,1\text{--}4,8^{\circ}\text{C}$ вище від норми) зумовлювало раннє відновлення весняної вегетації. Підвищені температури квітня у 2024–2025 рр. прискорювали етапи органогенезу рослин, проте ефективність використання тепла залежала від вологозабезпечення: від надмірного

зволоження у квітні 2023–2024 рр. (83,1–91,5 мм) до дефіциту опадів у 2021 та 2025 рр. У червні та липні відзначено стабільно високий температурний режим, що досяг максимуму в липні 2024 р. ($24,7^{\circ}\text{C}$). Нерівномірний розподіл літніх опадів створював ризики термічного стресу для рослин у критичні фази розвитку (налив зерна). Осінній період був сприятливим для розвитку рослин перед входом у зиму завдяки підвищеному температурному режиму, попри періодичні коливання вологозабезпечення – від посухи до надмірного зволоження (96,0 мм у 2022 р.).

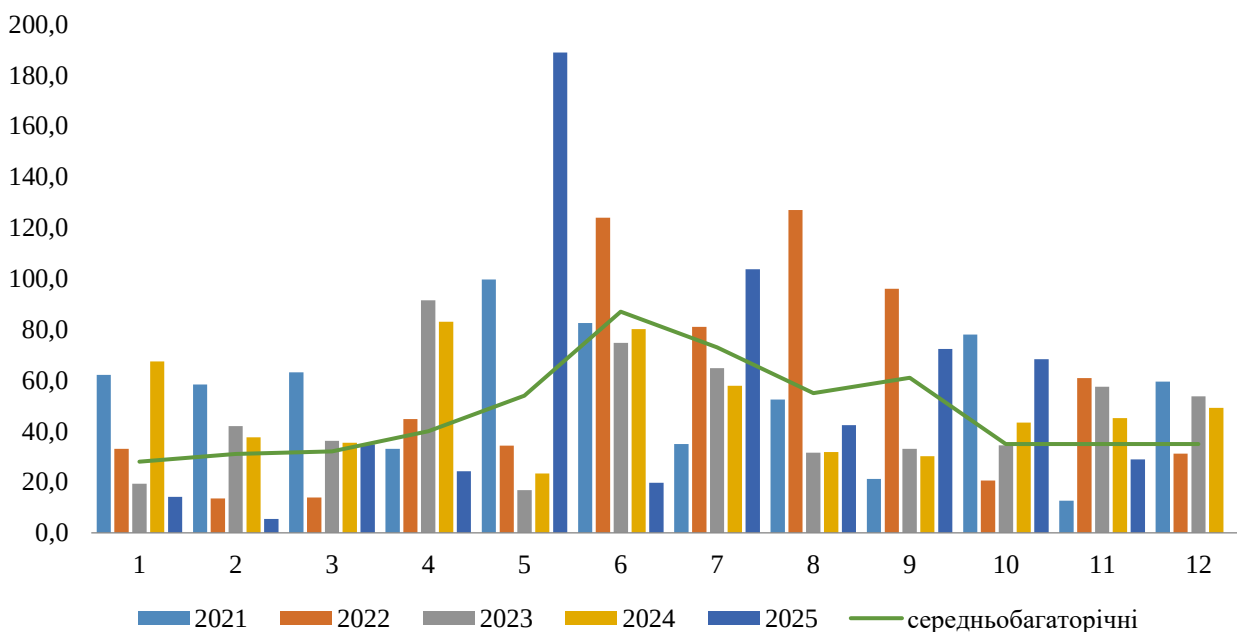


Рис. 2. Сума опадів (мм) за період досліджень, 2021–2025 рр.

Погодні умови вегетаційних періодів (2021–2025 рр.) тритикале озимого формувалися під впливом підвищеного температурного режиму та нерівномірного розподілу опадів. Теплі зими та весни сприятливі для росту й розвитку рослин, однак різкі коливання кількості опадів у критичні фази вегетації (вихід у трубку, колосіння, налив зерна) обмежували реалізацію продуктивного потенціалу окремих зразків і підтверджували важливість оцінки їх адаптивності та стійкості до абіотичних стресів.

Результати та обговорення.

Оптимізація сучасного зерновиробництва базується на впровадженні високоадаптивних культур, здатних реалізувати генетичний потенціал продуктивності за мінливих гідротермічних умов. Чільне місце в розв'язанні означеної проблеми посідає тритикале озиме, впровадження якого у виробництво сприяє підвищенню загальної стійкості агрофітоценозів [7]. Реалізація потенціалу зернової продуктивності є результатом складної детермінації морфофізіологічних ознак і біохімічних

показників під впливом спадкових особливостей генотипу та мінливих гідротермічних умов. Важлива роль у цьому процесі належить взаємодії внутрішніх біологічних ресурсів рослини з гідротермічними умовами періоду вегетації [5].

За результатами досліджень упродовж 2021–2025 рр. спостерігали

значний вплив погодних умов року на реалізацію генетичного потенціалу врожаю зерна зразків тритикале озимого. Найбільш сприятливими визначено 2023 та 2025 рр., що підтверджується позитивними значеннями індексів умов середовища ($I_j = 0,62$ та $0,66$ відповідно) (табл.).

Екологічна пластичність та стабільність колекційних зразків тритикале озимого за врожайністю зерна (2021–2025 рр.)

Стандарт, назва зразка	Урожайність зерна за роками, т/га						bi	Si ²
	2021	2022	2023	2024	2025	середнє		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Богодарське, ст.	5,9	6,2	7,8	5,7	5,5	6,23	0,7	2,9
NTN 1933	5,7	5,3	4,2	4,2	6,2	5,12	0,2	3,3
Никанор	5,9	6,1	6,9	5,1	7,7	6,34	1,5	0,7
Стратег	6,2	3,4	7,3	6,5	6,2	5,93	1,0	7,3
Святозар	4,0	5,8	6,2	6,0	6,5	5,70	1,1	2,3
Remiko	5,6	6,3	8,4	6,1	6,1	6,51	1,1	2,9
NTN 3476	6,3	4,1	4,2	4,7	5,1	4,89	-0,5	2,8
Маркіян	5,1	6,0	5,4	5,0	8,7	6,04	1,7	5,5
Хлібодар зимуючий	5,6	5,0	7,2	7,1	9,2	6,82	2,0	5,1
Нина	6,7	5,5	7,1	8,6	7,5	7,08	0,1	5,3
Ураган	3,4	7,0	5,6	5,5	8,2	5,92	1,7	8,8
Цекад 22	5,2	4,9	6,6	3,5	3,2	4,69	0,4	7,4
Парус	6,2	5,9	5,6	4,7	5,4	5,56	-0,1	1,2
Амос	5,1	7,0	7,2	7,0	7,2	6,70	0,8	2,3
Обрій миронівський	7,2	6,1	5,4	5,8	6,5	6,21	-0,4	1,7
Гермес	6,7	6,6	8,6	7,0	8,9	7,57	1,8	0,3
Сергий	7,9	5,9	8,2	7,2	7,8	7,40	0,8	2,4
Salto	7,9	6,6	6,9	7,6	9,4	7,67	0,7	4,3
Союз	4,0	6,2	5,7	4,0	5,3	5,04	0,9	3,0
Маяк	3,8	5,4	4,6	4,8	7,3	5,17	1,3	4,5
АД 256	4,6	6,1	4,7	5,2	6,4	5,41	0,3	2,5
Наварро	6,3	5,5	7,5	6,4	7,0	6,54	1,0	0,9
Букет	7,2	5,7	7,6	6,5	7,0	6,81	0,7	1,5
Торнадо	3,6	4,4	5,9	6,3	4,9	5,00	0,5	4,5
Кастусь	7,7	4,9	7,8	4,8	6,7	6,39	1,2	6,4
Божич	3,7	6,4	6,2	4,2	5,8	5,27	1,3	3,4
Dinago	4,6	5,8	8,1	5,2	7,4	6,22	2,4	0,7
Цекад 90	3,6	4,4	5,9	4,0	3,7	4,33	0,7	2,7
Десятинне	3,8	7,4	8,6	5,4	7,5	6,52	2,5	5,8
Павлодарський	7,4	5,3	8,0	6,1	8,4	7,04	1,7	3,0
Сибирський	5,1	4,7	6,3	3,6	8,0	5,54	2,6	2,3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Хлебороб	5,2	5,4	4,5	3,7	4,2	4,60	-0,3	1,7
Aliko	5,7	5,6	7,4	5,8	6,1	6,12	0,9	1,0
Сирс 57	3,5	4,8	5,5	4,2	6,7	4,95	1,9	1,2
Ярослава	7,3	8,3	9,0	5,5	6,1	7,24	0,6	8,0
Середнє	5,533	5,714	6,634	5,517	6,680	6,016	–	–
НІР ₀₅	0,29	0,30	0,35	0,29	0,35	0,31	–	–
Індекс умов	-0,48	-0,30	0,62	-0,50	0,66	–	–	–
Мах	7,9	8,3	9,0	8,6	9,4	7,7	2,6	8,8
Мін	3,4	3,4	4,2	3,5	3,2	4,3	-0,5	0,3

У 2021 р. середній показник урожаю зерна зразків тритикале озимого в досліді становив 5,53 т/га, стандарту Богодарське – 5,9 т/га. Розмах варіювання – 3,4–7,9 т/га. Десять зразків достовірно перевищили стандарт за врожайністю, продуктивність яких варіювала від 6,3 до 7,9 т/га: NTH 3476, Нина, Гермес, Обрій миронівський, Букет, Ярослава, Павлодарський, Кастусь, Сергій та Salto. Виділено 17 зразків, які продемонстрували врожайність, вищу за середньогруповий показник (>5,53 т/га). До цієї групи, крім вказаних вище зразків, увійшли: NTH 1933, Никанор, Стратег, Remiko, Хлібодар зимуючий, Парус та Aliko з рівнем продуктивності від 5,6 до 6,2 т/га.

У 2022 р. середня врожайність зерна досліджуваних зразків становила 5,71 т/га, стандарт сформував 6,2 т/га за мінімального значення 3,4 т/га та максимального – 8,3 т/га. Достовірно перевищили стандарт дев'ять зразків у межах 6,2–8,3 т/га: Remiko, Маркіян, Божич, Гермес, Salto, Амос, Ураган, Десятинне та Ярослава. Вище від середнього рівня (>5,71 т/га) виділено 18 зразків (5,8–6,1 т/га): Святозар, Парус, Никанор, Обрій миронівський, Сергій, АД 256, Букет, Dinaro, включаючи означені вище.

2023 р. характеризувався сприятливими гідротермічними умовами, що забезпечили середній врожай на рівні 6,63 т/га та врожайність стандарту 7,8 т/га (мінімум – 4,2 т/га, максимум – 9,0 т/га). Перевищили рівень стандарту вісім зразків із показниками 8,0–9,0 т/га: Павлодарський,

Dinaro, Сергій, Remiko, Десятинне, Гермес та Ярослава, а зразок Кастусь показав результат на рівні контролю. Середнє значення перевищили 19 зразків (6,9–7,7 т/га), зокрема: Никанор, Стратег, Хлібодар зимуючий, Нина, Цекад 22, Амос, Salto, Наварро, Букет та Aliko.

У 2024 р. за середнього показника 5,52 т/га та врожайності стандарту 5,7 т/га (мінімум – 3,5 т/га, максимум – 8,6 т/га) спостерігали найвищу частку адаптивних форм. Стандарт перевищили 16 зразків, врожайність яких коливалася від 5,8 до 8,6 т/га: Святозар, Remiko, Хлібодар зимуючий, Нина, Ураган, Амос, Обрій миронівський, Гермес, Сергій, Salto, Наварро, Букет, Торнадо, Павлодарський, Aliko та Ярослава. Середній рівень у розсаднику перевищили 19 зразків (5,6–5,7 т/га).

2025 р. визначено найбільш продуктивним: середнє – 6,68 т/га, стандарт – 5,5 т/га (мінімум – 3,2 т/га, максимум – 9,4 т/га). Внаслідок зниження врожайності стандарту його перевищили 24 зразки на 5,8–9,4 т/га: NTH 1933, Никанор, Стратег, Святозар, Remiko, Маркіян, Хлібодар зимуючий, Нина, Ураган, Амос, Обрій миронівський, Гермес, Сергій, Salto, Маяк, АД 256, Наварро, Букет, Кастусь, Божич, Dinaro, Десятинне, Павлодарський та Сибірський. Вище від середнього рівня сформували врожай 12 зразків (7,0–9,4 т/га), серед яких виділено кращі: Salto, Хлібодар зимуючий, Гермес та Маркіян.

Одержані результати свідчать про контрастність гідротермічних режимів у

роки досліджень: високі показники 2023 та 2025 рр. пояснюються оптимальним поєднанням опадів та температурного режиму в критичні фази розвитку (індекс умов середовища +0,62 та +0,66). Зниження врожайності у 2021 та 2024 рр. вказує на наявність стресових чинників, що дозволило виділити зразки з високим рівнем екологічної стійкості. 2022 р. характеризувався помірним депресивним впливом середовища ($I_j = -0,30$), проте саме в цих умовах окремі сорти максимально проявили адаптивний потенціал, суттєво перевищивши стандарт.

За показником екологічної пластичності (b_i) зразки тритикале озимого розподілено на три групи (рис. 3).

Високопластичні генотипи із коефіцієнтом регресії значно вище від одиниці ($b_i > 1,5$): Сибирський (2,6), Десятинне (2,5), Dinaro (2,4), Хлібодар зимуючий (2,0), Сирс 57 (1,9), Гермес (1,8), Маркіян (1,7), Ураган (1,7), Павлодарський (1,7) та Никанор (1,5). Високі значення

згаданого показника зумовлені інтенсивним типом зразків, які здатні максимально збільшувати зернову продуктивність у сприятливі роки, проте характеризуються різким зниженням урожайності при погіршенні умов вирощування. Аналогічну закономірність встановлено А. І. Кравченко для вівса голозерного, де зразки Boudrais ($b_i = 2,6$), Вятский (2,1), ОМ 11-3007/3 та АС Percy (1,8), визначені найбільш інтенсивними, демонстрували максимальну врожайність у сприятливі роки ($I_j = 3,5$) [6].

Помірну пластичність (b_i від 0,8 до 1,4) визначено в зразків: Маяк (1,3), Божич (1,3), Кастусь (1,2), Святозар (1,1), Remiko (1,1), Стратег (1,0), Наварро (1,0), Союз (0,9), Aliko (0,9), Амос (0,8) та Сергій (0,8). Означені зразки характеризуються відповідністю темпів зміни врожайності змінам гідротермічних умов, що вказує на їхню збалансовану реакцію на зовнішні чинники.

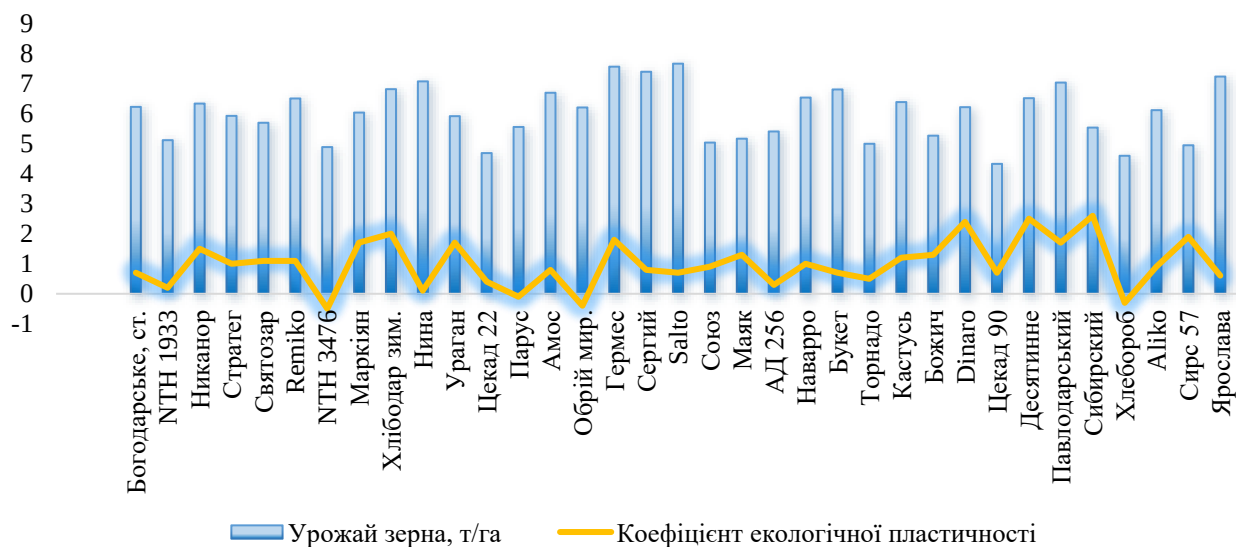


Рис. 3. Порівняльна характеристика сортів тритикале озимого за середньою врожайністю та коефіцієнтом регресії (b_i)

До групи з низькою екологічною пластичністю (b_i від 0,1 до 0,7), яка свідчить про слабку реакцію на поліпшення агрофону, віднесено стандарт Богодарське (0,7), Salto (0,7), Букет (0,7), Цекад 90 (0,7), Ярослава (0,6), Торнадо (0,5),

Цекад 22 (0,4), АД 256 (0,3), NTN 1933 (0,2) та Нина (0,1). Найнижчі та від'ємні значення пластичності зафіксовано у зразків Парус (-0,1), Хлебороб (-0,3), Обрій миронівський (-0,4) та NTN 3476 (-0,5). За даними V. M. Konovalova, генотипи з

низькою пластичністю мають здатність мінімізувати втрати продуктивності в екстремальних умовах внаслідок високої екологічної стійкості, попри їхню слабку

реакцію на поліпшення зовнішніх чинників [16].

За результатами обрахунку стабільності (Si^2) оцінено прогнозованість урожайності кожного генотипу (рис. 4).

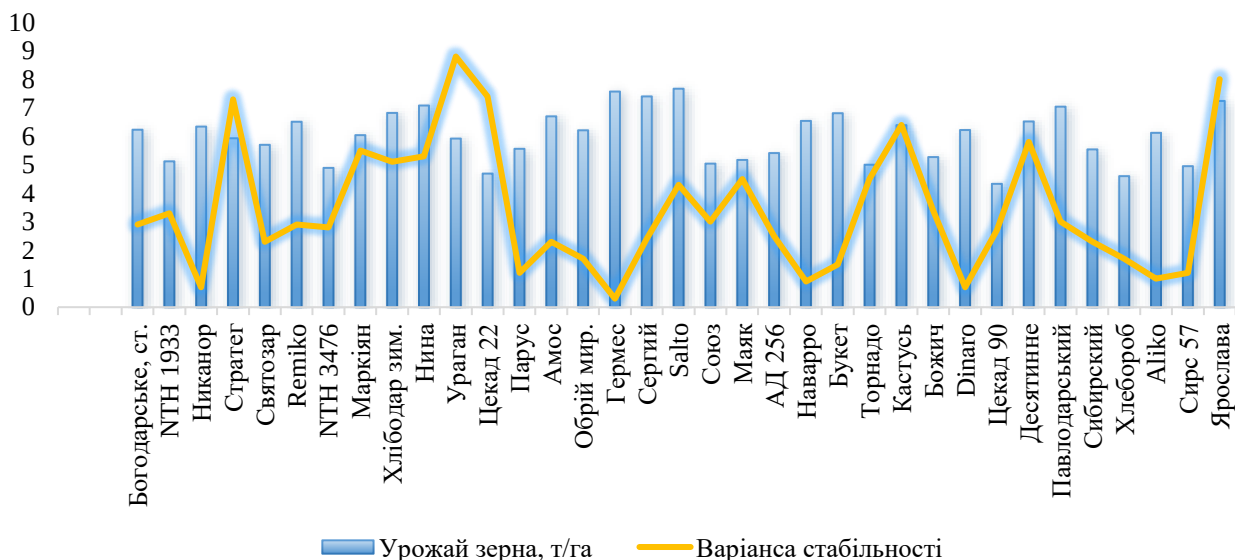


Рис. 4. Середній урожай зерна та варіанса стабільності (Si^2) сортів тритикале озимого

Найвищу стабільність із мінімальними відхиленнями від лінії регресії ($Si^2 < 1,5$) продемонстрували зразки Гермес (0,3), Никанор (0,7), Dinago (0,7), Наварро (0,9), Аліко (1,0), Парус (1,2), Сирс 57 (1,2) та Букет (1,5). Низька дисперсія врожайності свідчить про високу гомеостатичність згаданих форм. Середній рівень стабільності (Si^2 від 1,6 до 3,5) визначено для: Обрій миронівський (1,7), Хлебороб (1,7), Амос (2,3), Святозар (2,3), Сибирський (2,3), Сергій (2,4), АД 256 (2,5), Цекад 90 (2,7), NTN 3476 (2,8), стандарту Богодарське (2,9), Remiko (2,9), Союз (3,0), Павлодарський (3,0), NTN 1933 (3,3) та Божич (3,4). Характеризуються помірною мінливістю урожаю зерна. Найнижчий рівень стабільності ($Si^2 > 4,0$) виявлено у зразків Salto (4,3), Маяк (4,5), Торнадо (4,5), Хлібодар зимуючий (5,1), Нина (5,3), Маркіян (5,5), Десятинне (5,8), Кастусь (6,4), Стратег (7,3), Цекад 22 (7,4), Ярослава (8,0) та Ураган (8,8). Високі значення наведеного показника обґрунтовуються специфічною реакцією цих генотипів на невраховані фактори середовища, що

робить їхню продуктивність у конкретному році важкопрогнозованою.

Встановлена мінливість сортів тритикале озимого за параметрами пластичності та стабільності корелює з результатами досліджень пшениці м'якої озимої в різних зонах України [16] та пшениці ярої [10]. Подібність реакцій генотипів пшениці та тритикале підтверджує універсальність методичних підходів до оцінки екологічної пластичності як фундаментальної ознаки адаптивності зернових культур.

Одержані результати мають важливе значення для подальшої селекційної роботи, адже слугують базою для цілеспрямованого добору батьківських компонентів при створенні нових адаптивних сортів тритикале озимого. Виявлення специфічних реакцій зразків на умови середовища дозволяє значно оптимізувати процес селекції, спрямовуючи його на формування сортів нового покоління, здатних максимально реалізовувати генетичний потенціал в умовах кліматичної нестабільності та

забезпечувати сталість валових зборів зерна.

Висновки. За результатами досліджень впродовж 2021–2025 рр. встановлено варіабельність урожайності зерна 35 зразків тритикале озимого, зумовлену впливом гідротермічного режиму. Найбільш сприятливі умови визначено в 2023 та 2025 рр. ($I_j = +0,62, +0,66$). Виділено групу інтенсивних зразків (Сибирський, Десятинне, Dinaro, Хлібодар зимуючий), які максимально реалізують потенціал за оптимальних параметрів середовища ($b_i > 1,5$), та пластичних форм (Маяк, Божич, Святозар, Remiko, Сергій), характеризуються збалансованою реакцією

на зміну зовнішніх чинників ($b_i = 0,8–1,4$). Виявлено, що висока стабільність та прогнозованість урожайності ($S_i^2 < 1,5$) характерна зразкам Гермес, Никанор, Dinaro, Наварро та Aliko. Комплексна оцінка параметрів адаптивності дозволила ідентифікувати кращі генотипи (Гермес, Никанор, Salto), які поєднують високу продуктивність із екологічною стабільністю. Одержані результати мають фундаментальне значення для селекції як основа для добору батьківських компонентів при створенні нових адаптивних сортів, здатних забезпечувати сталість валових зборів зерна в умовах кліматичної нестабільності.

Список використаної літератури

1. Визначення високопродуктивних сортів пшениці м'якої озимої за господарсько-цінними ознаками в зоні Південного Лісостепу України / С. М. Холод та ін. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. № 26 (2). С. 44–50. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.02.08>.
2. Дудкіна А. П., Вінюков О. О., Гирка А. Д. Вплив ґрунтово-кліматичних умов східної частини Північного Степу на сорти ячменю ярого екологічного сортовипробування. *Таврійський науковий вісник. Сільськогосподарські науки*. 2020. № 115. С. 48–58. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.115.7>.
3. Екологічна пластичність і стабільність перспективних ліній пшениці м'якої ярої (*Triticum aestivum* L.) за врожайністю / Є. А. Кузьменко та ін. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2022. Т. 18, № 4. С. 242–250. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.18.4.2022.273985>.
4. Іванцова Л. В., Федоренко М. В. Особливості формування врожайності сортів пшениці ярої за параметрами пластичності та стабільності. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2024. Вип. 75 (2). С. 64–74. [https://doi.org/10.32636/01308521.2024-\(75\)-2-6](https://doi.org/10.32636/01308521.2024-(75)-2-6).
5. Іщенко В. А. Вплив сортових особливостей та добрив на зернову продуктивність тритикале ярого. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2021. Вип. 34. С. 19–25. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2021-1-2>.
6. Кравченко А. І., Гопцій Т. І. Оцінка екологічної пластичності та стабільності зразків вівса голозерного за врожайністю. *Рослинництво, селекція і насінництво, плодовоовочівництво і зберігання*. 2024. Вип. 1. С. 77–88.
7. Любич В. В. Селекційна цінність нових сортів тритикале ярого. *Зб. наук. пр. Уманського НУС*. 2021. Вип. 98, ч. 1. С. 7–20. DOI: 10.31395/2415-8240-2021-98-1-7-20.

References

1. Determination of high-yielding varieties of soft winter wheat by economically valuable characteristics in the Southern Forest-Steppe zone of Ukraine / S. M. Kholod et al. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. No. 26 (2). P. 44–50. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.02.08>.
2. Dudkina A. P., Viniukov O. O., Hyrka A. D. The influence of soil and climatic conditions of the eastern part of the Northern Steppe on spring barley varieties in ecological variety testing. *Tavriyskyi naukovyi visnyk. Silskohospodarski nauky*. 2020. No. 115. P. 48–58. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.115.7>.
3. Ecological plasticity and stability of promising lines of soft spring wheat (*Triticum aestivum* L.) in terms of yield / Ye. A. Kuzmenko et al. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2022. Vol. 18, no. 4. P. 242–250. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.18.4.2022.273985>.
4. Ivantsova L. V., Fedorenko M. V. Features of the formation of yield of spring wheat varieties according to the parameters of plasticity and stability. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnystvo*. 2024. Issue 75 (2). P. 64–74. [https://doi.org/10.32636/01308521.2024-\(75\)-2-6](https://doi.org/10.32636/01308521.2024-(75)-2-6).
5. Ishchenko V. A. The influence of varietal characteristics and fertilizers on the grain yield of spring triticale. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika*. 2021. Issue 34. P. 19–25. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2021-1-2>.
6. Kravchenko A. I., Hoptsi T. I. Assessment of ecological plasticity and stability of bare-grain oat samples by yield. *Roslynnystvo, selektsiia i nasynnytstvo, plodoovochivnytstvo i zberihannia*. 2024. Issue 1. P. 77–88.
7. Liubych V. V. Selection value of new spring triticale varieties. *Zb. nauk. pr. Umanskoho NUS*. 2021. Issue 98, part 1. P. 7–20. <https://doi.org/10.31395/2415-8240-2021-98-1-7-20>.

8. Методика державного сортовипробування сільськогосподарських культур / ред. В.В. Волкодав ; Державна комісія України по випробуванню та охороні сортів рослин. Київ, 2001. Вип. 2. 68 с.

9. Оцінка сортів ячменю озимого за адаптивністю до умов навколишнього середовища в конкурсному та екологічному сортовипробуванні / М. І. Терлецька та ін. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2021. Вип. 69 (2). С. 123–136. [https://doi.org/10.32636/01308521.2021-\(69\)-2-8](https://doi.org/10.32636/01308521.2021-(69)-2-8).

10. Оцінювання пластичності та стабільності врожайності сортів пшениці м'якої озимої в різних ґрунтово-кліматичних зонах України / Г. А. Дутова та ін. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2025. Т. 21, № 4. С. 170–179. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.4.2025.346233>.

11. Сучасна селекція високоврожайних сортів тритикале з поліпшеною якістю зерна / В. В. Кириченко та ін. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 3 (828). С. 52–61.

12. Тромсюк В. Д., Векленко Ю. А. Оцінка вихідного матеріалу тритикале озимого для селекції на підвищення урожаю зерна. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2025. Вип. 3 (17). С. 99–107. <https://doi.org/10.54651/agri.2025.03.11>.

13. Ammar K., Mergoum M., Rajaram S. The history and evolution of triticale. *Triticale improvement and production* / ed. by M. Mergoum, H. Gómez-Macpherson. Rome : FAO, 2004. P. 1–9. URL: <https://www.fao.org/4/y5553e/y5553e.pdf> (last accessed: 17.04.2026).

14. Breeding Triticale for Grain and Forage Yield and Quality: Challenges and Future Prospects / M. Aljarrah et al. *10th International Triticale Symposium : Itinerary & Abstracts*. Lethbridge, July 15–18 2019. Lethbridge, AB, 2019. P. 17. URL: https://www.researchgate.net/publication/334683557_Breeding_Triticale_for_Grain_and_Forage_Yield_and_Quality_Challenges_and_Future_Prospects#full-text (last accessed: 17.04.2026).

15. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability Parameters for Comparing Varieties. *Crop Sci*. 1966. V. 6, № 1. P. 36–40.

16. Ecological plasticity and stability of winter wheat varieties in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine (Part 3 – years with different moisture supply) / V. M. Konovalova et al. *Аграрні інновації*. 2024. № 23. С. 156–166.

17. Genotype-by-Environment Interaction and Stability Analysis of Grain Yield of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes Using AMMI and GGE Biplot Analyses / D. Mullualem et al. *Heliyon*. 2024. 10, no. 12. 16 p. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32918>.

18. Neykov N. Evaluation of the stability and adaptability of yield in triticale varieties using non-parametric methods. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2024. 30 (2). P. 301–304.

19. Performance Evaluation of Upland Cotton Genotypes in Terms of Seed Cotton Yield under

8. Methodology of state variety testing of agricultural crops / ed. V. V. Volkodav ; Derzhavna komisiia Ukrainy po vyprobuvanniu ta okhoroni sortiv roslin. Kyiv, 2001. Issue 2. 68 p.

