МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

pISSN 2706-9052
eISSN 2706-851X

ПОДІЛЬСЬКИЙ ВІСНИК:

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО, ТЕХНІКА, ЕКОНОМІКА

Заснований у 2005 р.

Випуск 2 (51)

Видавничий дім
«Гельветика»
2026

ПОДІЛЬСЬКИЙ ВІСНИК:
СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО, ТЕХНІКА, ЕКОНОМІКА

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ, ТЕХНІЧНІ, ЕКОНОМІЧНІ І ВЕТЕРИНАРНІ НАУКИ

Заснований у 2005 р.

Випуск 2 (51)

https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2
Виходить чотири рази на рік

pISSN 2706-9052
eISSN 2706-851X

Засновник: Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор:

Горюк Юлія Вікторівна – доктор ветеринарних наук, доцент, професор кафедри ветеринарної репродуктології, хірургії та внутрішніх хвороб тварин, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», Україна

Заступник головного редактора:

Небаба Катерина Станіславівна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри рослинництва, селекції та насінництва, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», Україна

Члени редакційної колегії:

Бабій Андрій Васильович – доктор технічних наук, професор, Завідувач кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

Блащик Лідія – доктор сільськогосподарських наук, професор, Інститут генетики рослин Польської академії наук, Познань, Польща

Боровик Віра Олександрівна – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник, Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства Національної академії аграрних наук України, Україна

Грушецький Сергій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри агроінженерії та точного землеробства імені Михайла Самокиша, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», Україна

Данчук В'ячеслав Володимирович – доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри нормальної та патологічної морфології і фізіології, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», Україна

Євстафієва Юлія Миколаївна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри технології виробництва і переробки продукції тваринництва, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», Україна

Кухтин Микола Дмитрович – доктор ветеринарних наук, професор, завідувач кафедри харчової біотехнології та хімії, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

Лучка Іван Васильович – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Інститут біології тварин Національної академії аграрних наук України, Україна

Овчарук Олег Васильович – доктор сільськогосподарських наук, доцент, професор кафедри рослинництва, селекції та насінництва, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», Україна

Пузік Людмила Михайлівна – доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри плодоовочівництва і зберігання продукції рослинництва, Державний біотехнологічний університет, Україна

Пустова Зоя Володимирівна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри хімії, екології і загальнобіологічних дисциплін, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», Україна

Ружальська Сільвія – доктор, професор, Університет в Лодзі, Польща

Сливка Ірина Миколаївна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри технології молока і молочних продуктів, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Ґжицького, Україна

Самборські Анжей – доктор, директор Інституту мистецтва та фізичної культури, Академія мистецтв Замостя, Польща

Станкевич Сергій Володимирович – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, завідувач кафедри зоології, ентомології, фітопатології, інтегрованого захисту і карантину рослин ім. Б. М. Литвинова, Державний біотехнологічний університет, Україна

Ярошук-Скісел Йоланта – доктор, професор, Університет Марії Кюрі-Склодовської в Любліні, Польща

Схвалено Вченою радою ЗВО «ПДУ» (протокол № 14 від 24.09.2026 р.)
Дата розміщення онлайн: 30.10.2026. Дата друку: 06.11.2026.

Електронний науковий журнал включено до Переліку наукових фахових видань України відповідно до Наказу МОН України від 11.06.2026 р. № 928 (додаток 11) з присвоєнням категорії «Б».

Кластер: Сільськогосподарські і ветеринарні науки

Спеціальності: Н1 Агрономія, Н2 Тваринництво, Н3 Садово-паркове господарство, Н6 Ветеринарна медицина, Н7 Агроінженерія

Електронний науковий журнал «Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка» індексується в міжнародних каталогах та наукометричних базах: IndexCopernicus (ICV 2023 – 67,46), Polish Scholarly Bibliography, Citefactor, ResearchBible, Google Scholar, MIAR (ICDS 1,3), General Impact Factor (GIF), Journal Factor, PBN.

Відповідальність за оригінальність (плагіат) тексту наукової статті, точність наведених фактів, цитат, статистичних даних, власних назв, географічних назв та інших відомостей, а також за те, що в матеріалах не містяться дані, що не підлягають відкритій публікації, несуть автори наукових праць. Точки зору авторів публікацій можуть не співпадати з точкою зору редколегії збірника.

© ЗВО «ПДУ», 2026
© Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка, 2026

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTION «PODILLIA STATE UNIVERSITY»

pISSN 2706-9052
eISSN 2706-851X

PODILIAN BULLETIN:

AGRICULTURE, ENGINEERING, ECONOMICS

Founded in 2005

Issue 2 (51)

"Helvetica"
Publishing House
2026

PODILIAN BULLETIN:
AGRICULTURE, ENGINEERING, ECONOMICS

AGRICULTURAL, TECHNICAL, ECONOMIC AND VETERYNARY SCIENCES

Founded in 2005

Issue 2 (51)

https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2
Periodicity: 4 times a year

pISSN 2706-9052
eISSN 2706-851X

Founder: Higher Educational Institution «Podillia State University»

EDITORIAL BOARD:

Editor in chief

Horiuk Yuliia – Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Veterinary Reproduction, Surgery and Internal Diseases of Animals, Higher Educational Institution «Podillia State University», Ukraine

Deputy editor-in-chief

Nebaba Kateryna – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Crop Production, Plant Breeding and Seed Science, Higher Educational Institution "Podillia State University", Ukraine

Members of the editorial board

Babii Andrii – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Engineering Mechanics and Agricultural Machines Department Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine
Błaszczyk Lidia – PhD, Dr hab, Professor, IGR PAN, Institute of Plant Genetics Polish Academy of Sciences, Poland
Borovyk Vira – Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Chief Researcher, Institute of Climate-Oriented Agriculture of the NAAS, Ukraine
Hrushetskyi Serhii – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Agricultural Engineering and Precision Agriculture named after Mykhailo Samokysh, Higher Educational Institution "Podillia State University", Ukraine
Danchuk Vyacheslav – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the department Normal and Pathological Morphology and Physiology, Higher Educational Institution "Podillia State University", Ukraine
Ievstafiieva Iuliia – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor Department of Technologies of Livestock Production and Processing, Higher Educational Institution "Podillia State University", Ukraine
Kukhtyn Mykola – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Head of the Department of Food Biotechnology and Chemistry, Ivan Puluj Ternopil National Technical University, Ukraine
Luchka Ivan – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Institute of Animal Biology of NAAS, Ukraine
Ovcharuk Oleh – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Crop Production, Breeding, and Seed Production, Higher Educational Institution "Podillia State University", Ukraine
Puzik Ludmila – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Horticulture and Storage of Plant Products, State Biotechnological University, Ukraine
Pustova Zoia – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemistry, Ecology, and General Biological Disciplines, Higher Educational Institution "Podillia State University", Ukraine
Różalska Sylwia – PhD, Dr hab, Associate Professor, University of Lodz, Poland
Slyvka Iryna – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Milk and Dairy Products Technology, Stepan Gzhytskyi Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies, Ukraine
Samborski Andrzej – Dr hab, Professor Uczelni, Director of the Institute of Art and Physical Culture, Academy of Zamosc, Poland
Stankevych Serhiy – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Zoology, Entomology, Phytopathology, Integrated Plant Protection and Quarantine named after B.M. Litvinov, State Biotechnological University, Ukraine
Jaroszuk-Scisel Jolanta – PhD, Dr hab, prof. UMCS, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Poland

Recommended by Academic Council of HEI "PSU" (protocol № 14 from 24.09.2026)
Published online: 30.10.2026. Print date: 06.11.2026.

The journal isincluded in the List of scientific professional editions of Ukraine under Category 'B'
(the Order of MES of Ukraine dated June 11, 2026 (Appendix 11))

Cluster: Agricultural and Veterinary Sciences
Specialties: H1 Agriculture, H2 Livestock Breeding, H3 Horticulture and Urban Forestry, H6 Veterinary Medicine, H7 Agricultural Engineering

Electronic scientific journal «Podilian Bulletin: agriculture, engineering, economics» is indexed in international directories and scientometric databases: IndexCopernicus (ICV 2023 – 67,46), Polish Scholarly Bibliography, Citefactor, ResearchBible, Google Scholar, MIAR (ICDS 1,3), General Impact Factor (GIF), Journal Factor, PBN.

The authors of scientific papers are responsible for originality (plagiarism) of the article, the accuracy of facts, quotations, statistics,proper names, place names and other information, as well as the fact that the materials do not contain data that can't be published.
The opinions of the authors of publications may not coincide with the views of the editorial board of the collection.

© HEI "PSU", 2026
© Podilian Bulletin: Agriculture, Engineering, Economics, 2026

ЗМІСТ

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ НАУКИ

Безвіконний П. В.
ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ
КОРМОВИХ БУРЯКІВ ЗАЛЕЖНО ВІД СОРТОВИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ
І РІВНЯ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ 9

Гораш В. О.
ПРОЦЕС НАКОПИЧЕННЯ МАСИ ЗЕРНІВКИ ЯЧМЕНЮ ЯРОГО
ЗАЛЕЖНО ВІД ВПЛИВУ ЗАСТОСУВАННЯ ЛИСТКОВОГО ПІДЖИВЛЕННЯ РОСЛИН
МІКРОДОБРИВОМ 17

Дрозд О. О., Мельник О. В., Ременюк Л. М.
ДИНАМІКА ЕТИЛЕН-АКТИВНОСТІ ТА ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ЯБЛУК СОРТУ ГЛОСТЕР
ЗАЛЕЖНО ВІД РЕЖИМУ ОХОЛОДЖЕННЯ, ОБРОБКИ ДЕРЕВ ЕТИЛЕНПРОДУЦЕНТОМ
І ПЛОДІВ ІНГІБІТОРОМ ЕТИЛЕНУ 24

Загородний В. В., Овчарук О. В., Овчарук К. О.
ОБСЯГИ ВИРОЩУВАННЯ ТА УРОЖАЙНІСТЬ КУКУРУДЗИ,
ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ БІОСТИМУЛЯТОРІВ-АНТИСТРЕСАНТІВ
ЗА УМОВ ЗМІНИ КЛІМАТУ 31

Залевський Р. А., Ключевич М. М., Дрозд Б. Є., Алексєєвич Т. М., Пасічник І. О.
КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА АГРОЕКОЛОГІЧНИХ ЗМІН ҐРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА
СІНОЖАТЕЙ ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ ЗА ЇХ ТРИВАЛОГО ВИКОРИСТАННЯ 39

Калітаєв К. К., Лихач А. В.
ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ШТУЧНОГО ОСІМЕНІННЯ СВИНОМАТОК
В УМОВАХ ПРОМИСЛОВОГО СВИНАРСТВА 47

Карбівська У. М., Дмитрик П. М., Гусак В. В., Заїка В. К., Шеленко Д. І.
ВПЛИВ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ *ZEA MAYS*
В УМОВАХ ЗАХІДНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ 58

Ковальова С. П., Вербельчук С. П., Кобернюк В. В., Вербельчук Т. В., Матковська С. І.
ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ЖИТОМИРСЬКОГО РАЙОНУ
ТА ЇХ ПРИДАТНОСТІ ДЛЯ ПОТРЕБ АКВАКУЛЬТУРИ 66

Колб Л. П., Оленіч О. А.
ВПЛИВ РЕГУЛЯТОРІВ РОСТУ ПРИ РІЗНИХ СПОСОБАХ ПРОРОЩУВАННЯ КОРЕНЕВИЩ
КАННИ ГІБРИДНОЇ 77

Лихач В. Я., Леньков Л. Г., Отченашко В. В., Мельник В. В., Зламанюк Л. М.
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВПЛИВУ РІЗНИХ ТИПІВ ВЕНТИЛЯЦІЇ
НА ПОКАЗНИКИ БІОХІМІЧНОГО ПРОФІЛЮ КРОВІ КНУРІВ-ПЛІДНИКІВ
ЗАЛЕЖНО ВІД ВІКУ ТА СЕЗОНУ РОКУ 85

Максимишин О. В., Кобак С. Я.
ФОРМУВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА СТРУКТУРИ РОСЛИН СОЇ
ЗА ДІЇ СТРОКУ СІВБИ 97

Мулярчук О. І., Дудка С. Д., Бялковська О. А., Плахтій Д. П., Мартинюк С. В.
ВПЛИВ АЗОТНО-МІКРОЕЛЕМЕНТНОГО ЖИВЛЕННЯ НА ФОРМУВАННЯ МОРФОЛОГІЧНИХ
ОЗНАК ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ РІЗНИХ ГРУП СТИГЛОСТІ 103

Овчарук В. І., Сенченко Є. О.
ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКТИВНОСТІ СОРТІВ ОЗИМОГО ЧАСНИКУ
ЛЮБАША ТА ІРЕН 109

Ороховський А. О.
ПРОДУКТИВНІСТЬ РОСЛИН ТА УРОЖАЙНІСТЬ СОРТІВ СОЇ
ЗАЛЕЖНО ВІД СТРОКІВ І НОРМ ЗАСТОСУВАННЯ БІОСТИМУЛЯТОРІВ
В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ ЗАХІДНОГО 115

Поліщук О. С.
ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ ОЗИМИХ ЗЕРНОВИХ ТА ЯРИХ ЗЕРНОБОБОВИХ КУЛЬТУР
В СУЧАСНИХ ГІДРОТЕРМІЧНИХ УМОВАХ ЗОНИ ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ 123

Пустова З. В., Пустова Н. В., Заходим М. В., Кучер О. В., Петращук Д. В.
АГРОЕКОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ РОСТУ, РОЗВИТКУ, ПРОДУКТИВНОСТІ ОРГАНІЧНОЇ КУКУРУДЗИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ МІКОРИЗОУТВОРЮЮЧОГО БІОПРЕПАРАТУ В УМОВАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ 132

Угрін О. М., Біднина І. О.
ЕФЕКТИВНІСТЬ ДІЯЛЬНОСТІ СИМБІОТИЧНОГО АПАРАТУ ТА АКТИВНІСТЬ ЦЕЛЮЛОЗОРУЙНІВНОЇ МІКРОБІОТИ СОРТІВ СОЇ ЗА ЕНДОФІТНО-РИЗОБІАЛЬНОЇ ІНОКУЛЯЦІЇ НАСІННЯ 141

Цуп В. І., Климик В. Т., Рущинська Т. М., Тихонова Б. Є.
ВПЛИВ УМОВ УТРИМАННЯ КОРІВ АБЕРДИН-АНГУСЬКОЇ ПОРОДИ НА ПЕРЕБІГ ОТЕЛЕНЬ ТА ЕТОЛОГІЮ НОВОНАРОДЖЕНИХ ТЕЛЯТ 147

Шейко І. М.
УРОЖАЙНІСТЬ ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ РІЗНОСТИГЛИХ ГІБРИДІВ СОНЯШНИКУ ЗАЛЕЖНО ВІД ПІДЖИВЛЕННЯ МІКРОДОБРИВАМИ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ ЗАХІДНОГО 152

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

Fedirko P. P., Yermakov S. V., Olenyuk O. A., Bonchik V. S.
CONSTRUCTIVE AND ENGINEERING SOLUTIONS FOR A TOP-COMBUSTION SOLID-FUEL BOILER FOR LOCAL HEATING SYSTEMS 158

Грушецький С. М., Дубчак Н. А., Фльонц О. В., Лавріненко О. Т.
ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАШИН ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ТВАРИННИЦТВА НА БІОГАЗ ТА ОРГАНІЧНІ ДОБРИВА 166

Дуганець В. І., Говоров О. Ф., Пукас В. Л.
КОМПЛЕКСНА ДІАГНОСТИКА ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ТА ГІДРАВЛІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ: СУЧАСНИЙ СТАН, ІНФОРМАТИВНІ ПОКАЗНИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ 175

Шевченко І. А., Ткачук В. С., Мартинюк А. В., Люховець В. В.
ДОСЛІДЖЕННЯ МАКЕТНОГО ЗРАЗКА КОМБІНОВАНОГО ҐРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ТА ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ 180

ВЕТЕРИНАРНІ НАУКИ

Левицька В. А., Ковальова О. М.
ШТУЧНЕ МЕМБРАННЕ ЖИВЛЕННЯ КЛІЩІВ ЯК МОДЕЛЬ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕДАЧІ *BABESIA DIVERGENS* 188

ТВАРИННИЦТВО ТА ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Крапівка А. В.
ОЦІНКА ГОСТРОЇ ТА ХРОНІЧНОЇ ТОКСИЧНОСТІ НАНОАКВАХЕЛАТІВ У МЕДОНОСНИХ БДЖІЛ (*Apis Mellifera*) В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ 196

CONTENTS

AGRICULTURAL SCIENCES

Bezvikonnyy P. V.
FEATURES OF PRODUCTIVITY FORMATION IN FODDER BEET DEPENDING ON VARIETAL CHARACTERISTICS AND MINERAL NUTRITION LEVEL 9

Horash V. O.
GRAIN WEIGHT ACCUMULATION IN SPRING BARLEY DEPENDING ON THE EFFECT OF FOLIAR APPLICATION OF THE MICRONUTRIENT FERTILIZER 17

Drozd O. O., Melnyk O. V., Remeniuk L. M.
DYNAMICS OF ETHYLENE ACTIVITY AND CHEMICAL COMPOSITION OF GLOSTER APPLES DEPENDING ON THE COOLING MODE, TREATMENT OF TREES WITH ETHEPHON AND FRUITS WITH ETHYLENE INHIBITOR 24

Zagorodnyi V. V., Ovcharuk O. V., Ovcharuk K. O.
CORN CULTIVATION VOLUMES AND YIELD AND PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF ANTI-STRESS BIOSTIMULATORS UNDER CLIMATE CHANGE 31

Zalevskyi R. A., Kliuchevych M. M., Drozd B. E., Alekseevich T. M., Pasichnyk I. O.
COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF AGROECOLOGICAL CHANGES IN THE SOIL ENVIRONMENT OF HAYFIELDS OF ZHYTOMYR POLISSYA UNDER THEIR LONG-TERM USE 39

Kalitaev K. K., Lykhach A. V.
OPTIMIZATION OF ARTIFICIAL INSEMINATION TECHNOLOGY FOR SOWS UNDER COMMERCIAL PIG PRODUCTION CONDITIONS 47

Karbivska U. M., Dmytryk P. M., Husak V. V., Zaika V. K., Shelenko D. I.
EFFECT OF FERTILIZATION SYSTEMS ON THE PRODUCTIVITY OF ZEA MAYS UNDER THE CONDITIONS OF THE WESTERN REGION OF UKRAINE 58

Kovalova S. P., Verbelchuk S. P., Koberniuk V. V., Verbelchuk T. V., Matkovska S. I.
ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF SURFACE WATER QUALITY IN ZHYTOMYR DISTRICT AND ITS SUITABILITY FOR AQUACULTURE 66

Kolb L. P., Olenich O. A.
INFLUENCE OF GROWTH REGULATORS IN VARIOUS METHODS OF GERMINATION OF CANNA HYBRID RHIZOMES 77

Lykhach V. Ya., Lenkov L. G., Otchenashko V. V., Melnik V. V., Zlamanuk L. M.
A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECT OF DIFFERENT TYPES OF VENTILATION ON THE BIOCHEMICAL PROFILE OF BLOOD IN BREEDING BOARS, DEPENDING ON AGE AND SEASON 85

Maksymyshyn O. V., Kobak S. Ya.
FORMATION OF INDIVIDUAL PRODUCTIVITY AND STRUCTURE OF SOYBEAN PLANTS UNDER THE EFFECTS OF SOWING TIME 97