9. Evaluation of winter barley varieties for adaptability to environmental conditions in competitive and ecological variety testing / M. I. Terletska et al. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnystvo*. 2021. Issue 69 (2). P. 123–136. [https://doi.org/10.32636/01308521.2021-\(69\)-2-8](https://doi.org/10.32636/01308521.2021-(69)-2-8).

10. Assessment of plasticity and yield stability of soft winter wheat varieties in different soil and climatic zones of Ukraine / H. A. Dutova et al. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2025. Vol. 21, no. 4. P. 170–179. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.21.4.2025.346233>.

11. Modern breeding of high-yielding triticale varieties with improved grain quality / V. V. Kyrychenko et al. *Visnyk ahrarnoi nauky*. 2022. No. 3 (828). P. 52–61.

12. Tromsiuk V. D., Veklenko Yu. A. Evaluation of winter triticale starting material for breeding to increase grain yield. *Zemlerobstvo ta roslynnystvo: teoriia i praktyka*. 2025. Issue 3 (17). P. 99–107. <https://doi.org/10.54651/agri.2025.03.11>.

13. Ammar K., Mergoum M., Rajaram S. The history and evolution of triticale. *Triticale improvement and production* / ed. by M. Mergoum, H. Gómez-Macpherson. Rome : FAO, 2004. P. 1–9. URL: <https://www.fao.org/4/y5553e/y5553e.pdf> (last accessed: 17.04.2026).

14. Breeding Triticale for Grain and Forage Yield and Quality: Challenges and Future Prospects / M. Aljarrah et al. *10th International Triticale Symposium : Itinerary & Abstracts*. Lethbridge, July 15–18 2019. Lethbridge, AB, 2019. P. 17. URL: https://www.researchgate.net/publication/334683557_Breeding_Triticale_for_Grain_and_Forage_Yield_and_Quality_Challenges_and_Future_Prospects#full-text (last accessed: 17.04.2026).

15. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability Parameters for Comparing Varieties. *Crop Sci*. 1966. Vol. 6, no. 1. P. 36–40.

16. Ecological plasticity and stability of winter wheat varieties in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine (Part 3 – years with different moisture supply) / V. M. Konovalova et al. *Ahrarni innovatsii*. 2024. No. 23. P. 156–166.

17. Genotype-by-Environment Interaction and Stability Analysis of Grain Yield of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes Using AMMI and GGE Biplot Analyses / D. Mullualem et al. *Heliyon*. 2024. 10, no. 12. 16 p. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32918>.

18. Neykov N. Evaluation of the stability and adaptability of yield in triticale varieties using non-parametric methods. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2024. 30 (2). P. 301–304.

19. Performance Evaluation of Upland Cotton Genotypes in Terms of Seed Cotton Yield under

Inconsistent Environmental Conditions / M. Jamil et al. *Biological and Clinical Sciences Research Journal*. 2023. 8 p. <https://doi.org/10.54112/bcsrj.v2023i1.226>.

20. Simion Dojamo T., Markos Takiso S., Lema Tessema M. Stability and Adaptability of Triticale (*Triticosecale* Wittm. ex A. Camus) Varieties Across Environmental Conditions in the Highlands of Southern Ethiopia. *International Journal of Agronomy*. 2024. 1. P. 1–9. <https://doi.org/10.1155/2024/9948844>.

21. Stoyanov H. Stability and adaptability of yield and yield related traits in Bulgarian triticale ($\times$ *Triticosecale* Wittm.) Cultivars in drought conditions. *AgroLife scientific journal*. 2022. Vol. 11, no. 2. P. 201–212. <https://doi.org/10.17930/AGL2022226>.

22. Study on the adaptability of some triticale genotypes to different climate and soil conditions / A.-S. Pintilie et al. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2025. Vol. LXVIII, no. 1. P. 536–541. URL: https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2025/issue_1/Art65.pdf (last accessed: 17.04.2026).

23. Triticale in Italy / N. Faccini et al. *Biology*. 2023. 12 (10). 14 p. <https://doi.org/10.3390/biology12101308>.

Inconsistent Environmental Conditions / M. Jamil et al. *Biological and Clinical Sciences Research Journal*. 2023. 8 p. <https://doi.org/10.54112/bcsrj.v2023i1.226>.

20. Simion Dojamo T., Markos Takiso S., Lema Tessema M. Stability and Adaptability of Triticale (*Triticosecale* Wittm. ex A. Camus) Varieties Across Environmental Conditions in the Highlands of Southern Ethiopia. *International Journal of Agronomy*. 2024 1. P. 1–9. <https://doi.org/10.1155/2024/9948844>.

21. Stoyanov H. Stability and adaptability of yield and yield related traits in Bulgarian triticale ($\times$ *Triticosecale* Wittm.) Cultivars in drought conditions. *AgroLife scientific journal*. 2022. Vol. 11, no. 2. P. 201–212. <https://doi.org/10.17930/AGL2022226>.

22. Study on the adaptability of some triticale genotypes to different climate and soil conditions / A.-S. Pintilie et al. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2025. Vol. LXVIII, no. 1. P. 536–541. URL: https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2025/issue_1/Art65.pdf (last accessed: 17.04.2026).

23. Triticale in Italy / N. Faccini et al. *Biology*. 2023. 12 (10). 14 p. <https://doi.org/10.3390/biology12101308>.

DOI: 10.32636/01308521.2026-(80)-1-13

Оригінальна наукова стаття

УДК 630: 620.952

**ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ
ВИРОЩУВАННЯ БІОМАСИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ВЕРБИ
В УМОВАХ ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ****А. М. Шувар, В. С. Панькевич**

Західноукраїнський національний
університет
вул. Львівська, 11, м. Тернопіль,
46009

Про авторів:

Антін ШУВАР,
доктор сільськогосподарських наук
ORCID: 0000-0002-6016-0896

Віталій ПАНЬКЕВИЧ,
аспірант
ORCID: 0000-0002-6618-4549

Для листування:

Антін ШУВАР
e-mail: a.shuvar@wunu.edu.ua

Інформація про фінансування:

Західноукраїнський національний
університет

Отримано:
25 травня 2026 р.
Погоджено до друку:
16 вересня 2026 р.
Опубліковано:
30 вересня 2026 р.

За результатами досліджень встановлено економічну та енергетичну ефективність вирощування біомаси енергетичної верби прутковидної (*S. viminalis* L.) та тритичинкової (*S. triandra* L.) в умовах Західного Лісостепу України. Дослідження виконувалися впродовж 2022–2024 рр. на дослідних ділянках Західноукраїнського національного університету, розташованих у зоні нестійкого зволоження. Погодні умови в роки досліджень за ступенем відхилення від середніх багаторічних показників як за окремими місяцями, так і за період вегетації були в межах значень, характерних для даної зони. Виробництво теплової енергії з біомаси енергетичної верби в умовах Західного Лісостепу України характеризується дуже високою економічною ефективністю. Рентабельність становить 103,9 % після першого трирічного циклу та зростає до 224,2 % після двох циклів вирощування, що свідчить про значний потенціал цієї культури як відновлюваного джерела енергії та економічно обґрунтованої альтернативи традиційним видам палива. Енергетична оцінка доводить, що технологія вирощування енергетичної верби в умовах Західного Лісостепу України є енергетично ефективною та ресурсозберігаючою. Отриманий коефіцієнт енергетичної ефективності понад 5 у другому циклі вирощування свідчить, що на кожну одиницю витраченої енергії отримується понад п'ять одиниць енергії, акумульованої в біомасі, що підтверджує перспективність використання енергетичних плантацій верби як стабільного джерела відновлюваної енергії. Після завершення першого циклу вирощування економічна ефективність істотно зростає. Вихід теплової енергії збільшується зі 105,8 до 195,1 Гкал/га, тобто майже у 1,84 раза, що забезпечує пропорційне зростання виручки від 190,4 до 351,0 тис. грн/га.

Ключові слова: живці енергетичної верби, біомаса, біопаливо, елементи технології вирощування, *S. viminalis* L., продуктивність наземної маси.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

© Шувар А. М., Панькевич В. С., 2026

Economic and energy efficiency of cultivating energy willow biomass in the Western Forest-Steppe region of Ukraine

West Ukrainian National University
11 Lvivska Str., Ternopil,
46009

About authors:

Antin SHUVAR
ORCID: 0000-0002-6016-0896

Vitalii PANKEVYCH
ORCID: 0000-0002-6618-4549

Corresponding author:

Antin SHUVAR
e-mail: a.shuvar@wunu.edu.ua

Funding information:

West Ukrainian National University

Received:
May 25, 2026
Accepted:
September 16, 2026
Published:
September 30, 2026

Research findings have demonstrated the economic and energy efficiency of growing energy willow biomass - specifically, the wicker willow (*S. viminalis* L.) and the three-stalked willow (*Salix triandra* L.) – in the Western Forest-Steppe region of Ukraine. The research was conducted from 2022 to 2024 on experimental plots of the Western Ukrainian National University, which are located in an area of variable moisture conditions. Weather conditions during the study period, in terms of deviation from long-term averages both at individual locations and throughout the growing season were within the ranges typical for this zone. The production of thermal energy from energy willow biomass in the Western Forest-Steppe of Ukraine is characterized by very high economic efficiency. The rate of return is 103.9 % after the first three-year cycle and increases to 224.2 % after two growing cycles, indicating the significant potential of this crop as a renewable energy source and an economically viable alternative to traditional fuels. The energy assessment demonstrates that the technology for growing energy willow in the Western Forest-Steppe region of Ukraine is energy-efficient and resource-conserving. The energy efficiency ratio of over 5 obtained in the second growing cycle indicates that for every unit of energy expended, more than five units of energy are stored in the biomass, confirming the potential of energy willow plantations as a stable source of renewable energy. Upon completion of the first growing cycle, economic efficiency increases significantly. Thermal energy output rises from 105.8 to 195.1 Gcal/ha – an increase of nearly 1.84 times – resulting in a proportional increase in revenue from 190.4 to 351.0 thousand UAH/ha.

Keywords: energy willow cuttings, biomass, biofuel, cultivation techniques, *S. viminalis* L., above-ground biomass yield.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Вступ. В Україні у зв'язку з військовою агресією пошкоджено більше половини енергетичних об'єктів та потужностей. Значна частина енергосистеми реструктуризується та децентралізується зі збільшенням частки використання альтернативних джерел енергії. Скорочення використання традиційних видів палива в тепловій енергетиці мотивує до пошуку нових, альтернативних способів отримання енергії [1, 7]. Тому надзвичайно актуальним сьогодні є створення нових енергетичних об'єктів та плантацій біоенергетичних культур з метою використання біопалива для виробництва енергії. З огляду на літературні джерела, теоретичний потенціал біомаси деревних біоенергетичних культур в Україні

становить 11,5 млрд м³, з економічним потенціалом 6,28 млн т умовного палива. Враховуючи те, що в Україні налічується 4 млн гектарів малопродуктивних земель поза сівоzmінами та близько 1 млн гектарів деградованих земель у сівоzmінах, існує належний потенціал та сприятливі кліматичні умови для вирощування біомаси [2, 3, 5, 6]. Для цього необхідна розробка нових енергоефективних технологій використання органічної сировини для виробництва біопалива, а також економічне та енергетичне обґрунтування раціонального витрачання паливних ресурсів, добрив, підвищення окупності енергії та ефективності використання ФАР [10–12]. Створення промислових біоенергетичних плантацій дозволить значно зменшити обсяги імпорту

природного газу. Наступною важливою перевагою вирощування енергетичної верби є екологічний фактор: за 3 роки вирощування на 1 га рослини поглинають з повітря понад 200 т CO_2 і повертають у ґрунт 6 тонн листя восени, що позитивно впливає на збагачення ґрунту органікою та розвиток мікрофлори, яка підвищує родючість [15–18, 21]. Багаторічні енергетичні рослини цінні високим рівнем урожайності, невибагливістю до родючості ґрунтів та високим рівнем механізації виробничих процесів; за відносно невеликий період часу вони можуть давати значні прирости біомаси. У перерахунку на еквівалент енергії витрати на вирощування деревних біоенергетичних культур значно менші порівняно з вартістю енергоносіїв, отриманих від традиційних джерел. Використання рослинної біомаси за умови її безперервного відновлення не призводить до збільшення концентрації CO_2 в атмосфері [4, 13, 14, 19, 20].

Методика та методи. Об'єктами досліджень слугували плантації верби прутоподібної та тритичинкової, створені восени 2022 р. на дослідних ділянках НДВГ «Наука» Західноукраїнського національного університету. Після закінчення кожного вегетаційного періоду визначали збереженість рослин, їхні розміри та масу. Висоту кущів та діаметр найвищого пагона у кущі визначали також наприкінці кожного місяця вегетації. Частину плантації перед початком третього вегетаційного періоду було зрізано для встановлення доцільності застосування дворічного циклу збирання врожаю.

При проведенні досліджень використовували традиційні методики. Отримані дані обробляли математично з використанням пакета Statistica. У розрахунках економічної ефективності вирощування біоенергетичних культур враховували енерговитрати, необхідні на здійснення технологічних процесів і акумульовані в матеріально-технічних засобах (машинах, пальному, добривах,

гербіцидах). Витрати сукупної енергії на вирощування культури та вміст енергії в урожаї виражали в МДж та ГДж. Технологія вирощування біомаси передбачала мінімальний рівень витрат енергії на виробництво паливної тріски. Один кілограм сухої речовини в середньому забезпечує 18 МДж. Витрати сукупної енергії на вирощування енергетичної біомаси визначали для кожного агротехнічного заходу згідно з технологічною картою (лушення стерні, оранка, енергоємність добрив та витрати на їх внесення, весняний обробіток, садіння, догляд та збирання біомаси) [6, 8].

Встановлено, що температурний режим за роки проведення досліджень (2022–2024 рр.) був майже стабільним, без значних коливань, проте з перевищенням середніх багаторічних показників. У 2022 році за період вегетації температура повітря була вищою за середні багаторічні значення на 1,1 °С. Загалом найпосушливішим серед років проведення досліджень виявився 2022 рік; опади впродовж вегетаційного періоду хоч і випадали регулярно, але в значно меншій кількості. При цьому температура повітря впродовж цього періоду на 1,5–2,0 °С перевищувала середні багаторічні показники, що спричинило значне зниження запасів продуктивної вологи в ґрунті та, як наслідок, зменшення врожайності біомаси енергетичної верби. У цілому можна зробити висновок, що погодні умови в роки досліджень за ступенем відхилення від середніх багаторічних (як за окремими місяцями, так і за період вегетації) були в межах показників, характерних для зони нестійкого зволоження Лісостепу України. На основі даних температури повітря і кількості опадів за роки проведення досліджень було визначено показники гідротермічного коефіцієнта (ГТК) впродовж теплого періоду року з температурою повітря вище 10 °С (табл. 1).

1. Показники гідротермічного коефіцієнта (ГТК) у зоні проведення досліджень за вегетаційний період (2022–2024 рр.)

Роки	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Середнє
2022	1,5	0,2	0,4	1,1	0,9	1,8	0,6	0,9
2023	2,6	0,5	1,2	0,9	0,8	0,2	1,3	1,1
2024	1,8	0,6	1,3	0,2	1,1	1,3	0,8	1,0

Наведені дані показують, що найбільш сприятливим для росту і розвитку рослин у досліджуваних умовах був 2023 рік, коли показник ГТК становив 1,1, а найбільш несприятливим, як згадувалося вище, був 2022 рік, коли гідротермічний коефіцієнт становив 0,9 і був нижчим за середні багаторічні показники.

Результати та обговорення. На основі даних досліджень проведено економічний та енергетичний аналіз технології вирощування енергетичної верби прутovidної (*S. viminalis* L.) та

тритичинкової (*S. triandra* L.) в умовах Західного Лісостепу України, результати якого наведено в табл. 2. Аналіз даних свідчить, що витрати енергії на вирощування біомаси верби є меншими за обсяг енергії, акумульованої в урожаї та отриманої під час виробництва теплової енергії. Енергетичний еквівалент сирової біомаси при вологості 50 % складає 12 МДж. Максимальні показники коефіцієнта енергетичної ефективності отримано в другому циклі вирощування (табл. 2).

2. Енергетична оцінка вирощування верби прутovidної (*Salix viminalis* L.) та верби тритичинкової (*Salix triandra* L.) у 2022–2024 рр.

Цикли збирання біомаси	Вид рослин	Урожайність, т/га	Енергетичний еквівалент біомаси, ГДж/га	Енергетичні витрати, ГДж/га	Коефіцієнт енергетичної ефективності
Перший цикл	Прутовидна	58,8	705,6	226,0	3,1
	Тритичинкова	47,5	570,0	226,0	2,2
Другий цикл	Прутовидна	109,0	1308,0	232,0	5,6
	Тритичинкова	97,0	1164,0	232,0	5,0

Аналіз результатів енергетичної оцінки технології вирощування енергетичної верби свідчить про високу ефективність використання біомаси для виробництва біопалива в умовах Західного Лісостепу України. Встановлено, що в усіх варіантах досліджень енергетичний вихід із отриманої біомаси суттєво перевищував енергетичні витрати на її вирощування, що підтверджує позитивний енергетичний баланс технології. У першому циклі вирощування найвищі показники були отримані у верби прутovidної (*Salix viminalis* L.). За урожайності 58,8 т/га енергетичний еквівалент біомаси становив 705,6 ГДж/га, тоді як сумарні енергетичні витрати дорівнювали 226,0 ГДж/га. Це забезпечило коефіцієнт енергетичної ефективності на рівні 3,1. У верби

тритичинкової (*Salix triandra* L.) урожайність була нижчою (47,5 т/га), відповідно енергетичний вихід становив 570,0 ГДж/га, а коефіцієнт енергетичної ефективності – 2,2. Таким чином, уже в першому циклі вирощування прутovidна верба характеризувалася вищою продуктивністю та кращим використанням вкладеної енергії. У другому циклі вирощування спостерігалось істотне підвищення всіх показників енергетичної продуктивності. Урожайність верби прутovidної зросла до 109,0 т/га, що на 85,4 % більше порівняно з першим циклом. Енергетичний вихід досяг 1308,0 ГДж/га, тоді як енергетичні витрати збільшилися лише незначно – до 232,0 ГДж/га (на 2,7 %). У результаті коефіцієнт енергетичної ефективності зріс до 5,6, що свідчить про

надзвичайно високий рівень окупності вкладеної енергії. Аналогічна тенденція спостерігалася і у верби тритичинкової, де урожайність збільшилася до 97,0 т/га, енергетичний вихід – до 1164,0 ГДж/га, а коефіцієнт енергетичної ефективності досяг 5,0. Порівняльний аналіз досліджуваних видів показав, що верба прутувидна переважала вербу тритичинкову за всіма основними показниками енергетичної оцінки. У першому циклі різниця коефіцієнта енергетичної ефективності становила близько 41 %, тоді як у другому циклі вона зменшилася до 12 %, що свідчить про більш повну реалізацію продуктивного потенціалу обох видів після формування насаджень. Отримані результати підтверджують, що основним фактором зростання коефіцієнта енергетичної ефективності є значне підвищення

урожайності біомаси за практично незмінного рівня енергетичних витрат. Це свідчить про стабільність технології вирощування та її високу енергетичну доцільність для виробництва біопалива. Найвищу енергетичну ефективність забезпечує вирощування верби прутувидної, яка формує найбільший вихід енергії з одиниці площі та характеризується максимальним коефіцієнтом енергетичної ефективності 5,6. Основні енергетичні витрати під час вирощування верби як сировини для біопалива (близько 50 %) припадають на посадковий матеріал та паливно-енергетичні ресурси при закладанні плантації (табл. 3). Тому слід впроваджувати ефективні елементи технології вирощування біоенергетичних культур, які сприятимуть зменшенню сукупних енергетичних витрат.

3. Затрати та матеріально-технічні засоби для вирощування біомаси енергетичної верби прутоподібної (*S. viminalis* L.) та тритичинкової (*Salix triandra* L.) в умовах Західного Лісостепу України на 1 га (2022–2024 рр.)

№ з/п	Матеріально технічні засоби	тис. грн	%
1.	Посадковий матеріал	45,0	48,2
2.	Техніка	6,3	6,7
3.	Пальне	9,7	10,4
4.	Мінеральні добрива	16,5	17,7
5.	Пестициди	3,9	4,2
6.	Зарплата	12,0	12,8
	Всього	93,4	100

За рахунок застосування науково обґрунтованих технологічних рішень, раціонального і найбільш повного використання потенціалу добрив, засобів захисту від бур'янів, шкідників і хвороб можливо досягти зменшення витрат на одержання екологічно чистої і якісної біомаси.

Разом з тим швидко вирішити питання застосування технології вирощування енергетичної верби не вдається, так як це нова розробка, яка потребує значних фінансових вкладень для придбання технічних засобів. Окремі сільськогосподарські машини (для садіння

живців, розпушування ґрунту в міжряддях та збирання) в Україні не випускаються, і їх необхідно купувати за кордоном.

Тому слід впроваджувати такі технології вирощування біоенергетичних культур, які б сприяли зменшенню сукупних енергетичних витрат. У системі технологій усе більше значення починає відігравати диференційоване використання природних ресурсів, техногенних факторів і адаптивного потенціалу культивованих видів і сортів рослин, розробка сортової агротехніки, застосування певних методів боротьби з бур'янами, шкідниками й хворобами. Зокрема у табл. 4 наведено

показники використання тріски енергетичної верби шляхом реалізації на ринку за ціною 1500 гривень за тонну та її

спалювання в котлах місцевого значення і реалізації тепла в Гкал.

4. Економічна ефективність вирощування та використання біомаси верби тритичинкової (*Salix triandra* L.) в умовах Західного Лісостепу України

Показник	I цикл (3 роки)	I–II цикли (6 років)
Середня урожайність біомаси енергетичної верби, т/га	47,5	97,0
Затрати на вирощування біомаси верби, тис. грн/га	93,4	108,4
Собівартість 1 т біомаси, грн	1966	1118
Вихід теплової енергії, Гкал/га	68,0	152,0
Собівартість 1 Гкал, грн	1374	713
Виручка від реалізації тріски (1500 грн/т), тис. грн/га	71,25	145,50
Прибуток від реалізації тріски, тис. грн/га	–22,15	37,10
Рентабельність реалізації тріски, %	–23,7	34,2
Виручка від використання тріски для виробництва теплової енергії (1800 грн/Гкал), тис. грн/га	122,40	273,60

Дані таблиці свідчать про істотне зростання рентабельності виробництва біомаси у другому циклі експлуатації плантації. Економічна ефективність вирощування енергетичної верби суттєво залежить від тривалості експлуатації плантації. Собівартість виробництва біомаси знижується на 43,1 %, (з 1966 до 1118 грн/т), що свідчить про розподіл основних витрат на довший період використання плантації та підвищення економічної віддачі вкладених інвестицій. У другому циклі вирощування біомаси валовий збір паливної тріски збільшується з 47,5 до 97,0 т/га, що забезпечує істотне зниження затрат при вирощуванні. Реалізація деревної тріски після першого циклу є економічно збитковою. За ціни реалізації 1500 грн/т рівень рентабельності становить –23,7 %, що свідчить про недостатню окупність початкових інвестицій. Після завершення двох циклів вирощування виробництво стає прибутковим, а рентабельність досягає 34,2 %. Найвищу економічну ефективність забезпечує використання біомаси для виробництва теплової енергії. При використанні тріски як палива прибуток зростає з 29,0 до 165,2 тис. грн/га, тобто майже у шість разів, що підтверджує значно вищу додану вартість порівняно з

продажем необробленої біомаси. Зменшення собівартості теплової енергії майже вдвічі (з 1374 до 713 грн/Гкал) свідчить про високу конкурентоспроможність енергетичної верби як місцевого відновлюваного джерела енергії та перспективність її використання для заміщення викопних видів палива. Отримані результати підтверджують, що економічна доцільність створення плантацій енергетичної верби формується не за рахунок першого врожаю, а завдяки тривалому використанню насаджень протягом наступних циклів, коли капітальні витрати вже амортизовані, а врожайність залишається високою. Проведений економічний аналіз свідчить, що в умовах Західного Лісостепу України вирощування енергетичної верби є інвестиційно доцільним за умови довготривалої експлуатації плантації. Перший цикл вирощування характеризується низькою економічною ефективністю через значні початкові витрати, тоді як упродовж другого циклу собівартість продукції істотно зменшується, а рівень рентабельності реалізації тріски досягає 34,2 %. Максимальний економічний ефект забезпечує використання біомаси для виробництва теплової енергії, що дозволяє

суттєво підвищити прибутковість виробництва та створює передумови для широкого впровадження енергетичної верби як ефективної біоенергетичної культури в Україні. Використання деревної тріски енергетичної верби для виробництва теплової енергії є значно економічно ефективнішим, ніж її реалізація як товарної біомаси. За перший цикл вирощування реалізація тріски є збитковою (–23,7 %), тоді як виробництво теплової енергії забезпечує рентабельність 31,0 %. Після завершення двох циклів вирощування економічна ефективність суттєво підвищується. Рентабельність виробництва

теплової енергії досягає 152,4 %, що майже у 5 разів перевищує рівень першого циклу. Основним чинником підвищення прибутковості є зростання врожайності біомаси з 47,5 до 97,0 т/га, при цьому загальні витрати збільшуються лише на 16 % (з 93,4 до 108,4 тис. грн/га), що забезпечує істотне зниження собівартості як біомаси, так і теплової енергії. Собівартість виробництва теплової енергії зменшується з 1374 до 713 грн/Гкал (майже на 48 %), що свідчить про зростання технологічної та економічної ефективності експлуатації багаторічних енергетичних плантацій (табл. 5).

5. Економічна ефективність вирощування та використання біомаси верби прутоподібної (*S. viminalis* L.) в умовах Західного Лісостепу України

Показник	I цикл (3 роки)	I–II цикли (6 років)
Середня урожайність біомаси енергетичної верби, т/га	58,8	109,0
Затрати на вирощування, тис. грн/га	93,4	108,4
Собівартість 1 т біомаси, грн	1610,0	910,9
Вихід теплової енергії, Гкал/га	105,8	195,1
Собівартість 1 Гкал, грн	889,5	555,6
Виручка від реалізації тріски (1500 грн/т), тис. грн/га	88,2	178,5
Прибуток від реалізації тріски, тис. грн/га	–5,2	70,1
Рентабельність реалізації тріски, %	–5,6	64,7
Виручка від виробництва теплової енергії (1800 грн/Гкал), тис. грн/га	190,4	351,0
Прибуток від використання тріски для опалення, тис. грн/га	97,0	243,0
Рентабельність використання тріски для опалення, %	103,9	224,2

Використання біомаси енергетичної верби для виробництва теплової енергії є значно економічно ефективнішим, ніж реалізація тріски як товарної продукції. Уже після першого циклу вирощування рівень рентабельності виробництва теплової енергії перевищує 100 %, що свідчить про повне відшкодування виробничих витрат та отримання чистого прибутку. Після завершення двох циклів вирощування економічна ефективність істотно зростає. Рентабельність досягає 224,2 %, що більш ніж удвічі перевищує показник першого циклу. Це пояснюється зниженням собівартості біомаси (з 1610,0 до 910,9 грн/т) та теплової енергії (з 889,5 до 555,6 грн/Гкал) при одночасному підвищенні врожайності. Вихід теплової

енергії збільшується зі 105,8 до 195,1 Гкал/га, тобто майже в 1,84 раза, що забезпечує пропорційне зростання виручки від 190,4 до 351,0 тис. грн/га та прибутку від 97,0 до 243,0 тис. грн/га. Економічні результати підтверджують, що найбільша ефективність досягається при довготривалій експлуатації плантацій, коли початкові капіталовкладення розподіляються на більший обсяг виробленої біомаси та енергії. Отримані показники свідчать про високу конкурентоспроможність виробництва теплової енергії з енергетичної верби порівняно з реалізацією біомаси у вигляді тріски, що підтверджує доцільність використання таких плантацій для локального теплопостачання, заміщення

викопного палива та підвищення енергетичної незалежності громад. Результативні показники, наведені в таблицях 4–5, свідчать, що при спалюванні тріски в місцевих котлах і реалізації тепла за ціною 1800 грн/Гкал виробництво стає рентабельним уже на другий рік вегетації, а в подальшому прибутковість різко зростає. Наведені розрахунки відображають основні тенденції використання верби як твердого палива станом на червень 2025 р. Однак конкретні показники можуть змінюватися залежно від коливань цін на енергоносії та матеріально-технічні ресурси, комерційних цілей підприємців, кон'юнктури ринку та інших факторів. Враховуючи результати розрахунків, можна стверджувати, що в сучасних реаліях української економіки інвестування власного капіталу в біоенергетичні плантації є економічно обґрунтованим.

Висновки. Продукування теплової енергії з біомаси енергетичної верби в Західному Лісостепу України демонструє істотно високу економічну ефективність. Рентабельність становить 103,9 % після першого трирічного циклу та збільшується до 224,2 % після двох циклів вирощування. Це підкреслює значний потенціал цієї культури як відновлюваного джерела енергії та економічно виправданого альтернативи традиційним паливам.

Список використаної літератури

1. Бондар В. С., Фурса А. В., Гументик М. Я. Стратегія та пріоритети розвитку біоенергетики в Україні. *Економіка агропромислового виробництва*. 2018. Том 25. № 8. С. 17–25. <https://eapk.com.ua/uk/journals/tom-25-8-2018/strategiya-ta-prioriteti-rozvitku-bioenergetiki-v-ukrayini>
2. Гордієнко М. І., Маурер В. М., Ковалевський С. Б. Методичні вказівки до вивчення та дослідження лісових культур. К : Видавничий центр НАУ, 2000. 101 с.
3. Гументик М. Я. Технологічні основи створення промислових плантацій високопродуктивних біоенергетичних культур. *Біоенергетика*. 2020. № 1 (15). С. 14–17. <https://be.bio.gov.ua/article/view/224938/225230>.
4. Еколого-геробологічний моніторинг і прогноз в агроценозах : навчальний посібник / І. А. Шувар та

Найбільший економічний ефект досягається за умови використання біомаси безпосередньо для виробництва теплової енергії, а не її продажу як сировини. Це дозволяє максимізувати додану вартість біомаси та підвищити ефективність функціонування біоенергетичних систем. Практичне значення дослідження полягає у підтвердженні доцільності створення локальних систем теплопостачання на основі енергетичної верби. Рентабельність понад 150 % після двох циклів вирощування свідчить про високу інвестиційну привабливість таких проєктів і їхню перспективність для забезпечення енергетичної незалежності громад та аграрних підприємств.