Muliarchuk O. I., Dudka S. D., Bialkovska O. A., Plahtiy D. P., Martyniuk S. V.
EFFECT OF NITROGEN AND MICRONUTRIENT NUTRITION ON THE FORMATION OF MORPHOLOGICAL TRAITS IN MAIZE HYBRIDS OF DIFFERENT MATURITY GROUPS 103

Ovcharuk V. I., Senchenko Ye. O.
COMPARATIVE ANALYSIS OF THE YIELD CHARACTERISTICS OF THE WINTER GARLIC VARIETIES LIUBASHA AND IREN 109

Orokhovskyi A. O.
PLANT PRODUCTIVITY AND YIELD OF SOYBEAN VARIETIES DEPENDING ON THE TIMING AND RATES OF BIOSTIMULANTS APPLICATION IN THE CONDITIONS OF THE WESTERN FOREST-STEPPE 115

Polischyk O. S.
THE APPROPRIATENESS OF GROWING WINTER CEREALS AND SPRING CULTURES IN THE MODERN HYDROTHERMAL CONDITIONS OF THE WESTERN POLISSIA ZONE 123

Pustova Z. V., Pustova N. V., Zakhodym M. V., Kucher O. V., Petrashchuk D. V.
AGROECOLOGICAL FOUNDATIONS OF THE FORMATION OF GROWTH, DEVELOPMENT, AND PRODUCTIVITY OF ORGANIC MAIZE USING A MYCORRHIZA-FORMING BIOPREPARATION UNDER SUSTAINABLE DEVELOPMENT CONDITIONS 132

Uhrin O. M., Bidnyna I. O.
EFFICIENCY OF SYMBIOTIC APPARATUS FUNCTIONING AND CELLULOLYTIC MICROBIOTA ACTIVITY IN SOYBEAN CULTIVARS FOLLOWING ENDOPHYTIC–RHIZOBIAL SEED INOCULATION 141

Tsup V. I., Klymyk V. T., Rushchynska T. M., Tykhonova B. Ye.
THE INFLUENCE OF HOUSING CONDITIONS OF ABERDEEN-ANGUS COWS ON THE COURSE OF CALVING AND THE ETHOLOGY OF NEWBORN CALVES 147

Sheiko I. M.
YIELD AND ECONOMIC EFFICIENCY OF GROWING SUNFLOWER HYBRIDS OF DIFFERENT MATURITY GROUPS DEPENDING ON MICROFERTILIZER APPLICATION UNDER THE CONDITIONS OF THE WESTERN FOREST-STEPPE 152

TECHNICAL SCIENCES

Fedirko P. P., Yermakov S. V., Olenyuk O. A., Bonchik V. S.
CONSTRUCTIVE AND ENGINEERING SOLUTIONS FOR A TOP-COMBUSTION SOLID-FUEL BOILER FOR LOCAL HEATING SYSTEMS 158

Hrushetskyi S. M., Dubchak N. A., Flonts O. V., Lavrinenko O. T.
SUBSTANTIATION OF PARAMETERS AND EFFICIENCY OF MACHINES FOR PROCESSING LIVESTOCK WASTE INTO BIOGAS AND ORGANIC FERTILIZERS 166

Duhanets V. I., Hovorov O. F., Pukas V. L.
COMPREHENSIVE DIAGNOSTICS OF THERMAL AND HYDRAULIC PARAMETERS OF DIESEL ENGINES DURING OPERATION: CURRENT STATE, INFORMATIVE INDICATORS, AND DEVELOPMENT PROSPECTS 175

Shevchenko I. A., Tkachuk V. S., Martyniuk A. V., Liukhovets V. V.
RESEARCH OF A PROTOTYPE COMBINED SOIL TILLAGE UNIT FOR SURFACE AND PRE-SOWING SOIL TREATMENT 180

VETERINARY SCIENCES

Levytska V. A., Kovalova O. M.
ARTIFICIAL MEMBRANE FEEDING OF TICKS AS A MODEL FOR STUDYING THE TRANSMISSION OF *BABESIA DIVERGENS* 188

ANIMAL HUSBANDRY AND FOOD TECHNOLOGY

Krapivka A. V.
ASSESSMENT OF ACUTE AND CHRONIC TOXICITY OF NANOAQUACHELATES IN HONEY BEES (*Apis Mellifera*) IN LABORATORY CONDITIONS 196

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ НАУКИ

УДК 633.63:631.81:631.559
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-1

Безвіконний П. В.
кандидат сільськогосподарських наук, доцент, докторант,
доцент кафедри садово-паркового господарства, геодезії та землеустрою,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: *bezvikonnuy777@gmail.com*
ORCID: *0000-0003-4922-1763*

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КОРМОВИХ БУРЯКІВ ЗАЛЕЖНО ВІД СОРТОВИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ І РІВНЯ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ

Анотація

У статті наведено результати багаторічних польових досліджень (2020–2024 рр.), спрямованих на вивчення впливу різних норм і співвідношень мінеральних добрив на динаміку формування маси коренеплодів і гички кормових буряків різних сортів в умовах західного Лісостепу України. За результатами проведених досліджень встановлено, що застосування мінеральних добрив суттєво активізувало ріст і розвиток рослин, забезпечуючи інтенсивніше накопичення біомаси надземних і підземних органів упродовж вегетації. Найвищі показники маси коренеплодів і гички формувалися за внесення добрив у варіантах $N_{150}P_{75}K_{225}$ та $N_{225}P_{75}K_{150}$. На момент збирання врожаю середня маса коренеплодів за удобрення $N_{150}P_{75}K_{225}$ становила 1053,1 г у сорту Сонет, 1131,1 г – у сорту Ольжич та 1176,2 г – у сорту Стармон, що перевищувало контроль на 20,5–27,1 %. Найбільш інтенсивне формування листкового апарату відзначено у першій декаді серпня, після чого спостерігався активний перерозподіл пластичних речовин із гички до коренеплодів.

Сортові особливості істотно впливали на інтенсивність накопичення біомаси. Найвищою продуктивністю характеризувався сорт Стармон, який упродовж усього періоду вегетації переважав сорти Сонет і Ольжич за масою як коренеплодів, так і гички. Встановлено, що збалансоване мінеральне живлення, особливо за підвищеного калійного внесення, сприяло пролонгації функціонування листкового апарату, покращенню транспорту асимілянтів та інтенсивнішому росту коренеплодів.

Кореляційно-регресійний аналіз підтвердив наявність сильного прямого взаємозв'язку між масою гички та масою коренеплоду ($r = 0,881$; $R^2 = 0,776$). Збільшення маси гички на 1 г забезпечувало приріст маси коренеплоду в середньому на 1,24 г, що свідчить про визначальну роль розвитку асиміляційного апарату у формуванні продуктивності культури.

Отримані результати підтверджують ефективність оптимізації мінерального живлення кормових буряків шляхом використання збалансованих норм добрив із підвищеним вмістом калію. Найбільш ефективними виявилися варіанти удобрення $N_{150}P_{75}K_{225}$ та $N_{225}P_{75}K_{150}$, які забезпечували найкращий ріст рослин, максимальне накопичення біомаси та реалізацію продуктивного потенціалу культури. Найбільш виражену реакцію на покращення умов мінерального живлення продемонстрував сорт Стармон, який сформував найвищі біометричні показники та масу коренеплодів.

Ключові слова: *кормові буряки, мінеральні добрива, коренеплід, гичка, продуктивність, сорт, кореляційний аналіз.*

Вступ. За сучасних умов господарювання стратегічним завданням агропромислового комплексу України є забезпечення стабільної та високопродуктивної кормової бази. Стійкий розвиток молочного і м'ясного скотарства безпосередньо залежить від рівня годівлі сільськогосподарських тварин, оскільки саме ця галузь постачає на продовольчий ринок дієтичні, екологічно безпечні продукти харчування: молоко, сир, масло та м'ясо [8, с. 32]. На сучасному етапі проблема протеїнового та енергетичного живлення тварин постає особливо гостро через необхідність підвищення їхньої продуктивності та трансформацію технологій годівлі. Дефіцит високоякісного білка

© Безвіконний П. В., 2026

та легкозасвоюваних вуглеводів у раціонах став одним із головних лімітуючих факторів у системі виробництва тваринницької продукції [5, с. 17; 12, с. 153].

Ефективним шляхом вирішення цієї проблеми є інтенсифікація вирощування соковитих кормів, серед яких ключове місце належить буряку кормовому (*Beta vulgaris L. subsp. vulgaris var. alba*). Ця культура характеризується винятково високим потенціалом урожайності (до 100–150 т/га) та є джерелом легкоперетравних поживних речовин, вітамінів, мінералів, цукрів і крохмалю, що суттєво стимулює надої великої рогатої худоби та покращує загальний метаболізм жуйних тварин [10, с. 41].

Проте реалізація генетичного потенціалу сучасних сортів кормових буряків суттєво обмежується дефіцитом балансу в мінеральному живленні та посиленням гідротермічного стресу внаслідок глобального потепління. Тому для оптимізації продукційного процесу критично важливо вивчити не просто кінцеву врожайність, а динаміку наростання маси підземних (коренеплід) і надземних (гичка) органів рослини протягом вегетації. Адже саме характер їхнього паралельного розвитку та специфіка реутилізації пластичних речовин під впливом агротехнічних заходів безпосередньо визначають загальну кормову цінність агроценозу.

Формування високої продуктивності кормових буряків є складним інтегральним фізіологічним процесом. Його основу складає фотосинтез – головний чинник утворення сухої речовини рослин, причому до 90–95 % накопичення біомаси врожаю відбувається завдяки асиміляційній діяльності листків [2, с. 31; 3, с. 19]. Наростання вегетативної маси та оптимізація ходу її формування вже з ранніх етапів онтогенезу визначають кінцеву масу коренеплоду [20, с. 450]. Експериментально доведено, що архітектоніка, фотосинтетична активність посівів та темпи щодекадного або щомісячного приросту маси кормових буряків є динамічними параметрами, які чітко реагують на антропогенний вплив, зокрема на застосування елементів технології вирощування [1, с. 21; 4, с. 19].

У питаннях оптимізації мінерального живлення та фотосинтетичної діяльності важливим є внесок В. В. Гармашова, Д. С. Стана [4, с. 20], Демидась Г. І., Бурко Л. М. [6, с. 88], а також С. С. Панасюка та ін. [13, с. 35; 14, с. 160]. Ними доведено, що макроелементи (N, P, K) мають диференційований вплив на морфогенез та біометричні показники культури. Азот інтенсифікує процеси вегетативного росту, пролонгує життєдіяльність листкового апарату та безпосередньо стимулює динаміку наростання маси гички. Фосфор забезпечує первинний розвиток кореневої системи та енергетичний обмін на старті вегетації. Калій виступає регулятором осмотичного тиску та активує ферменти вуглеводного обміну, стимулюючи інтенсивний відтік асимілянтів із мезофілу листка до запасаючої паренхіми, що безпосередньо прискорює темпи росту та збільшення маси коренеплоду [11, с. 70].

У світовій практиці дослідження Е. Чаквізіра, та А. П. Дрейкотт та ін. підтверджують, що найвища ефективність роботи фотосинтетичного апарату та максимальний індекс збору (harvest index, що виражається співвідношенням маси коренеплоду до маси гички) досягаються лише за збалансованого співвідношення мінеральних елементів, яке наближається до природного біологічного складу самої рослини [18, с. 172; 19, с. 127]. Накопичення сухої речовини в органах рослин прямо пропорційно залежить від рівня живлення, тоді як В. В. Лихочвор зазначає, що динаміка росту рослин та їхня продуктивність часто значною мірою коригуються погодними умовами (вологозабезпеченістю) та строками сівби [7].

Особливого значення набуває вивчення динамічних процесів формування біомаси за умов температурного та посушливого стресу. Г. І. Демидась та Л. М. Бурко [6, с. 90] вказують на фізіологічні особливості формування врожаю залежно від гідротермічних факторів, а О. І. Присяжнюк, А. С. Заришняк, В. М. Сінченко наголошують на необхідності застосування спеціальних технологічних заходів для підвищення толерантності посівів до посухи [15]. Сучасні системи удобрення в умовах змін клімату повинні не лише живити рослину, а й виконувати адаптивну функцію – підтримувати високий тургор тканин, оптимізувати водний баланс та забезпечувати безперервну, згладжену динаміку наростання маси вегетативних та запасаючих органів протягом усього міжфазного періоду [17, с. 28; 21, с. 110].

Попри глибоку вивченість загальних аспектів агротехніки, питання взаємозв'язку між дозами мінерального живлення та поетапною динамікою формування маси коренеплодів і гички нових вітчизняних та інтродукованих сортів кормових буряків в умовах конкретних мікрокліматичних зон залишаються недостатньо висвітленими. Більшість існуючих досліджень обмежуються фіксацією лише кінцевої врожайності на момент збирання. Проте характер кривих наростання біомаси, тривалість активного функціонування гички та періоди максимального приросту маси коренеплодів для різних сортів в умовах західного Лісостепу України потребують додаткового вивчення.

Мета досліджень – визначити вплив норм та співвідношення мінеральних добрив на динаміку наростання маси коренеплодів і маси гички, а також встановити характер їхнього взаємозв'язку та закономірностей перебігу продукційного процесу різних сортів буряка кормового в умовах західного Лісостепу України.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження проводились впродовж 2020–2024 років на дослідному полі Науково-дослідного центру «Поділля» Закладу вищої освіти «Подільський державний університет». Ґрунт дослідного поля – чорнозем типовий вилугуваний, мало гумусний, середньосуглинковий на лесовидних суглинках. Вміст гумусу (за Тюріним) у шарі ґрунту 0–30 см становить 3,8–4,1%. Вміст сполук азоту, що легко гідролізуються (за Корнфілдом), становить 98–117 мг/кг , рухомого фосфору (за Чіріковим) – 81–94 мг/кг, обмінного калію (за Чіріковим) – 145–175 мг/кг ґрунту. Сума увібраних основ коливається в межах 19,8-22,0 мг-екв. на 100 г ґрунту, має гідролітичну кислотність 0,79-1,02 мг-екв. на 100 г ґрунту, ступінь насичення основами – 90%.

Схемою досліду передбачене вивчення впливу різних співвідношень мінеральних добрив на динаміку формування маси гички та коренеплодів буряка кормового. Схема досліду включала наступні фактори: Фактор А – сорти: 1. Сонет (контроль); 2. Ольжич; 3. Стармон. Фактор В – норми внесення мінеральних добрив: 1. Без внесення добрив (контроль); 2. $N_{150}P_{150}K_{150}$; 3. $N_{225}P_{150}K_{75}$; 4. $N_{225}P_{75}K_{150}$; 5. $N_{150}P_{225}K_{75}$; 6. $N_{150}P_{75}K_{225}$; 7. $N_{75}P_{225}K_{150}$; 8. $N_{75}P_{150}K_{225}$. Площа облікової дослідної ділянки – 54 м^2, загальної – 65 м^2, повторність досліду – чотирикратна.

Фенологічні спостереження, біометричні і фізіолого-біохімічні дослідження проводили відповідно до Методики дослідної справи в агрономії [16, с. 158] та Методики проведення досліджень у буряківництві [9, с. 216].

Результати дослідження. Формування маси коренеплодів кормових буряків є складним фізіологічним процесом, який визначається генетичними особливостями сорту, рівнем забезпечення рослин елементами живлення та інтенсивністю функціонування асиміляційного апарату. На початкових етапах росту і розвитку рослин маса коренеплодів була порівняно невисокою, оскільки основна частина пластичних речовин використовувалася на побудову листкового апарату та первинної кореневої системи.

Станом на 10 липня найменшу масу коренеплодів відмічали на варіантах без внесення добрив (табл. 1). Так, у сорту Сонет цей показник становив 130,3 г, у сорту Ольжич – 137,7 г, а у сорту Стармон – 224,5 г. Уже на початкових етапах розвитку простежувалася суттєва перевага сорту Стармон, маса коренеплодів якого перевищувала контрольний сорт Сонет на 72,3 %.

Таблиця 1. Вплив доз мінеральних добрив на динаміку маси коренеплодів кормових буряків, г (середнє за 2020–2024 рр.)

Сорт (фактор А)	Фон живлення (фактор В)	Дата визначення			
		10.07	10.08	10.09	5.10
Сонет (контроль)	Без внесення добрив (к)	130,3	342,3	644,3	842,3
	$N_{150}P_{150}K_{150}$	243,4	544,4	860,9	1016,2
	$N_{225}P_{150}K_{75}$	193,6	496,3	824,1	886,1
	$N_{225}P_{75}K_{150}$	244,8	581,4	900,2	1037,1
	$N_{150}P_{225}K_{75}$	188,4	399,0	745,5	884,3
	$N_{150}P_{75}K_{225}$	274,0	591,0	908,5	1053,1
	$N_{75}P_{225}K_{150}$	211,7	484,6	809,5	922,9
	$N_{75}P_{150}K_{225}$	216,3	486,7	817,8	955,7
Ольжич	Без внесення добрив (к)	137,7	354,6	654,2	889,6
	$N_{150}P_{150}K_{150}$	246,7	574,1	891,8	1078,0
	$N_{225}P_{150}K_{75}$	256,3	489,8	799,1	959,1
	$N_{225}P_{75}K_{150}$	249,7	564,6	869,2	1098,6
	$N_{150}P_{225}K_{75}$	208,4	435,0	773,6	963,0
	$N_{150}P_{75}K_{225}$	296,2	599,6	905,9	1131,1
	$N_{75}P_{225}K_{150}$	207,7	546,2	847,5	1026,1
	$N_{75}P_{150}K_{225}$	231,1	523,2	852,4	1030,7
Стармон	Без внесення добрив (к)	224,5	474,7	786,7	976,5
	$N_{150}P_{150}K_{150}$	312,7	679,1	1003,8	1123,5
	$N_{225}P_{150}K_{75}$	270,6	637,1	974,4	1018,6
	$N_{225}P_{75}K_{150}$	310,7	691,5	1018,8	1173,3
	$N_{150}P_{225}K_{75}$	255,4	530,0	885,5	1015,0
	$N_{150}P_{75}K_{225}$	340,7	713,6	1039,2	1176,2
	$N_{75}P_{225}K_{150}$	261,3	639,5	952,3	1078,3
	$N_{75}P_{150}K_{225}$	271,8	624,9	966,0	1096,7

Примітка: (к) – контроль.

Застосування мінеральних добрив сприяло активізації ростових процесів та інтенсивнішому накопиченню біомаси коренеплодів. Найбільші показники відмічали на варіантах із нормами $N_{150}P_{75}K_{225}$ та $N_{225}P_{75}K_{150}$. За цих умов маса коренеплодів сорту Стармон становила відповідно 340,7 та 310,7 г, що перевищувало контроль без добрив на 38,4–51,8 %.

На період 10 серпня спостерігалося інтенсивне наростання маси коренеплодів у всіх варіантах досліду, що пов'язано з досягненням максимальної площі листкової поверхні та високою інтенсивністю фотосинтетичних процесів. На неудобреному фоні маса коренеплодів становила 342,3 г у сорту Сонет, 354,6 г у сорту Ольжич та 474,7 г у сорту Стармон. Внесення мінеральних добрив забезпечувало істотне збільшення цього показника. Найбільші значення відмічали за використання норми $N_{150}P_{75}K_{225}$, де маса коренеплодів досягала 591,0 г у сорту Сонет, 599,6 г у сорту Ольжич та 713,6 г у сорту Стармон. Приріст порівняно з контролем становив відповідно 72,6; 69,1 та 50,3 %.

Найбільш інтенсивне накопичення маси коренеплодів спостерігалося в період від 10 серпня до 10 вересня. Саме в цей час формувалася основна частина врожаю. На варіантах без внесення добрив маса коренеплодів

становила 644,3 г у сорту Сонет, 654,2 г у сорту Ольжич та 786,7 г у сорту Стармон. За внесення добрив із нормою $N_{150}P_{75}K_{225}$ вона зростала до 908,5; 905,9 та 1039,2 г відповідно. Порівняно з контролем приріст становив 41,0; 38,5 та 32,1 %. Аналогічно високі показники забезпечував варіант $N_{225}P_{75}K_{150}$. Це свідчить про те, що в умовах оптимізації доз калію рослини більш ефективно перерозподіляли продукти фотосинтезу.

На період збирання врожаю (5 жовтня) маса коренеплодів досягала максимальних значень. Найменші показники відмічали на контролі без внесення добрив, де маса одного коренеплоду становила 842,3 г у сорту Сонет, 889,6 г у сорту Ольжич та 976,5 г у сорту Стармон. На удобрених варіантах спостерігалося подальше зростання продуктивності. Найвищу масу коренеплодів забезпечив варіант $N_{150}P_{75}K_{225}$ – 1053,1 г у сорту Сонет, 1131,1 г у сорту Ольжич та 1176,2 г у сорту Стармон. У порівнянні з контролем приріст становив 25,0; 27,1 та 20,5 % відповідно. Дещо нижчі, але близькі результати були отримані за внесення добрив у нормі $N_{225}P_{75}K_{150}$.

Паралельно з підземними органами досліджували формування надземної маси, оскільки саме листковий апарат забезпечує фотосинтетичне накопичення органічної речовини.

Аналіз динаміки наростання маси гички свідчить (табл. 2)., що на початкових етапах вегетації (10 липня) рослини активно нарощували асиміляційну поверхню. Внесення добрив суттєво стимулювало цей процес: на варіанті $N_{150}P_{75}K_{225}$ маса гички становила 612,6–690,1 г, що перевищувало контроль на 41,7–54,2% залежно від сорту.

У першій декаді серпня відзначалося максимальне розростання надземної маси рослин – листковий апарат досягав піку свого розвитку. На варіантах без внесення добрив маса гички становила 521,7 г у сорту Сонет, 546,1 г у сорту Ольжич та 657,3 г у сорту Стармон. За внесення мінеральних добрив показники суттєво зростали. Найбільшу масу гички в усіх сортів відмічали на варіанті $N_{150}P_{75}K_{225}$, де вона досягала 714,1 г у сорту Сонет, 774,6 г у сорту Ольжич та 817,4 г у сорту Стармон. У порівнянні з контролем приріст становив відповідно 36,9; 41,8 та 24,4%.

Таблиця 2. Динаміка наростання маси гички буряка кормового залежно від доз мінеральних добрив, г (середнє за 2020–2024 рр.)

Сорт (фактор А)	Фон живлення (фактор В)	Дата визначення			
		10.07	**10.08**	**10.09**	**5.10**
Сонет (контроль)	Без внесення добрив (к)	402,8	521,7	218,6	171,7
	$N_{150}P_{150}K_{150}$	577,4	659,3	429,5	350,4
	$N_{225}P_{150}K_{75}$	539,3	648,8	380,9	305,6
	$N_{225}P_{75}K_{150}$	596,7	687,2	446,1	357,6
	$N_{150}P_{225}K_{75}$	519,5	626,8	365,3	294,8
	$N_{150}P_{75}K_{225}$	612,6	714,1	457,2	376,1
	$N_{75}P_{225}K_{150}$	565,7	659,1	412,6	329,6
	$N_{75}P_{150}K_{225}$	573,4	668,2	420,5	341,3
Ольжич	Без внесення добрив (к)	421,4	546,1	235,9	197,0
	$N_{150}P_{150}K_{150}$	604,8	733,3	461,4	371,7
	$N_{225}P_{150}K_{75}$	562,8	664,3	424,7	330,7
	$N_{225}P_{75}K_{150}$	627,1	755,8	487,2	392,4
	$N_{150}P_{225}K_{75}$	534,2	640,1	395,9	321,0
	$N_{150}P_{75}K_{225}$	649,8	774,6	500,4	404,0
	$N_{75}P_{225}K_{150}$	577,4	680,5	436,2	353,8
	$N_{75}P_{150}K_{225}$	591,9	705,2	450,8	355,4
Стармон	Без внесення добрив (к)	487,1	657,3	308,5	248,8
	$N_{150}P_{150}K_{150}$	667,2	799,4	524,5	416,1
	$N_{225}P_{150}K_{75}$	625,4	763,8	451,3	363,8
	$N_{225}P_{75}K_{150}$	674,6	809,1	538,8	419,0
	$N_{150}P_{225}K_{75}$	603,8	752,9	435,1	362,5
	$N_{150}P_{75}K_{225}$	690,1	817,4	552,4	435,6
	$N_{75}P_{225}K_{150}$	640,7	770,5	478,5	399,4
	$N_{75}P_{150}K_{225}$	655,3	784,1	508,5	406,2

Примітка: (к) – контроль.

У розрізі сортів найбільшу надземну масу протягом усього періоду активного росту формував сорт Стармон. Його перевага над сортом Сонет на контролі становила 135,6 г (26,0%), а на варіанті $N_{150}P_{75}K_{225}$ – 103,3 г (14,5%). Це вказує на вищий генетично обумовлений потенціал фотосинтетичної продуктивності даного сорту.

У першій декаді вересня в усіх варіантах досліду спостерігалося природне фізіологічне зменшення маси гички. Це пояснюється реутилізацією (відтоком) пластичних речовин з листків до коренеплодів, а також відмиранням нижніх ярусів. Проте на удобрених варіантах маса гички залишалася істотно більшою порівняно з контролем. Так, у сорту Сонет вона становила 365,3–457,2 г проти 218,6 г на контролі, у сорту Ольжич – 395,9–500,4 г проти 235,9 г, а у сорту Стармон – 435,1–552,4 г проти 308,5 г.

На момент збирання врожаю (5 жовтня) ця тенденція зберіглася. Найменші значення зафіксовано на контролі (171,7–248,8 г). Максимальну масу гички зберегли рослини на варіанті $N_{150}P_{75}K_{225}$: від 376,1 г (Сонет) до 435,6 г

(Стармон), що перевищувало контроль на 75,1–119,0%. Збалансоване мінеральне живлення з оптимізованими дозами калію та азоту стримувало процеси старіння тканин, подовжуючи період активного функціонування листків.

Для встановлення математичних закономірностей формування продуктивності проведено кореляційно-регресійний аналіз взаємозв'язку між масою гички (х) та масою коренеплоду (у) на період збирання врожаю (5.10).

Встановлено наявність сильного прямого кореляційного зв'язку між досліджуваними показниками (r = 0,881), що за шкалою Чеддока відповідає високому рівню тісноти. Отримані результати свідчать, що зі збільшенням маси надземної частини рослин відбувається закономірне зростання маси коренеплодів. Коефіцієнт детермінації становить $R^2 = 0,776$, тобто 77,6% варіації маси коренеплодів зумовлено зміною маси надземної частини.

У результаті регресійного аналізу отримано рівняння: y = 588.86 + 1.24x

Згідно з цим рівнянням, збільшення маси гички на 1 г супроводжується зростанням маси коренеплоду в середньому на 1,24 г (рис. 1).

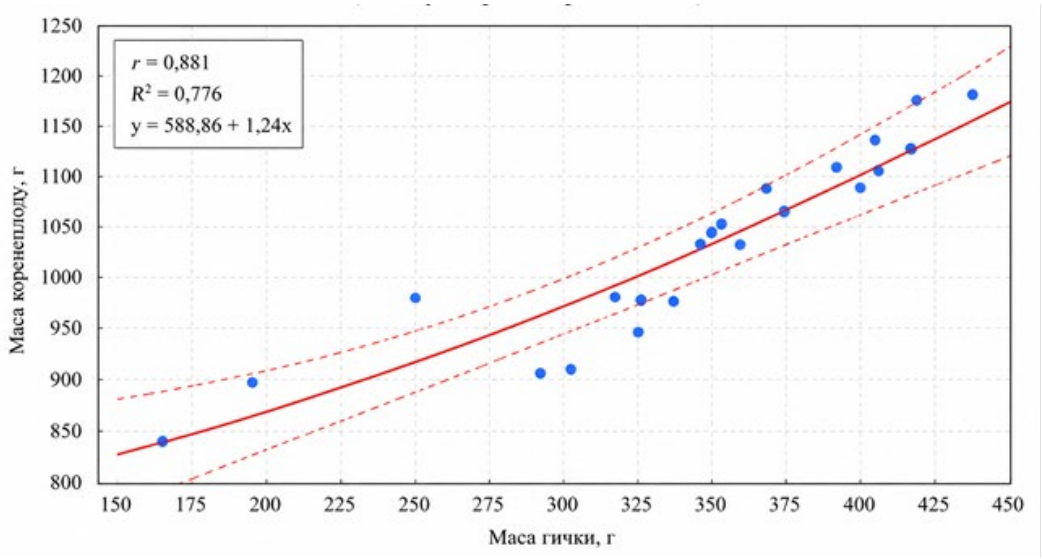


Рис. 1. Кореляційний зв'язок між масою гички та масою коренеплоду кормових буряків на період збирання (5.10)

Результати проведених досліджень підтверджують висновки Присяжнюка О. І., Заришняка А. С. та Сінченка В. М. [17] про те, що одним із ключових чинників формування високої продуктивності буряків є тривале збереження фотосинтетично активного листкового апарату в другій половині вегетації. Саме в період від початку серпня до початку вересня, коли спостерігався найінтенсивніший приріст коренеплодів, відзначалася максимальна активність відтоку асимілянтів із листкового апарату до запасаючих органів. Отримані результати узгоджуються з даними Гармашова В. В. та Стана Д. С. [8], які встановили, що в цей міжфазний період формується до 60–70 % кінцевого врожаю буряків.

Висока ефективність варіантів із підвищеним вмістом калію ($N_{150}P_{75}K_{225}$ та $N_{225}P_{75}K_{150}$) обґрунтовується фізіологічною роллю цього елемента. Як зазначає В. І. Овчарук та ін. [13], оптимізація мінерального живлення активує фотосинтетичну діяльність, де азот стимулює ростові процеси надземної частини, а калій виступає головним регулятором транспорту цукрів із мезофілу листка до запасаючої паренхіми коренеплоду.

Ці висновки повністю корелюють із фундаментальними дослідженнями Дрейкотт А. П., Джаггард К. В, які довели, що достатнє калійне живлення є базовою передумовою збереження активного тургору та пролонгації фотосинтетичного потенціалу листків, що безпосередньо забезпечує максимальний індекс збору (harvest index) [19].

Серед досліджуваного асортименту сортів найвищу чутливість до покращення умов живлення виявив сорт Стармон, який стабільно лідирував за масою обох органів протягом вегетації. Сорт Ольжич посідав проміжне положення, а сорт Сонет характеризувався найнижчою інтенсивністю біометричних приростів, що підтверджує важливість підбору адаптивних генотипів при інтенсифікації кормовиробництва.

Висновки.

1. Застосування мінеральних добрив забезпечує активізацію ростових процесів, оптимізацію формування листкового апарату та інтенсивне накопичення маси коренеплодів кормових буряків протягом усього періоду вегетації.

2. Найбільш ефективними виявилися варіанти удобрення з підвищеним вмістом калію – $N_{150}P_{75}K_{225}$ та $N_{225}P_{75}K_{150}$, які забезпечили максимальні показники продуктивності рослин незалежно від сорту. За норми $N_{150}P_{75}K_{225}$ маса коренеплоду на період збирання досягала в середньому 1053,1–1176,2 г, що на 20,5–27,1% вище за контроль.

3. Встановлено високу сортову чутливість до елементів живлення: в усіх варіантах досліду лідирував сорт Стармон, який ефективніше за інші сорти реалізував потенціал покращеного мінерального живлення. Сорт Ольжич займав проміжне положення, а сорт Сонет характеризувався найнижчими біометричними показниками.

4. Математично доведено (r=0,881; R2=0,776) сильний прямий зв'язок між розвитком надземної біомаси та масою коренеплоду. Оптимізоване калійне живлення пролонгує функціональну активність листків, мінімізує швидкість їхнього відмирання у вересні-жовтні та стимулює інтенсивний відтік пластичних речовин до продуктових органів.

Список використаних джерел

1. Балан В. М., Балагура О. В., Волоха М. П. Адаптивна технологія вирощування маточників і насінників буряків кормових. Біоенергетика. 2020. № 1. С. 21–23. DOI: https://doi.org/10.47414/be.1.2020.224942

2. Безвіконний П. В. Динаміка вмісту хлорофілів у листках буряків кормових в умовах західного Лісостепу. Аграрні інновації. 2025. № 30. С. 30–34. DOI: https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.30.4

3. Безвіконний П. В. Фотосинтетична діяльність рослин буряка кормового залежно від впливу мінеральних добрив. Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. 2025. Вип. 46(1). С. 19–25. DOI: https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-1.2

4. Гармашов В. В., Стан Д. С. Особливості фотосинтетичної діяльності рослин кормового буряка залежно від умов вирощування. Аграрний вісник Причорномор'я. Сільськогосподарські науки. 2014. Вип. 71. С. 19–25.

5. Демидась Г. І., Бурко Л. М. Вплив елементів технології вирощування на особливості формування урожаю буряків кормових. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. 2011. Вип. 7(47). С. 17–20.

6. Демидась Г. І., Бурко Л. М. Урожайність та якість гички буряків кормових залежно від елементів технології вирощування. Корми і кормовиробництво. 2012. Вип. 72. С. 88–92.

7. Лихочвор В. В., Костючко С. С. Вплив строків сівби на урожайність цукрових буряків. Агробізнес сьогодні. 2015. URL: https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/558-vplyv-strokiv-sivby-na-urozhainist-tsukrovykh-buriakiv.html (дата звернення: 15.06.2026).

8. Мартинюк І. В. Буряки кормові: наукові та прикладні аспекти технології вирощування : монографія. Київ : Урожай, 2006. 217 с.

9. Методика проведення досліджень у буряківництві / за ред. М. В. Роїка, Н. Г. Гізбулліна. Київ : ФОП Корзун Д. Ю., 2014. 373 с.

10. Мотрук І. Н. Буряки кормові: біологія, технологія. Київ : Урожай, 2001. 232 с.

11. Овчарук В. І., Мулярчук О. І., М'ялковський Р. О., Безвіконний П. В. та ін. Поєднання позакореневого підживлення мікродобривами з фунгіцидами та їх вплив на біологічні параметри рослин буряка столового. Вісник Уманського національного університету садівництва. 2019. № 1. С. 70–75. DOI: https://doi.org/10.31395/2310-0478-2019-1-70-75

12. Овчарук В. І., Овчарук О. В., Євстафієва Ю. М., Бабій М. В. Врожайність і якість коренеплодів буряків кормових залежно від сорту в умовах Правобережного Лісостепу України. Агроекологічний журнал. 2025. № 3. С. 152–161. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2025.340787

13. Панасюк С. С., Крамар О. С., Бернацька М. І. Сортова агротехніка вирощування буряку кормового в північному Лісостепу. Інноваційний розвиток землеробства на засадах еколого-економічної збалансованості : матеріали Всеукр. інтернет-конф. Шубків : Інститут сільського господарства Західного Полісся НААН, 2023. С. 35–36.

14. Панасюк С. С., Крамар О. С., Мартинюк Н. М. Енергоощадні технології вирощування різних сортів буряку кормового в зоні Лісостепу. Аграрна освіта і наука: досягнення та перспективи розвитку : матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Біла Церква, 30 березня 2023 р.). Біла Церква : Білоцерківський НАУ, 2023. С. 160–161.

15. Присяжнюк О. І., Заришняк А. С., Сінченко В. М. та ін. Фотосинтетичні параметри посівів буряків цукрових у разі застосування заходів підвищення толерантності до посухового стресу в умовах Правобережного Лісостепу України. Новітні агротехнології. 2020. № 8. DOI: https://doi.org/10.47414/na.8.2020.285436

16. Рожков А. О., Пузік В. К., Каленська С. М. Дослідна справа в агрономії : навч. посіб. : у 2 кн. Кн. 1. Теоретичні аспекти дослідної справи / за ред. А. О. Рожкова. Харків : Майдан, 2016. 316 с.

17. Bezvikonnyi P., Myalkovsky R., Muliarchuk O., Tarasiuk V. Effectiveness of the combined application of micro-fertilizers and fungicides on the beets crops. Ukrainian Journal of Ecology. 2020. Vol. 10, No. 6. P. 28–37. DOI: https://doi.org/10.15421/2020_253

18. Chakwizira E., Meenken E. D., Maley S., George M., Hubber R., Morton J., Stafford A. Effects of potassium, sodium and chloride fertiliser rates on fodder beet yield and quality in Canterbury. Proceedings of the New Zealand Grassland Association. 2013. Vol. 75. P. 171–176. DOI: https://doi.org/10.33584/jnzg.2013.75.2905

19. Draycott A. P., Jaggard K. W. Sugar Beet Nutrition and Fertilizer Use. Dordrecht : Springer Science & Business Media, 2006. 254 p.

20. Khaembah E. N., Maley D., George M., Chakwizira E., de Ruiter J., Zyskowski R., Teixeira E. Crop growth and development dynamics of two fodder beet (Beta vulgaris L.) cultivars sown on different dates in New Zealand. New Zealand Journal of Agricultural Research. 2020. Vol. 63, No. 4. P. 449–466. DOI: https://doi.org/10.1080/00288233.2019.1692042

21. Wheadon N. M., Dalley D. E., Woods R. R. Variation in kale and fodder beet yield and quality over winter affects nutrient supply to non-lactating dairy cows at the Southern Dairy Hub. Journal of New Zealand Grasslands. 2023. Vol. 85. P. 109–118. DOI: https://doi.org/10.33584/jnzg.2023.85.3632

Bezvikonnyy P. V.
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Doctoral Student,
Associate Professor at the Department of Landscaping, Geodesy and Land Management,
Higher Educational Institution «Podillia State University»
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *bezvikonnuy777@gmail.com*
ORCID: *0000-0003-4922-1763*

FEATURES OF PRODUCTIVITY FORMATION IN FODDER BEET DEPENDING ON VARIETAL CHARACTERISTICS AND MINERAL NUTRITION LEVEL

Abstract

The article presents the results of long-term field experiments (2020–2024) aimed at investigating the influence of different rates and ratios of mineral fertilizers on the dynamics of root and leaf biomass formation in different fodder beet cultivars under the conditions of the Western Forest-Steppe of Ukraine. The study demonstrated that the application of mineral fertilizers significantly stimulated plant growth and development, promoting more intensive accumulation of aboveground and underground biomass throughout the growing season. The highest root and leaf biomass values were obtained under the fertilizer treatments $N_{150}P_{75}K_{225}$ and $N_{225}P_{75}K_{150}$. At harvest, the average root weight under the $N_{150}P_{75}K_{225}$ treatment reached 1053.1 g for the Sonet cultivar, 1131.1 g for Olzhych, and 1176.2 g for Starmon, exceeding the control by 20.5–27.1%. The most intensive development of the leaf apparatus was observed during the first decade of August, followed by an active translocation of assimilates from the leaves to the roots.

Cultivar characteristics had a significant effect on biomass accumulation intensity. The Starmon cultivar exhibited the highest productivity, outperforming the Sonet and Olzhych cultivars in both root and leaf biomass throughout the entire growing season. Balanced mineral nutrition, particularly with increased potassium application, was found to prolong the functional activity of the leaf apparatus, improve assimilate translocation, and enhance root growth.