Енергетична оцінка демонструє, що технологія вирощування енергетичної верби в умовах ґрунтово-кліматичної зони Західного Лісостепу є ефективною щодо енергозбереження та раціонального використання ресурсів. У другому циклі вирощування коефіцієнт енергетичної ефективності перевищує 5, що означає, що на кожну одиницю спожитої енергії отримується понад п'ять одиниць енергії, нагромадженої в біомасі. Це підтверджує перспективність використання енергетичних плантацій верби як надійного джерела відновлюваної енергії.

References

1. Bondar V. S., Fursa A. V. Strategy and Priorities for Bioenergy Development in Ukraine. *Ekonomika ahropromyslovoho vyrobnytstva*. 2018. Vol. 8. P. 17–25. <https://eapk.com.ua/uk/journals/tom-25-8-2018/strategiya-ta-prioriteti-rozvitku-bioenergetiki-v-ukrayini>
2. Hordiienko M. I., Maurer V. M., Kovalevskiy S. B. Methodological guidelines for the study and research of forest plantations. K : Vydavnychyi tsentr NAU, 2000. 101 p.
3. Humentyk M. Ya. Technological foundations for establishing industrial plantations of high-yielding bioenergy crops. *Bioenerhetyka*. 2020. No. 1 (15). P. 14–17. <https://be.bio.gov.ua/article/view/224938/225230>.
4. Ecological and Herbological Monitoring and Forecasting in Agrocenoses : A Study Guide

ін. ; за ред. І. А. Шувара. Львів : НВФ “Українські технології”, 2011. 208 с.

5. Економічна ефективність інвестицій у вирощування біоенергетичних культур в зоні Лісостепу України / М. Я. Гументик та ін. *Економічний аналіз*. 2018. Т. 28. № 2. С. 21–30. <https://doi.org/10.35774/econa2018.02.021>

6. Енергетична верба: технологія вирощування та використання / М. В. Роїк та ін. ; під загальною редакцією доктора сільськогосподарських наук В. М. Сінченка. Вінниця : ТОВ «Нілан ЛТД», 2015. 340 с. <https://press.bio.gov.ua/catalog/view/728/1451/10135>.

7. Концепція розвитку біоенергетики в Україні на період до 2035 року / М. В. Роїк та ін. *Біоенергетика*. 2019. № 2 (14). С. 4–9. <https://be.bio.gov.ua/article/view/229304/228252>.

8. Методологія дослідження енергетичних плантацій верб і тополь : монографія / Я. Д. Фучило та ін. ; за ред. члена-кореспондента НААН В. М. Сінченка. К. : ТОВ «ЦП «Компринт», 2018. 137 с.

9. Роїк М. В., Гументик М. Я., Мамайсур В. В. Перспективи вирощування енергетичної верби для виробництва твердого біопалива. *Біоенергетика*. 2013. № 2. С. 18–19.

10. Формування продуктивності енергетичних плантацій верби за різних рівнів родючості ґрунту в умовах Західного Полісся / Р. В. Шевчук та ін. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. К. : ФОП Корзун Д. Ю., 2019. Вип. 27. С. 123–130. <https://doi.org/10.47414/np.27.2019.211177>.

11. Шкоропад Л., Думич В. Вирощування енергетичної верби в умовах західного регіону України. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*: зб. наук. пр. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. 2017. Вип. 21 (35). С. 353–361.

12. Bressler, A. S., Vidon, P. G. & Volk, T. A. Impact of shrub willow (*Salix sp.*) as a potential bioenergy feedstock on water quality and greenhouse gas emissions. *Water, Air and Soil Pollution*, 2017. Vol. 228. P. 170–188. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-017-3350-4>.

13. Change in Yield Between First and Second Rotations in Willow (*Salix spp.*) Biomass Crops is Strongly Related to the Level of First Rotation Yield / N. J. Sleight et al. *BioEnergy Research*. 2016, Vol. 9. Issue 1, p. 270–287 <https://link.springer.com/article/10.1007/s12155-015-9684-0>.

14. Ecological Bio Energy Materials in Ukraine Current State and Prospects of Production Development / V. M. Sinchenko et al. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2020. No. 10 (1). P. 85–89. https://doi.org/10.15421/2020_13.

/ I. A. Shuvar et al. ; za red. I. A. Shuvara. Lviv : NVF “Ukrainski tekhnolohii”, 2011. 208 p.

5. Economic efficiency of investments in the cultivation of bioenergy crops in the Forest-Steppe zone of Ukraine / M. Ya. Humentyk et al. *Ekonomichniy analiz*. 2018. Vol. 28. No. 2. P. 21–30. <https://doi.org/10.35774/econa2018.02.021>

6. Energy Willow: Cultivation and Utilization Technology / M. V. Roik et al. Vinnytsia : TOV «Nilan LTD», 2015. 340 p. <https://press.bio.gov.ua/catalog/view/728/1451/10135>.

7. Concept for the Development of Bioenergy in Ukraine for the Period up to 2035 / M. V. Roik et al. *Bioenerhetyka*. 2019. No. 2 (14). P. 4–9. <https://be.bio.gov.ua/article/view/229304/228252>.

8. Methodology for Researching Willow and Poplar Energy Plantations : a monograph / Ya. D. Fuchylo et al. ; za red. chlena-korespondenta NAAN V. M. Sinchenka. K. : TOV «TsP «Komprynt», 2018. 137 p.

9. Roik M. V., Humentyk M. Ya., Mamaisur V. V. Perspektyvy vyroshchuvannya enerhetychnoi verby dlia vyrobnytstva tverdoho biopalyva. *Bioenerhetyka*. 2013. No. 2. P. 18–19.

10. Formation of willow energy plantation productivity under varying soil fertility levels in the Western Polissia region / R. V. Shevchuk et al. *Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovyykh buriakiv*. K. : FOP Korzun D. Yu., 2019. Issue 27. P. 123–130. <https://doi.org/10.47414/np.27.2019.211177>.

11. Shkoropad L., Dumych V. Cultivation of energy willow in the western region of Ukraine. *Technical and technological aspects of the development and testing of new machinery and technologies for Ukrainian agriculture*: zb. nauk. pr. UkrNDIPVT im. L. Pohoriloho. 2017. Issue 21 (35). P. 353–361.

12. Bressler, A. S., Vidon, P. G. & Volk, T. A. Impact of shrub willow (*Salix sp.*) as a potential bioenergy feedstock on water quality and greenhouse gas emissions. *Water, Air and Soil Pollution*, 2017. Vol. 228. P. 170–188. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-017-3350-4>.

13. Change in Yield Between First and Second Rotations in Willow (*Salix spp.*) Biomass Crops is Strongly Related to the Level of First Rotation Yield / N. J. Sleight et al. *BioEnergy Research*. 2016, Vol. 9. Issue 1, p. 270–287 <https://link.springer.com/article/10.1007/s12155-015-9684-0>.

14. Ecological Bio Energy Materials in Ukraine Current State and Prospects of Production Development / V. M. Sinchenko et al. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2020. No. 10 (1). P. 85–89. https://doi.org/10.15421/2020_13.

15. El Bassam N. Handbook of Bioenergy Crops. A Complete Reference to Species, Development and Applications. London; Washington, DC: Earthscan. 2010. 544 p.

15. El Bassam N. Handbook of Bioenergy Crops. A Complete Reference to Species, Development and Applications. London; Washington, DC: Earthscan. 2010. 544 p. https://books.google.com.ua/books?id=ZdU_q5lj0fgC&printsec=frontcover&hl=ru#v=onepage&q&f=false.
16. Fabio, E. S., Smart, L. B. Effects of nitrogen fertilization in shrub willow short rotation coppice production – a quantitative review. *Global Change Biology Bioenergy*. 2018. Vol. 10. Issue 8. P. 548–564. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12507>.
17. Grzesik, M., Romanowska-Duda, Z., Kalaji, H. M. Effectiveness of cyanobacteria and green algae in enhancing the photosynthetic performance and growth of willow (*Salix viminalis* L.) plants under limited synthetic fertilizers application. *Photosynthetica*. 2017. Vol. 55. Issue 3. P. 510–521. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11099-017-0716-1>.
18. Major J. E., Mosseler A., Malcolm J. W. Salix species variation in leaf gas exchange, sodium, and nutrient parameters at three levels of salinity. *Canadian Journal of Forest Research*, 2017. Vol. 47 (8). P. 1045–1055. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20173324658>.
19. Short rotation coppices, grasses and other herbaceous crops: Productivity and yield energy value versus 26 genotypes / M. J. Stolarski et al. *Biomass & Bioenergy*. 2018. Vol. 119. P. 109–120. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.09.014>.
20. Stajić, B. Short rotation energy crops of fast-growing tree species in Serbia: biomass production, legislation, market, and environmental impacts – potentials and constraints: *Raport UNDP Serbia*. 2016. 80 p.
21. Torun H., Hansson Per-A., Sundberg C. Climate impact assessment of willow energy from a landscape perspective: a Swedish case study. *Global Change Biology Bioenergy*. 2017. Vol. 9. Issue 5. P. 973–985. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12399>.
- https://books.google.com.ua/books?id=ZdU_q5lj0fgC&printsec=frontcover&hl=ru#v=onepage&q&f=false.
16. Fabio, E. S., Smart, L. B. Effects of nitrogen fertilization in shrub willow short rotation coppice production – a quantitative review. *Global Change Biology Bioenergy*. 2018. Vol. 10. Issue 8. P. 548–564. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12507>.
17. Grzesik, M., Romanowska-Duda, Z., Kalaji, H. M. Effectiveness of cyanobacteria and green algae in enhancing the photosynthetic performance and growth of willow (*Salix viminalis* L.) plants under limited synthetic fertilizers application. *Photosynthetica*. 2017. Vol. 55. Issue 3. P. 510–521. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11099-017-0716-1>.
18. Major J. E., Mosseler A., Malcolm J. W. Salix species variation in leaf gas exchange, sodium, and nutrient parameters at three levels of salinity. *Canadian Journal of Forest Research*, 2017. Vol. 47 (8). P. 1045–1055. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20173324658>.
19. Short rotation coppices, grasses and other herbaceous crops: Productivity and yield energy value versus 26 genotypes / M. J. Stolarski et al. *Biomass & Bioenergy*. 2018. Vol. 119. P. 109–120. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.09.014>.
20. Stajić, B. Short rotation energy crops of fast-growing tree species in Serbia: biomass production, legislation, market, and environmental impacts – potentials and constraints: *Raport UNDP Serbia*. 2016. 80 p.
21. Torun H., Hansson Per-A., Sundberg C. Climate impact assessment of willow energy from a landscape perspective: a Swedish case study. *Global Change Biology Bioenergy*. 2017. Vol. 9. Issue 5. P. 973–985. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12399>.

DOI: 10.32636/01308521.2026-(80)-1-14

Оригінальна наукова стаття

УДК 635.21:631.526.32:631.559

**ЕКОЛОГІЧНА ПЛАСТИЧНІСТЬ, СТАБІЛЬНІСТЬ ТА АДАПТИВНІСТЬ
СЕРЕДНЬОСТИГЛИХ СОРТІВ КАРТОПЛІ ЗА ВРОЖАЙНІСТЮ БУЛЬБ
В УМОВАХ ПІВДЕННОГО ПОЛІССЯ УКРАЇНИ****В. Ю. Ямковий¹, С. О. Ременюк², Я. П. Макух², В. А. Доронін²**

¹Інститут картоплярства НААН
вул. Ярослава Мудрого, 22, с.
Немішаєве, Бучанський р-н.,
Київська обл., 07853

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

Про авторів:

Віктор ЯМКОВИЙ,
кандидат сільськогосподарських
наук
ORCID: 0009-0007-7368-1230

Світлана РЕМЕНЮК,
кандидат сільськогосподарських
наук
ORCID: 0000-0002-4407-4293

Ярослав МАКУХ,
доктор сільськогосподарських наук
ORCID: 0000-0002-6954-1388

Володимир ДОРОНІН,
доктор сільськогосподарських наук
ORCID: 0000-0001-9355-881X

Для листування:
Віктор ЯМКОВИЙ
e-mail: yamkovy07@ukr.net

Інформація про фінансування:
Національна академія аграрних
наук України

Отримано:
7 вересня 2026 р.
Погоджено до друку:
22 вересня 2026 р.
Опубліковано:
30 вересня 2026 р.

Метою досліджень було встановлення особливостей реалізації продуктивного потенціалу середньостиглих сортів картоплі за різних погодних умов Південного Полісся України, оцінка їхньої адаптивності, екологічної пластичності й стабільності за врожайністю бульб та виділення перспективних генотипів. Дослідження виконували у 2023–2025 рр. в Інституті картоплярства НААН. Диференціацію сортів проводили за методикою Eberhart–Russell (розрахунок b_i та Si^2) з додатковим оцінюванням коефіцієнта варіації, стресостійкості, генотипової гнучкості, гомеостатичності та селекційної цінності. Умови років вирощування були контрастними: найсприятливішим був 2023 рік ($I_j = 6,46$, середня врожайність – 34,5 т/га), тоді як у 2024 та 2025 роках умови були гіршими ($I_j = -3,32$ та $-3,14$), а врожайність знизилася до 24,7 та 24,9 т/га відповідно. Середня трирічна продуктивність сортів варіювала в межах 24,0–37,7 т/га. За комплексом показників виділено сорти за типами їхніх адаптивних реакцій: Соборна – найбільш збалансований сорт із високою врожайністю (32,3 т/га), інтенсивним відгуком на покращення умов ($b_i = 1,26$), стабільним генотипом ($Si^2 = 0,64$) та високою селекційною цінністю ($Sc = 22,19$); Меланія – лідер за продуктивністю (37,7 т/га), генотиповою гнучкістю (39,7 т/га) та селекційною цінністю ($Sc = 24,30$), що активно реагує на покращення агрофону ($b_i = 1,63$); Княгиня, Хортиця, Фотинія – стресостійкі сорти (від $-5,0$ до $-8,3$ т/га) з мінімальним коефіцієнтом варіації та високим гомеостазом (Hom до 52,64), придатні для нестабільних умов середовища; Містерія та Марфуша – високопластичні сорти ($b_i = 1,66$ та 1,74), що потребують високого рівня агротехніки. Виділені генотипи є цінним вихідним матеріалом для селекції та рекомендовані для оптимізації сортової структури виробництва в регіоні.

Ключові слова: картопля, сорт, урожайність, адаптивність, екологічна пластичність, гомеостатичність, стресостійкість, селекційна цінність.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

© Ямковий В. Ю., Ременюк С. О., Макух Я. П., Доронін В. А., 2026

Ecological plasticity, stability and adaptability of mid-season potato varieties in terms of tuber yield in the Southern Polissya region of Ukraine

¹Institute for Potato Research of NAAS
22, Yaroslav the Wise street, 22,
Nemishaiev village, Bucha District,
Kyiv Region, 07853

²Institute of Bioenergy Crops and
Sugar Beet of NAAS
25, Klinichna Street, Kyiv, 03141

About authors:

Victor YAMKOVYI
ORCID: 0009-0007-7368-1230

Svitlana REMENIUK
ORCID: 0000-0002-4407-4293

Yaroslav MAKUKH
ORCID: 0000-0002-6954-1388

Volodymyr DORONIN
ORCID: 0000-0001-9355-881X

For corresponding:
VictorYAMKOVYI
e-mail: yamkovuy07@ukr.net

Funding information:
National Academy of Agrarian
Sciences of Ukraine

Received:
September 7, 2026
Accepted:
September 22, 2026
Published:
September 30, 2026

The aim of the research was to determine the features of the realization of the productive potential of mid-season potato varieties under the varying weather conditions of Southern Polissia of Ukraine, to assess their adaptability, ecological plasticity, and yield stability, and to identify promising genotypes for commercial production and breeding. The studies were conducted in 2023–2025 at the experimental base of the Institute for Potato Research of NAAS. The varieties were differentiated by their response to changing growing conditions using the Eberhart–Russell method (calculation of b_i and S_i^2), with additional evaluation of the coefficient of variation, stress tolerance, genotypic flexibility, homeostaticity, and breeding value. The growing seasons were characterized by contrasting weather conditions: 2023 was the most favorable (environmental index $I_j = 6.46$; average yield 34.5 t/ha), whereas 2024 and 2025 were less favorable ($I_j = -3.32$ and -3.14), with the average yield decreasing to 24.7 and 24.9 t/ha, respectively. The three-year average yield of the varieties ranged from 24.0 to 37.7 t/ha. Based on the set of parameters, the varieties were classified according to the type of adaptive response. Soborna was the most balanced variety, combining high yield (32.3 t/ha), an intensive response to improved conditions ($b_i = 1.26$), high stability ($S_i^2 = 0.64$), and high breeding value ($Sc = 22.19$). Melaniia was the leader in yield (37.7 t/ha), genotypic flexibility (39.7 t/ha), and breeding value ($Sc = 24.30$), showing an active response to improved growing conditions ($b_i = 1.63$). Kniahynia, Khortytsia, and Fotyniia were stress-tolerant varieties (stress tolerance from -5.0 to -8.3 t/ha) with a minimal coefficient of variation and high homeostaticity (Hom up to 52.64), suitable for unstable environmental conditions. Misteriia and Marfusha were highly plastic varieties ($b_i = 1.66$ and 1.74) requiring high-input cultivation technologies. The identified genotypes are valuable source material for breeding programs and are recommended for optimizing the varietal structure of potato production in the region.

Keywords: potato, variety, yield, adaptability, ecological plasticity, homeostaticity, stress tolerance, breeding value.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Вступ. Картопля (*Solanum tuberosum* L.) належить до провідних сільськогосподарських культур, що відіграють важливу роль у формуванні продовольчих ресурсів та забезпеченні стабільності аграрного виробництва [8]. Рівень її продуктивності визначається взаємодією генотипу та умов середовища, серед яких визначальне значення мають ґрунтові та метеорологічні умови, що характеризуються значною мінливістю за роками [17]. Мінливість кількості та розподілу опадів, виникнення посушливих періодів та інші абіотичні стресові чинники

можуть істотно впливати на реалізацію генетичного потенціалу сортів і стабільність формування врожаю [3, 14].

Особливої уваги в сучасних умовах потребують середньостиглі сорти картоплі, які завдяки тривалішому періоду вегетації мають високий продуктивний потенціал, реалізація якого значною мірою залежить від забезпечення рослин вологою, температурного режиму та рівня агротехнологічного забезпечення. Тому оцінювання реакції таких сортів на контрастні умови середовища є важливою передумовою визначення їхнього

адаптивного потенціалу та ефективності використання у виробництві.

Вивчення екологічної пластичності та стабільності сортів за врожайністю дає змогу встановити особливості реалізації генотипового потенціалу в різних умовах вирощування, виділити генотипи зі стабільною продуктивністю або високою реакцією на покращення умов середовища, а також визначити перспективні форми для подальшого селекційного використання [17, 22]. Водночас комплексна оцінка сучасних середньостиглих сортів картоплі селекції Інституту картоплярства НААН за показниками екологічної пластичності, стабільності, гомеостатичності, стресостійкості та селекційної цінності в умовах Південного Полісся України залишається недостатньо вивченою. Це зумовлює актуальність досліджень, спрямованих на визначення адаптивних властивостей сортів та виділення найбільш перспективних генотипів для виробничого використання і селекційного процесу. Проблема адаптивності сортів картоплі до мінливих умов середовища є одним із пріоритетних напрямів сучасної селекції та сорто випробування. Значна варіабельність погодних умов у роки вирощування зумовлює неоднакову реалізацію генетичного потенціалу продуктивності різних генотипів, що обґрунтовує необхідність оцінювання їхньої екологічної пластичності, стабільності та адаптивності [1, 19].

Дослідження екологічної пластичності та стабільності сортів картоплі проводяться в різних ґрунтово-кліматичних зонах України. Так, Е. Р. Ермантраут та ін. [6] досліджували вплив погодних умов періоду вегетації на стабільність сортів картоплі в умовах Полісся. Авторами встановлено значну диференціацію генотипів за рівнем урожайності, пластичністю, стабільністю та гомеостатичністю. Водночас виділено сорти, здатні підтримувати відносно стабільну продуктивність за різних умов середовища.

У дослідженнях Л. В. Тимко зі співавторами [16] основну увагу приділено оцінюванню адаптивного потенціалу сортів картоплі селекції Інституту картоплярства НААН за врожайністю в умовах Полісся. Отримані авторами результати підтверджують доцільність диференційованого підбору сортів залежно від ґрунтово-кліматичних умов їх вирощування. На думку дослідників, використання адаптованих сортів у насадженні може сприяти підвищенню ефективності виробництва насіннєвої картоплі високих категорій та прискоренню процесів сортозаміни і сортооновлення.

А. Ф. Борівський [4] досліджував адаптивну здатність сортів картоплі селекції Інституту картоплярства НААН у різних ґрунтово-кліматичних зонах України. За результатами досліджень було встановлено, що окремі сорти формували стабільну врожайність незалежно від погодних умов. Найбільш продуктивними й адаптованими до умов Полісся та Лісостепу виявилися сорти: Кіммерія, Ведруска, Радинка, Партнер, Вернісаж, Околиця та Мандрівниця. Автор зазначив, що здатність сортів стабільно реалізовувати продуктивний потенціал у різних умовах свідчить про їхню перспективність для практичного використання та подальшого сортооновлення.

У дослідженнях Н. В. Писаренко та ін. [13], проведених в умовах Центрального Полісся України, адаптивні властивості сортів картоплі різних груп стиглості оцінювали за комплексом показників. Авторами встановлено, що висока врожайність не завжди поєднується з високою екологічною пластичністю, стабільністю та гомеостатичністю. Тому для об'єктивної характеристики адаптивного потенціалу запропоновано одночасно враховувати коефіцієнт екологічної пластичності (b_i), показник стабільності (S_i^2), гомеостатичність (H_{om}) та селекційну цінність (Sc).

Застосування такого підходу дало змогу диференціювати сорти за характером реакції на зміну умов вирощування та

виділити генотипи, здатні поєднувати високий рівень продуктивності зі стабільністю її прояву. За узагальненими результатами досліджень [12, 13], сукупність показників урожайності, пластичності, стабільності, гомеостатичності та селекційної цінності є інформативнішою для добору адаптивних генотипів, ніж оцінювання за окремими критеріями. На цій основі сформовано модель сорту, адаптованого до умов Полісся, яка передбачає поєднання високої продуктивності, стабільності врожайності, належної якості бульб та стійкості до несприятливих біотичних і абіотичних чинників [10].

Окремий напрям досліджень становить оцінювання нових середньостиглих сортів картоплі, що має важливе значення з огляду на їхнє широке виробниче використання. Вітчизняні вчені провели комплексне вивчення нових середньостиглих сортів картоплі в умовах Лісостепу та Полісся України. Дослідження виконували у 2021–2023 рр. у восьми пунктах сорто випробування. Встановлено значну диференціацію сортів за врожайністю та вмістом крохмалю, а також відмінності у стабільності прояву цих ознак залежно від ґрунтово-кліматичних умов, що підтверджує необхідність їхнього оцінювання в різних середовищах вирощування [17].

Особливого значення для обґрунтування досліджень з оцінювання адаптивного потенціалу сортів картоплі мають результати, отримані безпосередньо в умовах Південного Полісся України. В. Ю. Ямковий та ін. [18] досліджували сорти картоплі різних груп стиглості за показниками екологічної пластичності, стабільності та адаптивності за ознакою «врожайність бульб». Встановлено істотну диференціацію генотипів за характером реакції на зміну умов вирощування, що свідчить про різний рівень їхньої здатності реалізовувати потенціал продуктивності залежно від умов середовища та підтверджує доцільність комплексного

оцінювання сортів за адаптивними параметрами.

Таким чином, результати попередніх досліджень свідчать про значну генотипову диференціацію сортів картоплі за реакцією на зміну умов вирощування та підтверджують доцільність комплексного підходу до оцінювання їхньої адаптивності. Водночас адаптивні властивості нових середньостиглих сортів картоплі в умовах Південного Полісся України залишаються недостатньо вивченими. Наявні дослідження переважно охоплюють сорти різних груп стиглості або проводилися в інших ґрунтово-кліматичних умовах.

У зв'язку з цим актуальним є комплексне оцінювання нових середньостиглих сортів картоплі за показниками екологічної пластичності, стабільності, гомеостатичності, стресостійкості та селекційної цінності в умовах Південного Полісся України. Такий підхід дасть змогу виявити генотипи з оптимальним поєднанням продуктивності та адаптивних властивостей і визначити перспективність їх використання у виробництві та селекційному процесі.

Метою дослідження було проведення комплексної оцінки середньостиглих сортів картоплі за показниками продуктивності, екологічної пластичності, стабільності, гомеостатичності, стресостійкості та селекційної цінності, визначення характеру їхньої адаптивної реакції в умовах Південного Полісся України та виділення генотипів, перспективних для виробничого і селекційного використання.

Матеріали і методи. Дослідження проводили на дослідних ділянках Інституту картоплярства НААН упродовж 2023–2025 рр. Ґрунт дослідної ділянки – дерново-підзолистий супіщаний, типовий для зони Полісся України. Вміст гумусу в орному шарі ґрунту становить 1,4 %, азоту легкогідролізованого – 98, рухомого фосфору – 72, обмінного калію – 100 мг/кг, гідролітична кислотність $H_g = 1,97$ мг-екв/100 г ґрунту, pH – 5,2.

Як об'єкти дослідження було використано 7 середньостиглих сортів

селекції Інституту картоплярства НААН України. Усі сорти внесено до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні. В експеримент включено такі сорти: Меланія, Містерія, Соборна, Марфуша, Фотинія, Хортиця, Княгиня.

Попередником у роки досліджень була пшениця озима. Восени після збирання попередника проведено лушення стерні та зяблеву оранку, рано навесні – культивування з боронуванням. Мінеральні добрива в нормі $N_{90}P_{90}K_{90}$ д. р. вносили з подальшою культивування та нарізкою борозен. Садіння картоплі на дослідних ділянках здійснювали дворядковою картоплесаджалкою в III декаді квітня. Після цього проводили два міжрядні обробітки культиватором та підгортання рослин. Проти колорадського жука проведено обприскування препаратом Кораген, 60 г/га (хлорантраніліпрол, 200 г/л); проти фітофторозу та альтернаріозу – препаратами Курзат Р (2,5 кг/га), Зорбек Інкантія (0,5 л/га) та

Банджо Форте (0,8 л/га) із зазначеними діючими речовинами. Облік урожаю проводили подільською методом суцільного збирання бульб з кожної облікової ділянки. Після збирання визначали масу бульб з кожної ділянки, а отримані показники перераховували на врожайність у т/га [7].

Упродовж 2023–2025 рр. досліджень погодні умови різнилися, що дало змогу всебічно оцінити досліджувані сорти картоплі в контрастних умовах вирощування (рис. 1). За індексом середовища та фактичною середньою врожайністю 2023 р. характеризувався найбільш сприятливими умовами для реалізації продуктивного потенціалу сортів. За вегетаційний період сума атмосферних опадів становила 280 мм при середньобогаторічній нормі 360 мм, що на 80 мм менше за нормативне значення. Незважаючи на певний дефіцит опадів, їх розподіл упродовж основної частини вегетаційного періоду був сприятливішим порівняно з іншими роками досліджень.

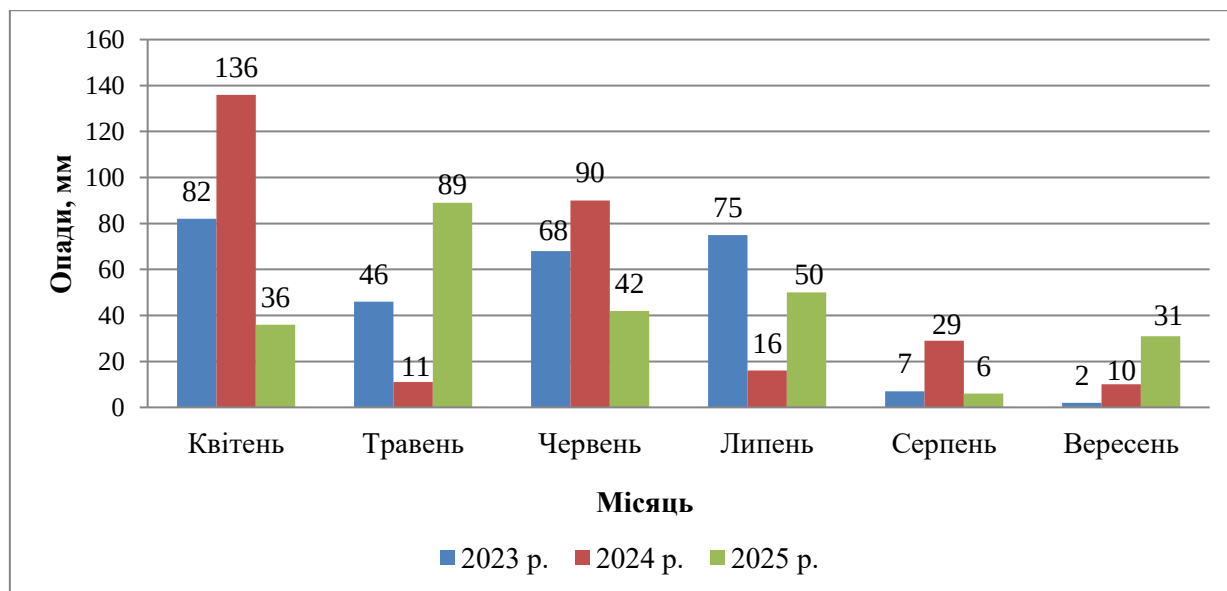


Рис. 1. Розподіл кількості опадів за місяцями у період вегетації картоплі, 2023–2025 рр.

Умови 2025 р. були менш сприятливими для реалізації продуктивного потенціалу сортів. Сума атмосферних опадів за вегетаційний період становила 254 мм, що на 106 мм менше середньобогаторічної норми. Недостатня

кількість опадів могла обмежувати вологозабезпечення рослин, особливо в періоди активного бульбоутворення та інтенсивного наростання маси бульб, що, своєю чергою, могло негативно впливати на формування продуктивності сортів.

Найбільш несприятливими за характером вологозабезпечення були умови 2024 р., не за сумарною кількістю опадів, а передусім через їхній нерівномірний розподіл та дефіцит вологи в окремі періоди вегетації. Особливо низькою була кількість опадів у травні, липні та серпні – відповідно 11, 16 та 29 мм. Такий розподіл опадів міг зумовлювати періоди недостатнього вологозабезпечення рослин та обмежувати формування врожаю бульб.

Таким чином, за кількістю та характером розподілу атмосферних опадів 2023 р. можна охарактеризувати як найбільш сприятливий для формування продуктивності картоплі, 2025 р. – як менш сприятливий через недостатню кількість опадів, а 2024 р. – як найбільш стресовий унаслідок їхнього нерівномірного розподілу та значного дефіциту вологи в окремі періоди вегетації.

Екологічну пластичність і стабільність оцінювали за методикою S. A. Eberhart та W. A. Russell, де пластичність сортів визначали за коефіцієнтом регресії (b_i), який характеризує середню реакцію сорту на зміну умов середовища, а стабільність – за дисперсією відхилень від регресії (S_i^2) [21].

Для визначення коефіцієнта лінійної регресії b_i спочатку визначали індекс умов середовища I_j :

$$I_j = (\sum Y_j / v) - (\sum Y_i / vn),$$

де $\sum Y_j$ – сума врожаю всіх сортів за певний рік; $\sum Y_i$ – сума врожаю всіх сортів упродовж усіх років; v – кількість сортів; n – кількість років.

Розрахунок для кожного сорту коефіцієнта регресії b_i проведено за формулою:

$$b_i = \sum_j Y_{ij} I_j / \sum_j I_j^2,$$

де Y_{ij} – врожай певного сорту в певному році; I_j – індекс умов середовища; I_j^2 – сума квадратів індексів умов середовища.

Варіансу стабільності (S_i^2) розраховували за формулою:

$$S_i^2 = \sum_j \delta_{ij}^2 / (n - 2),$$

де δ_{ij}^2 – відхилення від лінії регресії, яке розраховують як різницю між теоретичним і фактичним значенням ознаки:

$$\delta_{ij}^2 = Y_{ij} - \widehat{Y}_{ij},$$

де $\widehat{Y}_{ij}$ – теоретичне значення ознаки, яке розраховують за формулою:

$$\widehat{Y}_{ij} = \bar{x} + b_i I_j,$$

де $\bar{x}$ – середній врожай певного сорту за всіма роками досліджень, т/га; $b_i I_j$ – добуток коефіцієнта регресії певного сорту на індекс умов середовища.

За результатами розрахунків параметрів екологічної пластичності (b_i) та стабільності (S_i^2) виділяють 6 групувальних рангів (табл. 1).

1. Групування сортів картоплі за показниками екологічної пластичності та стабільності

Показники пластичності, стабільності	Групування за показниками екологічної пластичності / стабільності	Ранг
$b_i < 1; S_i^2 > 0$	Генотипи, що менш чутливі до покращення умов середовища, є нестабільними.	1
$b_i < 1; S_i^2 \approx 0$	Генотипи, що менш чутливі до покращення умов середовища, є стабільними.	2
$b_i \approx 1; S_i^2 \approx 0$	Генотипи із середньою реакцією на зміну умов середовища є стабільними.	3
$b_i \approx 1; S_i^2 > 0$	Генотипи із середньою реакцією на зміну умов середовища є нестабільними.	4
$b_i > 1; S_i^2 \approx 0$	Генотипи з підвищеною реакцією на покращення умов середовища є стабільними.	5
$b_i > 1; S_i^2 > 0$	Генотипи з підвищеною реакцією на покращення умов середовища є нестабільними.	6

Показник гомеостатичності (Ном) та селекційної цінності (Sc) розраховували за Н. С. Becker та J. Léon [20] за формулами:

$$\text{Ном} = \frac{x^2}{\sigma (X_{\text{opt}} - X_{\text{lim}})},$$

$$\text{Sc} = x * \frac{X_{\text{lim}}}{X_{\text{opt}}},$$

де x , X_{opt} , X_{lim} – узагальнена за генотипом середня арифметична, оптимальна і лімітована середні величини ознак відповідно; σ – середнє квадратичне відхилення. За X_{lim} прийняли найнижче значення ознаки, а за X_{opt} – найвище.

Стресостійкість (СС) визначали за методикою А. А. Rosielle та J. Hamblin [23] як різницю між мінімальною та максимальною врожайністю генотипу:

$$\text{СС} = Y_{\text{min}} - Y_{\text{max}}$$

де Y_{min} – урожайність у несприятливих умовах, Y_{max} – урожайність за сприятливих умов. Менше за абсолютним значенням зниження врожайності характеризує вищу стійкість генотипу до стресових факторів середовища.

Генотипову гнучкість (ГГ) розраховували як середнє арифметичне між

максимальною та мінімальною врожайністю генотипу; показник характеризує середній рівень реалізації продуктивності в контрастних за сприятливістю умовах і сам по собі не є достатньою підставою для висновку про вищу адаптивність сорту:

$$\text{ГГ} = (Y_{\text{max}} + Y_{\text{min}}) / 2.$$

Статистичні показники: середнє арифметичне (x), мінімальне (min) і максимальне (max) значення, коефіцієнт варіації (CV), середнє квадратичне відхилення (σ) та найменшу істотну різницю (НІР) розраховували за Ю. П. Манько [9] за допомогою програмного забезпечення Excel 2016.

Результати та обговорення.

Проведені дослідження засвідчили, що продуктивність середньостиглих сортів картоплі значною мірою визначалася мінливістю погодних умов років вирощування. Контрастність умов вегетаційного періоду зумовила істотне варіювання врожайності та дала змогу оцінити особливості адаптивної реакції досліджуваних генотипів (табл. 2).

2. Екологічна пластичність і стабільність урожайності бульб сортів картоплі

Сорт	Урожайність бульб, т/га				Параметри		Ранг
	2023	2024	2025	Середня	b_i	S_i^2	
Меланія	48,2	31,1	33,7	37,7	1,63	2,64	6
Містерія	34,8	19,4	17,9	24,0	1,66	1,64	6
Соборна	40,5	28,7	27,8	32,3	1,26	0,64	5
Марфуша	35,3	19,2	17,6	24,0	1,74	1,85	6
Фотинія	27,5	28,4	20,1	25,3	0,32	34,95	1
Хортиця	28,5	22,8	28,8	26,7	0,29	17,69	1
Княгиня (St)	26,4	23,1	28,1	25,9	0,09	12,42	1
НІР ₀₅	2,3	2,8	2,0				
Середнє (за рік), т/га	34,5	24,7	24,9	28,0			
Індекс середовища (I_j)	6,46	-3,32	-3,14				

Примітка: b_i – коефіцієнт регресії (екологічна пластичність); S_i^2 – варіанса стабільності.

Погодні умови вегетаційних періодів 2023–2025 рр. характеризувалися значною мінливістю, що позначилося на формуванні продуктивності середньостиглих сортів картоплі. Для кількісної оцінки впливу умов року на врожайність використовували індекс умов середовища (I_j), позитивні

значення якого свідчать про сприятливість середовища для реалізації продуктивного потенціалу генотипів, а від’ємні – про його несприятливість.

За результатами розрахунків найбільш сприятливим для формування врожаю бульб виявився 2023 р. Індекс умов

середовища становив $I_j = 6,46$, а середня врожайність досліджуваних середньостиглих сортів досягла 34,5 т/га. Натомість у 2024 та 2025 рр. склалися менш сприятливі умови, про що свідчать від'ємні значення індексу середовища: відповідно $I_j = -3,32$ та $I_j = -3,14$. За цих умов середня врожайність сортів знизилася порівняно з 2023 р. на 9,8 та 9,6 т/га відповідно.

Порівняльна оцінка продуктивності досліджуваних середньостиглих сортів картоплі за 2023–2025 рр. засвідчила значні відмінності генотипів за середньою врожайністю бульб. Значення показника в середньому за роки досліджень варіювали від 24,0 до 37,7 т/га, що свідчить про різний рівень реалізації продуктивного потенціалу сортів у ґрунтово-кліматичних умовах Південного Полісся України. Максимальну середню врожайність сформував сорт Меланія – 37,7 т/га. Порівняно зі стандартом Княгиня (25,9 т/га) його перевага становила 11,8 т/га, що перевищувало НР₀₅ для фактора «сорт» (1,4 т/га) і свідчило про статистично істотну різницю. Високою продуктивністю також характеризувався сорт Соборна, середня врожайність якого становила 32,3 т/га, що

на 6,4 т/га більше за стандарт; ця різниця також перевищувала НР₀₅. У сорту Хортиця середня врожайність становила 26,7 т/га, що на 0,8 т/га більше за стандарт, однак ця різниця не перевищувала НР₀₅ і була статистично неістотною. Сорт Фотинія забезпечив урожайність 25,3 т/га, що на 0,6 т/га менше за стандарт; ця різниця також була статистично неістотною. Найнижчу середню врожайність серед досліджуваних сортів сформували Містерія та Марфуша – по 24,0 т/га, що, відповідно, на 1,9 т/га менше за стандарт.

Отже, за середньою врожайністю бульб за трирічний період досліджень найбільш вираженим продуктивним потенціалом характеризувалися сорти Меланія та Соборна. Особливий інтерес становить те, що Меланія та Соборна є новими сортами картоплі, занесеними до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні, відповідно, у 2023 та 2024 рр. Їхня висока продуктивність в умовах Південного Полісся України свідчить про перспективність подальшого вивчення цих сортів за показниками адаптивності та стабільності.

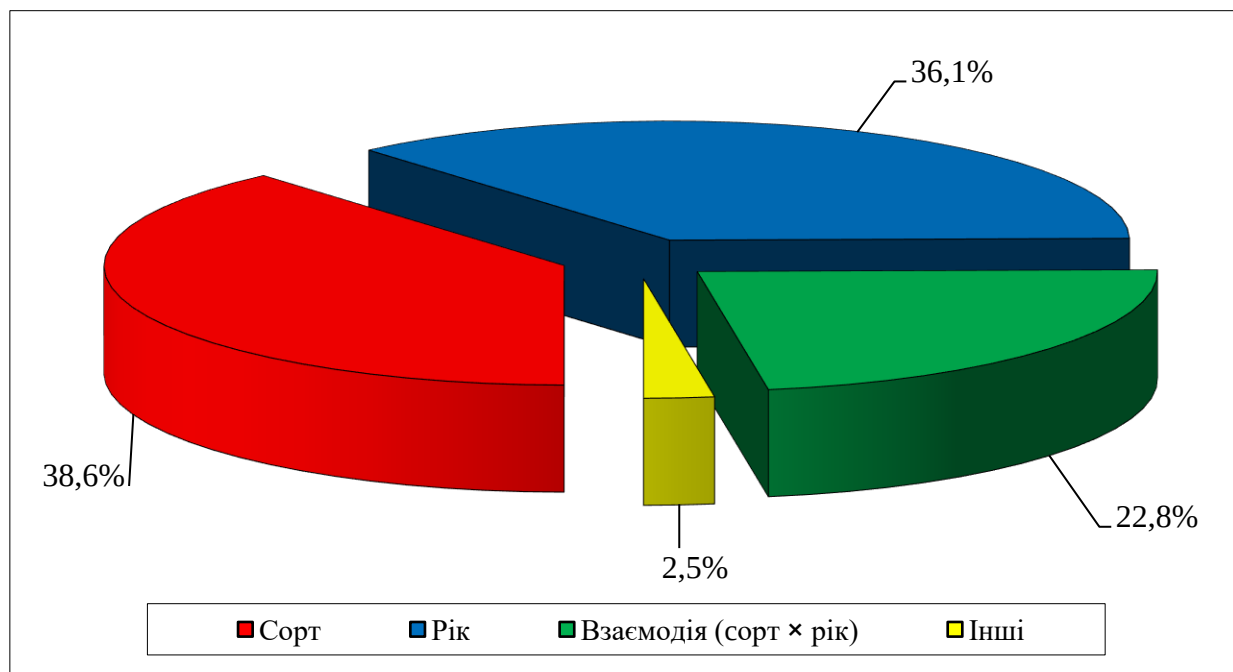


Рис. 2. Частка впливу факторів на формування врожайності бульб картоплі, %

За результатами дисперсійного аналізу встановлено істотний вплив основних досліджуваних факторів на врожайність бульб картоплі на 5%-му рівні значущості. Найбільша частка варіації врожайності була зумовлена сортовими особливостями – 38,6 %, тоді як частка впливу умов року вирощування становила 36,1 %. Значним був також вплив взаємодії факторів «сорт × рік» – 22,8 %, що свідчить про значну диференціацію генотипів за реакцією на зміну умов середовища та обґрунтовує доцільність оцінювання їхньої екологічної пластичності й стабільності в

контрастні за погодними умовами роки. На інші джерела варіації припадало 2,5 % (рис. 2).

Вплив сорту на врожайність був статистично істотним ($F_{\phi} = 108,25$ при $F_{0.5} = 2,34$), як і вплив року вирощування ($F_{\phi} = 303,47$ при $F_{0.5} = 3,23$). Взаємодія «сорт × рік» також була статистично суттєвою ($F_{\phi} = 31,89$ при $F_{0.5} = 2,00$), що підтверджує різний характер реалізації продуктивного потенціалу сортів залежно від умов року (табл. 3).

3. Результати дисперсійного аналізу врожайності сортів картоплі, 2023–2025 рр.

Джерело мінливості	Сума квадратів	Ступені свободи	Середні квадрати	Критерій Фішера		НІР ₀₅
				F_{ϕ}	$F_{0.5}$	
Рік	1317,64	2	658,82	303,47	3,23	0,9
Сорт	1409,96	6	234,99	108,25	2,34	1,4
Взаємодія: Рік × Сорт	830,83	12	69,24	31,89	2,00	2,4
Випадкове	86,84	40	2,171			
Повторень	2,99	2				
Загальне	3648,26	62				

Отже, отримані експериментальні дані підтверджують значний вплив сортових особливостей, умов року вирощування та їхньої взаємодії на формування врожайності бульб картоплі. За таких умов для обґрунтованого добору перспективних сортів доцільно оцінювати не лише рівень урожайності, а й стабільність та екологічну пластичність генотипів.

Для поглибленої оцінки реакції середньостиглих сортів картоплі на зміну умов середовища визначали коефіцієнт екологічної пластичності (b_i) та варіансу стабільності (S_i^2) за методикою Еберхарта–Рассела. Встановлено, що досліджувані генотипи істотно різнилися за характером реакції врожайності на зміну умов вирощування.

Коефіцієнт регресії в досліджуваних сортів змінювався від 0,09 до 1,74. Значення b_i , що перевищували одиницю, встановлено у сортів Марфуша (1,74), Містерія (1,66), Меланія (1,63) та Соборна (1,26). Така реакція свідчить про підвищену

екологічну пластичність зазначених генотипів та їхню здатність більшою мірою реалізовувати продуктивний потенціал за покращення умов вирощування.

Для Фотинії ($b_i = 0,32$), Хортиці ($b_i = 0,29$) та Княгині ($b_i = 0,09$) коефіцієнт регресії був меншим за одиницю. Це свідчить про слабшу реакцію врожайності цих сортів на покращення умов середовища порівняно із середньою реакцією досліджуваних генотипів. Найменше значення b_i встановлено у Княгині (0,09), що характеризує її як генотип із низькою екологічною пластичністю.

Важливим доповненням до оцінки пластичності є показник стабільності, який характеризує відхилення фактичних значень урожайності від теоретично очікуваних за регресійною моделлю. Значення S_i^2 у досліджуваних сортів варіювали від 0,64 до 34,95. Найменшу варіансу стабільності встановлено у Соборної ($S_i^2 = 0,64$), що свідчить про незначне відхилення фактичної врожайності від прогнозованої та високу

відповідність її реакції регресійній моделі. Низькі значення S_i^2 також отримано у Містерії (1,64), Марфуші (1,85) та Меланії (2,64).

Вищі значення варіанси стабільності встановлено у сортів Княгиня (12,42), Хортиця (17,69) та Фотинія (34,95). Особливо значним було відхилення врожайності сорту Фотинія від регресійної моделі, що вказує на специфічний характер його реакції на зміну умов середовища.

За сукупністю параметрів b_i та S_i^2 найбільш сприятливе поєднання підвищеної пластичності та стабільності продемонстрував сорт Соборна ($b_i = 1,26$; $S_i^2 = 0,64$). Цей сорт є перспективним для селекції, оскільки поєднує здатність реагувати на поліпшення умов вирощування з високою стабільністю прояву ознаки, що визначає його цінність як вихідного матеріалу для створення високопродуктивних та адаптивних сортів.

За результатами розрахунків параметрів пластичності і стабільності сорти можна охарактеризувати за відповідними рангами (табл. 1). До першого рангу ($b_i < 1$; $S_i^2 > 0$) віднесено сорти Фотинія, Хортиця та Княгиня, які характеризувалися слабшою реакцією врожайності на покращення умов

середовища; їхню потенційну придатність до несприятливих умов доцільно оцінювати комплексно з урахуванням показників стресостійкості, гомеостатичності та варіабельності. Сорт Соборна належав до п'ятого рангу ($b_i > 1$; $S_i^2 \approx 0$) і вирізнявся підвищеною реакцією на покращення умов вирощування у поєднанні з найнижчою варіансою стабільності серед досліджених генотипів. До шостого рангу ($b_i > 1$; $S_i^2 > 0$) віднесено сорти Меланія, Містерія та Марфуша, які характеризувалися підвищеною екологічною пластичністю та здатністю формувати високий рівень урожайності за сприятливих умов вирощування, однак їхня продуктивність була менш стабільною за мінливих умов середовища.

Коефіцієнт варіації показує відносний ступінь мінливості. Для його інтерпретації застосовували класифікацію [1]: $CV \leq 6\%$ – слабка варіація, $6 < CV \leq 11\%$ – помірна, $11 < CV \leq 21\%$ – значна, $21 < CV \leq 51\%$ – велика, $CV > 51\%$ – дуже велика.

За результатами досліджень коефіцієнт варіації врожайності сортів картоплі змінювався від 9,8 до 40,7 %, що відповідало помірному, значному та великому рівням мінливості (табл. 4).

4. Параметри екологічної адаптивності сортів картоплі за ознакою «врожайність» (середнє за 2023–2025 рр.)

Сорт	СС	ГГ	Ном	CV	Sc
Меланія	-17,1	39,7	9,00	24,5	24,30
Містерія	-16,9	26,4	3,65	38,9	12,36
Соборна	-12,7	34,2	11,62	21,9	22,19
Марфуша	-17,7	26,5	3,33	40,7	11,98
Фотинія	-8,3	24,3	16,98	18,0	17,93
Хортиця	-6,0	25,8	35,14	12,7	21,14
Княгиня (St)	-5,0	25,6	52,64	9,8	21,26

Примітка: СС – стресостійкість, т/га; ГГ – генотипова гнучкість, т/га; Ном – гомеостатичність; CV – коефіцієнт варіації, %; Sc – селекційна цінність.

Найменшу мінливість урожайності встановлено у сорту Княгиня ($CV = 9,8\%$), що свідчить про відносну стабільність формування врожаю в роки досліджень. У сортів Хортиця та Фотинія значення коефіцієнта варіації становили відповідно

12,7 і 18,0 %, що характеризує значний рівень мінливості продуктивності.

Сорти Соборна, Меланія, Містерія та Марфуша характеризувалися великою варіабельністю врожайності, значення коефіцієнта варіації у них становили

відповідно 21,9; 24,5; 38,9 та 40,7 %. Це свідчить про більшу мінливість продуктивності зазначених генотипів у роки досліджень та їхню залежність від зміни умов середовища.

Стресостійкість є одним із ключових показників адаптивності сортів картоплі, оскільки характеризує їхню здатність зберігати рівень продуктивності за дії несприятливих чинників середовища. Оцінка цього показника дає змогу визначити реакцію генотипів на контрастні умови вирощування та виявити сорти, які найменше знижують урожайність за стресових умов. Цей параметр має негативне значення, і чим менша його величина (за модулем), тим вища стійкість до стресу даного сорту [16].

У досліджуваних сортів цей показник становив від $-5,0$ до $-17,7$ т/га. Найвищу стресостійкість встановлено у сортів Княгиня ($-5,0$ т/га), Хортиця ($-6,0$ т/га) та Фотинія ($-8,3$ т/га), що свідчить про їхню здатність меншою мірою знижувати продуктивність при переході від сприятливих до несприятливих умов. Найнижчий показник стійкості до стресу показали сорти: Марфуша ($-17,7$ т/га), Меланія ($-17,1$ т/га) та Містерія ($-16,9$ т/га).

Показник генотипової гнучкості, який характеризує середній рівень реалізації продуктивності генотипу за контрастних умов середовища, був найвищим у сорту Меланія – $39,7$ т/га. Значними його значеннями також характеризувалася Соборна – $34,2$ т/га. У Марфуші, Містерії, Хортиці та Княгині цей показник становив відповідно $26,5$; $26,4$; $25,8$ та $25,6$ т/га. Найменше значення генотипової гнучкості встановлено у Фотинії – $24,0$ т/га.

Отримані результати свідчать, що сорти Меланія та Соборна поєднували високий рівень продуктивності з високими значеннями генотипової гнучкості ($39,7$ та $34,2$ відповідно). Це характеризує їхню здатність формувати високий рівень продуктивності за змінних умов середовища, проте саме по собі не свідчить про вищу адаптивність. Водночас сорти Княгиня та Хортиця характеризувалися

нижчими значеннями генотипової гнучкості ($25,6$ та $25,8$ відповідно), але вирізнялися меншим розмахом урожайності та нижчими значеннями коефіцієнта варіації ($CV = 9,8$ % та $12,7$ % відповідно), що вказує на меншу мінливість їхньої урожайності за досліджувані роки.

Для визначення здатності сортів підтримувати відносно стабільний рівень продуктивності за зміни умов середовища додатково оцінювали показник гомеостатичності (Ном). За результатами розрахунків значення гомеостатичності варіювали від $3,33$ до $52,64$. Найвище значення показника гомеостатичності встановлено у сорту Княгиня – $52,64$, що узгоджується з найнижчим коефіцієнтом варіації врожайності ($9,8$ %) та високою стресостійкістю сорту ($-5,0$ т/га). Друге за величиною значення Ном відзначено у сорту Хортиця – $35,14$, для якого також характерні низький коефіцієнт варіації ($12,7$ %) і висока стресостійкість ($-6,0$ т/га).

У сорту Фотинія показник гомеостатичності становив $16,98$, у Соборної – $11,62$, а у Меланії – $9,00$. Найнижчі значення Ном встановлено у сортів Містерія ($3,65$) та Марфуша ($3,33$), що свідчить про більшу залежність рівня їхньої продуктивності від умов вирощування.

Поєднання коефіцієнта варіації та показника гомеостатичності дає змогу оцінити варіабельність і здатність сортів підтримувати продуктивність за змінних умов середовища. У середньому за 2023–2025 рр. найменшу варіабельність урожайності мав сорт Княгиня ($CV = 9,8$ %), який також характеризувався найвищою гомеостатичністю (Ном = $52,64$). Хортиця також вирізнялася відносно нижчою варіабельністю ($CV = 12,7$ %) та високою гомеостатичністю (Ном = $35,14$). Фотинія мала $CV = 18,0$ % і Ном = $16,98$, що характеризує її як генотип із нижчою варіабельністю врожайності порівняно з Меланією, Містерією та Марфушею, але з вищою, ніж у них, гомеостатичністю. Водночас високе значення $S_1^2 = 34,95$ за

методикою Еберхарта–Рассела свідчило про значні відхилення фактичної врожайності від регресійної моделі.

Найбільшу варіабельність урожайності встановлено у сортів Марфуша ($CV = 40,7\%$) та Містерія ($CV = 38,9\%$), які одночасно характеризувалися найнижчими значеннями гомеостатичності ($Hom = 3,33$ та $3,65$ відповідно). Це вказує на високу залежність реалізації їхньої продуктивності від умов середовища та значну варіабельність урожайності за роки досліджень.

Важливим узагальнювальним показником адаптивного потенціалу досліджуваних сортів була селекційна цінність генотипу (Sc), яка характеризує поєднання рівня продуктивності та здатності генотипу зберігати її за змінних умов середовища.

Найвище значення Sc встановлено у сорту Меланія – $24,30$, що відповідає найвищій середній урожайності цього генотипу ($37,7$ т/га) та свідчить про його значний селекційний потенціал. Високим рівнем селекційної цінності також характеризувалися сорти Соборна ($22,19$), Княгиня ($21,26$) та Хортиця ($21,14$). При цьому Соборна вирізнялася поєднанням високої середньої врожайності ($32,3$ т/га), підвищеної пластичності та низької варіанси стабільності, тоді як Княгиня та Хортиця мали нижчий рівень продуктивності, але характеризувалися невисокою мінливістю врожайності.

Середній рівень селекційної цінності встановлено у Фотинії – $17,93$. Незважаючи на відносно невисоку середню врожайність ($25,3$ т/га), сорт характеризувався помірною варіабельністю продуктивності та невеликим розмахом між максимальним і мінімальним значеннями врожайності. Найнижчі значення Sc отримано у Марфуші ($11,98$) та Містерії ($12,36$). Для цих сортів характерними були високі коефіцієнти пластичності, але водночас значна варіабельність урожайності та великий розмах її значень у роки

досліджень, що знижувало їхню комплексну селекційну цінність.

На думку В. В. Базалія та ін. [2, 11], одним із головних напрямів сучасної селекції є поєднання високої продуктивності з екологічною пластичністю, стабільністю, гомеостатичністю та здатністю генотипу адаптуватися до мінливих умов середовища. При цьому висока врожайність сама по собі не може бути достатнім критерієм селекційної цінності сорту, оскільки важливим є збереження продуктивності за погіршення умов вирощування.

Комплексна оцінка адаптивних параметрів засвідчила найбільш збалансоване поєднання продуктивності та адаптивних властивостей у сорту Соборна за сукупністю досліджених показників. За середньої врожайності $32,3$ т/га він характеризувався високою селекційною цінністю ($Sc = 22,19$), генотиповою гнучкістю ($34,2$ т/га), гомеостатичністю ($Hom = 11,62$) та зниженням урожайності при переході від сприятливих до несприятливих умов на $12,7$ т/га. Значення коефіцієнта регресії ($b_1 = 1,26$) свідчило про підвищену реакцію на поліпшення умов вирощування, а низька варіанса відхилень від регресії ($Si^2 = 0,64$) – про незначне відхилення фактичної реакції від регресійної моделі. Поєднання цих властивостей визначає Соборну як перспективний сорт для ширшого виробничого випробування та цінний вихідний матеріал для селекції на продуктивність і адаптивність.

Найвищий продуктивний потенціал виявлено у сорту Меланія: середня врожайність за 2023–2025 рр. становила $37,7$ т/га, селекційна цінність – $24,30$, генотипова гнучкість – $39,7$. Високий коефіцієнт регресії ($b_1 = 1,63$) свідчить про підвищену реакцію сорту на поліпшення умов вирощування. Водночас нижча гомеостатичність ($Hom = 1,0$), більше зниження врожайності за переходу від сприятливих до несприятливих умов ($CC = -17,1$) та підвищена варіабельність

(CV = 24,5 %) вказують на залежність реалізації його продуктивного потенціалу від умов середовища. Меланія є перспективним генотипом для випробування за сприятливих умов середовища, за яких може повніше реалізувати високий продуктивний потенціал, а також цінним вихідним матеріалом для селекції на високу продуктивність і екологічну пластичність у поєднанні з формами, що характеризуються високою стабільністю.

Сорти Княгиня та Хортиця характеризувалися відносно стабільною реалізацією продуктивності за контрастних умов вирощування. Княгиня мала найвищу гомеостатичність ($Hom = 52,64$), найнижчий коефіцієнт варіації (CV = 9,8 %), високу селекційну цінність ($Sc = 21,26$) та найменше зниження продуктивності за стресових умов ($CC = -5,0$). Хортиця також характеризувалася високою гомеостатичністю ($Hom = 35,14$), низькою варіабельністю (CV = 12,7 %), високою селекційною цінністю ($Sc = 21,14$) та стресостійкістю ($CC = -6,0$). Обидва сорти становлять інтерес як джерела гомеостатичності, невисокої варіабельності та відносно високої стійкості до зниження врожайності за несприятливих умов, а також можуть бути цінними для селекції на адаптивність.

Фотинія займала проміжне положення за комплексом адаптивних показників. Значення $Hom = 16,98$, CV = 18,0 %, $Sc = 17,93$ та $CC = -8,3$ свідчать про відносно невисоку мінливість продуктивності за змінних умов середовища. Низький коефіцієнт регресії ($b_i = 0,32$) вказує на слабку реакцію Фотинії на покращення умов вирощування. Водночас сорт характеризувався відносно невеликим зниженням урожайності за несприятливих умов ($CC = -8,3$). Високе значення $Si^2 = 34,95$ свідчить про значне відхилення врожайності від регресійної моделі та її мінливість за роками. У селекції Фотинія може бути цінною як джерело відносної стійкості до несприятливих умов

середовища та слабкої реакції на покращення умов вирощування.

Містерія та Марфуша характеризувалися високою екологічною пластичністю ($b_i = 1,66$ та $1,74$ відповідно), що свідчить про їхню підвищену реакцію на поліпшення умов вирощування. Водночас низька гомеостатичність ($Hom = 3,65$ та $3,33$), велика варіабельність (CV = 38,9 та 40,7 %) і значне зниження продуктивності за стресових умов ($CC = -16,9$ та $-17,7$) свідчать про нестабільність реалізації їхнього продуктивного потенціалу. Тому ці сорти доцільно використовувати в селекції як джерела високої реакції на покращення умов вирощування та потенційної продуктивності в поєднанні з формами, що характеризуються високою гомеостатичністю, стабільністю та стресостійкістю.

Висновки. Умови років вирощування 2023–2025 рр. зумовили значні відмінності в реалізації продуктивного потенціалу середньостиглих сортів картоплі. За індексом середовища найбільш сприятливим для реалізації продуктивного потенціалу був 2023 рік ($I_j = 6,46$), коли середня врожайність досліджуваних сортів становила 34,5 т/га. У 2024 та 2025 рр. за менш сприятливих умов цей показник знизився, відповідно, до 24,7 та 24,9 т/га. Найвищу середню врожайність за роки досліджень сформували сорти Меланія (37,7 т/га) та Соборна (32,3 т/га), які суттєво перевищували стандарт Княгиня відповідно на 11,8 та 6,4 т/га (при $HP_{05} = 1,4$ т/га).