*Correlation and regression analysis confirmed a strong positive relationship between leaf biomass and root weight (**$r = 0.881$; $R^2 = 0.776$**). An increase of 1 g in leaf biomass resulted in an average increase of 1.24 g in root weight, indicating the decisive role of assimilatory apparatus development in determining crop productivity.*

The obtained results confirm the effectiveness of optimizing mineral nutrition of fodder beet through the application of balanced fertilizer rates with an increased potassium content. The fertilizer treatments $N_{150}P_{75}K_{225}$ and $N_{225}P_{75}K_{150}$ proved to be the most effective, ensuring the best plant growth, maximum biomass accumulation, and the highest realization of the crop's productive potential. The Starmon cultivar exhibited the most pronounced response to improved mineral nutrition, forming the highest biometric parameters and root weight.

Key words: *fodder beet, mineral fertilizers, root crop, leaf biomass, productivity, cultivar, correlation analysis.*

References

1. Balan V. M., Balahura O. V., Volokha M. P. (2020). Adaptyvna tekhnolohiia vyroshchuvannia matochnykiv i nasinnykiv buriakiv kormovykh [Adaptive technology for growing fodder beet mother roots and seed plants]. Bioenerhetyka – Bioenergy, no. 1. pp. 21–23. DOI: https://doi.org/10.47414/be.1.2020.224942 [in Ukrainian].
2. Bezvikonnyi P. V. (2025). Fotosyntetychna diialnist roslyn buriaka kormovoho zalezhno vid vplyvu mineralnykh dobryv [Photosynthetic activity of fodder beet plants depending on the influence of mineral fertilizers]. Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika – Podilian Bulletin: Agriculture, Engineering, Economics, iss. 46(1). pp. 19–25. DOI: https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-1.2 [in Ukrainian].
3. Bezvikonnyi P. V. (2025). Dynamika vmistu khlorofiliv u lystkakh buriakiv kormovykh v umovakh zakhidnoho Lisostepu [Dynamics of chlorophyll content in fodder beet leaves under the conditions of the Western Forest-Steppe]. Ahrarni innovatsii – Agrarian Innovations, no. 30. pp. 30–34. DOI: https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.30.4 [in Ukrainian].
4. Harmashov V. V., Stan D. S. (2014). Osoblyvosti fotosyntetychnoi diialnosti roslyn kormovoho buriaka zalezhno vid umov vyroshchuvannia [Features of photosynthetic activity of fodder beet plants depending on cultivation conditions]. Ahrarnyi visnyk Prychornomoria. Silskohospodarski nauky – Agrarian Bulletin of the Black Sea Region. Agricultural Sciences, iss. 71. pp. 19–25. [in Ukrainian].
5. Demydas H. I., Burko L. M. (2011). Vplyv elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia na osoblyvosti formuvannia urozhaiu buriakiv kormovykh [Influence of cultivation technology elements on the peculiarities of fodder beet yield formation]. Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu – Collection of Scientific Works of Vinnytsia National Agrarian University, iss. 7(47). pp. 17–20. [in Ukrainian].
6. Demydas H. I., Burko L. M. (2012). Urozhainist ta yakist hychky buriakiv kormovykh zalezhno vid elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia [Yield and quality of fodder beet tops depending on cultivation technology elements]. Kormy i kormovyrobnytstvo – Feeds and Feed Production, iss. 72. pp. 88–92. [in Ukrainian].
7. Lykhochvor V. V., Kostiuchko S. S. (2015). Vplyv strokiv sivby na urozhainist tsukrovykh buriakiv [Influence of sowing dates on sugar beet yield]. Ahrobiznes sohodni – Agribusiness Today. Available at: https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/558-vplyv-strokiv-sivby-na-urozhainist-tsukrovykh-buriakiv.html (accessed 15 June 2026). [in Ukrainian].
8. Martyniuk I. V. (2006). Buriaky kormovi: naukovi ta prykladni aspekty tekhnolohii vyroshchuvannia [Fodder beet: scientific and applied aspects of cultivation technology]. Kyiv : Urozhai. [in Ukrainian].
9. Roik M. V., Hizbullin N. H. (Eds.). (2014). Metodyka provedennia doslidzhen u buriakivnytstvi [Methods of conducting research in sugar beet growing]. Kyiv : FOP Korzun D. Yu. [in Ukrainian].
10. Motruk I. N. (2001). Buriaky kormovi: biolohiia, tekhnolohiia [Fodder beets: biology, technology]. Kyiv : Urozhai. [in Ukrainian].

11. Ovcharuk V. I., Muliarchuk O. I., Myalkovskyi R. O., Bezvikonnyi P. V. et al. (2019). Poiednannia pozakorenevoho pidzhyvlennia mikrodobryvamy z funhitsydamy ta yikh vplyv na biolohichni parametry roslyn buriaka stolovoho [Combined foliar fertilization with micronutrients and fungicides and its influence on biological parameters of table beet plants]. Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva – Bulletin of Uman National University of Horticulture, no. 1. pp. 70–75. DOI: https://doi.org/10.31395/2310-0478-2019-1-70-75 [in Ukrainian].

12. Ovcharuk V. I., Ovcharuk O. V., Yevstafiieva Yu. M., Babii M. V. (2025). Vrozhainist i yakist koreneplodiv buriakiv kormovykh zalezhno vid sortu v umovakh Pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Yield and quality of fodder beet roots depending on cultivar under the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. Ahroekolohichnyi zhurnal – Agroecological Journal, no. 3. pp. 152–161. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2025.340787 [in Ukrainian].

13. Panasiuk S. S., Kramar O. S., Bernatska M. I. (2023). Sortova ahrotekhnika vyroshchuvannia buriaku kormovoho v pivnichnomu Lisostepu [Varietal cultivation technology of fodder beet in the Northern Forest-Steppe]. Innovatsiinyi rozvytok zemlerobstva na zasadakh ekoloho-ekonomichnoi zbalansovanosti: materialy Vseukrainskoi internet-konferentsii – Innovative Development of Agriculture Based on Ecological and Economic Sustainability: Proceedings of the All-Ukrainian Internet Conference. Shubkiv. pp. 35–36. [in Ukrainian].

14. Panasiuk S. S., Kramar O. S., Martyniuk N. M. (2023). Enerhooshchadni tekhnolohii vyroshchuvannia riznykh sortiv buriaku kormovoho v zoni Lisostepu [Energy-saving technologies for growing different fodder beet cultivars in the Forest-Steppe zone]. Ahrarna osvita i nauka: dosiahnennia ta perspektyvy rozvytku: materialy IV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii – Agricultural Education and Science: Achievements and Development Prospects: Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference. Bila Tserkva. pp. 160–161. [in Ukrainian].

15. Prysiazhniuk O. I., Zaryshniak A. S., Sinchenko V. M. et al. (2020). Fotosyntetychni parametry posiviv buriakiv tsukrovykh u razi zastosuvannia zakhodiv pidvyshchennia tolerantnosti do posukhovoho stresu v umovakh Pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Photosynthetic parameters of sugar beet crops under measures to improve drought stress tolerance in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. Novitni ahrotekhnolohii – Advanced Agritechnologies, no. 8. DOI: https://doi.org/10.47414/na.8.2020.285436 [in Ukrainian].

16. Rozhkov A. O., Puzik V. K., Kalenska S. M. (2016). Doslidna sprava v ahronomii: navchalnyi posibnyk. Kn. 1. Teoretychni aspekty doslidnoi spravy [Research work in agronomy: textbook. Book 1. Theoretical aspects of research]. Kharkiv : Maidan. [in Ukrainian].

17. Bezvikonnyi P., Myalkovsky R., Muliarchuk O., Tarasiuk V. (2020). Effectiveness of the combined application of micro-fertilizers and fungicides on the beets crops. Ukrainian Journal of Ecology, 10(6). pp. 28–37. DOI: https://doi.org/10.15421/2020_253

18. Chakwizira E., Meenken E. D., Maley S., George M., Hubber R., Morton J., Stafford A. (2013). Effects of potassium, sodium and chloride fertiliser rates on fodder beet yield and quality in Canterbury. Proceedings of the New Zealand Grassland Association, 75. pp. 171–176. DOI: https://doi.org/10.33584/jnzg.2013.75.2905.

19. Draycott A. P., Jaggard K. W. (2006). Sugar Beet Nutrition and Fertilizer Use. Dordrecht : Springer Science & Business Media.

20. Khaembah E. N., Maley D., George M., Chakwizira E., de Ruiter J., Zyskowski R., Teixeira E. (2020). Crop growth and development dynamics of two fodder beet (Beta vulgaris L.) cultivars sown on different dates in New Zealand. New Zealand Journal of Agricultural Research, 63(4). pp. 449–466. DOI: https://doi.org/10.1080/00288233.2019.1692042.

21. Wheadon N. M., Dalley D. E., Woods R. R. (2023). Variation in kale and fodder beet yield and quality over winter affects nutrient supply to non-lactating dairy cows at the Southern Dairy Hub. Journal of New Zealand Grasslands, 85. pp. 109–118. DOI: https://doi.org/10.33584/jnzg.2023.85.3632.

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 01.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 31.08.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026

УДК 633.16«321»: 631.811.9: 631.816.35: 631.547.6
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-2

Гораш В. О.
аспірант кафедри рослинництва, селекції та насінництва,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: *horashv01@gmail.com*
ORCID: *0009-0004-0310-1672*

ПРОЦЕС НАКОПИЧЕННЯ МАСИ ЗЕРНІВКИ ЯЧМЕНЮ ЯРОГО ЗАЛЕЖНО ВІД ВПЛИВУ ЗАСТОСУВАННЯ ЛИСТКОВОГО ПІДЖИВЛЕННЯ РОСЛИН МІКРОДОБРИВОМ

Анотація

Метою досліджень було встановити вплив листкового підживлення ячменю ярого мікродобривом GelyFLOW на процес формування урожаю за третім структурним компонентом урожайності. Дослідити процес динаміки накопичення маси зернівки ячменю при триразовому підживленні рослин. Методи – польовий, лабораторний, аналітичний, узагальнено-конкретизований. Об'єкт досліджень – процес динаміки накопичення маси зернівки ячменю ярого сорту Сєбастьян. Тип ґрунтів – темно-сірий опідзолений. Норма використання добрива GelyFLOW 1,5 л/га, у відповідності робочого розчину 200 л/га.

За результатами досліджень доведено, що листкове підживлення рослин ячменю ярого є фактором ефективного впливу на параметр маси зернівки як інтегрального компонента структури урожайності, який належить до важливих агроприйомів технологічного характеру в забезпеченні посилення процесу реалізації потенціала продуктивності генеративних органів культури.

Триразове листкове підживлення рослин ячменю ярого мікродобривом GelyFLOW два рази під час кущіння рослин та третій перед настанням фази цвітіння, істотно сприяє інтенсивності накопичення маси зернівки. Встановлені істотні розходження показників порівняно даних варіанта досліду, де застосування мікродобрива відбувалося два рази під час процесу кущіння. На початковому стартовому етапі розвитку зернівки показник її маси був вищим на 0,4 мг, через 7 днів істотна різниця даних становила на рівні 2,8 мг, за третього дослідження на 14 день результати за варіанта триразового застосування мікродобрива були більшими на 3,1 мг, за четвертого – на 2,8 мг і за п'ятого – на 2,4 мг. Реалізація потенціала репродуктивних органів ячменю ярого характеризується максимальною інтенсивністю накопичення маси зернівки на початку фази наливу зерна. При додатковому застосуванні мікродобрива перед настанням фази цвітіння за перші 7 днів від початку наливу зернівки приріст становив на рівні 21,8 мг. В подальшому за кожні наступні 7 днів відбувалося зниження інтенсивності накопичення маси зернівки, що стверджується відповідно показниками 11,0 мг, 7,8 мг та 6,6 мг за четвертого циклу розвитку. За дворазового застосування листкового підживлення ячменю під час фази кущіння рослин процес накопичення маси зернівки характеризується аналогічною закономірністю. Позакореневе підживлення за порівняння двох варіантів застосування мікродобрива GelyFLOW не змінює загальну динаміку формування урожаю за третім складовим компонентом урожайності, проте третє застосування листкового підживлення рослин перед початком цвітіння забезпечує стабільно вищі абсолютні показники маси зернівки на кожному аналітичному процесі дослідження.

Ключові слова: *ячмінь ярий, налив зерна, маса зернівки, листкове підживлення, GelyFLOW, репродуктивні органи, динаміка накопичення маси.*

Вступ. Вирощування ячменю ярого на темно-сірих опідзолених ґрунтах для забезпечення високої урожайності зерна за сучасного розвитку технологій вимагає додаткових технологічних рішень. Особливого значення сьогодні надається питанню фоліарного підживлення рослин мікродобривами під час вегетації. Це дає можливість не лише впливати на ріст та розвиток рослин, але і заразом сприяє реалізації потенціала продуктивності елементів структури урожайності та забезпечує досягнення належної якості урожаю, особливо за напрямком використання його на потреби малтерів.

Перелік науково-технологічних інтересів до зернової культури ячменю ярого досить обширний. Останнім часом досить широкої популярності набули зусилля спрямовані на дослідження застосування листкового підживлення рослин ячменю та багатьох інших сільськогосподарських культур, різних за спрямуванням використання отриманої продукції в процесі вирощування. В узагальненому значенні виробництво зерна зернових культур, в тому числі ячменю відіграє важливу роль у забезпеченні продовольчої безпеки. Позакореневе підживлення рослин належить до інноваційних рішень у забезпеченні надійності та стабільності технологій аграрного сектора економіки. З урахуванням обставин необхідності підвищення урожайності сільськогосподарських культур в наукових публікаціях наголошується на ефективність позакореневого підживлення рослин мікродобривами. Мікродобрива містять комплекс мікроелементів, які є складовою частиною простетичних груп ферментів посилюючи завдяки цьому обмін речовин, що сприяє активізації процесів росту та розвитку в рослинному організмі.

© Гораш В. О., 2026

Фоліарне (позакореневе) підживлення ярого ячменю сьогодні вважається критичним елементом інтенсивної технології. Такий агрозахід забезпечує швидку компенсацію дефіциту елементів живлення під час вегетації рослин через листки. Позакореневе підживлення ячменю ярого стимулює кущення, забезпечує кращу озерненість колоса, сприяє подоланню стресів та сприяє збалансованому вмісту білка і крохмалю під час формування урожаю.

Доцільність листкового підживлення зернових культур, зокрема ячменю належить до технологічного заходу швидкого реагування, який обумовлюється кількома ключовими факторами: стресові умови, умови недоступності макро- (фосфор) та мікроелементів (мідь, марганець, цинк) навіть тоді, коли вони є в ґрунті, критичні фази розвитку: початок кущення, вихід в трубку, цвітіння. Також ефективністю методу: швидке засвоєння через листкову поверхню (в межах кількох годин), застосування мікродоз саме тоді, коли рослина їх потребує, уникаючи вимивання або фіксації ґрунтовопоглинальними комплексами, надійний спосіб впливу на якість зерна [3; 7; 11].

Відповідно в наукових публікаціях за результатом аналітики їх змісту достатньо багато нині надається уваги цьому технологічному заходу, (фоліарному) живленню рослин. Зокрема, звертається увага на те, що оптимізація мінерального живлення, застосовуючи листкове підживлення, забезпечує процес розвитку технологій вирощування та заразом сприяє підвищенню ефективності аграрного виробництва. Автори публікації «Позакореневе підживлення як ефективний спосіб підвищення продуктивності сільськогосподарських культур» наголошують, що позакореневе підживлення рослин в процесі вирощування сприяє не тільки підвищенню урожайності пшениці, кукурудзи, ячменю, жита, вівса, проса, але і забезпечує покращення якості вирощеної продукції. Важливим аспектом результативної компоненти є також стимуляція фізіологічних та біохімічних процесів, внаслідок цього відбувається позитивний вплив на реалізацію елементів продуктивності складових структури урожайності [6; 8; 9].

Наприклад, на основі наукових досліджень встановлено, що застосування триразового листкового підживлення мікродобривом рослин пшениці під час фаз кущення, виходу в трубку та колосіння препаратом Вуксал Мікроплант (1,0 л/га) у фази – кущіння, вихід у трубку, початок колосіння позитивно впливало на якісні показники зерна. В результаті зростає ваговитість маси 1000 зернин пшениці на 1,8–3,3 г та збільшується вміст клейковини на 3,4–8,8% порівняно до контрольного варіанта [1].

Також доведено науковцями України про ефективність застосування фоліарного підживлення рослин пшениці озимої при вирощуванні на сірих лісових опідзолених ґрунтах. В дослідженнях ставилося завдання поєднати звичайне удобрення з позакореневим за впливом на формування складових компонентів продуктивності колоса. З'ясувалося, що підживлення рослин мікродобривом на IV-V етапах органогенезу сприяє покращенню натури зерна, скловидності, збільшенню вмісту білка та клейковини в зерні [5].

В публікаціях, які присвячені спеціальному випуску «Позакореневе удобрення для сталого виробництва сільськогосподарських культур», надається увага впливу фоліарного підживлення мікроелементами на врожайність та компоненти врожайності ячменю ярого за спрямуванням використання вирощеного урожаю малтерами. Поставлено завдання забезпечити позакореневим підживленням рослин посилення реалізації потенціала продуктивності дворядних сортів ячменю ярого на основі застосування листкового підживлення рослин чотирма однокомпонентними мікродобрива. До переліку таких належать такі, які містять мідь (Cu), марганець (Mn), молібден (Mo) та цинк (Zn). Теоретичне обґрунтування покладалося на вплив мікроелеметів на процеси метаболізму рослин в якості коферментативної складової ферментів.

У результаті проведених експериментів було встановлено вплив на продуктивність посівів пивоварних сортів ячменю позакореневого підживлення рослин однокомпонентними мікродобрива на основі позитивних змін складових структурних компонентів урожайності зерна [10]. Науковими дослідженнями доведено про вплив листкового підживлення рослин ячменю ярого мікродобривом на параметри маси зернівки, а також встановлено, що цей агротехнологічний захід сприяє покращенню пивоварної якості зерна ячменю [2; 4].

Мета дослідження: встановити вплив листкового підживлення рослин ячменю ярого фоліарним добривом GelyFLOW на формування урожаю за третім елементом структури урожайності. Дослідити накопичення маси зернівки в динамічному процесі її розвитку при триразовому листковому підживлені рослин добривом порівняно варіанта дворазового його застосування.

Матеріал та методика досліджень. Для дослідження впливу використано фоліарне висококонцентроване добриво у формі гелю GelyFLOW 9-44-20, яке містить специфічне співвідношення макроелементів з акцентом на фосфор, калій та комплекс мікроелементів B, Cu, Mn, Zn, Fe збалансованої концентрації. В організації експериментальних досліджень застосовані методи: польовий, лабораторний, аналітичний, узагальнення та конкретизації. Об'єкт досліджень – процес динаміки накопичення маси зернівки ячменю ярого сорту Сєбастьян за триразового застосування добрива GelyFLOW: перше – на початку фази кущіння рослин, друге – через 14–15 днів, третє – перед настанням фази цвітіння. Контрольний варіант – дворазове застосування мікродобрива лише під час кущіння рослин, без обробітку рослин перед цвітінням. Норма використання гелю GelyFLOW 1,5 л/га у відповідності робочого розчину 200 л/га. Встановлення показників маси зернівки здійснювали за умови її повітряно-сухого стану. Перше дослідження проводили на початковому стані її розвитку через 7 днів після завершення фази цвітіння. Наступні чотири дослідження проводили після першого на 7 день формування урожаю, 14, 21 та 28 день. Для встановлення показників маси зернівки використовували торсійну вагу ВТ – 500, вибірка становила в кількості 50 шт. зернин. Відбір рослин для дослідження рендомізований, фон мінерального живлення

при внесенні $N_{15}P_{15}K_{15}$. Розміщення ділянок систематизоване ярусне, площа облікової ділянки 20 м^2. Тип ґрунту темно-сірий опідзолений. Математичні розрахунки проведено на основі використання статистичного критерію Стьюдента за теоретичного значення 1,986 на рівні значимості похибки до 5,0%.

Виклад основного матеріалу дослідження. Налив та дозрівання зерна ячменю починається відразу після завершення процесу цвітіння і запліднення, коли в зернівці запускається активне накопичення сухої речовини, крохмалю та білків. У процесі формування врожаю виділяють три основні фенологічні фази стиглості, які відповідають міжнародній шкалі ВВСН від 71 до 92.

За першого аналізу через 7 днів після фази розвитку цвітіння. Розміри зерна досягли остаточних параметрів, за вмістом в середині плівок, зернівка займає менше половини від загального розміру, колір зелений, консистенція водяниста. Встановлено через 7 днів після завершення фази цвітіння, маса початкового розвитку зернівки при застосуванні триразового фоліарного добрива була істотно більшою порівняно контрольного варіанта. У 2024 році різниця між показником при триразовому застосуванні добрива 5,8 ± 0,17 мг та показником 5,3 ± 0,15 мг контрольного варіанта за дворазового застосування мікродобрива становила 0,5 мг. Різниця істотна при встановленому $t_ф = 2,21 > t_{0,05} = 1,986$. За порівняння показників маси зернівки при її формуванні через 7 днів після першого аналізу різниця даних варіантів триразового і дворазового застосування листкового добрива становила 3,6 мг. Встановлені показники 27,2 ± 0,91 та 23,6 ± 0,89 відповідно при статистичних даних критерію Стьюдента за порівняння істотно різняться ($t_ф = 2,83 > t_{0,05} = 1,986$). На 14 день від початку наливу зернин ячменю ярого показники становили у відповідності варіантів порівняння зазначених вище 37,8 ± 1,04 мг та 34,0 ± 0,76. Різниця 3,8 мг істотна при $t_ф = 2,95 > t_{0,05} = 1,986$. На 21 день також встановлена істотна різниця даних маси сухої зернівки ячменю за більшого значення при застосуванні триразового листкового підживлення рослин під час вегетації мікродобривом. Отримані показники 45,8 ± 1,02 та 42,8 ± 0,85 мг відповідно, різниця 3,0 мг істотна ($t_ф = 2,26 > t_{0,05} = 1,986$). На 28 день від початку наливу зернівки, за аналогічного порівняння показники становили 52,7 ± 0,80 та 50,4 ± 0,78, відповідно. Різниця 2,3 мг істотна при встановленому $t_ф = 2,06 > t_{0,05} = 1,986$ (табл. 1, 2).

Таблиця 1. Результати впливу триразового застосування фоліарного добрива GelyFLOW на процес накопичення маси зернівки при формуванні урожаю ячменю ярого

Роки	Параметри маси зернівки, мг				
	початок наливу	на 7 день	на 14 день	на 21 день	на 28 день
2024	5,8 ± 0,17	27,2 ± 0,91	37,8 ± 1,04	45,8 ± 1,02	52,7 ± 0,80
2025	6,7 ± 0,13	27,3 ± 0,97	38,8 ± 1,00	46,7 ± 1,10	53,1 ± 0,61
2026	6,2 ± 0,16	29,4 ± 0,45	40,3 ± 0,86	48,0 ± 0,37	54,4 ± 0,94
Середнє	6,2	28,0	39,0	46,8	53,4

У 2025 році аналіз даних за різницевого порівняння засвідчує аналогічну закономірність. Кращі результати посиленого наливу зернівки ячменю отримані при застосуванні мікродобрива за технологічного організованого триразового прийому листкового підживлення рослин. Зокрема, на 7 день після фази цвітіння за порівняння даних на початку наливу маси зернівки ячменю ярого 6,7 ± 0,13 та 6,3 ± 0,13 істотна різниця між показниками становила 0,4 мг ($t_ф = 2,18 > t_{0,05} = 1,986$). На 7 день від початку наливу зернівки за порівняння даних триразового застосування листкового підживлення рослин ячменю мікродобривом GelyFLOW 27,3 ± 0,97 та контрольного варіанта дворазового застосування 24,9± 0,37, істотна різниця становила 2,4 мг при $t_ф = 2,31 > t_{0,05} = 1,986$. На 14 день за проведеного аналізу отримані показники 38,8 ± 1,00 та 35,9 ± 0,48, де різниця за порівняння становила 2,9 мг і була істотна ($t_ф = 2,61 > t_{0,05} = 1,986$). На 21 день формування зернівки ячменю також показники маси при застосуванні триразового листкового підживлення рослин мікродобривом були істотно більшими. Встановлені значення 46,7 ± 1,10 та 44,0 ± 0,57, де різниця даних за порівняння становила 2,7 мг при $t_ф = 2,18 > t_{0,05} = 1,986$. На 28 день формування урожаю ячменю за третім компонентом структури урожайності за порівняння показників маси зернівки також встановлено істотно більші значення для варіанта триразового застосування листкового підживлення рослин. При отриманих показниках 53,1 ± 0,61 та 50,7 ± 0,43 різниця 2,4 мг була істотна ($t_ф = 3,22 > t_{0,05} = 1,986$).

Таблиця 2. Процес накопичення маси зернівки ячменю ярого за третім елементом структури урожайності при дворазовому застосуванні фоліарного мікродобрива GelyFLOW

Роки	Параметри маси зернівки, мг				
	початок наливу	на 7 день	на 14 день	на 21 день	на 28 день
2024	5,3 ± 0,15	23,6 ± 0,89	34,0 ± 0,76	42,8 ± 0,85	50,4 ± 0,78
2025	6,3 ± 0,13	24,9 ± 0,37	35,9 ± 0,48	44,0 ± 0,57	50,7 ± 0,43
2026	5,7 ± 0,14	27,0 ± 0,41	37,7 ± 0,66	45,3 ± 0,72	51,9 ± 0,83
Середнє	5,8	25,2	35,9	44,0	51,0

У 2026 році аналіз отриманих даних за аналогічних варіантів порівняння. На 7 день після завершення фази цвітіння за порівняння даних на початку наливу зерна параметри маси зернівки 6,2 ± 0,16 та 5,7 ± 0,14 істотно

різняться. Різниця становить 0,5 мг за статистичного значення критерію Стьюдента $t_ф = 2,35 > t_{0,05} = 1,986$. Через 7 днів після першого аналізу різниця між отриманими даними 29,4 ± 0,45 та 27,0 ± 0,41 істотна і становила 2,4 мг ($t_ф = 3,94 > t_{0,05} = 1,986$). Аналогічний порівняльний різницевий аналіз даних при отриманні результатів на 14 день формування маси зернівки ячменю показав результативний вплив трьохразового застосування мікродобрива під час вегетації рослин ячменю. Встановлені показники 40,3 ± 0,86 та 37,7 ± 0,66, де істотна різниця становила 2,6 мг ($t_ф = 2,40 > t_{0,05} = 1,986$). На 21 день розвитку зернівки ячменю показник маси сухого зерна при застосуванні триразового підживлення рослин добривом становив 48,0 ± 0,37 та при дворазовому застосуванні – 45,3 ± 0,72. Різниця за порівняння 2,7 мг була істотна при $t_ф = 3,34 > t_{0,05} = 1,986$. І на 28 день при завершенні процесу розвитку зернівки ячменю аналогічно виявлено кращі показники її маси при застосуванні трьохразового позакореневого підживлення рослин мікродобривом. Різниця 2,5 мг за отриманих даних 54,4 ± 0,94 та 51,9 ± 0,83 істотна ($t_ф = 2,00 > t_{0,05} = 1,986$).

Отже, встановлено закономірність істотного впливу на процеси реалізації потенціала репродуктивних органів ячменю ярого за параметром маси зернівки в результаті застосування триразового листкового підживлення рослин мікродобривом GelyFLOW під час вегетації рослин порівняно до варіанта дворазового застосування мікродобрива. На основі аналізу на початку наливу зернівки, на 7 день від початку наливу, на 14, 21, 28 день до завершення її розвитку, отримані істотні результати різниць показників при порівнянні до даних варіанта дворазового застосування листкового підживлення рослин. Відповідно середньоарифметичні значення маси зернівки становлять: на початку наливу, далі на 7, 14, 21 та 28 день при триразовому варіанті застосування 6,2; 28,0; 39,0; 46,8; 53,4 мг, на варіанті дворазового застосування листкового підживлення рослин під час вегетації відповідно 5,8; 25,2; 35,9; 44,0; 51,0 мг. Отримані істотні значення різниць; за першого аналізу на рівні 0,4 мг, за наступних порівнянь другого, третього, четвертого, п'ятого аналізів маси зернівки ячменю ярого на рівні 2,8; 3,1; 2,8; 2,4 мг.

Характеристика динамічних змін процесу наростання маси зернівки ячменю ярого під час формування урожаю за результатом впливу застосування триразового листкового підживлення рослин мікродобривом GelyFLOW. У 2024 році збільшення маси зернівки через 7 днів порівняно до першого дослідження на початку фази наливу забезпечило істотну різницю 21,4 мг за отриманого показника 27,2 ± 0,91 мг, що доводить статистичний розрахунок $t_ф = 23,1 > t_{0,05} = 1,986$. На 14 день параметри маси зернівки збільшилися до значення 37,8 мг, порівняно до попереднього отриманого значення істотна різниця становить 10,6 мг ($t_ф = 7,67 > t_{0,05} = 1,986$). На 21 день дослідження встановлене значення показника маси зернівки 45,8 ± 1,02 що звертає увагу на динамічний процес формування урожаю ячменю ярого за третім елементом структури урожайності. Проте інтенсивність наливу зерна в результаті задіяного фактора впливу зменшилася, так як істотна різниця між параметрами 45,8 ± 1,02 та 37,8 ± 1,04 стала меншою порівняно до попереднього варіанта порівняння і становила лише 8,0 мг при $t_ф = 5,49 > t_{0,05} = 1,986$. Результат аналізу на 28 день після початку наливу зернівки був на рівні показника 52,7 ± 0,80 мг, різниця порівняно до попереднього значення 45,8 ± 1,02 істотна і становить 6,9 мг ($t_ф = 5,32 > t_{0,05} = 1,986$).

Для результатів 2025 року характерна аналогічна закономірність процесу накопичення маси зернівки ячменю ярого при застосуванні триразового листкового підживлення рослин під час їх розвитку. На початку наливу зерна показник становив 6,7 ± 0,13 мг, через 7 днів – 27,3 ± 0,97 мг. Різниця накопичення істотна і становить 20,6 мг ($t_ф = 21,05 > t_{0,05} = 1,986$). Наступний аналіз маси зернівки через 14 днів від початку наливу забезпечив показник 38,8 ± 1,00 з різницею накопичення 11,5 мг ($t_ф = 8,25 > t_{0,05} = 1,986$). Через 21 день після початку наливу маса зернівки становила 46,7 ± 1,10 і була істотно більшою порівняно до попереднього показника на 7,9 мг ($t_ф = 5,31 > t_{0,05} = 1,986$). І на 28 день процесу наливу зернівки ячменю в результаті застосування листкового підживлення рослин параметр показника становив 53,1 ± 0,61, що істотно більше попереднього значення на 6,4 мг при $t_ф = 5,09 > t_{0,05} = 1,986$.

За даними 2026 року також процес накопичення маси зернівки відповідає встановленому порядку закономірності отриманої за експериментальними даними 2024 та 2025 років. За першого аналізу показник становив 6,2 ± 0,16 мг, за другого через 7 днів 29,4 ± 0,45 мг, різниця 23,2 мг ($t_ф = 48,58 > t_{0,05} = 1,986$). На 14 день наливу зернівки параметр був на рівні 40,3 ± 0,86 мг, що істотно більше порівняно до показника 29,4 ± 0,45 мг на 10,9 мг ($t_ф = 11,23 > t_{0,05} = 1,986$). На 21 день наливу зерна ячменю маса зернівки становила 48,0 ± 0,37 і була більшою за показник отриманий на 14 день на 7,7 мг, різниця істотна при $t_ф = 8,22 > t_{0,05} = 1,986$. На завершенні процесу формування урожаю маса зернівки на 28 день встановлений показник 54,4 ± 0,94 мг, який був істотно більшим за попереднє значення 48,0 ± 0,37 на 6,4 мг ($t_ф = 6,34 > t_{0,05} = 1,986$).

Отже, при триразовому листковому підживленні рослин добривом GelyFLOW в процесі формування урожаю ячменю ярого за аналізом динамічного накопичення маси зернівки під час фази наливу зерна між показником отриманим на 7 день після початку наливу та показником отриманим на початку наливу в середньому встановлена максимальна різниця 21,8 мг. За порівняння даних маси зернівки отриманих на 14 день та на 7 день різниця значно менша – 11,0 мг. Наступне порівняння даних отриманих на 21 день та 14 день характеризується різницею 7,8 мг. На завершенні процесу наливу зерна параметр маси зернівки на 28 день збільшився на 6,6 мг порівняно до даних отриманих на 21 день формування урожаю. В середньому за три роки за встановлених показників динаміки накопичення маси зернівки різницевий аналіз характеризується значеннями 21,8; 11,0; 7,8 та 6,6 мг, які характеризують процес закономірного поступового зниження інтенсивності реалізації потенціалу продуктивності третього елемента структури урожайності зерна ячменю ярого.

Аналіз динаміки накопичення маси зернівки ячменю ярого за умови варіанта застосування мікродобрива лише два рази – на початку процесу кущіння і другий раз через 15 днів після першого застосування листкового підживлення рослин. У 2024 році різниця даних накопичення маси зернин першого та другого аналізу проведеного через сім днів після першого становить 18,3 мг за даними отриманих показників 5,3 ± 0,15 та 23,6 ± 0,89 є достовірною, відповідно $t_ф = 20,28 > t_{0,05} = 1,986$. За порівняння показників третього аналізу 34,0 ± 0,76 та другого 23,6 ± 0,89 різниця також істотна 10,4 мг при $t_ф = 8,89 > t_{0,05} = 1,986$. Наступне порівняння також показує істотну різницю 8,8 мг між даними отриманими за четвертого аналізу маси зернівки та третього, де показники становили 42,8 ± 0,85 та 34,0 ± 0,76 ($t_ф = 7,72 > t_{0,05} = 1,986$). На завершенні процесу накопичення маси зернівки отримано значення показника 50,4±0,78, яке істотно більше порівняно до попереднього показника 42,8±0,85 отриманого за четвертого аналізу на 7,6 мг ($t_ф = 6,59 > t_{0,05} = 1,986$).

За даними 2025 року при проведенні аналізу динаміки накопичення маси зернівки отримано аналогічну закономірність. Через сім днів після першого аналізу маса зернівки збільшилася на 18,6 мг, що встановлено в результаті різницевого аналізу даних 24,9 ± 0,37 та 6,3 ± 0,13 ($t_ф = 47,43 > t_{0,05} = 1,986$). За порівняння даних третього та другого аналізів 35,9 ± 0,48 та 24,9 ± 0,37 різниця 11,0 мг істотна ($t_ф = 18,15 > t_{0,05} = 1,986$). За четвертого аналізу дослідження динаміки накопичення маси зернівки отримано показник 44,0 ± 0,57 порівняно до даних маси зернівки третього аналізу різниця 8,1 мг істотна ($t_ф = 10,87 > t_{0,05} = 1,986$). І за п'ятого аналізу через 7 днів після четвертого показник становив 50,7 ± 0,43, що істотно більше порівняно до даних четвертого параметра маси зернівки на 6,7 мг ($t_ф = 9,38 > t_{0,05} = 1,986$).

Аналіз даних динаміки накопичення маси зернівки ячменю ярого 2026 року показує, що за першого встановлення маси зернівки після завершення фази цвітіння через 7 днів отримано показник 5,7 ± 0,14 мг, за сім днів після першого аналізу маса зернівки збільшилася до 27,0 ± 0,41 мг. Різниця істотна 21,3 мг при $t_ф = 49,16 > t_{0,05} = 1,986$. Наступний третій аналіз через сім днів після другого показав результат збільшення маси зернівки на 10,7 мг за отриманого показника 37,7 ± 0,66. Різниця істотна при $t_ф = 13,77 > t_{0,05} = 1,986$. За четвертого аналізу динаміки накопичення маси зернівки отримано показник 45,3 ± 0,72, що забезпечило збільшення маси зернівки на 7,6 мг. Різниця істотна при $t_ф = 7,78 > t_{0,05} = 1,986$. При останньому аналізі динаміки накопичення маси зернівки через сім днів після четвертого отримано показник 51,9 ± 0,83. Збільшення маси зернівки ячменю становило лише 6,6 мг порівняно до даних отриманих за четвертого аналізу. Різниця істотна $t_ф = 6,01 > t_{0,05} = 1,986$.

Отже, реалізація продуктивності колоса ячменю на основі аналізу накопичення маси зернівки в динамічному процесі закономірних змін за умови застосування листкового підживлення рослин мікродобривом GelyFLOW лише два рази під час кущіння рослин характеризується особливістю інтенсивного збільшення маси зернівки з самого початку з наступним поступовим зниженням інтенсивності цього процесу. Максимальне значення різниці даних отримано між другим та першим виміром – початок наливу зерна та через 7 днів після нього становило 19,4 мг. Через 7 днів від другого аналізу показник маси зернівки збільшився в середньому на 10,7 мг, за наступних 7 днів приріст маси зернівки становив 8,1 мг і на завершенні процесу накопичення маси зернівки на 28 день аналіз показав приріст маси 7,0 мг порівняно до даних отриманих на 21 день формування урожайності зерна ячменю ярого. В середньому за три роки за встановлених показників динаміки накопичення маси зернівки різницевий аналіз характеризується значеннями 19,4; 10,7; 8,1 та 7,0 мг, що засвідчує поступовий процес закономірності зниження інтенсивності реалізації потенціалу продуктивності третього елемента структури урожайності зерна ячменю ярого.

Висновки. Триразове листкове підживлення рослин ячменю ярого мікродобривом GelyFLOW два рази під час кущіння рослин та третій перед настанням фази цвітіння істотно сприяє інтенсивності накопичення маси зернівки. Встановлені істотні розходження показників порівняно до даних варіанта досліду, де застосування мікродобрива відбувалося два рази під час процесу кущіння. На початковому стартовому етапі розвитку зернівки показник її маси був вищим на 0,4 мг, через 7 днів істотна різниця даних становила на рівні 2,8 мг, за третього дослідження на 14 день результати за варіанта триразового застосування мікродобрива були більшими на 3,1 мг, за четвертого – на 2,8 мг і за п'ятого – на 2,4 мг.

Реалізація потенціала репродуктивних органів ячменю ярого характеризується максимальною інтенсивністю накопичення маси зернівки на початку фази наливу зерна. При додатковому застосуванні мікродобрива перед настанням фази цвітіння за перші 7 днів від початку наливу зернівки приріст становив на рівні 21,8 мг. В подальшому за кожні наступні 7 днів відбувалося зниження інтенсивності накопичення маси зернівки, що стверджується відповідно показниками 11,0 мг; 7,8 мг та 6,6 мг за четвертого циклу розвитку. За дворазового застосування листкового підживлення ячменю під час фази кущіння рослин процес накопичення маси зернівки характеризується аналогічною закономірністю. Позакореневе підживлення за порівняння двох варіантів застосування мікродобрива GelyFLOW не змінює загальну динаміку формування урожаю за третім складовим компонентом урожайності, проте третє застосування листкового підживлення рослин перед початком цвітіння забезпечує стабільно вищі абсолютні показники маси зернівки на кожному аналітичному процесі дослідження.