Комплексна оцінка адаптивних параметрів дала змогу диференціювати середньостиглі сорти картоплі за реакцією на контрастні умови вирощування та визначити найбільш перспективні для виробничого і селекційного використання.

За результатами трирічного дослідження для виробничого випробування в умовах Південного Полісся України можуть бути перспективними сорти Княгиня, Хортиця та Фотинія за нестабільного вологозабезпечення, з

урахуванням їх високої гомеостатичності, стресостійкості та невисокої варіабельності врожайності. Сорт Соборна можна рекомендувати для ширшого виробничого випробування завдяки поєднанню високої врожайності, підвищеної реакції на покращення умов вирощування та найнижчої варіанси стабільності ($S_t^2 = 0,64$) серед досліджених сортів. Сорт Меланія перспективний для випробування за сприятливих умов середовища, за яких він здатний повніше реалізувати високий продуктивний потенціал.

Для селекційного використання сорт Меланія становить цінність як джерело високої продуктивності, селекційної цінності та генотипової гнучкості; Княгиня та Хортиця – як джерела високої гомеостатичності, стресостійкості та невисокої варіабельності врожайності; Фотинія – як джерело низької реакції на

покращення умов вирощування та підвищеної стресостійкості з урахуванням високої варіанси стабільності; Містерія та Марфуша – як джерела високої реакції на покращення умов вирощування. Соборна є перспективним вихідним матеріалом для створення адаптивних сортів картоплі завдяки комплексному поєднанню високої продуктивності, екологічної пластичності та стабільності.

Отримані результати характеризують адаптивну реакцію сортів у досліджених ґрунтово-кліматичних та погодних умовах Південного Полісся України впродовж 2023–2025 рр. Для підтвердження стабільності виявлених закономірностей подальші дослідження доцільно спрямувати на оцінювання адаптивності сортів за показниками якості бульб та стабільності їх прояву в різних ґрунтово-кліматичних умовах.

Список використаної літератури

1. Адаптивність сортів картоплі до ґрунтово-кліматичних умов Полісся та Лісостепу України / Т. Д. Сонець та ін. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2019. Т. 15 (1). С. 93–98. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.15.1.2019.162488>.
2. Базалій В. В., Домарацький Є. О., Ларченко О. В. Сучасний сортовий склад пшениці м'якої озимої та параметри його екологічної стійкості за різних умов вирощування. *Таврійський науковий вісник. Серія : Сільськогосподарські науки*. 2018. № 104. С. 9–15. http://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/104_2018/4.pdf.
3. Біохімічна характеристика сортів картоплі за вирощування в умовах Західного Лісостепу України / А. В. Коваль та ін. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2022. Т. 71, № 1. С. 110–122. <https://journals.isgkr.science/index.php/phzt/article/view/269>.
4. Борівський А. Ф. Адаптивна здатність та потенційні властивості сортів селекції Інституту картоплярства НААН. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2016. № 1 (30). С. 89–95. <https://journal.sops.gov.ua/article/view/61798/57560>.
5. Бурденюк-Тарасевич Л. А., Дубова О. А., Хахула В. С. Оцінка адаптивної здатності сортів пшениці м'якої озимої в умовах лісостепу України. *Селекція і насінництво*. 2012. № 101. С. 3–12. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2012.59677>.
6. Екологічна стабільність і пластичність сортів картоплі на Поліссі / Е. Р. Ермантраут та ін. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2015. № 3–4 (28–29). С. 12–17.

References

1. Adaptability of potato varieties to soil-climatic conditions of the Polissia and Forest-Steppe zone of Ukraine / T. D. Sonets et al. *Sortovyvchennia ta okhorona prav na sorty roslyn*. 2019. Vol. 15 (1). P. 93–98. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.15.1.2019.162488>.
2. Bazaliy V. V., Domaratsky Y. O., Larchenko O. V. The Current Variety Composition of Soft Winter Wheat and Parameters of Its Ecological Stability Under Various Growing Conditions. *Tavriyskyi naukovyi visnyk. Seriya: Silskohospodarski nauky*. 2018. No. 104. P. 9–15. http://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/104_2018/4.pdf.
3. Biochemical characteristics of potato varieties grown in the Western Forest-Steppe region of Ukraine / A. V. Koval et al. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnystvo*. 2022. Vol. 71, no. 1. P. 110–122. <https://journals.isgkr.science/index.php/phzt/article/view/269>.
4. Borivskyi A. F. Adaptive capacity and potential properties of varieties bred at the Potato Research Institute of NAAS. *Sortovyvchennia ta okhorona prav na sorty roslyn*. 2016. No. 1 (30). P. 89–95. <https://journal.sops.gov.ua/article/view/61798/57560>.
5. Burdeniuk-Tarasevych L. A., Dubova O. A., Khakhula V. S. Assessment of the adaptive capacity of soft winter wheat varieties in the conditions of the forest-steppe of Ukraine. *Seleksiia i nasinnystvo*. 2012. No. 101. P. 3–12. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2012.59677>.
6. Ecological stability and plasticity of potato varieties in Polissia / E. R. Ermantraut et al. *Sortovyvchennia ta okhorona prav na sorty roslyn*.

[https://doi.org/10.21498/2518-1017.3-4\(28-29\).2015.58412](https://doi.org/10.21498/2518-1017.3-4(28-29).2015.58412).

7. Картоплярство. Методика дослідної справи / А. А. Бондарчук та ін. ; за ред. А. А. Бондарчука, В. А. Колтунова. Вінниця : ТОВ «Твори», 2019. 652 с.

8. Картоплярство : навчальний посібник / І. О. Федосій та ін. Київ : ФОП Ямчинський. 2022. 382 с.

9. Манько Ю. П. Аналіз методичного ресурсу для статистичної експертизи результатів багаторічних досліджень з агрономії. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Агрономія*. 2013. Вип. 183 (2). С. 128–134. URL: [https://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_agr_2013_183\(2\)_25](https://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_agr_2013_183(2)_25)

10. Моделювання сорту картоплі (*Solanum tuberosum* L.) на основі господарсько-цінних ознак і біометричних характеристик в умовах Центрального Полісся України / Н. В. Писаренко та ін. *Наука про рослини (агрономія, садівництво, виноградарство)*. 2024. № 4. С. 12–34. https://doi.org/10.47279/Plantscience_2024-03-4

11. Наукові основи селекції озимої пшениці на агроєкологічну адаптивність : монографія / В. В. Базалій та ін. Миколаїв : МНАУ. 2024. 244 с. <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18344>.

12. Писаренко Н. В., Сидорчук В. І., Захарчук Н. А. Вивчення адаптивної здатності сортів картоплі за ознакою «врожайність» в умовах Центрального Полісся. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2022. Т. 71, № 1. С. 123–140. <https://journals.isgkr.science/index.php/phzt/article/view/270>.

13. Писаренко Н. В., Сидорчук В. І., Захарчук Н. А. Екологічна пластичність, стабільність гомеостатичності та селекційної цінності за ознакою урожайності нових сортів картоплі. *Землеробство та рослинництво: теорія та практика*. 2022. Вип. 3 (5). С. 91–101. <https://doi.org/10.54651/agri.2022.03.10>

14. Рудич О. О. Природно-кліматичні умови як фактор ризику виробництва сільськогосподарської продукції в Україні. *Сталий розвиток економіки*. 2018. № 2 (39). С. 14–21. <https://economdevelopment.in.ua/index.php/journal/article/view/157>.

15. Статистика : навч. посібник (модульний варіант з програмованою формою контролю знань) / А. Т. Опрія та ін. 2-ге вид., перероб. і допов. К. : «Центр учбової літератури». 2014. 536 с. http://dspace.puet.edu.ua/bitstream/123456789/15037/1/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%9E%D0%BF%D1%80%D1%8F.pdf.

16. Тимко Л. В., Фурдига М. М., Верменко Ю. Я. Адаптивні властивості різних сортів картоплі в

2015. 3–4 (28–29). Р. 12–17. [https://doi.org/10.21498/2518-1017.3-4\(28-29\).2015.58412](https://doi.org/10.21498/2518-1017.3-4(28-29).2015.58412).

7. Potato Cultivation: Research Methods / A. A. Bondarchuk et al. ; za red. A. A. Bondarchuka, V. A. Koltunova. Vinnytsia : TOV «Tvory», 2019. 652 p.

8. Potato Cultivation : A Textbook / I. O. Fedosii et al. Kyiv : FOP Yamchynskiy. 2022. 382 p.

9. Manko Yu. P. Analysis of methodological resources for the statistical evaluation of the results of long-term agronomic research. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Serii : Ahronomiia*. 2013. Issue 183 (2). P. 128–135. URL: [https://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_agr_2013_183\(2\)_25](https://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_agr_2013_183(2)_25).

10. Modeling of a potato variety (*Solanum tuberosum* L.) based on economically valuable traits and biometric characteristics in the Central Polissya region of Ukraine / N. V. Pysarenko et al. *Nauka pro roslyny (ahronomiia, sadivnytstvo, vynohradarstvo)*. 2024. 4. P. 12–34. https://doi.org/10.47279/Plantscience_2024-03-4.

11. Scientific Foundations of Winter Wheat Breeding for Agroecological Adaptability : monograph / V. V. Bazaliy et al. Mykolaiv : MNAU. 2024. 244 p. <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/handle/123456789/18344>.

12. Pysarenko N. V., Sydoruk V. I., Zakharchuk N. A. Study of the adaptive capacity of potato varieties based on the “yield” trait in the Central Polissya region. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynnystvo*. 2022. Vol. 71, no. 1. P. 123–140. <https://journals.isgkr.science/index.php/phzt/article/view/270>.

13. Pysarenko, N. V., Sydoruk, V. I., Zakharchuk, N. A. Ecological plasticity, homeostatic stability, and breeding value for yield in new potato varieties. *Zemlerobstvo ta roslynnytstvo: teoriia ta praktyka*. 2022. Issue 3 (5). P. 91–101. <https://doi.org/10.54651/agri.2022.03.10>

14. Rudyk O. O. Natural and climatic conditions as a risk factor for agricultural production in Ukraine. *Stalyi rozvytok ekonomiky*. 2018. No. 2 (39). P. 14–21. <https://economdevelopment.in.ua/index.php/journal/article/view/157>.

15. Statistics : Textbook (Modular version with programmable assessment) / A. T. Oprya et al. 2nd ed., rev. and expanded. Kyiv : «Tsentr uchbovoi literatury». 2014. 536 p. http://dspace.puet.edu.ua/bitstream/123456789/15037/1/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%9E%D0%BF%D1%80%D1%8F.pdf.

16. Tymko L. V., Furdyha M. M., Vermenko, Yu. Ya. Adaptive capacity of different potato varieties under the conditions of the Right-Bank Polissia of Ukraine. *Sortovyvchennia ta okhorona prav*

умовах правобережного Полісся України. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2018. № 14 (2). С. 224–229. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.2.2018.134774>.

17. Урожайність і стабільність нових середньостиглих сортів картоплі (*Solanum tuberosum* L.) у Лісостеповій та Поліській ґрунтово-кліматичних зонах України / С. М. Михайлик та ін. *Plant varieties studying and protection*. 2024. Т. 20, № 4. С. 219–226. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.20.4.2024.321919>

18. Ямковий В. Ю., Томаш А. І., Подберезко І. М. Екологічна стабільність та пластичність сортів картоплі в умовах Південного Полісся України. *Землеробство та рослинництво: теорія та практика*. 2026. Вип. 2 (20). С. 108–117. <https://doi.org/10.54651/agri.2026.02.12>

19. Adaptive variability of early potato in the Forest-Steppe of Ukraine / N. Yatsenko et al. *Вісник Аграрної Науки Причорномор'я*. 2024. Vol. 28. № 3. С. 67–77. <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/3.2024.67>.

20. Becker H. C., Léon J. Stability Analysis in Plant Breeding. *Plant Breeding*. 1988. Vol. 101. P. 1–23. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1988.tb00261.x>.

21. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966. Vol. 6, Issue 1. P. 36–40. <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>.

22. Evaluation of the adaptive properties of potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) according to the main economic and valuable characteristics / L. V. Korol et al. *Plant Varieties Studying and Protection*. 19 (1), 4–14. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.19.1.2023.277766>.

23. Rosielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and nonstress environments. *Crop Science*. 1981. Vol. 21. Issue 6. P. 943–946. <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x>.

na sorty roslyn. 2018. No. 14 (2). P. 224–229. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.2.2018.134774>.

17. Yield and Stability of New Medium-Maturing Potato Varieties (*Solanum tuberosum* L.) in the Forest-Steppe and Polissia Soil and Climatic Zones of Ukraine / S. M. Mykhailik et al. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2024. Vol. 20, no. 4. P. 219–226. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.20.4.2024.321919>

18. Yamkovyi V. Yu., Tomash A. I., Podberezko I. M. Ecological stability and plasticity of potato varieties in the Southern Polissya region of Ukraine. *Zemlerobstvo ta roslynnytstvo: teoriia ta praktyka*. 2026. Issue 2 (20). P. 108–117. <https://doi.org/10.54651/agri.2026.02.12>.

19. Adaptive variability of early potato in the Forest-Steppe of Ukraine / N. Yatsenko et al. *Вісник Аграрної Науки Причорномор'я*. 2024. Vol. 28. № 3. С. 67–77. <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/3.2024.67>.

20. Becker H. C., Léon J. Stability Analysis in Plant Breeding. *Plant Breeding*. 1988. Vol. 101. P. 1–23. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1988.tb00261.x>.

21. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966. Vol. 6, Issue 1. P. 36–40. <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>.

22. Evaluation of the adaptive properties of potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) according to the main economic and valuable characteristics / L. V. Korol et al. *Plant Varieties Studying and Protection*. 19 (1), 4–14. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.19.1.2023.277766>.

23. Rosielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and nonstress environments. *Crop Science*. 1981. Vol. 21. Issue 6. P. 943–946. <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x>.

DOI: 10.32636/01308521.2026-(80)-1-15

Оригінальна наукова стаття

УДК 636.2.034.082

**КОРЕЛЯЦІЙНІ ЗВ'ЯЗКИ МІЖ ГОСПОДАРСЬКО КОРИСНИМИ
ОЗНАКАМИ СИМЕНТАЛЬСЬКИХ КОРІВ У ДИНАМІЦІ ПОКОЛІНЬ****О. А. Кочук-Ященко, С. О. Леонєць, Д. В. Захарчук**

Поліський національний
університет
бульвар Старий, 7, Житомир,
Житомирська область,
10008

Про авторів:

Олександр КОЧУК-ЯЩЕНКО,
кандидат сільськогосподарських
наук
ORCID: 0000-0001-5794-5580

Сергій ЛЕОНЕЦЬ,
аспірант
ORCID: 0009-0006-5997-8152

Дар'я ЗАХАРЧУК,
доктор філософії
ORCID: 0000-0003-3026-4253

Для листування:
Дар'я ЗАХАРЧУК
e-mail: dashazt781@gmail.com

Інформація про фінансування:
Міністерство освіти і науки
України

Отримано:
9 липня 2026 р.
Погоджено до друку:
21 вересня 2026 р.
Опубліковано:
30 вересня 2026 р.

Досліджено кореляційні зв'язки між ознаками молочної продуктивності, відтворювальної здатності та екстер'єру симентальських корів з їхніми дочками, онучками і правнучками, а також характер зв'язків між цими групами ознак у динаміці генерацій. Встановлено, що кореляційні зв'язки ознак молочної продуктивності між матерями та потомками є слабкими, різноспрямованими і статистично незначущими ($r = -0,16 \dots +0,05$). За ознаками відтворювальної здатності найбільш тісні та статистично значущі зв'язки виявлено у групі «мати – онучка» ($r = +0,16 \dots +0,20$; $P < 0,05-0,01$), тоді як у віддалених поколіннях вони послаблюються та змінюють напрям. Кореляційний аналіз промірів будови тіла показав переважно додатні зв'язки у групі «мати – дочка» зі статистично значущими значеннями за глибиною грудей і шириною в кульшах ($r = +0,30$; $P < 0,05$) та індексом довгоногості ($r = +0,37$; $P < 0,01$), тоді як у віддалених поколіннях зв'язки набувають переважно від'ємних або нульових значень. Зв'язки між молочною продуктивністю та відтворювальною здатністю є слабкими і різноспрямованими з тенденцією до нівелювання у наступних генераціях. Зв'язки між промірами будови тіла та молочною продуктивністю також характеризуються значною мінливістю: в імпортованих тварин переважають обернені зв'язки середньої сили з відносною молочної, тоді як у III генерації формуються статистично значущі додатні кореляції між шириною грудей і навскісною довжиною тулуба з надоем ($r = +0,29$ та $+0,39$; $P < 0,05$), однак збільшення промірів супроводжується подовженням біологічних періодів відтворення та адаптації. Прогностична цінність материнських ознак зберігається переважно у найближчому поколінні та знижується з віддаленням від матері.

Ключові слова: симентальська порода, молочна продуктивність, відтворювальна здатність, проміри будови тіла, генерація, кореляція.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

© Кочук-Ященко О. А., Леонєць С. О., Захарчук Д. В., 2026

Correlational relationships between economically useful traits of simmental cows across generations

Polissia National University
7 Staryi Blvd., Zhytomyr,
Zhytomyr region, 10008

About authors:

Oleksandr KOCHUK-
YASHCHENKO
ORCID: 0000-0001-5794-5580

Serhii LEONETS
ORCID: 0009-0006-5997-8152

Daria ZAKHARCHUK
ORCID: 0000-0003-3026-4253

Corresponding author:

Daria ZAKHARCHUK
e-mail: dashazt781@gmail.com

Funding information:

Ministry of Education and Science
of Ukraine

Received:
July 9, 2026
Accepted:
September 21, 2026
Published:
September 30, 2026

The correlational relationships between milk productivity, reproductive ability, and conformation traits of cows and their daughters, granddaughters, and great-granddaughters were studied, as well as the nature of interrelationships between these groups of traits across generations. It was established that the correlational relationships of milk productivity traits between mothers and offspring are weak, multidirectional, and statistically non-significant ($r = -0.16...+0.05$). For reproductive ability traits, the strongest and statistically significant relationships were found in the "mother–daughter" group ($r = +0.16...+0.20$; $P < 0.05-0.01$), whereas in more distant generations they weaken and change direction. Correlation analysis of conformation measurements revealed predominantly positive relationships in the "mother–daughter" group, with statistically significant values for chest depth and hip width ($r = +0.30$; $P < 0.05$) and the leg length index ($r = +0.37$; $P < 0.01$), while in distant generations the relationships become predominantly negative or approach zero. Relationships between milk productivity and reproductive ability are weak with a tendency toward neutralization in subsequent generations. Relationships between conformation measurements and milk productivity are characterized by considerable variability: in imported animals, moderate inverse relationships with relative milk yield predominate, whereas in the third generation statistically significant positive correlations form between chest width and oblique body length with milk yield ($r = +0.29$ and $+0.39$; $P < 0.05$); however, increased body measurements are accompanied by prolonged biological reproductive and adaptation periods. The predictive value of maternal traits is maintained predominantly in the nearest generation and decreases with increasing generational distance.

Keywords: Simmental breed, milk productivity, reproductive ability, body conformation measurements, generation, correlation.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Вступ. Скотарство залишається однією з провідних галузей тваринництва, рівень розвитку якої безпосередньо впливає на продовольчу безпеку країни та стабільність функціонування аграрного сектору [12]. Ефективність роботи цієї галузі визначається спрямованістю селекційно-племінної роботи на збільшення обсягів виробництва молока шляхом використання високопродуктивних порід великої рогатої худоби та оптимальних програм їх відбору й підбору. Наразі на світовому ринку представлено значну кількість високопродуктивних молочних порід, серед яких лідерську позицію займає голштинська. Водночас

широко використовуються й комбіновані, зокрема симентальська, яка поєднує високі показники молочної та м'ясної продуктивності [4, 10].

Сучасні селекційні програми передбачають комплексну оцінку тварин за продуктивними, відтворювальними та екстер'єрними показниками. Такий підхід обумовлений тим, що одностороння селекція лише за молочною продуктивністю може супроводжуватися погіршенням відтворювальної здатності, довговічності, здоров'я та екстер'єру корів [7, 22, 23]. Тому важливим завданням є вивчення закономірностей успадкування комплексу господарсько корисних ознак.

Ефективність селекції визначається рівнем генетичного прогресу, досягнутого в кожному наступному поколінні, та можливістю закріплення бажаних ознак у стаді. Оскільки будь-яка господарськи корисна ознака формується під впливом як генетичних, так і середовищних чинників [6, 24], важливим завданням є визначення ступеня генетичної зумовленості її прояву. Генетична частка мінливості фенотипу тварини формується під впливом породної належності, внутрішньопородної структури, лінійної приналежності, частки спадковості поліпшувальної породи та генетичного внеску батьківських і материнських предків [3, 9, 11]. У зв'язку з цим важливим напрямком досліджень є оцінка прояву фенотипових ознак у тварин, що перебувають у близьких родинних зв'язках.

Особливий інтерес становить дослідження кореляційних зв'язків між селекційними ознаками корів та їхніх потомків. Визначення кореляції між даними ознаками у динаміці поколінь дає можливість провести оцінку ефективності селекції, встановити закономірності змін та вибудувати алгоритм подальшого генетичного вдосконалення стада. З огляду на це метою дослідження було вивчення зв'язків між господарськи корисними ознаками корів-первісток симентальської породи зарубіжного походження та їхніх потомків різних поколінь, а також характеру взаємозв'язків між цими групами ознак у динаміці генерацій.

Матеріали і методи. Дослідження проведено в умовах ПП «Галекс-Агро» Новоград-Волинського району Житомирської області на коровах-первістках симентальської породи. Формування стада здійснювалося шляхом завезення племінних нетелей із Чехії з наступним використанням чистопородних симентальських бугаїв. У господарстві використовується безприв'язна система утримання. Доїння корів здійснюється на установці типу «Ялинка». Раціони для корів складають з урахуванням фізіологічного стану та рівня продуктивності тварин.

Ведення племінного та зоотехнічного обліку здійснюється з використанням автоматизованих інформаційних систем «Dairy Plan C21» та СУМС «Орсек».

Оцінку молочної продуктивності корів здійснювали шляхом проведення щомісячних контрольних доїнь з одночасним визначенням у добових зразках молока вмісту жиру. Відносну молочність обчислювали діленням кількості 4%-го за вмістом жиру молока, отриманого за 305 днів або скорочену лактацію (не менше 240 днів), на 100 кг живої маси корови. Відтворну здатність корів вивчали за віком першого осіменіння (міс.), першого отелення (міс.), тривалістю (днів) сервіс-періоду (СП), періоду тільності (ПТ), міжотельного періоду (МОП) та періоду сухостою (ПС).

Коефіцієнт відтворювальної здатності (КВЗ) визначали за формулою [13]:

$$\text{КВЗ} = 365 \div \text{МОП},$$

де 365 – кількість днів у році; МОП – тривалість міжотельного періоду, міс.

Вихід телят на 100 корів визначали за формулою [13]:

$$\text{ВТ} = (365 \times 100) \div (\text{СП} + \text{ПТ}),$$

де 365 – кількість днів у році; СП – тривалість сервіс-періоду, днів; ПТ – тривалість періоду тільності, днів.

Індекс плодючості розраховували за формулою [13]:

$$\text{ІП} = 100 - (\text{К} + 2 \times \text{МОП}),$$

де К – вік корови при першому отеленні, міс.; МОП – тривалість міжотельного періоду, міс.

Індекс адаптації тварин розраховували за Й. З. Сірацьким зі співавторами [8]:

$$\text{І} = (365 - \text{МОП}) \div \text{МЖ} \times 27,40,$$

де 365 – кількість днів у році; МОП – тривалість міжотельного періоду, міс; МЖ – молочний жир; 27,40 – коефіцієнт.

Особливості екстер'єру та конституції корів вивчали на 2–3-му місяцях лактації за загальноприйнятими методиками лінійної оцінки та взяття промірів. Зв'язки між господарськи корисними ознаками різних поколінь

досліджували методом кореляційного аналізу.

Статистичну обробку отриманих даних здійснювали методами математичної статистики та біометрії з використанням програмного забезпечення STATISTICA 13.0 та Microsoft Excel [1]. Вірогідність результатів досліджень вважали статистично значущою при * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$.

Результати дослідження та обговорення. У таблиці 1 наведено кореляційні зв'язки ознак молочної продуктивності симентальських корів із показниками їхніх дочок, онучок і правнучок, що дає змогу оцінити рівень спадковості цих ознак за материнською лінією та стабільність їх прояву в динаміці поколінь.

1. Кореляційні зв'язки ознак молочної продуктивності матерів із їхніми нащадками ($r \pm mr$)

Показники, одиниці виміру	Поєднання ознак		
	мати–дочка	мати–онучка	мати–правнучка
Кількість тварин	222	188	102
Тривалість лактації, днів	$-0,08 \pm 0,066$	$0 \pm 0,072$	$-0,05 \pm 0,098$
Надій за лактацію, кг	$+0,10 \pm 0,066$	$-0,09 \pm 0,072$	$-0,15 \pm 0,096$
Надій за 305 днів, кг	$-0,01 \pm 0,067$	$-0,16 \pm 0,072$	$+0,01 \pm 0,098$
Вміст жиру у молоці, %	$-0,04 \pm 0,066$	$+0,05 \pm 0,072$	$-0,11 \pm 0,097$
Молочний жир, кг	$-0,05 \pm 0,066$	$-0,09 \pm 0,072$	$+0 \pm 0,099$
Вміст білка у молоці, %	$+0,04 \pm 0,066$	$-0,07 \pm 0,072$	$-0,03 \pm 0,098$
Молочний білок, %	$-0,03 \pm 0,067$	$-0,12 \pm 0,071$	$+0,01 \pm 0,098$
Молочний жир і білок, кг	$-0,05 \pm 0,066$	$-0,11 \pm 0,072$	$+0,01 \pm 0,098$
Відносна молочність, кг	$+0 \pm 0,067$	$-0,09 \pm 0,072$	$-0,03 \pm 0,098$

Примітка. * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$

Кореляційні зв'язки є невисокими (r від $-0,16$ до $+0,05$), різноспрямованими та статистично незначущими в усіх випадках, що свідчить про слабкий вплив матерів на формування ознак молочної продуктивності. У групі «мати–дочка» відмічено слабку додатну кореляцію за надоем за лактацію ($r = +0,10$), що може вказувати на часткову спадкову детермінацію цієї ознаки. Однак зі збільшенням віддаленості поколінь від матері зв'язок послаблюється і набуває найбільшого від'ємного значення у групі «мати–правнучка» ($r = -0,15$). Для надою за 305 днів лактації, кількості молочного жиру, білка та їх сумарного значення в групі «мати–дочка» спостерігаються незначні від'ємні кореляції (r від $-0,01$ до $-0,05$), які посилюються до $r = -0,09 \dots -0,16$ у парі «мати–онучка», а в третьому поколінні практично зникають, наближаючись до нуля. Для якісних показників молока чітких закономірностей

не встановлено, а коефіцієнти кореляції є слабкими та різноспрямованими. Аналогічні результати щодо слабого зв'язку ознак молочної продуктивності між жіночими предками та їхніми потомками різних поколінь отримали й інші дослідники [16].

Аналіз таблиці 2 свідчить про переважно додатний кореляційний зв'язок між ознаками відтворювальної здатності матерів та їхніх дочок, онучок і правнучок. Виняток становлять вік першого осіменіння й першого отелення, для яких напрям зв'язку змінюється з додатного і статистично значущого в групі «мати–дочка» ($r = +0,15$ та $+0,19$; $P < 0,05–0,01$) на слабкий від'ємний у групі «мати–правнучка» ($r = -0,13$ та $-0,14$; $P > 0,05$). Така тенденція може свідчити про послаблення прояву материнського ефекту та зростання ролі інших факторів, зокрема умов вирощування [25, 27].

2. Кореляційні зв'язки ознак відтворювальної здатності матерів з їх потомками ($r \pm m_r$)

Показники, одиниці виміру	Поєднання ознак		
	мати–дочка	мати–онучка	мати–правнучка
Кількість тварин	160	134	57
Вік 1-го осіменіння, днів	$+0,15 \pm 0,077^*$	$-0,05 \pm 0,076$	$-0,13 \pm 0,123$
Вік 1-го отелення, днів	$+0,19 \pm 0,075^{**}$	$-0,02 \pm 0,086$	$-0,14 \pm 0,129$
Тривалість, днів:			
сервіс-періоду	$+0,09 \pm 0,078$	$+0,19 \pm 0,083^{**}$	$+0,13 \pm 0,13$
сухостійного періоду	$0 \pm 0,079$	$+0,03 \pm 0,086$	$-0,01 \pm 0,132$
міжотельного періоду	$+0,08 \pm 0,078$	$+0,12 \pm 0,084$	$+0,11 \pm 0,13$
тільності	$0 \pm 0,079$	$0 \pm 0,086$	$+0,02 \pm 0,132$
Коефіцієнт відтворної здатності	$+0,11 \pm 0,078$	$+0,19 \pm 0,083^{**}$	$+0,08 \pm 0,131$
Індекс адаптації	$+0,09 \pm 0,078$	$+0,20 \pm 0,082^{**}$	$+0,17 \pm 0,128$
Вихід телят	$+0,12 \pm 0,077$	$+0,16 \pm 0,084^*$	$+0,08 \pm 0,131$
Індекс плодючості	$+0,10 \pm 0,078$	$+0,19 \pm 0,082^{**}$	$+0,15 \pm 0,129$

Примітка. * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$.