Перспективи подальшого дослідження полягають в детальному аналізі впливу паметрів маси зернівки ячменю ярого залежно застосування листкового підживлення рослин в процесі вегетації добривом GelyFLOW на рівень урожайності та технологічної і біохімічної якості зерна.

Список використаних джерел

1. Гангур В.В., Кочерга А.А., Пипко О.С., Лень О.І. Ефективність мікродобрив за умови обробки насіння та листкового підживлення посівів пшениці озимої. *Вісник Полтавської державної аграрної академії.* 2021. №2. С. 46–51. https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.05
2. Гораш О.С., Климишена Р.І. Залежність фріабілітивності пивоварного ячменю ярого від впливу позакореневого підживлення. *Вісник Уманського національного університету садівництва.* 2020. №1. С. 6–10. https://doi.org/10.31395/2310-0478-2020-1-6-10
3. 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
4. Климишена Р.І. Залежність маси зернівки ячменю ярого від впливу позакореневого підживлення рослин мікродобривами. *Таврійський науковий вісник.* 2020. №112. С. 82–87. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.112-11
5. 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 уточнити DOI статті
6. Полтава О.П., Дем'янюк О.С. Ефективність позакореневого підживлення кукурудзи (Zea mays L.) у Лівобережному Лісостепу України. *Агроекологічний журнал.* 2025. №2. С. 148–155. https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2025.333840
7. Jarecki W., & Czernicka M. Reaction of winter wheat (Triticum aestivum L.) depending on the multi-component foliar fertilization. *Chemistry Proceedings.* 2022. Vol. 10, Issue 1. P. 68. https://doi.org/10.3390/IOCAG2022-12292
8. Ssemugenze B., Ocwa A., Kuunya R., Gumisiriya C., Bojtor C., Nagy J., Széles A., & Illés Á. Enhancing maize production through timely nutrient supply: the role of foliar fertiliser application. 2025. *Agronomy.* Vol. 15, Issue 1. P. 176. https://doi.org/10.3390/agronomy15010176
9. Stadnik B., Tobiasz-Salach R. Physiological response of oat (Avena sativa L.) to the foliar application of silicon in conditions of increased soil salinity. *Chemistry Proceedings.* 2022. Vol. 10, Issue 1. P. 21. https://doi.org/10.3390/IOCAG2022-12332
10. Stadnik B., Tobiasz-Salach R., Migut D. Influence of foliar application of microelements on yield and yield components of spring malting barley. *Agriculture.* 2024. Vol. 14, Issue 3. P. 505. https://doi.org/10.3390/agriculture14030505
11. Wagan Z.A., Buriro M., Wagan T.A., Wagon Z.A., Jamro S.A., Memon Q.U.A., & Wagan S.A. Effect of foliar applied urea on growth and yield of wheat (Triticum aestivum L.). *International Journal of Bioorganic Chemistry.* 2017. Vol.2 (4). P. 185-191. https://doi.org/10.11648/j.ijbc.20170204.15

Horash V. O.
Postgraduate Student at the Department of Crop Production, Selection and Seed Production,
Higher Educational Institution «Podillia State University»
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *horashv01@gmail.com*
ORCID: *0009-0004-0310-1672*

GRAIN WEIGHT ACCUMULATION IN SPRING BARLEY DEPENDING ON THE EFFECT OF FOLIAR APPLICATION OF THE MICRONUTRIENT FERTILIZER

Abstract

The purpose of the research was to determine the effect of foliar application of the GelyFLOW micronutrient fertilizer on yield formation in spring barley through the third structural component of yield performance, namely grain weight. The study also aimed to investigate the dynamics of grain weight accumulation under a three-time foliar fertilization regime. Methods – field, laboratory, analytical, and generalization methods were employed. The object of the study was the dynamics of grain weight accumulation in the spring barley cultivar Sebastian. The experimental soil was dark gray podzolized soil. GelyFLOW micronutrient fertilizer was applied at a rate of 1.5 L/ha with a working solution volume of 200 L/ha.

The study demonstrated that foliar fertilization of spring barley plants is an effective agronomic practice that significantly influences grain weight, an integral component of yield structure. This technological measure enhances the realization of the productive potential of the crop's reproductive organs by intensifying grain development.

Three foliar applications of the GelyFLOW micronutrient fertilizer – two during the tillering stage and a third before the onset of flowering – significantly enhanced grain weight accumulation. Significant differences were observed compared with the treatment receiving only two applications during tillering. At the initial stage of grain development, grain weight was 0.4 mg higher under the three-application treatment. After 7 days, the difference reached 2.8 mg. On the 14th day, grain weight exceeded that of the two-application treatment by 3.1 mg; during the fourth observation, the difference was 2.8 mg, and during the fifth observation it was 2.4 mg. The realization of the productive potential of spring barley reproductive organs was characterized by the highest rate of grain weight accumulation at the beginning of the grain-filling stage. With an additional foliar application before flowering, grain weight increased by 21.8 mg during the first 7 days of grain filling. Subsequently, the rate of grain weight accumulation gradually declined over each following 7-day period, amounting to 11.0 mg, 7.8 mg, and 6.6 mg, respectively, during the subsequent stages of development. A similar pattern of grain weight accumulation was observed under the two-time foliar application during tillering. Comparison of the two fertilization regimes showed that foliar application of the GelyFLOW micronutrient fertilizer did not alter the overall dynamics of yield formation with respect to grain weight. However, the third application before flowering consistently resulted in higher absolute grain weight values at every stage of the analytical observations.

Key words: *spring barley, grain filling, grain weight, foliar fertilization, GelyFLOW, reproductive organs, grain weight accumulation dynamics.*

References

1. Hanhur, V.V., Kocherha, A.A., Pypko, O.S., & Len, O.I. (2021). Efektyvnist mikrodobryv za umovy obrobky nasinnia ta lystkovoho pidzhyvlennia posiviv pshenytsi ozymoi [The effectiveness of microfertilizers for seed treatment and foliar applications of winter wheat crops]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii – Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (2), 46–51. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.3.2023.176-185 [in Ukrainian].
2. Gorash, O.S., & Klymyshena, R.I. (2020). Zalezhnist friabilityvnosti pyvovarnoho yachmeniu yaroho vid vplyvu pozakorenevoho pidzhyvlennia [The dependence of the friability of spring brewing barley on the effects of foliar nutrition]. *Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva – Bulletin of Uman National University of Horticulture,* 1, 6–10. https://doi.org/10.31395/2310-0478-2020-1-6-10 [in Ukrainian].
3. Demyanyuk, O., & Poltava, O. (2025). Pozakoreneve pidzhyvlennia yak efektyvnyi sposib pidvyshchennia produktyvnosti silskohospodarskykh kultur [Foliar fertilization as an effective method to increase the productivity of agricultural crops]. *Ahroekolohichnyi zhurnal – Agroecological journal*, 4, 143-150. https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2025.345451 [in Ukrainian].
4. Klymyshena, R.I. (2020). Zalezhnist masy zernivky yachmeniu yaroho vid vplyvu pozakorenevoho pidzhyvlennia roslyn mikrodobryvamy [The dependence of the weight of spring barley grains on the effects of foliar nutrition of plants with microfertilizers]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk – Taurida Scientific Herald, 112, 82-87.* https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.112-11 [in Ukrainian].
5. Kotkova, T.M., & Dovbish L.L. (2023). Vplyv pozakorenevoho (foliarnoho) pidzhyvlennia roslyn pshenytsi ozymoi na urozhai i yakist zerna [Influence of winter wheat plants' foliar ertilization on crop's yield and quality]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychykh nauk – Ukrainian Journal of Natural Sciences,* 3, 176-185. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.3.2023.176-185 [in Ukrainian].
6. Poltava, O., & Demyanyuk, O. (2025). Efektyvnist pozakorenevoho pidzhyvlennia kukurudzy (Zea mays L.) u Livoberezhnomu Lisostepu Ukrainy [Efficiency of foliar feeding of corn (Zea mays L.) in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Ahroekolohichnyi zhurnal – Agroecological journal*, 2, 148–155. https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2025.333840 [in Ukrainian].
7. Jarecki, W., & Czernicka, M. (2022). Reaction of winter wheat (Triticum aestivum L.) depending on the multi-component foliar fertilization. *Chemistry Proceedings,* 10(1), 68. https://doi.org/10.3390/IOCAG2022-12292 [in English].
8. Ssemugenze, B., Ocwa, A., Kuunya, R., Gumisiriya, C., Bojtor, C., Nagy, J., Széles, A., & Illés, Á. (2025). Enhancing maize production through timely nutrient supply: the role of foliar fertiliser application. *Agronomy,* 15(1), 176. https://doi.org/10.3390/agronomy15010176 [in English].
9. Stadnik, B., & Tobiasz-Salach, R. (2022). Physiological response of oat (Avena sativa L.) to the foliar application of silicon in conditions of increased soil salinity. *Chemistry Proceedings,* 10(1), 21. https://doi.org/10.3390/IOCAG2022-12332 [in English].
10. Stadnik, B., Tobiasz-Salach, R., & Migut, D. (2024). Influence of foliar application of microelements on yield and yield components of spring malting barley. *Agriculture,* 14(3), 505. https://doi.org/10.3390/agriculture14030505 [in English].
11. Wagan, Z.A., Buriro, M., Wagan, T.A., Wagon, Z.A., Jamro, S.A., Memon, Q.U.A., & Wagan, S.A. (2017). Effect of foliar applied urea on growth and yield of wheat (Triticum aestivum L.). *International Journal of Bioorganic Chemistry,* 2 (4), 185-191. https://doi.org/10.11648/j.ijbc.20170204.15 [in English].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 29.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 18.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026

УДК 634.11:664.8.03:[631.811.98:631.547.66/.67]
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-3

Дрозд О. О.
доктор сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри харчових технологій,
Уманський національний університет
Умань, Україна
E-mail: *olga.drozd@ukr.net*
ORCID: *0000-0002-2419-7624*

Мельник О. В.
доктор сільськогосподарських наук, професор,
професор кафедри плодівництва і виноградарства,
Уманський національний університет
Умань, Україна
E-mail: *novsad@ukr.net*
ORCID: *0000-0002-6707-5731*

Ременюк Л. М.
аспірант кафедри плодівництва і виноградарства,
Уманський національний університет
Умань, Україна
E-mail: *novsad@ukr.net*
ORCID: *0009-0002-6581-5916*

ДИНАМІКА ЕТИЛЕН-АКТИВНОСТІ ТА ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ЯБЛУК СОРТУ ГЛОСТЕР ЗАЛЕЖНО ВІД РЕЖИМУ ОХОЛОДЖЕННЯ, ОБРОБКИ ДЕРЕВ ЕТИЛЕНПРОДУЦЕНТОМ І ПЛОДІВ ІНГІБІТОРОМ ЕТИЛЕНУ

Анотація

Статтю присвячено дослідженню змін етилен-активності та вмісту основних компонентів хімічного складу плодів яблуні сорту Глостер під час тривалого холодильного зберігання залежно від режиму охолодження, передзбиральної обробки дерев етиленпродуцентом (Етефон) та післязбиральної обробки плодів інгібітором етилену (1-метилциклопропен, 1-МЦП).

Дослідження проводили впродовж сезонів зберігання 2012–2013 і 2013–2014 років в Уманському національному університеті. За два тижні до очікуваного збирання врожаю насадження обробляли фізіологічно активним препаратом Етефон (етрел, 180 г·га$^{-1}$) у суміші з КАНО (калійна сіль α-нафтилоцтової кислоти, 20 г·га$^{-1}$); контрольні ділянки обприскували водою. Плоди заготовляли з настанням збиральної стиглості. У день збирання частину яблук охолоджували до температури 5±1 °С за відносної вологості 90–95 % і наступної доби обробляли 1-МЦП (СмартФреш, 0,068 г·м$^{-3}$). Іншу частину плодів витримували три доби за температури 16±1 °С та відносної вологості повітря 90–95%, після чого охолоджували до 5±1 °С і так само обробляли 1-МЦП. У подальшому продукцію зберігали шість місяців у холодильній камері КХР-12М за температури 2±1 °С і відносної вологості 90–95 %. Етилен-активність, вміст сухих розчинних речовин, титрованих та аскорбінової кислот визначали під час збирання, а також після двох, чотирьох і шести місяців зберігання.

Встановлено, що за передзбиральної обробки дерев Етефоном і триденної затримки охолодження етилен-активність плодів упродовж шести місяців зберігання зростає у 32 рази, тоді як без обробки Етефоном – у 18 разів. За негайного охолодження відповідні показники зростають у 26 і 16 разів. Водночас етилен-активність яблук, оброблених 1-МЦП, не перевищує 4,2 мкл·кг$^{-1}$·год$^{-1}$, за винятком плодів, оброблених Етефоном із затримкою охолодження, де цей показник сягає 7,6 мкл·кг$^{-1}$·год$^{-1}$.

Упродовж перших чотирьох місяців зберігання вищий вміст сухих розчинних речовин відзначено за обробки дерев Етефоном, а протягом двох місяців – за триденної затримки охолодження. Післязбиральна обробка 1-МЦП уповільнює метаболічні процеси, що забезпечує на кінець зберігання на 1,25 % вищий рівень сухих розчинних речовин.

Відсутність передзбиральної обробки етиленпродуцентом і негайне охолодження плодів після збирання сприяють вищому вмісту титрованих та аскорбінової кислот упродовж зберігання. Обробка яблук 1-МЦП забезпечує в 1,5 раза вищий вміст титрованих кислот і в 1,7 раза – аскорбінової. Залежність вмісту цих кислот від етилен-активності плодів під час зберігання має обернено лінійний характер.

Ключові слова: *яблука, Глостер, Етефон, режим охолодження, 1-метилциклопропен, зберігання, етилен-активність, компоненти хімічного складу.*

© Дрозд О. О., Мельник О. В., Ременюк Л. М., 2026
pISSN 2706-9052, eISSN 2706-851X

Вступ. Яблуня є провідною плодовою культурою в Україні за площею насаджень, валовим збором плодів та обсягами реалізації продукції у свіжому вигляді. Основою рівномірного забезпечення споживачів свіжими плодами яблуні впродовж року є ефективне зберігання, можливість якого визначається цілісною системою взаємопов'язаних чинників. Порушення будь-якого з цих чинників суттєво знижує результативність зберігання.

Для покращення забарвлення плодів, зменшення їхнього передзбирального опадання та розширення так званого «вікна» збирання врожаю застосовують фізіологічно активні речовини. Однак вони прискорюють достигання яблук на дереві, що необхідно враховувати під час визначення строку збирання та закладання продукції на зберігання [5; 18].

Основними методами зберігання плодів зерняткових культур є регульоване газове середовище та низька температура. Водночас у багатьох країнах ці технології перебувають на стадії впровадження й потребують значних капіталовкладень. Тому більшість вітчизняних плодів зерняткових культур зберігають у звичайних холодильниках-фруктосховищах, що не забезпечує ні тривалого постачання на ринки, ні високої якості продукції.

Під час зберігання плоди поступово достигають, змінюється їхній хімічний склад і фізичні властивості. Яблука набувають кращих споживчих якостей – стають солодшими й ароматнішими, однак водночас зростають втрати від функціональних розладів і грибних хвороб. Подовження періоду споживання свіжих плодів можливе завдяки вдосконаленню існуючих технологій післязбиральної доробки та зберігання, що надає дослідженням у цьому напрямі особливої актуальності.

Ключову роль у змінах, що супроводжують перебудову хімічного складу, відіграє етилен – безбарвний газ із солодкуватим запахом, який утворюється в процесі достигання та дозрівання плодів. Із його синтезом пов'язані інтенсивність дихання, зміна забарвлення [13], смаку й аромату [14], зниження щільності м'якуша та дозрівання яблук [17]. У плодових насадженнях етиленпродуцент Етефон (етрел) застосовують для проріджування зав'язі та посилення забарвлення плодів [6], однак така обробка активізує етилен-активність і прискорює передзбиральне достигання яблук [8; 15].

Основними біохімічними показниками харчової цінності та смакових якостей плодів є вміст і співвідношення сухих розчинних речовин, органічних кислот і вітамінів [12]. Протягом перших двох–трьох місяців холодильного зберігання яблук вміст сухих розчинних речовин зазвичай зростає, а згодом знижується, тоді як вміст органічних кислот, зокрема природного антиоксиданту аскорбінової кислоти (вітамін С), неухильно зменшується [7].

Післязбиральне дозрівання плодів можна прискорити витримуванням за підвищеної температури, однак навіть однодобове затримання з охолодженням скорочує подальшу тривалість зберігання. Післязбиральна обробка інгібітором етилену 1-МЦП здатна компенсувати негативний вплив затримки охолодження [10], уповільнювати втрати сухих розчинних речовин та органічних кислот [9], зокрема аскорбінової [11].

Мета дослідження – оцінити зміни етилен-активності та вмісту основних хімічних компонентів у плодах яблуні пізньозимового сорту Глостер за вдосконаленої технології зберігання, що передбачає передзбиральну обробку дерев Етефоном, затримання післязбирального охолодження та обробку плодів інгібітором етилену 1-МЦП.

Методика проведення досліджень. Дослідження в сезонах зберігання 2012–2013 і 2013–2014 рр. проводили в Уманському національному університеті. Насадження яблуні пізньозимового сорту Глостер – на карликовій підщепі М.9 зі схемою садіння 4,0 х 1,0 м, із залуженням міжрядь і чистим паром у пристовбурних смугах. За два тижні до очікуваного збору врожаю дерева обробляли фізіологічно-активною речовиною Етефон (етрел, 180 г/га) з додаванням КАНО (калійна сіль α–нафтилоцтової кислоти – для запобігання передчасному опаданню плодів, 20 г/га), контрольні ділянки обприскували водою; витрата робочої рідини – 300 л/га. Планування, ведення досліду й обробку результатів здійснювали загальноприйнятими методами [2; 4].

Яблука заготовляли з настанням збиральної стиглості, беручи до уваги індекс Стрейфа [16]. З типових дерев відбирали однорідну за ступенем стиглості продукцію вищого товарного сорту за ГСТУ 01.1-37-160:2004 та вміщували в ящики № 75 (ГОСТ 10131-93), поділені на три частини – повторності (по 7 кг) перегородками з цупкого паперу.

У день збирання частину плодів охолоджували за температури 5±1 °С та відносної вологості повітря 90–95 % і наступного дня обробляли 1-МЦП (СмартФреш, 0,068 г/м^3); іншу частину експонували упродовж трьох діб за температури 16±1 ºС з наступним охолодженням до 5±1 °С й обробкою 1-МЦП.

Для обробки ящики з яблуками ставили в газонепроникний контейнер з плівки завтовшки 200 мк і циркуляцією повітря автономним вентилятором, куди вміщували склянку з дистильованою водою й обчисленою на одиницю об'єму контейнера дозою порошкоподібного препарату (з розрахунку 0,068 г/м^3, рекомендація виробника). Після 24-годинної експозиції контейнер згортали і плоди ставили на зберігання в холодильну камеру КХР–12М за температури 2±1 °С і відносної вологості повітря 90–95 %. Яблука з необроблених дерев, без обробки 1-МЦП та без триденної експозиції – контроль.

Інтенсивність виділення плодами етилену (у мкл/кг · год.) визначали в динаміці портативним газоаналізатором ІСА-56 з електрохімічним детектором (International controlled atmosphere ltd., Великобританія) з точністю ± 0,2 ppm у діапазоні 0...100 ppm [2]. Вміст сухих розчинних речовин, титрованих кислот й аскорбінової кислоти оцінювали після збирання та двох, чотирьох і шести місяців зберігання. Вміст сухих розчинних речовин визначали рефрактометром РПЛ-3М за ДСТУ ISO 2173:2007, титрованих кислот – у перерахунку на яблучну – за ГОСТ 25555.0-82, аскорбінової кислоти – титрометричним методом за ГОСТ 24556-89, з триразовим повторенням.