Для більшості ознак відтворювальної здатності найтісніші зв'язки спостерігаються саме в групі «мати–онучка». Статистично значущі додатні коефіцієнти кореляції ($P < 0,05–0,01$) встановлені для тривалості сервіс-періоду ($r = +0,19$), коефіцієнта відтворювальної здатності ($r = +0,19$), індексу адаптації ($r = +0,20$), виходу телят ($r = +0,16$) та індексу плодючості ($r = +0,19$). Одним із можливих пояснень такої тенденції є кумулятивний ефект багатопокілісного добору в умовах одного господарства. У результаті накопичення в популяції генотипів, найбільш адаптованих до конкретних умов середовища, відбувається стабілізація господарсько корисних ознак у наступних поколіннях [21]. Водночас інші дослідники фіксують більш виражені міжпокілінні зв'язки репродуктивних ознак переважно у парі «мати–дочка» [2]. Відмінності між отриманими нами результатами та літературними даними можуть бути зумовлені особливостями

селекційної роботи, інтенсивністю добору, структурою популяції, тривалістю спостережень, а також специфікою технології утримання й годівлі тварин. Слід також зазначити, що такі ознаки, як тривалість сухостійного періоду та тільності, характеризуються слабкими кореляційними зв'язками у всіх досліджуваних поєднаннях ($r \approx 0$), що узгоджується з даними про їхню низьку спадковість і значну залежність від фізіологічного стану тварин, годівлі та менеджменту стада [20].

Результати вивчення зв'язків між промірами будови тіла матерів і потомків показують різноспрямований характер коефіцієнтів кореляції зі значною мінливістю залежно від досліджуваної ознаки та покоління. При цьому зі збільшенням віддаленості поколінь сила зв'язків зменшується, а значення коефіцієнтів кореляції є переважно від'ємними або наближеними до нуля (табл. 3).

3. Кореляційні зв'язки промірів будови тіла матерів з їхніми потомками ($r \pm m_r$)

Показники, одиниці виміру	Поєднання ознак		
	мати–донька	мати–онучка	мати–правнучка
1	2	3	4
Кількість тварин	33	64	35
Проміри, см:			
висота в холці	$+0,06 \pm 0,173$	$-0,09 \pm 0,123$	$-0,02 \pm 0,168$

1	2	3	4
висота в крижах	$-0,11 \pm 0,171$	$-0,17 \pm 0,121$	$-0,16 \pm 0,164$
обхват грудей	$+0,21 \pm 0,166$	$-0,02 \pm 0,124$	$-0,01 \pm 0,168$
глибина грудей	$+0,30 \pm 0,157^*$	$-0,16 \pm 0,121$	$+0,03 \pm 0,168$
ширина грудей	$+0,12 \pm 0,171$	$-0,06 \pm 0,124$	$0 \pm 0,169$
довжина грудей	$+0,24 \pm 0,163$	$+0,08 \pm 0,124$	$-0,38 \pm 0,144^{**}$
навскісна довжина тулуба	$+0,10 \pm 0,172$	$+0,05 \pm 0,124$	$-0,19 \pm 0,162$
навскісна довжина задуги	$+0,01 \pm 0,174$	$-0,05 \pm 0,124$	$-0,13 \pm 0,165$
ширина в клубках	$+0,07 \pm 0,173$	$-0,12 \pm 0,123$	$-0,09 \pm 0,167$
ширина в кульшах	$+0,30 \pm 0,157^*$	$+0,11 \pm 0,123$	$-0,09 \pm 0,167$
ширина в сідничних горбах	$-0,05 \pm 0,173$	$-0,02 \pm 0,124$	$-0,22 \pm 0,16$

Примітка. * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$.

У групі «мати-донька» більшість ознак характеризуються додатними значеннями кореляцій, що вказує на певну спадкову зумовленість промірів у найближчому поколінні. Статистично значущі ($P < 0,05$) зв'язки встановлено за глибиною грудей та шириною в кульшах ($r = +0,30$ в обох випадках). Крім того, додатні значення коефіцієнтів кореляції, які наближаються до статистично значущого рівня, встановлено для промірів довжини тулуба, обхвату та ширини грудей ($r = +0,24$, $+0,21$ та $+0,12$ відповідно). За іншими ознаками також спостерігаються додатні кореляційні зв'язки, однак вони були низькими та статистично незначущими.

У групі «мати-онучка» відмічено істотне послаблення кореляційних зв'язків порівняно з попереднім поколінням, причому більшість їх значень є від'ємними та статистично незначущими ($P > 0,05$). Ознаки, що характеризують висотні та широтні параметри будови тіла, мають слабкі від'ємні або близькі до нуля значення (r від $-0,02$ до $-0,17$), тоді як окремі проміри, зокрема довжина грудей, навскісна довжина тулуба, ширина в кульшах, характеризуються незначними додатними зв'язками (r від $+0,05$ до $+0,11$), однак у всіх випадках вони не досягають рівня статистичної значущості ($P > 0,05$).

У парі «мати-правнучка» зв'язки невисокі та різноспрямовані, вони коливаються в межах від $-0,38$ до $+0,03$. Найбільший статистично значущий

($P < 0,01$) від'ємний зв'язок відмічено за довжиною грудей ($r = -0,38$), що підкреслює зростання впливу негенетичних факторів у віддалених поколіннях, оскільки у парі «мати-дочка» цей коефіцієнт становить $+0,24$. Інші проміри, такі як висота в крижах ($r = -0,16$), навскісна довжина тулуба та задуги ($r = -0,19$ та $r = -0,13$ відповідно), ширина в сідничних горбах ($r = -0,22$), також характеризуються від'ємними статистично незначущими зв'язками. Водночас обхват, глибина та ширина грудей практично не виявляють залежності ($r = -0,01 \dots +0,03$). Дослідженнями Є. І. Федорович із співавторами [15] встановлено різної сили та спрямування кореляційні зв'язки між ознаками екстер'єру у корів-первісток та їхніх дочок, внучок, правнучок, однак у жодному випадку вони не були статистично значущими. Також вивчено кореляційні зв'язки індексів будови тіла матерів та їхнього потомства, оскільки саме індекси дають можливість оцінити гармонію або дисгармонію будови тіла та встановити тип конституції (табл. 4).

Встановлено, що кореляційні зв'язки індексів будови тіла матерів з їхнім потомством загалом характеризуються невисокою силою, значною варіабельністю та різною спрямованістю залежно від покоління. Варто зазначити, що з кожним наступним поколінням спостерігається стабільне послаблення кореляційного зв'язку: у групі «мати-правнучка» у 75 % випадків коефіцієнти кореляції набувають від'ємного значення.

4. Кореляційні зв'язки показників будови тіла матерів з їхніми потомками ($r \pm mr$)

Показники, одиниці виміру	Поєднання ознак		
	мати–донька	мати–онучка	мати–правнучка
Кількість тварин	33	64	35
Індекси, %:			
довгоногості	$+0,37 \pm 0,149^*$	$+0,05 \pm 0,124$	$-0,01 \pm 0,168$
розтягнутості	$+0,10 \pm 0,172$	$0 \pm 0,124$	$-0,10 \pm 0,167$
перерослості	$+0,12 \pm 0,171$	$+0,01 \pm 0,124$	$-0,21 \pm 0,16$
грудний	$-0,19 \pm 0,167$	$-0,36 \pm 0,108^{***}$	$-0,14 \pm 0,165$
компактності	$-0,09 \pm 0,172$	$-0,05 \pm 0,124$	$-0,12 \pm 0,166$
масивності	$+0,21 \pm 0,165$	$+0,10 \pm 0,123$	$+0,07 \pm 0,167$
широкогрудості	$+0,11 \pm 0,171$	$+0,05 \pm 0,124$	$+0,23 \pm 0,159$
шилозадості	$+0,04 \pm 0,173$	$+0,13 \pm 0,122$	$-0,03 \pm 0,168$

Примітка. * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$.

Певна спадкова зумовленість індексів будови тіла відзначається лише в найближчому поколінні. Статистично значущий зв'язок виявлено тільки за індексом довгоногості ($r = +0,37$; $P < 0,01$), що підтверджує відносно стабільне успадкування саме цієї ознаки дочками від матерів. Додатні, статистично незначущі коефіцієнти кореляції ($P > 0,05$) встановлено за індексами розтягнутості ($r = +0,10$), перерослості ($r = +0,12$), масивності ($r = +0,21$), широкогрудості та шилозадості ($r = +0,11$ та $+0,04$ відповідно). Про відсутність узгодженого прояву ознак між матерями та дочками свідчать індекси компактності та грудний ($r = -0,19$ та $-0,09$ відповідно).

Значення коефіцієнтів кореляції у групі «мати–онучка» помітно нижчі порівняно з попередньою групою і знаходяться на низькому додатному рівні, близькому до 0. Помітно виділяється грудний індекс, для якого встановлено статистично значущий від'ємний зв'язок ($r = -0,36$; $P < 0,001$). Інші індекси характеризуються слабкими та статистично незначущими зв'язками.

У групі «мати–правнучка» лише індекси масивності та широкогрудості характеризуються додатною кореляцією ($r = +0,07$ та $+0,23$ відповідно). Водночас усі інші індекси мають від'ємні, статистично незначущі ($P > 0,05$) значення кореляцій.

Загальною тенденцією для всіх досліджених господарсько корисних ознак є поступове послаблення сили кореляційних зв'язків із віддаленням поколінь від матері, що супроводжується зміною їхнього напрямку або наближенням до нульових значень. Така закономірність відповідає основним положенням кількісної генетики, згідно з якими рекомбінація, незалежне комбінування алелів та вплив середовища в кожному поколінні змінюють генетичну структуру потомства і поступово зменшують фенотипову подібність між спорідненими тваринами [18, 24]. Отже, ознаки відтворювальної здатності, проміри й індекси будови тіла матерів можна використовувати як предиктори переважно для найближчого покоління (дочок); у віддалених поколіннях їхня прогностична цінність суттєво знижується.

Молочна продуктивність і племінна цінність значною мірою залежать від відтворювальної здатності тварин, оскільки обидві ознаки формуються під впливом штучного й природного добору та мають складну полігенну природу. Цілеспрямований добір за умов повноцінної годівлі підвищує продуктивність, тоді як природний добір зберігає репродуктивні якості, забезпечуючи адаптивність популяції. Поєднання високої продуктивності з оптимальним відтворенням залишається

однією з ключових проблем сучасної селекції. Ознаки відтворювальної здатності є важливим індикатором адаптації маточного поголів'я до умов середовища, тому вивчення їхнього зв'язку з молочною продуктивністю в динаміці поколінь дозволяє не лише відстежити загальний характер їхньої взаємодії, а й простежити зміни сили та напрямку кореляцій, що є важливим підґрунтям для селекційної роботи, зокрема для обґрунтованого

підбору бугаїв-плідників, які поєднують високу молочну продуктивність із задовільними показниками відтворення [20]. Результати досліджень свідчать, що кореляційні зв'язки між ознаками відтворювальної здатності та молочною продуктивністю є слабкими і різноспрямованими в досліджуваних генераціях, що зумовлено складною полігенною та мультифакторною природою формування цих ознак (табл. 5).

5. Зв'язок між ознаками відтворювальної здатності та молочною продуктивністю в межах генерацій

Показники, одиниці виміру	Молочна продуктивність корів за 305 днів лактації (г)							
	Надій, кг	Вміст жиру, %	Вміст білка, %	Відносна молочність, кг	Надій, кг	Вміст жиру, %	Вміст білка, %	Відносна молочність, кг
Генерації, кількість тварин	Імпорт (n = 208)				I (n = 494)			
Вік 1-го осіменіння, днів	+0,18 ± 0,066**	+0,01 ± 0,069	+0,01 ± 0,069	+0,17 ± 0,067**	+0,03 ± 0,044	+0,08 ± 0,044	+0,08 ± 0,044	0 ± 0,044
Вік 1-го отелення, днів	+0,18 ± 0,066**	+0,02 ± 0,069	+0,01 ± 0,069	+0,17 ± 0,067**	+0,06 ± 0,044	+0,07 ± 0,044	+0,08 ± 0,044*	+0,02 ± 0,044
Тривалість, днів:								
сервіс-періоду	+0,12 ± 0,068	-0,11 ± 0,068	-0,03 ± 0,069	+0,13 ± 0,068*	+0,04 ± 0,044	+0,07 ± 0,044	+0,06 ± 0,044	+0,05 ± 0,044
сухостійного періоду	-0,18 ± 0,067**	-0,01 ± 0,069	+0,01 ± 0,069	-0,14 ± 0,067*	0,11 ± 0,044**	+0,06 ± 0,044	+0,04 ± 0,044	-0,05 ± 0,044
міжотельного періоду	+0,12 ± 0,068	-0,11 ± 0,068	-0,03 ± 0,069	+0,13 ± 0,068*	+0,03 ± 0,044	+0,07 ± 0,044	+0,07 ± 0,044	+0,04 ± 0,044
КВЗ	-0,17 ± 0,067**	+0,15 ± 0,067*	+0,03 ± 0,069	-0,17 ± 0,067**	-0,05 ± 0,044	-0,06 ± 0,044	-0,05 ± 0,044	-0,05 ± 0,044
Індекс адаптації	+0,04 ± 0,069	+0,14 ± 0,067*	+0,03 ± 0,069	+0,02 ± 0,069	+0,07 ± 0,044	0 ± 0,044	-0,02 ± 0,044	+0,07 ± 0,044
Вихід телят	-0,17 ± 0,067**	+0,15 ± 0,067*	+0,03 ± 0,069	-0,17 ± 0,067**	-0,07 ± 0,044	-0,05 ± 0,044	-0,04 ± 0,044	-0,06 ± 0,044
Індекс плодючості	-0,18 ± 0,067**	+0,09 ± 0,068	+0,03 ± 0,069	-0,18 ± 0,066**	-0,06 ± 0,044	0,10 ± 0,044**	-0,10 ± 0,044**	-0,05 ± 0,044
Генерації	II (n = 438)				III (n = 174)			
Вік 1-го осіменіння, днів	-0,05 ± 0,047	-0,07 ± 0,047	-0,06 ± 0,047	-0,19 ± 0,046***	+0,10 ± 0,074	+0,04 ± 0,075	-0,08 ± 0,075	+0,05 ± 0,075
Вік 1-го отелення, днів	+0 ± 0,047	-0,09 ± 0,047*	-0,07 ± 0,047	-0,10 ± 0,047*	+0,05 ± 0,075	+0,01 ± 0,075	-0,06 ± 0,075	+0,01 ± 0,075
Тривалість, днів:								
сервіс-періоду	+0,07 ± 0,047	-0,10 ± 0,047*	+0,09 ± 0,047*	+0,03 ± 0,047	+0,01 ± 0,075	+0,01 ± 0,075	+0,10 ± 0,075	0 ± 0,075
сухостійного періоду	+0,07 ± 0,047	-0,09 ± 0,047*	-0,08 ± 0,047	+0,03 ± 0,047	-0,19 ± 0,072**	+0,04 ± 0,075	+0,09 ± 0,075	-0,13 ± 0,074
міжотельного періоду	+0,09 ± 0,047*	-0,10 ± 0,047*	-0,09 ± 0,047*	+0,03 ± 0,047	0 ± 0,075	+0,03 ± 0,075	+0,11 ± 0,074	0 ± 0,075
КВЗ	+0,04 ± 0,047	+0,05 ± 0,047	+0,03 ± 0,047	+0,03 ± 0,047	-0,04 ± 0,075	0 ± 0,075	-0,10 ± 0,075	-0,04 ± 0,075
Індекс адаптації	-0,07 ± 0,047	+0,10 ± 0,047*	+0,09 ± 0,047*	-0,03 ± 0,047	+0,12 ± 0,074	0 ± 0,075	-0,13 ± 0,074	+0,11 ± 0,074
Вихід телят	+0,05 ± 0,047	+0,05 ± 0,047	+0,03 ± 0,047	+0,04 ± 0,047	-0,06 ± 0,075	+0,02 ± 0,075	-0,11 ± 0,074	-0,04 ± 0,075
Індекс плодючості	-0,07 ± 0,047	+0,10 ± 0,047*	+0,09 ± 0,047*	-0,03 ± 0,047	0 ± 0,075	-0,03 ± 0,075	-0,11 ± 0,074	0 ± 0,075

Примітка. *P < 0,05, **P < 0,01, ***P < 0,001.

В імпортованих тварин встановлено переважно додатні кореляції між ознаками відтворювальної здатності та молочною продуктивності. Статистично значущі прямі зв'язки (P < 0,01) виявлено між віком

першого осіменіння й отелення та надоем і відносною молочністю (r = +0,18 і +0,17 відповідно), а також між тривалістю сервіс-періоду й міжотельного періоду та відносною молочністю (r = +0,13; P < 0,05).

Це свідчить про те, що у високопродуктивних тварин підвищене енергетичне навантаження в ранній післяотельний період сповільнює відновлення репродуктивної функції [5, 26]. Додатні статистично значущі кореляції встановлено між вмістом жиру та коефіцієнтом відтворювальної здатності ($r = +0,15$), індексом адаптації ($r = +0,14$) і виходом телят ($r = +0,15$; $P < 0,05$). Водночас виявлено статистично значущі обернені зв'язки між тривалістю сухостійного періоду, коефіцієнтом відтворювальної здатності, виходом телят та індексом плодючості й надоем ($r = -0,17 \dots -0,18$; $P < 0,05-0,01$) та відносною молочністю ($r = -0,14 \dots -0,18$; $P < 0,05-0,01$), що підтверджує наявність антагонізму між молочною продуктивністю та відтворювальною здатністю, зумовленого перерозподілом енергетичних ресурсів організму на користь лактаційної функції. Подібні тенденції відмічають Ю. П. Полупан із співавторами [14], які встановили наявність від'ємних кореляцій між показниками молочної продуктивності та відтворювальної функції ($r = -0,14 \dots -0,34$; $P < 0,001$), що свідчить про існування антагонізму між цими групами ознак. У наступних генераціях (I–III) відзначається поступове послаблення кореляційних зв'язків порівняно з імпортованими тваринами та наближення коефіцієнтів до

нульових значень, що вказує на нівелювання як додатних, так і від'ємних взаємозалежностей. Статистично значущі зв'язки трапляються лише поодинокими випадками і стосуються переважно окремих ознак відтворювальної здатності та якісних показників молока, тоді як переважна більшість коефіцієнтів кореляції залишаються слабкими та статистично незначущими ($P > 0,05$).

Загальну тенденцію до зниження сили та зміни напрямку кореляцій між дослідженими ознаками в динаміці генерацій можна пояснити рекомбінацією генетичного матеріалу та поступовою адаптацією поголів'я до умов середовища [18]. Такі зміни свідчать про послаблення антагонізму між молочними та відтворювальними якостями тварин.

Окрім міжознакових зв'язків у межах продуктивних і відтворювальних характеристик, важливим аспектом є встановлення їх взаємозалежності з екстер'єрними показниками, зокрема промірами будови тіла, що дозволяє розширити уявлення про комплексний характер формування господарськи корисних ознак у динаміці поколінь.

Результати аналізу зв'язків між промірами будови тіла та показниками молочної продуктивності й відтворювальної здатності імпортованих тварин і тварин I генерації наведено в таблиці 6.

6. Зв'язок між промірами будови тіла та ознаками молочної продуктивності, відтворної здатності імпортованих й тварин I генерації (r)

Показники, одиниці виміру	Молочна продуктивність за 305 днів лактації				Відтворна здатність			
	Надій, кг	Вміст білка, %	Вміст жиру, %	Відносна молочність, кг	Вік 1-го отелення дн.	Сервіс-період, дн.	Сухостійний період, дн.	Індекс адаптації
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Генерації	Імпорт (n = 170)							
Проміри, см:								
висота в холці	$-0,03 \pm 0,076$	$+0,01 \pm 0,076$	$-0,07 \pm 0,076$	$-0,26 \pm 0,071$	$0 \pm 0,076$	$-0,04 \pm 0,076$	$-0,06 \pm 0,076$	$+0,01 \pm 0,076$
висота в крижах	$-0,02 \pm 0,076$	$+0,03 \pm 0,076$	$-0,11 \pm 0,075$	$-0,25 \pm 0,071$	$0 \pm 0,076$	$-0,05 \pm 0,076$	$-0,06 \pm 0,076$	$+0,01 \pm 0,076$
обхват грудей	$-0,07 \pm 0,076$	$+0,12 \pm 0,075$	$-0,05 \pm 0,076$	$-0,41 \pm 0,063$	$-0,05 \pm 0,076$	$-0,16 \pm 0,074$	$-0,07 \pm 0,076$	$+0,11 \pm 0,075$
глибина грудей	$-0,07 \pm 0,076$	$+0,12 \pm 0,075$	$-0,12 \pm 0,075$	$-0,25 \pm 0,071$	$-0,04 \pm 0,076$	$-0,04 \pm 0,076$	$-0,03 \pm 0,076$	$+0,03 \pm 0,076$
ширина грудей	$+0,01 \pm 0,076$	$+0,09 \pm 0,076$	$-0,11 \pm 0,075$	$-0,17 \pm 0,074$	$+0,02 \pm 0,076$	$-0,09 \pm 0,075$	$-0,11 \pm 0,075$	$+0,09 \pm 0,076$
довжина грудей	$-0,09 \pm 0,075$	$-0,01 \pm 0,076$	$-0,05 \pm 0,076$	$-0,31 \pm 0,069$	$-0,05 \pm 0,076$	$-0,04 \pm 0,076$	$-0,04 \pm 0,076$	$+0,01 \pm 0,076$
навискісна довжина тулуба	$-0,09 \pm 0,076$	$+0,16 \pm 0,074$	$+0,01 \pm 0,076$	$-0,38 \pm 0,065$	$-0,04 \pm 0,076$	$-0,08 \pm 0,076$	$-0,03 \pm 0,076$	$+0,05 \pm 0,076$
навискісна довжина задку	$-0,09 \pm 0,076$	$+0,16 \pm 0,074$	$+0,01 \pm 0,076$	$-0,38 \pm 0,065$	$-0,04 \pm 0,076$	$-0,08 \pm 0,076$	$-0,03 \pm 0,076$	$+0,05 \pm 0,076$
ширина в клубках	$0 \pm 0,076$	$+0,06 \pm 0,076$	$-0,07 \pm 0,076$	$-0,20 \pm 0,073$	$-0,04 \pm 0,076$	$-0,10 \pm 0,075$	$-0,09 \pm 0,075$	$+0,09 \pm 0,075$

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ширина в кульшах	0 ± 0,076	+0,06 ± 0,076	-0,07 ± 0,076	-0,20 ± 0,073	-0,04 ± 0,076	-0,10 ± 0,075	-0,09 ± 0,075	+0,09 ± 0,075
ширина в сідничних горбах	+0,01 ± 0,076	+0,05 ± 0,076	-0,13 ± 0,075	-0,22 ± 0,072	-0,01 ± 0,076	-0,13 ± 0,075	-0,01 ± 0,076	+0,11 ± 0,075
Генерації	I (n = 49)							
Проміри, см:								
висота в холці	-0,30 ± 0,129*	-0,13 ± 0,140	-0,14 ± 0,139	-0,30 ± 0,129*	-0,37 ± 0,122**	+0,13 ± 0,140	-0,03 ± 0,142	-0,09 ± 0,141
висота в крижах	-0,11 ± 0,140	-0,24 ± 0,134	-0,19 ± 0,137	-0,18 ± 0,137	-0,36 ± 0,124**	+0,04 ± 0,142	+0,03 ± 0,142	-0,02 ± 0,142
обхват грудей	+0,18 ± 0,137	+0,11 ± 0,140	+0,11 ± 0,140	+0,20 ± 0,136	-0,07 ± 0,141	-0,06 ± 0,142	-0,24 ± 0,134	+0,07 ± 0,142
глибина грудей	0 ± 0,142	+0,02 ± 0,142	+0,03 ± 0,142	+0,05 ± 0,142	-0,16 ± 0,139	-0,01 ± 0,142	+0,07 ± 0,142	+0,01 ± 0,142
ширина грудей	-0,10 ± 0,141	+0,20 ± 0,137	+0,11 ± 0,141	0 ± 0,142	-0,25 ± 0,133*	+0,02 ± 0,142	-0,03 ± 0,142	-0,06 ± 0,142
довжина грудей	-0,32 ± 0,127**	+0,11 ± 0,141	+0,01 ± 0,142	-0,22 ± 0,135	-0,27 ± 0,131*	-0,01 ± 0,142	-0,15 ± 0,139	+0,03 ± 0,142
навскісна довжина тулуба	-0,12 ± 0,140	+0,01 ± 0,142	+0,04 ± 0,142	-0,02 ± 0,142	-0,25 ± 0,133*	-0,02 ± 0,142	+0,17 ± 0,138	+0,04 ± 0,142
навскісна довжина заду	-0,24 ± 0,134	-0,15 ± 0,139	-0,14 ± 0,139	-0,24 ± 0,134	-0,28 ± 0,131*	+0,06 ± 0,142	+0,17 ± 0,138	-0,17 ± 0,138
ширина в клубках	-0,11 ± 0,140	0 ± 0,142	-0,04 ± 0,142	-0,11 ± 0,140	-0,09 ± 0,141	+0,04 ± 0,142	+0,07 ± 0,142	-0,08 ± 0,141
ширина в кульшах	-0,06 ± 0,142	-0,03 ± 0,142	0 ± 0,142	-0,10 ± 0,141	-0,19 ± 0,137	-0,04 ± 0,142	-0,25 ± 0,133	+0,03 ± 0,142
ширина в сідничних горбах	+0,01 ± 0,142	-0,06 ± 0,142	-0,06 ± 0,142	-0,06 ± 0,142	+0,20 ± 0,137	-0,04 ± 0,142	-0,06 ± 0,142	0 ± 0,142

Примітка. *P < 0,05, **P < 0,01, ***P < 0,001.

У імпортованих тварин між промірами будови тіла та надоем, вмістом жиру і білка в молоці встановлено слабкі різноспрямовані зв'язки, які в усіх випадках виявилися статистично незначущими ($P > 0,05$). Натомість обернені зв'язки середньої сили виявлено між більшістю промірів і відносною молочністю, зокрема з висотою в холці ($r = -0,26$), обхватом грудей ($r = -0,41$), довжиною грудей ($r = -0,31$) та навскісною довжиною тулуба ($r = -0,38$). Аналогічна тенденція, хоча й менш виражена, простежується для показників відтворювальної здатності. Більшість промірів мали слабкі від'ємні статистично незначущі зв'язки з віком першого отелення та тривалістю сервіс- і сухостійного періодів.

У тварин I генерації відмічено посилення кореляційних зв'язків між промірами будови тіла та показниками молочної продуктивності й відтворювальної здатності. Статистично значущі обернені зв'язки встановлено між висотою в холці та надоем і відносною молочністю ($r = -0,30$; $P < 0,05$ в обох випадках), а також між довжиною грудей і надоем ($r = -0,32$; $P < 0,01$), що може свідчити про нижчу молочну продуктивність крупніших тварин. Статистично значущі обернені зв'язки відмічені між більшістю промірів будови тіла та віком першого отелення, а саме з

висотою в холці та крижах ($r = -0,37$ та $-0,36$; $P < 0,01$), шириною та довжиною грудей ($r = -0,25$ та $-0,27$; $P < 0,05$), навскісною довжиною тулуба та заду ($r = -0,25$ та $-0,28$; $P < 0,05$). Це свідчить про більш раннє статеве дозрівання й осіменіння тварин з більшими розмірами, що цілком закономірно, адже основними критеріями для першого осіменіння в даному господарстві є жива маса та висота в крижах телиць. За іншими ознаками відтворювальної здатності чітких закономірностей у цій генерації не виявлено, а коефіцієнти кореляції характеризуються значною варіабельністю.

Результати аналізу зв'язків між промірами будови тіла та показниками молочної продуктивності й відтворювальної здатності тварин II і III генерацій наведено в таблиці 7.

У тварин II генерації більшість кореляцій слабкі й статистично незначущі ($P > 0,05$). Виняток становить ширина грудей, яка виявила статистично значущий прямий зв'язок з надоем ($r = +0,26$; $P < 0,01$) та відносною молочністю ($r = +0,21$; $P < 0,05$). Це узгоджується з даними літератури, згідно з якими добре розвинена грудна клітка є морфологічним індикатором вищої здатності до споживання корму, що опосередковано підвищує молочну продуктивність [17, 19]. Натомість навскісна довжина заду та

ширина в кульшах характеризуються статистично значущими оберненими зв'язками з надоем ($r = -0,19$; $P < 0,05$ та $r = -0,28$; $P < 0,01$ відповідно) і відносною молочністю ($r = -0,23$; $P < 0,05$). Ширина в

кульшах також від'ємно корелює з тривалістю сухостійного періоду ($r = -0,20$; $P < 0,05$). За іншими ознаками відтворювальної здатності чітких закономірностей не виявлено.

7. Зв'язок між промірами будови тіла та ознаками молочної продуктивності й відтворної здатності тварин II та III генерацій (r)

Показники, одиниці виміру	Молочна продуктивність за 305 днів лактації				Відтворна здатність			
	Надій, кг	Вміст білка, %	Вміст жиру, %	Відносна молочність, кг	Вік 1-го отелення, дн.	Сервіс-період, дн.	Сухостійний період, дн.	Індекс адаптації
Генерації	II (n = 96)							
Проміри, см:								
висота в холці	-0,09 ± 0,101	+0,08 ± 0,101	+0,06 ± 0,101	-0,06 ± 0,101	-0,14 ± 0,099	-0,02 ± 0,102	-0,10 ± 0,101	+0,02 ± 0,102
висота в крижах	-0,06 ± 0,101	+0,03 ± 0,101	+0,04 ± 0,101	-0,06 ± 0,101	-0,14 ± 0,099	-0,05 ± 0,101	-0,13 ± 0,101	+0,07 ± 0,101
обхват грудей	+0,05 ± 0,101	-0,03 ± 0,101	-0,03 ± 0,101	+0,01 ± 0,102	-0,16 ± 0,099	-0,06 ± 0,101	-0,03 ± 0,101	+0,01 ± 0,102
глибина грудей	-0,04 ± 0,101	-0,02 ± 0,101	-0,02 ± 0,102	-0,08 ± 0,101	-0,05 ± 0,101	+0,02 ± 0,102	+0,09 ± 0,101	-0,01 ± 0,102
ширина грудей	+0,26 ± 0,094*	-0,14 ± 0,099	-0,16 ± 0,099	+0,21 ± 0,097*	-0,10 ± 0,101	+0,01 ± 0,102	+0,01 ± 0,102	0 ± 0,102
довжина грудей	-0,07 ± 0,101	-0,01 ± 0,102	+0,04 ± 0,101	-0,05 ± 0,101	-0,11 ± 0,101	-0,03 ± 0,101	+0,02 ± 0,101	0 ± 0,102
нависісна довжина тулуба	-0,04 ± 0,101	+0,10 ± 0,101	+0,13 ± 0,101	-0,04 ± 0,101	0 ± 0,102	0 ± 0,102	0 ± 0,102	-0,02 ± 0,102
нависісна довжина заду	-0,19 ± 0,098*	-0,01 ± 0,102	-0,03 ± 0,101	-0,23 ± 0,096*	+0,02 ± 0,102	-0,11 ± 0,101	-0,08 ± 0,101	+0,04 ± 0,101
ширина в клубях	-0,14 ± 0,099	-0,01 ± 0,102	-0,01 ± 0,102	-0,17 ± 0,098	-0,04 ± 0,101	+0,03 ± 0,101	+0,01 ± 0,102	-0,08 ± 0,101
ширина в кульшах	-0,28 ± 0,093**	+0,09 ± 0,101	+0,07 ± 0,101	+0,05 ± 0,151	-0,06 ± 0,101	-0,06 ± 0,101	-0,20 ± 0,097*	0 ± 0,102
ширина в сідничних горбах	-0,13 ± 0,101	+0,05 ± 0,101	+0,06 ± 0,101	-0,14 ± 0,099	+0,06 ± 0,101	+0,03 ± 0,101	+0,07 ± 0,101	-0,04 ± 0,101
Генерації	III (n = 43)							
Проміри, см:								
висота в холці	+0,12 ± 0,150	-0,19 ± 0,146	-0,14 ± 0,149	-0,09 ± 0,151	-0,05 ± 0,151	+0,32 ± 0,136*	0 ± 0,152	-0,27 ± 0,140*
висота в крижах	+0,21 ± 0,145	-0,11 ± 0,150	+0,01 ± 0,152	0 ± 0,152	-0,21 ± 0,145	+0,31 ± 0,136*	+0,03 ± 0,152	-0,26 ± 0,141
обхват грудей	+0,21 ± 0,145	+0,03 ± 0,152	-0,20 ± 0,145	+0,09 ± 0,151	-0,01 ± 0,152	+0,35 ± 0,133*	-0,01 ± 0,152	-0,22 ± 0,145
глибина грудей	0 ± 0,152	-0,04 ± 0,152	-0,14 ± 0,149	-0,10 ± 0,151	+0,02 ± 0,152	+0,14 ± 0,149	-0,15 ± 0,148	-0,10 ± 0,150
ширина грудей	+0,29 ± 0,139*	-0,21 ± 0,145	-0,12 ± 0,150	+0,17 ± 0,147	-0,01 ± 0,152	+0,14 ± 0,149	-0,03 ± 0,152	-0,10 ± 0,150
довжина грудей	+0,18 ± 0,147	-0,17 ± 0,147	-0,05 ± 0,152	0 ± 0,152	-0,22 ± 0,144	+0,24 ± 0,143	+0,17 ± 0,147	-0,22 ± 0,144
нависісна довжина тулуба	+0,39 ± 0,128*	-0,13 ± 0,149	-0,03 ± 0,152	+0,20 ± 0,146	-0,01 ± 0,152	-0,03 ± 0,152	-0,32 ± 0,136*	+0,16 ± 0,148
нависісна довжина заду	0 ± 0,152	-0,02 ± 0,152	+0,26 ± 0,141	-0,11 ± 0,150	+0,08 ± 0,151	+0,27 ± 0,141*	+0,14 ± 0,149	-0,26 ± 0,141
ширина в клубях	+0,01 ± 0,152	+0,04 ± 0,152	-0,07 ± 0,151	-0,01 ± 0,152	-0,13 ± 0,149	+0,06 ± 0,151	+0,05 ± 0,151	-0,04 ± 0,152
ширина в кульшах	+0,01 ± 0,152	+0,10 ± 0,150	+0,05 ± 0,151	0 ± 0,152	0 ± 0,152	+0,13 ± 0,149	0 ± 0,152	-0,12 ± 0,150
ширина в сідничних горбах	-0,05 ± 0,152	-0,11 ± 0,150	+0,09 ± 0,151	-0,21 ± 0,145	-0,05 ± 0,152	+0,06 ± 0,151	+0,09 ± 0,151	-0,08 ± 0,151

Примітка. * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$.

У тварин III генерації характер зв'язків змінюється: між більшістю промірів і надоем встановлено додатні кореляції, що свідчить про формування конституційно міцніших і продуктивніших тварин порівняно з попередніми генераціями. Статистично значущими виявилися зв'язки ширини грудей ($r = +0,29$; $P < 0,05$) та навіскісної довжини тулуба ($r = +0,39$; $P < 0,05$) з надоем. Водночас виразною тенденцією цієї генерації є додатні статистично значущі кореляції між більшістю висотних і об'ємних промірів та тривалістю сервіс-періоду: висота в холці ($r = +0,32$; $P < 0,05$), висота в крижах

($r = +0,31$; $P < 0,05$), обхват грудей ($r = +0,35$; $P < 0,01$), навіскісна довжина заду ($r = +0,27$; $P < 0,05$). Це свідчить про подовження сервіс-періоду у крупніших тварин і вказує на збереження антагонізму між молочною продуктивністю та відтворювальною здатністю. Поряд із цим навіскісна довжина тулуба обернено корелює з тривалістю сухостійного періоду ($r = -0,32$; $P < 0,05$), а висота в холці – з індексом адаптації ($r = -0,27$; $P < 0,05$). Таким чином, зростання промірів будови тіла корів III генерації супроводжується підвищенням надою та одночасним подовженням біологічних періодів

відтворення та зниженням адаптаційних властивостей, що необхідно враховувати в подальшій селекційній роботі зі стадом.

Висновки. Кореляційні зв'язки господарсько корисних ознак між коровами-первістками симентальської породи та їхнім жіночим потомством характеризуються значною мінливістю за силою і напрямом та залежать від ступеня спорідненості поколінь.

Кореляційні зв'язки ознак молочної продуктивності між матерями та потомством у всіх поколіннях є слабкими, різноспрямованими і статистично незначущими. За ознаками відтворювальної здатності найвищі та статистично значущі кореляційні зв'язки встановлено у групі «мати–онучка» ($r = +0,16...+0,20$; $P < 0,05-0,01$), тоді як у групі «мати–дочка» статистично значущими виявилися лише вік першого

осіменіння та отелення. Серед промірів будови тіла статистично значущі кореляції між матерями та дочками встановлені для глибини грудей та ширини в кульшах, а серед індексів – для індексу довгоногості. У віддалених поколіннях зв'язки як за ознаками відтворення, так і за промірами та індексами послаблюються та набувають переважно від'ємних або нульових значень.

Встановлений в імпортованих тварин антагонізм між молочною продуктивністю та відтворювальною здатністю поступово нівелюється в наступних генераціях, що свідчить про адаптацію стада до умов середовища. Водночас у тварин III генерації зростання промірів будови тіла асоціюється з підвищенням надою, однак супроводжується подовженням біологічних періодів відтворення, що слід враховувати при плануванні селекційної роботи зі стадом.

Список використаної літератури

1. Близнюченко О. Г. Біометрія : монографія. Полтава : Редакційно видавничий відділ «Терра» Полтавської державної аграрної академії. 2003. 346 с.
2. Відтворювальна здатність корів та їх потомків різних генерацій / Є. І. Федорович та ін. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Тваринництво.* 2019. Вип. 4 (39). С. 20–27. <https://doi.org/10.32845/bsnau.lvst.2019.4.3>.
3. Вплив генотипових і паратипних факторів на реалізацію молочної продуктивності корів / С. Войтенко та ін. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Тваринництво.* 2019. Вип. 1–2 (36–37). С. 21–26. <https://snaubulletin.com.ua/index.php/ls/article/view/75/59>.
4. Генетичні ресурси сільськогосподарських тварин України на початку третього тисячоліття / С. Л. Войтенко та ін. *Розведення і генетика тварин.* 2019. Вип. 58. С. 110–119. <https://digest.iabg.org.ua/preservation/item/2185-57-017>.
5. Димчук А. В., Понько Л. П. Відтворна здатність та її зв'язок із молочною продуктивністю корів. *Наукові доповіді НУБіП України.* 2022. № 97 (3). <http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2022.03.008>.
6. Димчук А. В., Понько Л. П. Вплив генотипових і фенотипових чинників на молочну продуктивність корів. *Наукові доповіді НУБіП України.* 2022. № 4 (98). [https://doi.org/10.31548/dopovidi6\(106\).2023.012](https://doi.org/10.31548/dopovidi6(106).2023.012).

References

1. Blyzniuchenko O. G. Biometry : monograph. Poltava : Redaktsiino vydavnychiy viddil «Terra» Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii. 2003. 346 p.
2. Reproductive ability of cows and their offsprings of different generations / E. I. Fedorovich et al. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serii: Tvarynnystvo.* 2019. Issue 4 (39). P. 20–27. <https://doi.org/10.32845/bsnau.lvst.2019.4.3>.
3. Influence of genotypic and paratypic factors on milk productivity realization in cows / S. Voitenko et al. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serii: Tvarynnystvo.* 2019. Issue 1–2 (36–37). P. 21–26. <https://snaubulletin.com.ua/index.php/ls/article/view/75/59>.
4. Genetic resources of farm animals in Ukraine at the beginning of the third millennium / S. L. Voitenko et al. *Animal Breeding and Genetics.* 2019. Issue 58. P. 110–119. <https://digest.iabg.org.ua/preservation/item/2185-57-017>.
5. Dymchuk A. V., Ponko L. P. Reproductive ability and its relationship with milk productivity of cows. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy.* 2022. No. 3 (97). <https://doi.org/10.31548/dopovidi2022.03.008>.
6. Dymchuk A. V., Ponko L. P. Influence of genotypic and phenotypic factors on milk productivity of cows. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy.* 2022. No. 4 (98). [https://doi.org/10.31548/dopovidi6\(106\).2023.012](https://doi.org/10.31548/dopovidi6(106).2023.012).
7. Krugliak A., Krugliak T. Correlative variability of selection traits in dairy cattle breeds. *Visnyk*

7. Кругляк А., Кругляк Т. Співвідносна мінливість селекційних ознак тварин молочних порід худоби. *Вісник аграрної науки*. 2019. Т. 97. Вип. 4. С. 45–51. <https://doi.org/10.31073/agrovysnyk201904-07>.
8. Методи оцінки адаптаційної здатності тварин / Й. З. Сірацький та ін. *Методики наукових досліджень із селекції, генетики та біотехнології у тваринництві*. Київ : Аграрна наука. 2005. С. 75–77.
9. Піддубна Л. М., Захарчук Д. В. Молочна продуктивність корів залежно від породи та походження за батьком. *Таврійський науковий вісник*. 2024. № 135, Ч. 2. С. 176–186. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.135.2.22>.
10. Почукалін А. Є., Прийма В. С., Різун О. В. Тенденції в активній частині популяції молочної худоби: стан та динаміка. *Науковий вісник «Асканія-Нова»*. 2021. № 14. С. 324–333. <https://doi.org/10.33694/2617-0787-2021-1-14-324-333>.
11. Прояв ознак молочної продуктивності корів залежно від продуктивності їх матерів та матерів батьків / І. В. Шпити та ін. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Тваринництво*. 2023. Вип. 1 (52). С. 82–88. <https://doi.org/10.32782/bsnau.lvst.2023.1.12>.
12. Сегеда С., Третяк І. Статистичний аналіз виробництва продукції тваринництва в Україні. *Економіка і організація управління*. 2025. С. 102–117. <https://doi.org/10.31558/2307-2318.2024.4.11>.
13. Сірацький Й. З., Федорович Є. І., Кадиш В. О. Методи оцінки відтворної здатності худоби. *Методики наукових досліджень із селекції, генетики та біотехнології у тваринництві*. Київ : Аграрна наука, 2005. С. 175–178.
14. Співвідносна мінливість селекціонованих ознак червоної молочної худоби / Ю. П. Полупан та ін. *Розведення і генетика тварин*. 2021. Вип. 62. С. 65–71. <https://abg-journal.com/index.php/journal/article/view/334/322>.
15. Федорович Є. І., Филь С. І., Боднар П. В. Екстер'єрні особливості корів та їх потомків різних генерацій у високопродуктивних стадах. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2019. Т. 21, № 91. С. 68–75. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-a9113>.
16. Филь С. І., Федорович Є. І., Боднар П. В. Молочна продуктивність корів та їх нащадків різних поколінь. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Тваринництво*. 2018. Вип. 7 (35). С. 55–60.
17. Хмельничий Л. М., Пономарьов Ю. А. Успадковуваність та співвідносна мінливість лінійних ознак типу корів-первісток української бурої молочної породи з ознаками молочної продуктивності. *Розведення і генетика тварин. аhrarnoi nauky*. 2019. Vol. 97. Issue 4. P. 45–51. <https://doi.org/10.31073/agrovysnyk201904-07>.
8. Methods for assessing adaptive ability of animals / Y. Z. Siratskyi et al. *Metodyky naukovykh doslidzhen iz selektsii, henetyky ta biotekhnolohii u tvarynnytstvi*. Kyiv : Ahrarna nauka. 2005. P. 75–77.
9. Piddubna L. M., Zakharchuk D. V. Milk productivity of cows depending on breed and sire origin. *Tavriyskyi naukovyi visnyk*. 2024. No. 135 (2). P. 176–186. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.135.2.22>.
10. Pochukalin A. Ye., Pryima V. S., Rizun O. V. Trends in the active population of dairy cattle: state and dynamics. *Naukovyi visnyk «Askaniia-Nova»*. 2021. No. 14. P. 324–333. <https://doi.org/10.33694/2617-0787-2021-1-14-324-333>.
11. Expression of milk productivity traits depending on mothers and grandmothers productivity / I. V. Shpyit et al. 2023. Issue 1 (52). P. 82–88. <https://doi.org/10.32782/bsnau.lvst.2023.1.12>.
12. Sehed S., Tretiak I. Statistical analysis of livestock production in Ukraine. *Economics and Management Organization*. 2025. P. 102–117. <https://doi.org/10.31558/2307-2318.2024.4.11>.
13. Siratskyi Y. Z., Fedorovych E. I., Kadysh V. O. Methods for evaluating reproductive ability of cattle. *Metodyky naukovykh doslidzhen iz selektsii, henetyky ta biotekhnolohii u tvarynnytstvi*. Kyiv : Agrarian Science. 2005. P. 175–178.
14. Correlative variability of selected traits in Red dairy cattle / Yu. P. Polupan et al. *Animal Breeding and Genetics*. 2021. Issue 62. P. 65–71. <https://abg-journal.com/index.php/journal/article/view/334/322>.
15. Fedorovych E. I., Fyl S. I., Bodnar P. V. Exterior traits of cows and their offspring of different generations in high-producing herds. *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterinarynoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni S. Z. Gzhytskoho. Seriya: Silskohospodarski nauky*. 2019. Vol. 21, no. 91. P. 68–75. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-a9113>.
16. Fyl S. I., Fedorovych E. I., Bodnar P. V. Milk productivity of cows and their offspring of different generations in high-yielding herds. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya: Tvarynnytstvo*. 2018. Issue 7 (35). P. 55–60.
17. Khmelnychy L. M., Ponomarov Yu. A. Heritability and correlative variability of linear type traits in first-calf cows of Ukrainian Brown dairy breed. *Rozvedennia i henetyka tvaryn*. 2024. Issue 68. P. 95–105. <https://doi.org/10.31073/abg.68.08>.
18. Khmelnychy L. M., Suprun I. O. Fundamentals of genetics and animal breeding. Kyiv : Ahrarna osvita, 2011. 440 p.
19. Association of Production and Selected Dimensional Conformation Traits in Holstein Friesian Cows / Z. J. Körösi et al. *Animals*. 2024. Vol. 14. P. 2753. <https://doi.org/10.3390/ani14182753>.
20. A 100-Year Review: Identification and genetic selection of economically important traits in dairy

2024. Вип. 68. С. 95–105. <https://doi.org/10.31073/abg.68.08>.

18. Хмельничий Л. М., Супрун І. О. Основи генетики та селекції сільськогосподарських тварин. Київ : Аграрна освіта, 2011. 440 с.

19. Association of Production and Selected Dimensional Conformation Traits in Holstein Friesian Cows / Z. J. Körösi et al. *Animals*. 2024. Vol. 14. P. 2753. <https://doi.org/10.3390/ani14182753>.

20. A 100-Year Review: Identification and genetic selection of economically important traits in dairy cattle / F. Miglior et al. *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100, no 12. P. 10251–10271. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12968>.

21. Berry D. P. Symposium review: Breeding a better cow – Will she be adaptable? *Journal of Dairy Science*. 2018. Vol. 101. P. 3665–3685. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13309>.

22. Gross J. J. Dairy cow physiology and production limits. *Animal Frontiers*. 2023. Vol. 13, Issue 3. P. 44–50. <https://doi.org/10.1093/af/vfad014>.

23. Gutiérrez-Reinoso M. A., Aponte P. M., García-Herreros M. Genomic and Phenotypic Udder Evaluation for Dairy Cattle Selection : A Review. *Animals*. 2023. Vol. 13. P. 1588. <https://doi.org/10.3390/ani13101588>.

24. Huang J. Quantitative genetics in livestock breeding: principles and applications. *Animal Molecular Breeding*. 2024. 14 (4): 252–261. <https://animalscipublisher.com/index.php/amb/article/html/3824/>.

25. Nutrition, Growth, and Age at Puberty in Heifers / F. Fantuz et al. *Animals*. 2024. Vol. 14. P. 2801. <https://doi.org/10.3390/ani14192801>.

26. Pascottini O. B., Leroy J. L. M., Opsomer G. Maladaptation to the transition period and consequences on fertility of dairy cows. *Reproduction in Domestic Animals*. 2022. Vol. 57, Suppl. 4. P. 21–32. <https://doi.org/10.1111/rda.14176>.

27. The impact of early life nutrition and housing on growth and reproduction in dairy cattle / G. Curtis et al. *PLoS ONE*. 2018. Vol. 13, no 2. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191687>.

cattle / F. Miglior et al. *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100, no 12. P. 10251–10271. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12968>.

21. Berry D. P. Symposium review: Breeding a better cow – Will she be adaptable? *Journal of Dairy Science*. 2018. Vol. 101. P. 3665–3685. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13309>.

22. Gross J. J. Dairy cow physiology and production limits. *Animal Frontiers*. 2023. Vol. 13, Issue 3. P. 44–50. <https://doi.org/10.1093/af/vfad014>.

23. Gutiérrez-Reinoso M. A., Aponte P. M., García-Herreros M. Genomic and Phenotypic Udder Evaluation for Dairy Cattle Selection : A Review. *Animals*. 2023. Vol. 13. P. 1588. <https://doi.org/10.3390/ani13101588>.

24. Huang J. Quantitative genetics in livestock breeding: principles and applications. *Animal Molecular Breeding*. 2024. 14 (4): 252–261. <https://animalscipublisher.com/index.php/amb/article/html/3824/>.

25. Nutrition, Growth, and Age at Puberty in Heifers / F. Fantuz et al. *Animals*. 2024. Vol. 14. P. 2801. <https://doi.org/10.3390/ani14192801>.

26. Pascottini O. B., Leroy J. L. M., Opsomer G. Maladaptation to the transition period and consequences on fertility of dairy cows. *Reproduction in Domestic Animals*. 2022. Vol. 57, Suppl. 4. P. 21–32. <https://doi.org/10.1111/rda.14176>.

27. The impact of early life nutrition and housing on growth and reproduction in dairy cattle / G. Curtis et al. *PLoS ONE*. 2018. Vol. 13, no 2. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191687>.

DOI: 10.32636/01308521.2026-(80)-1-16

Оригінальна наукова стаття

УДК 636.592.087.7

ПРОДУКТИВНІСТЬ ТА ГЕМАТОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПЕРЕПІЛОК ЗА ДІЇ ФІТОБІОТИКА**Р. А. Чудак, Я. Г. Лебідь, Ю. М. Побережець**

Вінницький національний
аграрний університет
вул. Сонячна, 3, м. Вінниця,
21008

Про авторів:

Роман ЧУДАК,
доктор сільськогосподарських наук,
професор
ORCID: 0000-0003-4318-6979

Ярослав ЛЕБІДЬ,
аспірант
ORCID: 0009-0008-8067-764X

Юлія ПОБЕРЕЖЕЦЬ,
кандидат сільськогосподарських
наук, доцент
ORCID: 0000-0002-1727-6105

Для листування:
Юлія ПОБЕРЕЖЕЦЬ
e-mail: julia.p08@ukr.net

Інформація про фінансування:
Міністерство освіти і науки
України

Отримано:
19 серпня 2026 р.
Погоджено до друку:
1 вересня 2026 р.
Опубліковано:
30 вересня 2026 р.

Метою дослідження було визначити вплив фітобіотика на продуктивність та гематологічні показники перепілок. Для дослідження було відібрано за методом груп-аналогів 4 групи перепелів «маньчжурської золотистої» породи віком 45 діб по 50 голів у кожній. Дослідним групам додатково до основного раціону згодовували фітобіотичну добавку в різних дозах. Додаткове використання в раціоні перепілок рослинної добавки підвищувало живу масу птиці наприкінці дослідження в 4-й групі на 7,3 % ($P \leq 0,001$) порівняно з контролем. За дії фітобіотика середньодобовий приріст перепілок 4-ї групи збільшився на 39,2 % ($P \leq 0,05$), абсолютний – на 40,8 % ($P \leq 0,001$) та відносний – на 9,1 % ($P \leq 0,01$) відносно контрольного показника. За згодовування рослинної добавки валовий збір яєць у 4-й групі був на 6,7 % більшим, ніж у контролі. Згодовування фітобіотика сприяє збільшенню передзабійної живої маси перепілок 4-ї групи на 8,2 % ($P \leq 0,01$) відносно контрольних даних. Додаткове споживання рослинної добавки підвищує масу непатраної та напівпатраної тушки у 4-й групі на 12,2 % і 15,1 % ($P \leq 0,01$) відповідно проти контрольних значень. За дії фітобіотика маса патраної тушки у 4-й групі була на 13,9 % ($P \leq 0,01$) більшою, ніж у контрольного зразка. Виявлено, що застосування фітобіотика сприяє збільшенню концентрації гемоглобіну в 4-й групі перепілок на 6,9 % ($P \leq 0,05$) та кількості еритроцитів у крові на 20,8 % ($P \leq 0,01$) порівняно з контрольною групою. За згодовування рослинної добавки підвищується концентрація загального білка крові у 4-й групі на 13,6 % ($P \leq 0,001$), глюкози – на 14,3 % та кальцію – на 21,7 % ($P \leq 0,05$) відносно контролю.

Ключові слова: перепілки-несучки, фітобіотик, годівля, природи, забійні якості, кров.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons.

© Чудак Р. А., Лебідь Я. Г., Побережець Ю. М., 2026

Productivity and hematological indicators of quail under the action of phytobiotics

Vinnytsia National
Agrarian University
3 Sonyachna St., Vinnytsia, 21008

About authors:

Roman CHUDAK
ORCID: 0000-0003-4318-6979

Yaroslav LEBID
ORCID: 0009-0008-8067-764X

Julia POBEREZHETS
ORCID: 0000-0002-1727-6105

Corresponding author:
Julia POBEREZHETS
e-mail: julia.p08@ukr.net

Funding information:
Ministry of Education and Science
of Ukraine

Received:
August 19, 2026
Accepted:
September 1, 2026
Published:
September 30, 2026

The aim of the study was to determine the effect of a phytobiotic on the performance and hematological parameters of quail. Four groups of 45-day-old Manchurian Golden quail (50 birds per group) were selected for the experiment using the analogue group method. In addition to the basal diet, the experimental groups were fed a phytobiotic supplement at various dosages. Supplementing the quail diet with the plant-based additive resulted in a 7.3 % increase ($P \leq 0.001$) in the live body weight of birds in the fourth group by the end of the experiment compared to the control. Under the influence of the phytobiotic, the average daily gain of quail in the fourth group increased by 39.2 % ($P \leq 0.05$), absolute gain by 40.8 % ($P \leq 0.001$), and relative gain by 9.1 % ($P \leq 0.01$) compared to the control group. Feeding the plant-based supplement resulted in a 6.7 % increase in total egg yield in Group 4 compared to the control group. Administration of the phytobiotic led to an 8.2 % increase ($P \leq 0.01$) in the pre-slaughter live weight of quail in Group 4 relative to the control. Supplementation increased the weight of non-eviscerated and semi-eviscerated carcasses in Group 4 by 12.2 % and 15.1 % ($P \leq 0.01$), respectively, compared to control values. With the use of the phytobiotic, the eviscerated carcass weight in Group 4 was 13.9 % ($P \leq 0.01$) higher than that of the control group. It was found that the use of the phytobiotic resulted in a 6.9 % increase ($P \leq 0.05$) in hemoglobin concentration and a 20.8 % increase ($P \leq 0.01$) in the erythrocyte count in the blood of the fourth group of quail compared to the control group. Feeding with the plant-based supplement led to increases in the concentration of total blood protein by 13.6 %, glucose by 14.3 %, and calcium by 21.7 % ($P \leq 0.05$) in the fourth group relative to the control.

Keywords: laying quail, phytobiotic, feeding, weight gain, slaughter characteristics, blood.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons.

Вступ. Птахівництво перебуває під зростаючим тиском щодо виробництва високоякісної продукції у великих обсягах. Антибіотики використовуються у всьому світі як антибактеріальні кормові добавки, що стимулюють ріст тварин та запобігають розвитку патогенних бактерій у слизовій оболонці кишечника з метою збільшення виробництва м'яса та яєць. Однак залишки від надмірного використання антибіотиків у птахівництві стали несприятливими, спричинивши поширення стійких до антибіотиків мікроорганізмів серед людей [8, 26]. Повна заборона антибіотиків як стимуляторів росту в годівлі тварин, запроваджена в країнах ЄС (Європейського Союзу) 1 січня 2006 р., поставила перед фахівцями значний виклик у пошуку

альтернатив. Кормові добавки повинні захищати травний канал тварин від патогенних бактерій та бути інертними по відношенню до організму. Після багатьох експериментів фітобіотики визнано ефективною альтернативою [5, 23].

Фітобіотики – це сполуки рослинного походження, які окремо або в комбінації покращують темпи росту, ефективність виробництва та здоров'я тварин [18]. Натуральні кормові добавки, отримані з рослин з фітобіотичними властивостями, загалом вважаються безпечними та становлять низький ризик для живих організмів [1, 24]. Фітобіотики вважаються однією з найперспективніших альтернатив завдяки високому вмісту фармакологічно активних сполук, основними з яких є

флавоноїди, ефірні олії, алкалоїди, дубильні речовини, глікозиди та сапоніни [15, 17]. За останні два десятиліття було доведено, що фітобіотики мають комплексну дію, зокрема протизапальну, антибактеріальну, антиоксидантну та метаболічну. Фітобіотики, які також називають фітогенними кормовими добавками або фітогенними речовинами, утворюють широку групу біоактивних сполук рослинного походження. Рослини синтезують фітобіотики для захисту від інвазивних патогенів, таких як бактерії, віруси та гриби [17, 20].

Рослинні кормові добавки можуть пригнічувати ріст патогенних бактерій, посилювати антиоксидантний статус організму, позитивно впливати на функціонування кишкового бар'єра та поліпшувати роботу травної та імунної систем [10, 23]. Стимуляція кишкового мікробіома фітобіотичними сполуками відіграє важливу роль у підтримці здоров'я тварин [7, 21].

Механізм дії фітобіотичних сполук полягає в пошкодженні гліколіпідних компонентів бактеріальних клітин, що призводить до порушення цілісності їхньої стінки та втрати цитоплазматичного вмісту. Ця властивість фітобіотичних сполук забезпечує потужну антимікробну активність, особливо проти грамнегативних та грампозитивних бактерій. Крім того, фітобіотичні сполуки допомагають підтримувати баланс

шлунково-кишкової мікробіоти, що суттєво впливає на функціонування органів травлення, засвоєння поживних речовин, збільшення приростів та якість яєць [16, 25, 27].

Метою дослідження було визначити вплив фітобіотика на продуктивність та гематологічні показники перепілок.

Матеріали і методи. Експеримент тривав 180 діб. Дослідження відбувалося на базі ТОВ «ОРГАНІК ПЛЮС» (м. Вінниця). Для досліду за методом груп-аналогів було відібрано 4 групи перепелів маньчжурської золотистої породи у віці 45 діб по 50 голів у кожній [2]. Поголів'я перепелів утримували в одноярусних клітках, що дало змогу створити оптимальні параметри мікроклімату для птиці, а саме: температура повітря в межах 18–25 °С, вологість – 60–70 %, а також щодня забезпечували 18-годинний світловий день. У годівлі перепелів контрольної групи використовували основний раціон – повнораціонний комбікорм ТМ «Калинка»-25П для перепелів-несучок (ТОВ «Трау Нутришин Україна», Київська обл., с. Софіївська Борщагівка). Комбікорм містив: сирий протеїн – 15,0 %, сирий жир – 2,5 %, сиру клітковину – 9,0 % та забезпечував птицю всіма поживними речовинами. Водночас дослідним групам додатково до основного раціону згодовували фітобіотичну добавку «Сангровіт Екстра» у різних дозах.

1. Схема дослідів на перепілках

Група	Кількість тварин у групі, гол	Тривалість дослідів, діб		Особливості годівлі
		зрівняльний період	основний період	
1 – контрольна	50	10	170	ОР (повнораціонний комбікорм)
2 – дослідна	50	10	170	ОР + «Сангровіт Екстра» (75 г/т корму)
3 – дослідна	50	10	170	ОР + «Сангровіт Екстра» (150 г/т корму)
4 – дослідна	50	10	170	ОР + «Сангровіт Екстра» (300 г/т корму)

Фітобіотик у своєму складі містив натуральний екстракт рослини маклеї

серцеподібної (*Macleaya cordata*). Вперше досліджено вплив фітобіотичної добавки

«Сангровіт Екстра» на продуктивність та гематологічні показники перепілок.

У ході дослідів визначали такі показники: динаміку живої маси – шляхом індивідуального зважування на електронних вагах Radwag WLC 2/C/1 (Польща) з точністю до 0,01 г; приріст живої маси – розрахунковим шляхом за результатами кожного зважування; витрати корму на 10 яєць – шляхом обліку кормів за період дослідів.