Температуру в камері контролювали спиртовими термометрами й автоматично, відносну вологість повітря – гігрометром. Результати досліджень обробляли дисперсійним аналізом за програмою «Statistica-12».

Виклад основного матеріалу дослідження. Упродовж усього періоду зберігання етилен-активність плодів, не оброблених 1-МЦП, неухильно зростала. Найбільш інтенсивно цей процес відбувався за умов передзбиральної обробки дерев Етефоном і триденного затримання охолодження плодів після збирання (рис. 1, a).

Найвищу етилен-активність наприкінці зберігання – 33,5 мкл·кг$^{-1}$·год$^{-1}$ – зафіксовано в плодів, оброблених Етефоном та охолоджених із триденною затримкою; у негайно охолоджених яблук цей показник був на 10 % нижчим. Незалежно від режиму охолодження, за відсутності передзбиральної обробки етилен-активність плодів була в 1,5 раза нижчою порівняно з обробленими Етефоном. Застосування 1-МЦП стримувало етилен-активність на рівні, що не перевищував 4,2 мкл·кг$^{-1}$·год$^{-1}$, за винятком плодів, оброблених Етефоном із затримкою охолодження, де показник сягав 7,6 мкл·кг$^{-1}$·год$^{-1}$.

У початковий період зберігання вміст сухих розчинних речовин у плодах дещо зростав, а згодом суттєво знижувався (рис. 1, b). Після двох місяців зберігання найвищий рівень показника (14,6 %) виявлено в плодів, оброблених Етефоном; без такої обробки він був на 0,3 % нижчим незалежно від режиму охолодження. У негайно охолоджених і оброблених 1-МЦП плодів вміст сухих розчинних речовин зростав упродовж чотирьох місяців, після чого знижувався менш інтенсивно. На кінець шестимісячного зберігання цей показник становив 13,6–14,1 % для плодів, оброблених Етефоном, та 13,4–13,7 % – для необроблених, незалежно від режиму охолодження. Без обробки 1-МЦП відповідні значення були на 1,4–1,6 % та 0,8–0,9 % нижчими.



a b

Тривалість зберігання, місяць

Рис. 1. Динаміка етилен-активності (a) та вмісту сухих розчинних речовин (b) у плодах яблуні сорту Глостер впродовж зберігання залежно від перед- і післязбиральної обробки (середнє 2012–2013 рр.):

негайне охолодження:
–○– *без Етефону, без 1-МЦП;*
–●– *без Етефону, з 1-МЦП;*
–□– *з Етефоном, без 1-МЦП;*
–■– *з Етефоном, з 1-МЦП.*

тридобове затримання охолодження:
--○-- *без Етефону, без 1-МЦП;*
--●-- *без Етефону, з 1-МЦП;*
--□-- *з Етефоном, без 1-МЦП;*
--■-- *з Етефоном, з 1-МЦП.*

Одразу після збирання вищим вмістом титрованих кислот вирізнялися негайно охолоджені плоди з дерев, не оброблених Етефоном (рис. 2, a). Застосування Етефону та триденна затримка охолодження прискорили зниження титрованої кислотності впродовж зберігання. На кінець шести місяців у необроблених Етефоном і негайно охолоджених плодах вміст титрованих кислот знизився вдвічі, а в охолоджених із затримкою – в 2,4 раза відносно початкового рівня. Обробка 1-МЦП уповільнювала цей процес: зниження показника становило лише 1,5 раза незалежно від режиму охолодження.

Передзбиральна обробка дерев Етефоном прискорила зниження вмісту органічних кислот у негайно охолоджених плодах у 2,7 раза, а в охолоджених із затримкою – в 3,2 раза відносно початкового рівня. За обробки таких плодів 1-МЦП зменшення показника становило відповідно 1,6 раза.

Аналогічну тенденцію виявлено щодо зміни вмісту аскорбінової кислоти в плодах (рис. 2, b).

Наприкінці шестимісячного зберігання втрати аскорбінової кислоти в плодах, оброблених Етефоном, сягали 2,8 раза незалежно від режиму охолодження; у необроблених Етефоном яблуках цей показник становив 2,3–2,6 раза відносно початкового рівня.

За обробки 1-МЦП негайно охолоджених плодів, без передзбиральної обробки дерев Етефоном, вміст аскорбінової кислоти зменшився в 1,5 раза, а за обробки Етефоном – в 1,6 раза. У плодів із триденною затримкою охолодження відповідне зниження становило 1,5 та 1,7 раза. Найвищий залишковий рівень аскорбінової кислоти наприкінці зберігання зафіксовано в плодів із дерев, не оброблених Етефоном, за умов негайного охолодження та обробки 1-МЦП.

Вищий вміст сухих розчинних речовин відзначено за обробки дерев Етефоном упродовж перших чотирьох місяців зберігання, а за триденної затримки охолодження – протягом перших двох місяців (табл. 1). Застосування 1-МЦП уповільнило зниження цього показника починаючи з другого місяця, забезпечивши на кінець зберігання на 1,2 % вищий рівень сухих розчинних речовин.

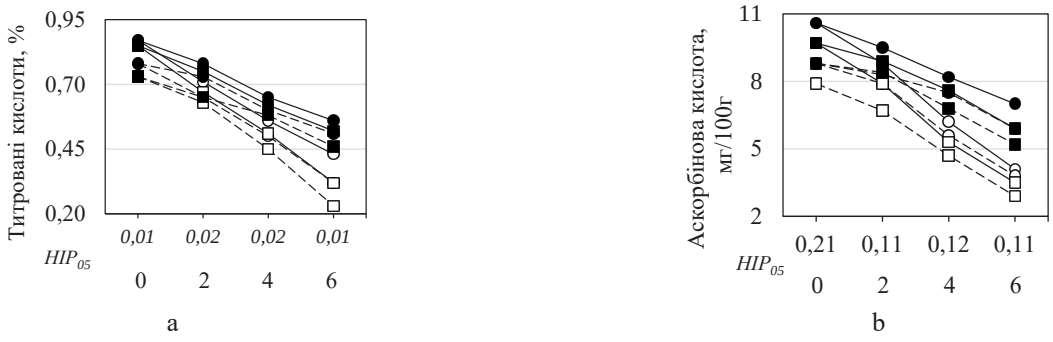


Рис. 2. Динаміка вмісту титрованих (a) та аскорбінової (b) кислот у плодах яблуні сорту Глостер впродовж зберігання залежно від перед- та післязбиральної обробки (середнє за 2012–2013 рр.):

негайне охолодження:
–○– без Етефону, без 1-МЦП;
–●– без Етефону, з 1-МЦП;
–□– з Етефоном, без 1-МЦП;
–■– з Етефоном, з 1-МЦП.

тридобове затримання охолодження:
--○-- без Етефону, без 1-МЦП;
--●-- без Етефону, з 1-МЦП;
--□-- з Етефоном, без 1-МЦП;
--■-- з Етефоном, з 1-МЦП.

Таблиця 1. Вміст сухих розчинних речовин, титрованих й аскорбінової кислот у плодах яблуні сорту Глостер залежно від режиму охолодження, передзбиральної обробки дерев Етефоном та післязбиральної обробки плодів 1-МЦП (результати дисперсійного аналізу, середнє за 2012–2013 рр.)

Тривалість зберігання, міс.	Передзбиральна обробка			Післязбиральне охолодження			Доза Смарт-Фреш, г/м³		
	Без обробки	Етефон з КАНО	HIP_{05}	Негайне	Затримка на 3 доби	HIP_{05}	0	0,068	HIP_{05}
Сухі розчинні речовини, %									
0	13,3	13,5	*0,1*	13,2	13,6	*0,1*	13,4	13,4	$F_ф < F_{05}$
2	14,3	14,4	*0,1*	14,2	14,5	*0,1*	14,2	14,5	*0,1*
4	14,0	14,2	*0,1*	14,2	14,0	*0,1*	13,8	14,4	*0,1*
6	13,1	13,1	$F_ф < F_{05}$	13,3	13,0	$F_ф < F_{05}$	12,5	13,7	*0,1*
Титровані кислоти, %									
0	0,83	0,79	*0,01*	0,86	0,76	*0,01*	0,81	0,81	$F_ф < F_{05}$
2	0,72	0,68	*0,01*	0,73	0,67	*0,01*	0,66	0,73	*0,01*
4	0,58	0,55	*0,01*	0,59	0,54	*0,01*	0,51	0,62	*0,01*
6	0,46	0,38	*0,01*	0,46	0,38	*0,01*	0,33	0,51	*0,01*
Аскорбінова кислота, мг/100 г									
0	9,7	8,8	*0,05*	10,2	8,4	*0,05*	9,3	9,3	$F_ф < F_{05}$
2	8,6	8,0	*0,30*	8,8	7,8	*0,30*	7,8	8,8	*0,30*
4	6,9	6,1	*0,06*	6,8	6,1	*0,06*	5,4	7,5	*0,06*
6	5,2	4,4	*0,07*	5,2	4,4	*0,01*	3,6	6,0	0,07

За відсутності передзбиральної обробки дерев етиленпродуцентом і за негайного охолодження плодів після збирання впродовж зберігання зберігався вищий вміст титрованих та аскорбінової кислот. Після шести місяців зберігання вміст цих кислот був у 1,2 раза вищим у плодів, не оброблених Етефоном та негайно охолоджених. Застосування 1-МЦП забезпечило в 1,5 раза вищий вміст титрованих кислот і в 1,7 раза – аскорбінової.

Залежність вмісту титрованих та аскорбінової кислот від етилен-активності плодів мала обернено лінійний характер: зі зростанням етилен-активності вміст обох кислот знижувався (рис. 3). Подібні дані отримано для яблук сорту Ренет Симиренка [3].

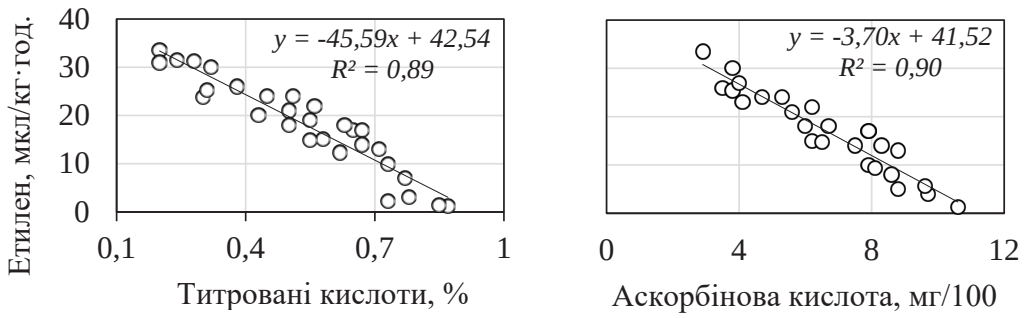


Рис. 3. Взаємозв'язок між етилен-активністю та вмістом титрованих (ліворуч) й аскорбінової (праворуч) кислот у плодах яблуні сорту Глостер

Висновки. Передзбиральна обробка дерев яблуні сорту Глостер Етефоном у поєднанні з триденною затримкою охолодження зібраних плодів спричиняє зростання етилен-активності протягом шести місяців зберігання у 32 рази; без обробки Етефоном цей показник зростає у 18 разів. За негайного охолодження відповідне зростання становить 26 і 16 разів. Етилен-активність плодів, оброблених 1-МЦП, не перевищує 4,2 мкл·кг$^{-1}$·год$^{-1}$, за винятком яблук, оброблених Етефоном із затримкою охолодження, де показник сягає 7,6 мкл·кг$^{-1}$·год$^{-1}$.

За передзбиральної обробки дерев Етефоном вищий вміст сухих розчинних речовин зберігається впродовж перших чотирьох місяців зберігання, а за триденної затримки охолодження – протягом перших двох місяців. Післязбиральна обробка плодів 1-МЦП уповільнює зниження вмісту сухих розчинних речовин, забезпечуючи на кінець зберігання на 1,2 % вищий рівень цього показника.

Вищий вміст титрованих й аскорбінової кислот упродовж зберігання забезпечується за відсутності передзбиральної обробки дерев Етефоном і негайного охолодження плодів після збирання. Післязбиральна обробка 1-МЦП сприяє збереженню в 1,5 раза вищого вмісту титрованих кислот і в 1,7 раза – аскорбінової.

Взаємозв'язок між етилен-активністю плодів (у) та вмістом титрованих кислот ($y = –45,59x + 42,54$; $R^2 = 0,89$), а також аскорбінової кислоти ($y = –3,70x + 41,52$; $R^2 = 0,90$) упродовж зберігання має обернено лінійний характер.

Подяка. Автори висловлюють подяку компанії «AgroFresh» (Польща) за надання препарату «СмартФреш» для проведення досліджень.

Список використаних джерел

1. Дрозд О. О., Мельник О. В. Визначення етилен-активності плодів. *Modern research in world science: матер. XI Міжн. наук.-практ. конф.* (29–31.01.2023). Львів, 2023. С. 46–48.

2. Мельник О. В., Дрозд О. О., Ременюк Л. М. Збереженість яблук сорту ренет симиренка залежно від режиму охолодження, обробки дерев етиленпродуцентом і плодів інгібітором етилену. *Таврійський науковий вісник*. № 141 (1). 2025. С. 266–274. DOI: https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.141.1.31.

3. Дрозд О. О., Мельник О. В., Ременюк Л. М. Етилен-активність та компоненти хімічного складу яблук сорту Ренет Симиренка залежно від режиму охолодження, обробки дерев етиленпродуцентом і плодів інгібітором етилену. *Таврійський науковий вісник*. 2025. № 2. С. 352–359. DOI: https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.2.34.

4. Рибак Г. М., Михайлова Є. В., Блашкіна О. А. та ін. Методичні рекомендації з питань зберігання і переробки плодів та ягід. Київ : Укр. НДІ садівництва. 1980. 75 с.

5. Dal C. V., Danesin M., Botton A., Boschetti A. Ethylene and preharvest drop: the effect of AVG and NAA on fruit abscission in apple (*Malus domestica* L. Borkh). *Plant growth reguationl*. 2008. № 56 (3). P. 317–325. DOI: https://doi.org/10.1007/s10725-008-9312-5.

6. Duyvelshoff C., Cline J. A. Ethephon and prohexadione-calcium influence the flowering, early yield, and vegetative growth of young Northern Spy apple trees. *Scientia Horticulturae*. 2013. Vol. 151. P. 128–134. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.12.002.

7. Ferreira C., Ribeiro C., Nunes F. M. Effect of storage conditions on phenolic composition, vitamin C and antioxidant activity of Golden Delicious and Red Delicious apples. *Postharvest Biology and Technology.* 2024. Vol. 210 (21). P. 1–8. DOI: https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112754 .

8. Kumaresan K., Jayachandran H., Muthukrishnan A., Jesudass J. J., Renganathan R., Muthukrishnan A. Unraveling the multifaceted role of ethephon in plant physiology: from seed germination to crop maturation and harvesting. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*. 2025. Vol. 34 (2). P. 639–664. DOI: https://doi.org/10.1007/s13562-024-00953-6.

9. Kolniak-Ostek J., Wojdylo A., Markowski J., Siucinska K. 1-Methylcyclopropene postharvest treatment and their effect on apple quality during long-term storage time. *European Food Research and Technology*. 2014. № 239. P. 603–612. DOI: https://doi.org/10.1007/s00217-014-2256-2.

10. Kurubas M. S., Erkan M. Impacts of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on postharvest quality of Ankara pears during long-term storage. *Turkish journal of Agriculture and Forestry*. 2018. Vol. 42 (2). P. 88–96. DOI: https://doi.org/10.3906/tar-1706-72.

11. Moor U., Karp K., Poldma P., Starast M. Effect of 1-MCP treatment on apple biochemical content and physiological disorders. *Acta Agronomica Hungarica*. 2007. Vol. 55 (1). P. 61–70. DOI: https://doi.org/10.1556/AAgr.55.2007.1.7.

12. Nistor O.-V., Botez E., Mocanu G. D., Andronoiu D. G., Macovei V. M. Study of the apple parameters variation during refrigeration storage. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*. 2011. Vol. 17 (4). P. 439–444. URL: https://journal-of-agroalimentary.ro/admin/articole/1957L19_Nistor_Oana_Vol.17_4_439-444.pdf.

13. Paul V., Pandey R. Current status of 1-methylcyclopropene (1-MCP) use in postharvest management of apple. *Indian Food Industry Magazine*. 2021. Vol. 3(4). P. 24–38.

14. Qi W., Wang H., Zhou Z., Yang P., Wu W., Li Z. Ethylene emission as a potential indicator of Fuji apple flavor quality evaluation under low temperature. *Horticultural Plant Journal*. 2020. Vol. 6 (4). P. 231–239. DOI: https://doi.org/10.1016/j.hpj.2020.03.007.

15. Schultz E. E., Mallmann W. L., Ludwig V., Thewes F. R., Pasquetti, B.M.R. Aminoethoxyvinylglycine, naphthalene acetic acid and ethephon: impacts on pre-harvest fruit drop, volatile compounds profile, and overall quality of 'Galaxy' apples. *Erwerbs-Obstbau*. 2023. Vol. 65 (1). P. 7–23. DOI: https://doi.org/10.1007/s10341-022-00691-w.

16. Streif J. Optimum harvest date for different apple cultivars in the Bodensee area. *Proceedings of a meeting working group optimum harvest date, 9–10 june*. 1994. Lofthus, Norway. 1994. P. 178–183.

17. Yang X., Song J., Campbell-Palmer L., Fillmore S., Zhang Z. Effect of ethylene and 1-MCP on expression of genes involved in ethylene biosynthesis and perception during ripening of apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 2013. Vol. 78. P. 55–66. DOI: https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.11.012.

18. Yuan R., Li J. Effect of sprayable 1-MCP, AVG, and NAA on ethylene biosynthesis, preharvest fruit drop, fruit maturity, and quality of Delicious apples. HortScience. 2008. Vol. 43 (5). P. 1454–1460. DOI: https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.5.1454.

Drozd O. O.
Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Food Technologies,
Uman National University
Uman, Ukraine
E-mail: *olga.drozd@ukr.net*
ORCID: *0000-0002-2419-7624*

Melnyk O. V.
Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Professor atf the Department of Fruit Growing and Viticulture,
Uman National University
Uman, Ukraine
E-mail: *novsad@ukr.net*
ORCID: *0000-0002-6707-5731*

Remeniuk L. M.
Postgraduate Student at the Department of Fruit Growing and Viticulture,
Uman National University
Uman, Ukraine
E-mail: *r.l.m.@ukr.net*
ORCID: *0009-0002-6581-5916*

DYNAMICS OF ETHYLENE ACTIVITY AND CHEMICAL COMPOSITION OF GLOSTER APPLES DEPENDING ON THE COOLING MODE, TREATMENT OF TREES WITH ETHEPHON AND FRUITS WITH ETHYLENE INHIBITOR

Abstract

The article is devoted to the study of changes in the activity of ethylene emission and chemical parameters of Gloster apples during storage depending on the cooling delay, tree treatment with Ethephon and apple treatment with 1-MCP. Research in the storage seasons 2012–2013 and 2013–2014 at Uman National University of Horticulture. Fourteen days before the expected harvest, trees of late-winter cv. Reinette Simirenko were sprayed with Ethephon (ethrel, 180 g/ha) with the addition of NAA to prevent fruit drop (potassium salt of α-naphthylacetic acid, 20 g/ha); control areas were sprayed with water.