Наприкінці досліджень провели контрольний забій птиці (по 4 голови з кожної групи) [13]. Для вивчення морфологічних і біохімічних показників крові з кожної групи відбирали по чотири перепілки; кров брали вранці до годівлі після розрізу яремної вени під легким ефірним наркозом. Лабораторні гематологічні показники визначали у Головному управлінні Держпродспоживслужби у Вінницькій області.

У ході контрольного забою птиці визначали забійні показники: передзабійна жива маса птиці після 12-годинної голодної витримки; маса непатраної тушки – маса

тушки знекровленої та без оперення; маса напівпатраної тушки – маса тушки знекровленої, без оперення та кишківника; маса патраної тушки – маса тушки без крові, пір'я, голови, ніг, крил до ліктьового суглоба, у якій видалені всі внутрішні органи.

Вихід патраних тушок визначали співставленням маси тушки без пера, крові, ніг, голови та внутрішніх органів до передзабійної живої маси, вираженим у відсотках.

Результати досліджень опрацьовували статистично, застосовуючи критерій Стьюдента. Дані в таблицях наведено у вигляді середнього значення ($\bar{x}$) та стандартного відхилення (SD). Водночас враховували рівні вірогідності: $P < 0,05$, $P < 0,01$ та $P < 0,001$ [4].

Результати та обговорення. За результатами дослідів встановлено, що використання у годівлі перепілок фітобіотичної добавки збільшує живу масу перепілок у кінці дослідів в 3-й групі на 5,5 % ($P \leq 0,01$) та 4-й – на 7,3 % ($P \leq 0,001$) проти контрольних аналогів (табл. 2).

2. Вплив фітобіотика на ріст та прирости перепілок ($\bar{x} \pm SD$, $n = 50$)

Показник	Група			
	1 – контрольна	2 – дослідна	3 – дослідна	4 – дослідна
Жива маса на початок дослідів, г	$165,4 \pm 1,12$	$164,6 \pm 1,26$	$162,5 \pm 1,32$	$161,7 \pm 1,18$
Жива маса на кінець дослідів, г	$212,6 \pm 2,45$	$218,3 \pm 2,65$	$224,3 \pm 3,06^{**}$	$228,2 \pm 3,12^{***}$
Середньодобовий приріст, г	$0,28 \pm 0,043$	$0,32 \pm 0,031$	$0,36 \pm 0,034$	$0,39 \pm 0,026^{*}$
Абсолютний приріст живої маси, г	$47,2 \pm 1,17$	$53,7 \pm 1,29^{**}$	$61,8 \pm 1,28^{***}$	$66,5 \pm 1,25^{***}$
Відносний приріст, %	$25,0 \pm 1,12$	$28,0 \pm 1,19$	$32,0 \pm 1,10^{**}$	$34,1 \pm 1,14^{**}$

Примітка: У цій та наступних таблицях: * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$; відмінності між контрольною та дослідною групами.

Виявлено, що споживання фітобіотика дає змогу підвищити середньодобовий приріст перепілок 4-ї групи на 39,2 % ($P \leq 0,05$), а абсолютний – у 2-й групі на 13,7 % ($P \leq 0,01$), у 3-й – на 30,9 % ($P \leq 0,001$) та 4-й – на 40,8 % ($P \leq 0,001$) порівняно з контрольною групою. Крім того, за дії фітобіотичної добавки відносний приріст був більшим у

3-й групі на 7,0 % ($P \leq 0,01$) та у 4-й – на 9,1 % ($P \leq 0,01$) відносно контролю. Слід зазначити, що за додаткового згодовування рослинної добавки валовий збір яєць збільшився у 4-й групі на 6,7 % проти контрольного значення (табл. 2).

Під час дослідів встановили, що за використання фітобіотика знижуються витрати корму птицею (табл. 3).

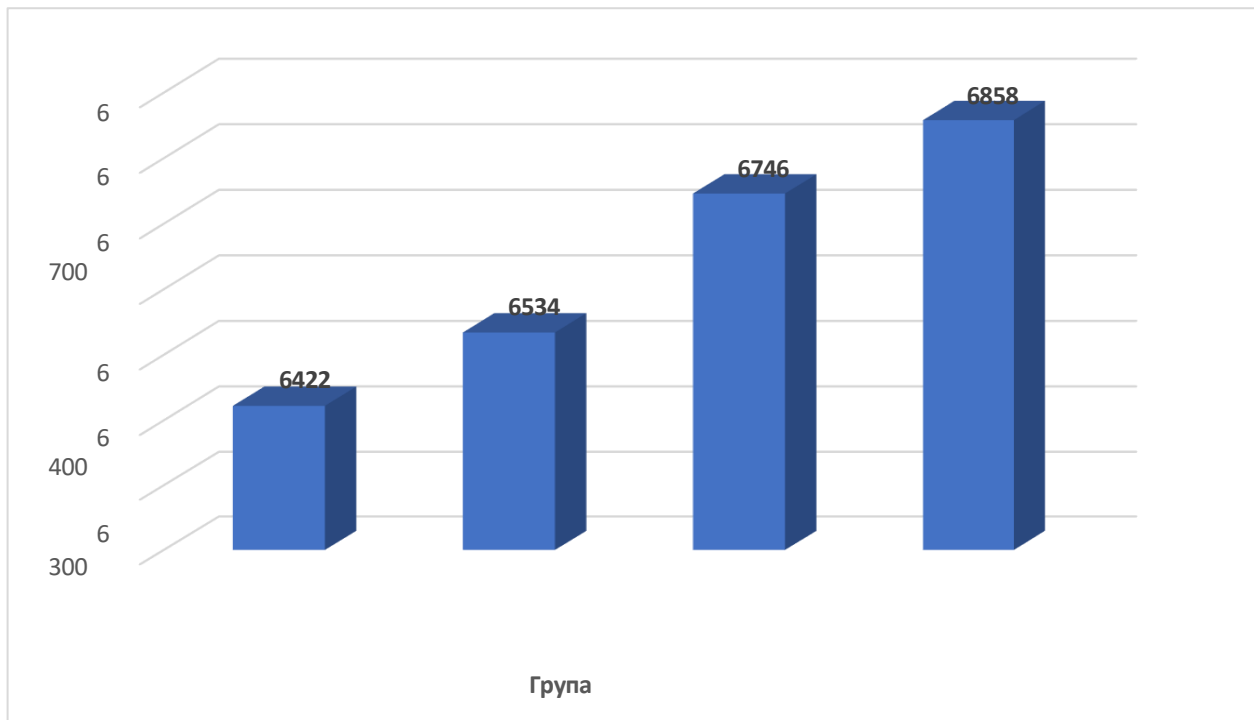


Рис. 1. Валовий збір яєць, шт.

3. Витрати корму перепілками за дії фітобіотики

Група	Витрати корму	
	всього, кг	на 10 шт. яєць, кг
1 – контрольна	24,4	0,38
2 – дослідна	23,5	0,36
3 – дослідна	23,6	0,35
4 – дослідна	23,3	0,34

Відзначається, що за споживання фітобіотичної добавки перепілками витрати корму на 10 шт. яєць були найнижчими у 4-й групі, що на 10,5 % менше проти контрольного значення.

Необхідно відзначити, що за

використання фітобіотичної добавки збільшується передзабійна жива маса у перепілок 3-ї групи на 5,9 % ($P \leq 0,05$) та 4-ї на 8,2 % ($P \leq 0,01$) відносно контрольних ровесників (табл. 4).

4. Забійні показники перепілок ($\bar{x} \pm SD$, $n = 4$)

Показник	Група			
	1 – контрольна	2 – дослідна	3 – дослідна	4 – дослідна
Передзабійна жива маса, г	208,4 $\pm$ 3,49	215,8 $\pm$ 3,34	220,7 $\pm$ 3,25*	225,5 $\pm$ 2,82**
Маса непатраної тушки, г	174,2 $\pm$ 3,38	182,5 $\pm$ 3,21	188,4 $\pm$ 3,52*	195,4 $\pm$ 2,96**
Маса напівпатраної тушки, г	152,5 $\pm$ 3,14	160,8 $\pm$ 2,52	168,6 $\pm$ 2,75**	175,6 $\pm$ 2,84**
Маса патраної тушки, г	135,6 $\pm$ 2,82	142,4 $\pm$ 2,48	149,2 $\pm$ 2,62*	154,5 $\pm$ 2,56**
Забійний вихід тушки, %	83,6 $\pm$ 2,04	84,6 $\pm$ 1,85	85,3 $\pm$ 1,95	86,6 $\pm$ 1,76
Вихід патраної тушки, %	65,1 $\pm$ 1,58	65,9 $\pm$ 1,64	67,6 $\pm$ 1,56	68,5 $\pm$ 1,42

Додаткове введення у раціон перепілок фітобіотики сприяє збільшенню

маси непатраної та напівпатраної тушки у 3-й групі на 8,2 % і 10,5 % ($P \leq 0,05$) та у

4-й – на 12,2 % і 15,1 % ($P \leq 0,01$) відповідно, відносно контрольної групи.

Крім того, зафіксовано, що за дії рослинної добавки підвищується маса патраної тушки у 3-й групі на 10,0 % ($P \leq 0,05$), а у 4-й – на 13,9 % ($P \leq 0,01$) проти контрольного показника.

Встановлено, що згодовування фітобіотика сприяло збільшенню рівня

гемоглобіну в 4-й групі перепілок на 6,9 % ($P \leq 0,05$) порівняно з контрольним зразком (табл. 5).

Використання у годівлі перепілок досліджуваного фітобіотика підвищує кількість еритроцитів у крові в 3-й групі на 16,7 % ($P \leq 0,05$) та в 4-й – на 20,8 % ($P \leq 0,01$) відносно контролю.

5. Морфологічні показники крові ($\bar{x} \pm SD$, $n = 4$)

Показник	Група			
	1 – контрольна	2 – дослідна	3 – дослідна	4 – дослідна
Гемоглобін, г/л	114,5 $\pm$ 2,06	118,5 $\pm$ 1,52	120,6 $\pm$ 2,12	122,4 $\pm$ 1,85*
Еритроцити, Т/л	2,4 $\pm$ 0,08	2,6 $\pm$ 0,07	2,8 $\pm$ 0,09*	2,9 $\pm$ 0,06**
Лейкоцити, Г/л	28,7 $\pm$ 0,82	29,2 $\pm$ 0,64	29,6 $\pm$ 0,56	30,1 $\pm$ 0,75

Виявлено, що за дії фітобіотичної добавки рівень загального білка в крові був вищим у 3-й групі на 5,9 % ($P \leq 0,01$) та

у 4-й – на 13,6 % ($P \leq 0,001$), порівняно з контрольною групою (табл. 6).

6. Біохімічні показники крові ($\bar{x} \pm SD$, $n = 4$)

Показник	Група			
	1 – контрольна	2 – дослідна	3 – дослідна	4 – дослідна
Загальний білок, г/л	35,4 $\pm$ 0,35	36,4 $\pm$ 0,52	37,5 $\pm$ 0,32**	40,2 $\pm$ 0,46***
АлАТ, Од/л	4,2 $\pm$ 0,28	4,4 $\pm$ 0,32	4,8 $\pm$ 0,26	4,6 $\pm$ 0,24
АсАТ, Од/л	210 $\pm$ 13	216 $\pm$ 11	219 $\pm$ 10	222 $\pm$ 14
Лужна фосфатаза, Од/л	1114 $\pm$ 46	1120 $\pm$ 58	1117 $\pm$ 54	1121 $\pm$ 42
Холестерол, ммоль/л	3,7 $\pm$ 0,16	3,4 $\pm$ 0,11	3,3 $\pm$ 0,18	3,0 $\pm$ 0,19
Глюкоза, ммоль/л	5,6 $\pm$ 0,18	5,9 $\pm$ 0,14	6,2 $\pm$ 0,16*	6,4 $\pm$ 0,15*
Кальцій, ммоль/л	2,3 $\pm$ 0,12	2,5 $\pm$ 0,15	2,6 $\pm$ 0,14	2,8 $\pm$ 0,11*

За згодовування рослинної кормової добавки перепілкам рівень глюкози у 3-й групі підвищився на 10,7 % ($P \leq 0,05$), а в 4-й – на 14,3 % порівняно з контролем. Крім того, за додаткового споживання фітобіотика вміст кальцію у 4-й групі був на 21,7 % ($P \leq 0,05$) вищим, ніж у контролі. Отримані результати узгоджуються з даними низки вітчизняних та зарубіжних науковців, які вивчали вплив фітобіотиків на продуктивність та гематологічні показники птиці [3, 6, 29].

Вперше на перепілках-несучках, що споживали повнораціональний комбікорм, доведено синергічний ефект фітобіотичної добавки з екстракту рослини маклеї серцеподібної, що полягає в інтенсифікації

обмінних процесів. Встановлено, що зростання вмісту загального білка (на 13,6 %) та глюкози (на 14,3 %) у сироватці крові є наслідком стимуляції екзогенними ферментами, що узгоджується з концепцією Windisch et al. (2008) [30] щодо підвищення доступності поживних речовин корму. Виявлене збільшення концентрації кальцію (на 21,7 %) пояснюється оптимізацією всмоктувальної здатності кишечника, що прямо корелює з підвищенням валового збору яєць та поліпшенням конверсії корму. Автори обґрунтували, що фітогенні добавки знижують рН у шлунково-кишковому тракті, що переводить кальцій у більш розчинну форму, полегшуючи його

всмоктування. Крім того, Abdelli et al. (2021) [5] підтверджують, що фітобіотики поліпшують морфологію кишечника, стимулюють кровотворення та знижують метаболічне навантаження.

Отримані дані щодо підвищення рівня кальцію та загального білка узгоджуються з результатами досліджень Abudabos et al. (2017) [28], які вивчали вплив сумішей ефірних олій на організм птиці та зафіксували покращення мінералізації кісток і підвищення концентрації кальцію в крові. На думку Balji et al. (2024) [11], корм, виготовлений з екструдованих компонентів та фітобіотиків, сприяє поліпшенню коефіцієнта конверсії корму й позитивно впливає на приріст живої маси перепілок. Експериментальний раціон з фітобіотиком також позитивно вплинув на імунний статус перепілок та гематологічні показники. Nagar et al. (2023) [16] дослідили, що за використання фітобіотика *A. platensis* відбувалося зростання показників живої маси, забійних якостей та посилювався імунітет у перепілок.

Gilani et al. (2021) [14] вважають, що фітобіотики позитивно впливають на параметри продуктивності, споживання корму, метаболізм, ефективність живлення та засвоєння поживних речовин у птиці. Додавання трав та рослинних екстрактів до раціону бройлерів поліпшує якість тушки та грудних м'язів. Крім того, Kikusato (2021) [19] довів, що за допомогою фітогенних добавок можна поліпшити продуктивні показники бройлерів та підвищити засвоюваність поживних речовин.

У своїх дослідях Rahman et al. (2024) [12] рекомендують додавати в раціон оливкову олію, а в питну воду – сік лайма з метою підвищення живої маси та зниження витрат корму перепілками.

Таким чином, додаткове згодовування фітобіотичних кормових добавок позитивно впливає на продуктивність птиці, конверсію корму та гематологічні показники.

Висновки. За результатами досліджень вперше виявлено, що застосування у годівлі перепілок кормової фітобіотичної добавки позитивно вплинуло на продуктивність та гематологічні показники птиці. Встановлено, що за дії фітобіотика збільшується жива маса на 7,3 %, середньодобовий приріст – на 39,2 %, абсолютний – на 40,8 % та відносний – на 9,1 % порівняно з контрольними аналогами. Крім того, за використання рослинної добавки підвищується валовий збір яєць на 6,7 %, а витрати корму на 10 шт. яєць знижуються на 10,5 % порівняно з контрольними даними. За дії фітобіотика збільшується передзабійна жива маса перепілок 4-ї групи на 8,2 %, маса непатраної тушки – на 12,2 %, напівпатраної – на 15,1 % та патраної – на 13,9 % проти контрольних показників. Зафіксовано, що використання фітобіотичної добавки підвищує рівень гемоглобіну в 4-й групі перепілок на 6,9 %, еритроцитів – на 20,8 %, загального білка – на 13,6 %, глюкози – на 14,3 % та кальцію у крові – на 21,7 % відносно контрольних значень.

Список використаної літератури

1. Аннамухаммедова О. О., Аннамухаммедов А. О. Лікарські рослини : навчальний посібник. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка. 2014. 202 с. https://eprints.zu.edu.ua/14121/1/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA_%D0%BB%D1%96%D0%BA%D0%B0%D1%80%D1%81%D1%8C%D0%BA%D1%96.pdf.
2. Ібатулін І. І., Жукорський О. М. Методологія та організація наукових досліджень у тваринництві. Київ : Аграрна наука. 2017. 328 с.
3. Пітера Л. В., Отченашко В. В. Вплив

References

1. Annamammedova O. O., Annamammedov A. O. Medicinal plants : a textbook. Zhytomyr : ZhDU im. I. Franka. 2014. 202 p. https://eprints.zu.edu.ua/14121/1/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA_%D0%BB%D1%96%D0%BA%D0%B0%D1%80%D1%81%D1%8C%D0%BA%D1%96.pdf.
2. Ibatullin I. I., Zhukorskyi O. M. Methodology and organization of scientific research in animal husbandry. Kyiv : Agrarna Nauka. 2017. 328 p.
3. Pitera L. V., & Otchenashko V. V. The effect of

соняшникового білкового концентрату на інкубаційні якості яєць перепілок-несучок м'ясного напрямку продуктивності. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 129. С. 215–223. https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/129_2023/27.pdf.

4. Руденко В. М. Математична статистика. К. : Центр учбової літератури. 2012. 304 с. <https://shron.org/server/api/core/bitstreams/2eccea83-614c-4d25-806d-41b94700a48b/content>.

5. Abdelli N., Solà-Oriol D., Pérez J. F. Phytogetic Feed Additives in Poultry: Achievements, Prospective and Challenges. *Animals*. 2021. 11 (12), 3471. <https://doi.org/10.3390/ani11123471>.

6. Alternatives to antibiotics for organic poultry production: types, modes of action and impacts on bird's health and production / M. E. Abd El-Hack et al. *Poultry Science*. 2022. 101 (4), 101696. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101696>.

7. Ameliorative effect of aloe vera supplementation in poultry feed / S. Sinha et al. *Journal of Animal Research*. 2017. Vol. 7 (1), 85. <https://indianjournals.com/article/jar-7-1-012>.

8. Detection of antibiotic residues in chicken meat from different agro-climatic zones of Chhattisgarh, India by HPLC-PDA and human exposure assessment and risk characterization / C. Chandrakar et al. *Food Control*. 2023. 148, 109667. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109667>.

9. Effect of Echinacea pallida supplementation on the amino acid and fatty acid composition of Pharaoh Quail meat / R. A. Chudak et al. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. 10 (2). P. 302–307. https://doi.org/10.15421/2020_101

10. Effects of ginger extract on laying performance, egg quality, and antioxidant status of laying hens / C. Wen et al. *Animals*. 2019. 9 (11), 857. <https://doi.org/10.3390/ani9110857>.

11. Effect of feed with extruded components and phytobiotics on quail / Y. Balji et al. *Scientific Horizons*. 2024. Vol. 27. No. 9. P. 32–41. <https://doi.org/10.48077/scihor9.2024.32>.

12. Effects of olive oil-treated diet and key lime juice-treated drinking water on intake and growth performance of quail / M. M. Rahman et al. *Veterinary Integrative Sciences*. 2024. 23 (1), e2025022. <https://doi.org/10.12982/VIS.2025.022>.

13. European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Research and Other Scientific Purposes. European Treaty Series. No. 123. Strasbourg, 18.III.1986. <https://rm.coe.int/168007a67b>.

14. Gilani S. M. H, Rashid Z., Galani S. Growth performance, intestinal histomorphology, gut microflora and ghrelin gene expression analysis of broiler by supplementing natural growth promoters: a nutrigenomics approach. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2021. Vol. 28. Issue 6. 3438–3447. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.03.008>.

15. Ginger supplementation in quail as a nutritional alternative in egg production and quality / O. P. Núñez-

sunflower protein concentrate on the incubation qualities of eggs of laying hens of meat production. *Tavriyskiy naukovyi visnyk*. 2023. 129, 215–223. https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/129_2023/27.pdf.

4. Rudenko V. M. Mathematical statistics. Kyiv : Tsentr uchbovoi literatury. 2012. 304 p. <https://shron.org/server/api/core/bitstreams/2eccea83-614c-4d25-806d-41b94700a48b/content>.

5. Abdelli N., Solà-Oriol D., Pérez J. F. Phytogetic Feed Additives in Poultry: Achievements, Prospective and Challenges. *Animals*. 2021. 11 (12), 3471. <https://doi.org/10.3390/ani11123471>.

6. Alternatives to antibiotics for organic poultry production: types, modes of action and impacts on bird's health and production / M. E. Abd El-Hack et al. *Poultry Science*. 2022. 101 (4), 101696. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101696>.

7. Ameliorative effect of aloe vera supplementation in poultry feed / S. Sinha et al. *Journal of Animal Research*. 2017. Vol. 7 (1), 85. <https://indianjournals.com/article/jar-7-1-012>.

8. Detection of antibiotic residues in chicken meat from different agro-climatic zones of Chhattisgarh, India by HPLC-PDA and human exposure assessment and risk characterization / C. Chandrakar et al. *Food Control*. 2023. 148, 109667. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109667>.

9. Effect of Echinacea pallida supplementation on the amino acid and fatty acid composition of Pharaoh Quail meat / R. A. Chudak et al. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. 10 (2). P. 302–307. https://doi.org/10.15421/2020_101

10. Effects of ginger extract on laying performance, egg quality, and antioxidant status of laying hens / C. Wen et al. *Animals*. 2019. 9 (11), 857. <https://doi.org/10.3390/ani9110857>.

11. Effect of feed with extruded components and phytobiotics on quail / Y. Balji et al. *Scientific Horizons*. 2024. Vol. 27. No. 9. P. 32–41. <https://doi.org/10.48077/scihor9.2024.32>.

12. Effects of olive oil-treated diet and key lime juice-treated drinking water on intake and growth performance of quail / M. M. Rahman et al. *Veterinary Integrative Sciences*. 2024. 23 (1), e2025022. <https://doi.org/10.12982/VIS.2025.022>.

13. European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Research and Other Scientific Purposes. European Treaty Series. No. 123. Strasbourg, 18.III.1986. <https://rm.coe.int/168007a67b>.

14. Gilani S. M. H, Rashid Z., Galani S. Growth performance, intestinal histomorphology, gut microflora and ghrelin gene expression analysis of broiler by supplementing natural growth promoters: a nutrigenomics approach. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2021. Vol. 28. Issue 6. 3438–3447. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.03.008>.

15. Ginger supplementation in quail as a nutritional alternative in egg production and quality / O. P. Núñez-Torres et al. *Journal of the Selva Andina Animal*

Torres et al. *Journal of the Selva Andina Animal Science*. 2021. 8 (2). P. 90–101. <https://doi.org/10.36610/j.jsaas.2021.080200090>.

16. Growth, carcass criteria, and blood biochemical parameters of growing quails fed *Arthrospira platensis* as a feed additive / A. Abd E. Hagar et al. *Poultry Science*. 2023. 102 (12), 103205. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103205>.

17. Impact of using ginger (*Zingiber officinale*) in laying quail diets on egg production, egg quality and blood parameters / M. M. El-Kashef et al. *Egyptian Poultry Science Journal*. 2022. 42 (4), 419–435. <https://doi.org/10.21608/EPSJ.2022.278520>.

18. Influences of dietary supplementation of ginger powder and frankincense oil on productive performance, blood biochemical parameters, oxidative status and tissues histomorphology of laying Japanese quail / W. M. Dosoky et al. *Poultry Science*. 2023. 102 (11), 102988. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102988>.

19. Kikusato M. Phytobiotics to improve health and production of broiler chickens: functions beyond the antioxidant activity. *Animal Bioscience*. 2021. 34. P. 345–353. <https://doi.org/10.5713/ab.20.0842>.

20. Mohammadi Gheisar M., Kim I. H. Phytobiotics in poultry and swine nutrition – a review. *Italian Journal of Animal Science*. 2018. Vol. 17. P. 92–99. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1350120>.

21. Nutritional value, phytochemical content, and antioxidant activity of three phytobiotic plants from west Cameroon / S. C. H. Ndomou et al. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2021. 3, 100105. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100105>.

22. Phytobiotic effect of *Anacardium occidentale* L. leaves powder on performance, carcass traits, and intestinal characteristics in broilers / Y. Martínez et al. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 2021. Vol. 23 (01): eRBCA-2020. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2020-1362>.

23. Phytogenic feed additives as an alternative to antibiotic growth promoters in broiler chickens / G. R. Murugesan et al. *Frontiers in Veterinary Science*. 2015. Vol. 2. 21. <https://doi.org/10.3389/fvets.2015.00021>.

24. Phytobiotics in poultry industry as growth promoters, antimicrobials and immunomodulators-a review / Abd El-Ghany et al. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2020. 10 (4). P. 571–579. [https://jwpr.science-line.com/attachments/article/54/JWPR%2010\(4\)%20571-579,%202020.pdf](https://jwpr.science-line.com/attachments/article/54/JWPR%2010(4)%20571-579,%202020.pdf).

25. Potential of *Spirulina platensis* as a feed supplement for poultry to enhance growth performance and immune modulation / N. A. El-Shall et al. *Frontiers in Immunology*. 2023. 14, 1072787. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1072787>.

26. Qin S., & Hou D-X. The biofunctions of phytochemicals and their applications in farm animals: The Nrf2/Keap1 system as a target. *Engineering*. 2017. Vol. 3. Issue 5. 738–752. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.03.011>.

Science. 2021. 8 (2). P. 90–101. <https://doi.org/10.36610/j.jsaas.2021.080200090>.

16. Growth, carcass criteria, and blood biochemical parameters of growing quails fed *Arthrospira platensis* as a feed additive / A. Abd E. Hagar et al. *Poultry Science*. 2023. 102 (12), 103205. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103205>.

17. Impact of using ginger (*Zingiber officinale*) in laying quail diets on egg production, egg quality and blood parameters / M. M. El-Kashef et al. *Egyptian Poultry Science Journal*. 2022. 42 (4), 419–435. <https://doi.org/10.21608/EPSJ.2022.278520>.

18. Influences of dietary supplementation of ginger powder and frankincense oil on productive performance, blood biochemical parameters, oxidative status and tissues histomorphology of laying Japanese quail / W. M. Dosoky et al. *Poultry Science*. 2023. 102 (11), 102988. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102988>.

19. Kikusato M. Phytobiotics to improve health and production of broiler chickens: functions beyond the antioxidant activity. *Animal Bioscience*. 2021. 34. P. 345–353. <https://doi.org/10.5713/ab.20.0842>.

20. Mohammadi Gheisar M., Kim I. H. Phytobiotics in poultry and swine nutrition – a review. *Italian Journal of Animal Science*. 2018. Vol. 17. P. 92–99. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1350120>.

21. Nutritional value, phytochemical content, and antioxidant activity of three phytobiotic plants from west Cameroon / S. C. H. Ndomou et al. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2021. 3, 100105. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100105>.

22. Phytobiotic effect of *Anacardium occidentale* L. leaves powder on performance, carcass traits, and intestinal characteristics in broilers / Y. Martínez et al. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 2021. Vol. 23 (01): eRBCA-2020. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2020-1362>.

23. Phytogenic feed additives as an alternative to antibiotic growth promoters in broiler chickens / G. R. Murugesan et al. *Frontiers in Veterinary Science*. 2015. Vol. 2. 21. <https://doi.org/10.3389/fvets.2015.00021>.

24. Phytobiotics in poultry industry as growth promoters, antimicrobials and immunomodulators-a review / Abd El-Ghany et al. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2020. 10 (4). P. 571–579. [https://jwpr.science-line.com/attachments/article/54/JWPR%2010\(4\)%20571-579,%202020.pdf](https://jwpr.science-line.com/attachments/article/54/JWPR%2010(4)%20571-579,%202020.pdf).

25. Potential of *Spirulina platensis* as a feed supplement for poultry to enhance growth performance and immune modulation / N. A. El-Shall et al. *Frontiers in Immunology*. 2023. 14, 1072787. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1072787>.

26. Qin S., & Hou D-X. The biofunctions of phytochemicals and their applications in farm animals: The Nrf2/Keap1 system as a target. *Engineering*. 2017. Vol. 3. Issue 5. 738–752. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.03.011>.

27. Synergistic effects of probiotics and phytobiotics on the intestinal microbiota in young broiler chicken / H. Ren et al. *Microorganisms*. 2019. 7 (12). 684. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7120684>.

28. The effect of phytogenics on growth traits, blood biochemical and intestinal histology in broiler chickens exposed to *Clostridium perfringens* challenge / A. M. Abudabos et al. *Journal of Applied Animal Research*. 2017. 46 (1). 691–695. <https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1383258>.

29. The use of cold pressed oils as eco-friendly alternatives for antibiotics in high and low-CP diets of laying Japanese quail / M. Alagawany et al. *Animal Biotechnology*. 2022. 33 (5). 816–823. <https://doi.org/10.1080/10495398.2020.1837846>.

30. Use of phytogenic feed additives to enhance animal production and welfare / W. Windisch et al. *Journal of Animal Science*. 2008. 86 (14). P. 140–148. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0459>.

27. Synergistic effects of probiotics and phytobiotics on the intestinal microbiota in young broiler chicken / H. Ren et al. *Microorganisms*. 2019. 7 (12). 684. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7120684>.

28. The effect of phytogenics on growth traits, blood biochemical and intestinal histology in broiler chickens exposed to *Clostridium perfringens* challenge / A. M. Abudabos et al. *Journal of Applied Animal Research*. 2017. 46 (1). 691–695. <https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1383258>.

29. The use of cold pressed oils as eco-friendly alternatives for antibiotics in high and low-CP diets of laying Japanese quail / M. Alagawany et al. *Animal Biotechnology*. 2022. 33 (5). 816–823. <https://doi.org/10.1080/10495398.2020.1837846>.

30. Use of phytogenic feed additives to enhance animal production and welfare / W. Windisch et al. *Journal of Animal Science*. 2008. 86 (14). P. 140–148. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0459>.