The apples were collected in the stage of early harvest maturity. On the day of harvest, one part of the fruits was cooled at a temperature of 5±1 °C and a relative humidity of 90–95% and the next day treated with 1-MCP (SmartFresh, 0.068 g/m^3). The other part of the apples was exposed for three days at a temperature of 16±1 °C with subsequent cooling to 5±1 °C and treatment with 1-MCP. The fruits were stored for six months in a KHR-12M refrigerating chamber at a temperature of 2±1 °C and a relative humidity of 90–95%. During harvesting, after two, four and six months of storage, ethylene activity, dry soluble solids, titratable and ascorbic acid content were determined.

It has been established that with pre-harvest tree treatment with Ethephon and delayed fruit cooling, the ethylene activity of fruits during six-month storage increases by 32 times, and without treatment with Ethephon this indicator increases by 18 times.

With immediate cooling, this figure increases by 26 and 16 times, respectively. At the same time, the ethylene activity of apples treated with 1-MCP does not exceed 4.2 μl/kg·h, with the exception of fruits treated with Ethephon and cooled with a delay – 7.6 μl/kg·h.

During the first four months of storage, the highest content of dry soluble substances was found when trees were treated with Ethephon and during two months – with a three-day cooling delay. Post-harvest fruit treatment with 1-MCP slowed down the decrease in the content of dry soluble substances and it provided a 1.25% higher content at the end of storage.

The lack of tree treatment with an ethylene producer and immediate fruit cooling after picking ensure a higher content of titratable and ascorbic acids in the fruits during storage. Post-harvest treatment of apples with 1-MCP provides a 1.5-fold higher content of titrated acids, including 1,7-fold higher content of ascorbic acid. During storage, the dependence of the content of titrated and ascorbic acids on the ethylene activity of apples is inversely linear.

Key words: *apple, Gloster, Ethephon, cooling delay, 1-methylcyclopropene, storage, ethylene emission, chemical parameters.*

References

1. Drozd, O. O., & Melnyk, O. V. (2023). Vyznachennia etylen-aktyvnosti plodiv [Determination of ethylene activity of fruits]. *Modern research in world science: mater. Materialy XI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii [Materials of the XI of the international scientific and practical conference]* (29–31.01.2023). Lviv. P. 46–48 [in Ukrainian].
2. Melnyk, O. V., Drozd, O. O., & Remeniuk, L. M. (2025). Zberezhenist yabluk sortu renet symyrenka zalezhno vid rezhymu okholodzhennia, obrobky derev etylenprodutsentom i plodiv inhibitorom etylenu [Storage ability of Reinette Simirenko apples depending on the cooling mode, treatment of trees with ethephon and fruits with ethylene inhibitor]. *Taurida Scientific Herald,* 141 (1), 266–274. DOI: https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.141.1.31 [in Ukrainian].
3. Drozd, O. O., Melnyk, O. V., & Remeniuk, L. M. (2025). Etylen-aktyvnist ta komponenty khimichnoho skladu yabluk sortu Renet Symyrenka zalezhno vid rezhymu okholodzhennia, obrobky derev etylenprodutsentom i plodiv inhibitorom etylenu [Ethylene activity and chemical parameters of reinette simirenko apples depending on the cooling mode, treatment of trees with ethephon and fruits with ethylene inhibitor]. *Taurida Scientific Herald*, 2, 352–359. DOI: https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.2.34 [in Ukrainian].
4. Rybak, G.M., Mykhaylova, E.V., & Blashkina, O.A. et al. (1980). Metodychni rekomendatsii z pytan zberihannia i pererobky plodiv ta yahid [Methodological recommendations on the storage and processing of fruits and berries]. Kyiv: Ukr. NDI sadivnytstva [Horticulture Research Institute]. 75 p. [in Ukrainian].
5. Dal, C. V., Danesin, M., Botton, A., & Boschetti, A. (2008). Ethylene and preharvest drop: the effect of AVG and NAA on fruit abscission in apple (*Malus domestica* L. Borkh). *Plant growth reguationl*, 56 (3), 317–325. DOI: https://doi.org/10.1007/s10725-008-9312-5 [in English].
6. Duyvelshoff, C., & Cline, J.A. (2013). Ethephon and prohexadione-calcium influence the flowering, early yield, and vegetative growth of young Northern Spy apple trees. *Scientia Horticulturae*. Vol. 151. P. 128–134. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.12.002 [in English].
7. Ferreira, C., Ribeiro, C., & Nunes, F.M. (2024). Effect of storage conditions on phenolic composition, vitamin C and antioxidant activity of Golden Delicious and Red Delicious apples. *Postharvest Biology and Technology.* Vol. 210 (21). P. 1–8. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112754 [in English].
8. Kumaresan, K., Jayachandran, H., Muthukrishnan, A., Jesudass, J.J., Renganathan, R., & Muthukrishnan, A. (2025). Unraveling the multifaceted role of ethephon in plant physiology: from seed germination to crop maturation and harvesting. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*. Vol. 34 (2). P. 639–664. DOI: https://doi.org/10.1007/s13562-024-00953-6 [in English].
9. Kolniak-Ostek, J., Wojdyło, A., Markowski, J., & Siucinska, K. (2014). 1-Methylcyclopropene postharvest treatment and their effect on apple quality during long-term storage time. *European Food Research and Technology*. Vol. 239 (4). P. 603–612. DOI: https://doi.org/10.1007/s00217-014-2256-2 [in English].
10. Kurubas, M.S., & Erkan, M. (2018). Impacts of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on postharvest quality of Ankara pears during long-term storage. *Turkish journal of Agriculture and Forestry*. Vol. 42 (2). P. 88–96. DOI: https://doi.org/10.3906/tar-1706-72 [in English].
11. Moor, U., Karp, K., Poldma, P., & Starast, M. (2007). Effect of 1-MCP treatment on apple biochemical content and physiological disorders. *Acta Agronomica Hungarica*. Vol. 55 (1). P. 61–70. DOI: https://doi.org/10.1556/AAgr.55.2007.1.7 [in English].
12. Nistor, O.-V., Botez, E., Mocanu, G.D., Andronoiu, D.G., & Macovei, V.M. (2011). Study of the apple parameters variation during refrigeration storage. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*. Vol. 17 (4). P. 439–444. URL: https://journal-of-agroalimentary.ro/admin/articole/1957L19_Nistor_Oana_Vol.17_4_439-444.pdf [in English].
13. Paul, V., & Pandey, R. (2021). Current status of 1-methylcyclopropene (1-MCP) use in postharvest management of apple. *Indian Food Industry Magazine*. Vol. 3 (4). P. 24–38 [in English].
14. Qi, W., Wang, H., Zhou, Z., Yang, P., Wu, W., & Li, Z. (2020). Ethylene emission as a potential indicator of Fuji apple flavor quality evaluation under low temperature. *Horticultural Plant Journal*. Vol. 6 (4). P. 231–239. DOI: https://doi.org/10.1016/j.hpj.2020.03.007 [in English].
15. Schultz, E.E., Mallmann, W.L., Ludwig, V., Thewes, F.R., & Pasquetti, B.M.R. (2023). Aminoethoxyvinylglycine, naphthalene acetic acid and ethephon: impacts on pre-harvest fruit drop, volatile compounds profile, and overall quality of 'Galaxy' apples. *Erwerbs-Obstbau*. Vol. 65 (1). P. 7–23. DOI: https://doi.org/10.1007/s10341-022-00691-w [in English].
16. Streif, J. (1994). Optimum harvest date for different apple cultivars in the Bodensee area. *Proceedings of a meeting working group optimum harvest date, 9–10 june. Lofthus, Norway*. P. 178–183 [in English].
17. Yang, X., Song, J., Campbell-Palmer, L., Fillmore, S., & Zhang, Z. (2013). Effect of ethylene and 1-MCP on expression of genes involved in ethylene biosynthesis and perception during ripening of apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*. Vol. 78. P. 55–66. DOI: https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.11.012 [in English].
18. Yuan, R., & Li J. (2008). Effect of sprayable 1-MCP, AVG, and NAA on ethylene biosynthesis, preharvest fruit drop, fruit maturity, and quality of Delicious apples. *HortScience*. Vol. 43 (5). P. 1454–1460. DOI: https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.5.1454 [in English].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 08.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 13.08.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026

УДК 633.15:631.559:631.811.98:551.583
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-4

Загородний В. В.
аспірант кафедри рослинництва, селекції та насінництва,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: *viktorzvv@gmail.com*
ORCID: *0009-0006-6066-4900*

Овчарук О. В.
доктор сільськогосподарських наук,
професор кафедри рослинництва, селекції та насінництва
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: *ovcharuk.oleh@gmail.com*
ORCID: *0000-0002-1117-962X*

Овчарук К. О.
здобувачка вищої освіти ОС «бакалавр»
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
ORCID: *0009-0005-6997-6567*

ОБСЯГИ ВИРОЩУВАННЯ ТА УРОЖАЙНІСТЬ КУКУРУДЗИ, ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ БІОСТИМУЛЯТОРІВ-АНТИСТРЕСАНТІВ ЗА УМОВ ЗМІНИ КЛІМАТУ

Анотація

У статті здійснено комплексний аналіз сучасних обсягів виробництва та коливань продуктивності кукурудзи (Zea mays L.) в Україні та світі. Розглянуто вплив глобальних змін клімату, зокрема тривалих засух, зміщення агрокліматичних зон та температурних аномалій, на онтогенез і фізіологічний стан культури. Обґрунтовано статистичні дані по виробництву кукурудзи в світі та в Україні. Охарактеризовано площі посівів та валові збори даної культури впродовж останніх років.

Кукурудза традиційно посідає стратегічне місце в агропромисловому комплексі України, демонструючи стабільне розширення географії вирощування в усіх природно-кліматичних зонах незалежно від масштабів господарювання. Інтенсифікація зерновиробництва є пріоритетним вектором розвитку сучасного аграрного сектора країни. Системне зростання внутрішнього та зовнішнього попиту на продовольче й фуражне зерно актуалізує дослідження цієї галузі в контексті зміцнення національної продовольчої безпеки.

Завдяки вищій продуктивності порівняно з іншими зернофуражними культурами, кукурудза здатна забезпечувати стабільну врожайність на рівні 60–70 ц/га. Водночас емпіричні дані свідчать про суттєву просторову та часову варіативність цього показника в межах сільськогосподарських підприємств. Така диференціація врожайності, з одного боку, вказує на наявність значного невикористаного біоресурсового потенціалу культури, а з іншого — створює економічні ризики для товаровиробників і дестабілізує сировинну базу тваринництва та зернового ринку загалом. Максимальна реалізація потенціалу продуктивності кукурудзи можлива лише за умови синергетичного поєднання біологічних властивостей культури, генетичних особливостей гібридів, адаптивних агротехнологій та сприятливих гідротермічних умов. Кожен макрорегіон вирощування характеризується специфічним режимом зволоження, аерації та теплозабезпечення, що безпосередньо детермінує процеси онтогенезу та формування біомаси рослин. Попри регіональну специфіку, існує комплекс універсальних технологічних рішень, застосування яких гарантує високу продуктивність посівів. Для системного осмислення сучасного стану та проблем розвитку цієї галузі в роботі здійснено комплексний аналіз науково-методичної літератури та статистичних джерел.

Проведене дослідження підтверджує, що виробництво зерна кукурудзи характеризується високим рівнем рентабельності. Саме цей економічний чинник зумовлює стійку тенденцію до збільшення посівних площ, зростання валових зборів та диверсифікації напрямів кінцевого використання продукції відповідно до сучасних потреб ринку.

Ключові слова: *агроценоз, гібрид, кукурудза, біостимулятори, мікроелементи, норми внесення. періоди застосування, мінеральне живлення, стрес, абіотичні фактори, технологія вирощування, урожайність, валовий збір, агрокліматичні зони, структура сівозміни, експортний потенціал.*

Вступ. Кукурудза залишається стратегічною зерновою культурою у глобальній системі продовольчої безпеки, посідаючи перше місце у світі за обсягами виробництва. Її універсальність як кормової, технічної (біоетанол) та продовольчої культури забезпечує стабільний високий попит на міжнародних ринках [6].

© Загородний В. В., Овчарук О. В., Овчарук К. О., 2026
pISSN 2706-9052, eISSN 2706-851X

Аналіз світового та українського ринків вирощування кукурудзи свідчить про відновлення глобального виробництва після посух та стабілізацію посівних площ в Україні в межах 3,8–3,9 млн. га на тлі логістичних і кліматичних викликів. За даними USDA та Міністерства економіки України, ключовими факторами розвитку ринку є інтенсифікація технологій та зміщення зон вирощування. Світове виробництво демонструє тенденцію до зростання та оцінюється у понад 1,26–1,31 млрд. т, залежно від маркетингового року (МР). Основне нарощування обсягів відбувається завдяки США та Китаю [12].

Зміна клімату змінює регулярну сезонність погодних умов. Кукурудза є однією з основних культур, на яку впливає нерегулярний водний режим. Через ускладнення процесів прийняття рішень, пов'язаних зі зміною клімату, за оцінками, посадка кукурудзи поза оптимальним вікном призводить до втрат приблизно 340 млн. доларів США на рік у кукурудзяному поясі Сполучених Штатів. У свою чергу, екзогенні регулятори росту рослин набувають все більшого значення завдяки своєму потенціалу позитивно впливати на морфологію та фізіологію рослин у стресових ситуаціях.

Для України кукурудза традиційно є основним драйвером аграрного експорту та ключовим джерелом валютних надходжень. Проте сучасні реалії вимагають глибокого переосмислення підходів до її вирощування. Стрімкі кліматичні зміни, що супроводжуються тривалими посухами в період вегетації, у поєднанні з воєнними діями та блокуванням експортних артерій, суттєво деформували звичну структуру посівних площ. Дослідження поточного стану посівів та продуктивності кукурудзи дозволяє оцінити адаптаційну здатність вітчизняного агросектору у порівнянні з глобальними лідерами.

Кліматична дестабілізація виявляється не лише в тенденції до зростання середньодобової температури, а й у розширенні меж її добової розбіжності. Водночас спостерігається суттєва трансформація гідрологічного режиму, що полягає у чергуванні аномальних злив із перманентними засухами. Комплексний вплив цих чинників деструктивно діє на метаболізм фітоценозів, дезорганізує осморегуляцію, енергетичний обмін та асиміляцію елементів живлення, детермінуючи у підсумку падіння кількісних і якісних параметрів урожаю [1; 2; 5; 8; 15].

Позакореневе підживлення дозволяє оперативно забезпечувати рослини необхідними елементами живлення, особливо в критичні фази росту і розвитку, а також зменшувати негативну дію стресових факторів [9; 10]. Його вплив обумовлений здатністю рослин швидко поглинати необхідні елементи живлення через листову поверхню [7; 10; 11; 13].

Мета досліджень полягала дослідити обсяги вирощування кукурудзи та стан застосування біостимуляторів-антистресантів, періодів та норм їх внесення.

Виклад основного матеріалу. Експериментальну роботу проводили впродовж 2022–2025 рр. відповідно до «Методики державного сортовипробування сільськогосподарських культур» та «Методи аналізу в агрономії та агроекології» [6] згідно плану науково-дослідної роботи кафедри рослинництва, селекції та насінництва Закладу вищої освіти «Подільський державний університет» (державний реєстраційний номер 0126U000578) в умовах дослідної ділянки ТОВ «Козацька долина 2006», що розташована в с. Вихрівка, Кам'янець-Подільського району, Хмельницької області.

Погодно-кліматичні умови, які складалися в роки проведення польових досліджень з багаторічними показниками дають можливість підтвердити, що не дивлячись на певні зміни, вони в цілому не виходили за межі, які характерні для Правобережного Лісостепу України.

Розмір площі дослідних ділянок: загальна – 55 м^2, облікова – 35,2 м^2, повторення варіантів триразове із систематичним розміщенням рослин.

Агрохімічна характеристика ґрунту дослідного поля. Ґрунт – чорнозем опідзолений, середньосуглинковий. Забезпеченість поживними елементами: загального азоту – 0,158–0,167%, рухомих форм фосфору та калію (за Чіріковим) – 16,7 та 11,6 мг на 100 г ґрунту відповідно. Сума вбирних основ коливається в межах 158–209 мг екв./кг. Гідролітична кислотність становить 17–23 мг екв./кг, ступінь насичення основами – 92%.

Погодно-кліматичні умови регіону характеризуються достатнім забезпеченням тепла з недостанім рівнем зволоження. Підвищення температури відзначається у ранньовесняний період. У літній період спостерігається підвищення температур. Тривалість теплого періоду становить 230–265 днів, а період активної вегетації – у межах 155–170 діб. Показники суми активних температур становлять 2300–2750°С, ГТК – на рівні 1,4–2,1, кількість опадів за рік знаходиться у межах 498–675 мм, середня температура повітря – 7,8°С.

Схема досліду була трифакторна в чотириразовому повторенні. У досліді вивчали гібриди кукурудзи ДКС 3972, ДКС 3609, ДКС 4351. Сівбу проводили 5 травня на глибину загортання насіння 3–4 см. Попередник – ріпак озимий. Ширина міжрядь Ширина міжрядь 70 см, норма висіву 78 тис. нас./га. Застосування біостимуляторів антистресантів проводили з препаратами Вуксал Мікроплант (WUXAL) та Інтермаг Кукурудза (Smart Grow) з внесенням в період розвитку рослин кукурудзи: 3–5 листок (ВВСН 13-15) , 8–9 листок (ВВСН 18–19) та дворазову обробку 3–5 листок (ВВСН 13–15) + 8–9 листок (ВВСН 18–19), з нормами препарату – 0,5 та 1,0 та 1,0–2,0 л/га з витратою робочого розчину 100 л/га, відповідно.

Глобальне виробництво кукурудзи демонструє стабільну тенденцію до утримання високих обсягів, попри кліматичні аномалії в окремих півкулях. Сумарна світова площа під культурою перевищує 200 млн га. Згідно з консолідованими даними аналітичних агенцій (зокрема USDA), світовий валовий збір кукурудзи перебуває на рівні 1,29–1,33 млрд. т [12].

Основними географічними центрами виробництва залишаються:

– США: світовий лідер за рівнем інтенсифікації технологій. Посівні площі становлять близько 36–37 млн. га, а середній показник врожайності сягає рекордних 11,5–12,0 т/га.

– Китай: фокусується на внутрішньому забезпеченні тваринницької галузі. Посіви займають понад 44 млн. га із середньою врожайністю близько 7,0 т/га.

– Бразилія та Аргентина: головні експортні конкуренти Північної Америки. Завдяки збиранню двох врожаїв на рік (зокрема "сафрінья" у Бразилії) сумарно генерують понад 170 млн. т зерна.

Середня глобальна урожайність кукурудзи стабілізувалася в межах 5,8–6,3 т/га, що свідчить про високу технологічну конверсію у більшості країн-виробників [12].

На основі статистичних та прогнозних даних сформовано порівняльну таблицю виробничого потенціалу кукурудзи (табл. 1).

Таблиця 1. Порівняльна характеристика параметрів виробництва кукурудзи (2016–2026 рр.)

Параметр виробництва	Світовий ринок (Глобальні тренди)	Ринок України (вітчизняна динаміка)
Посівні площі	Зросли зі 187 млн. га (2016 р.) до майже 203 млн. га у 2025/26 роках.	Збільшилися з 4,2 млн. га (2016 р.) до історичного піка 5,4 млн. га (2021 р.), після чого впали й стабілізувалися в межах 3,8–3,9 млн. га.
Середня врожайність	Стабільна, колива-ється в межах 5,6–6,1 т/га. Залежить від нижчої продуктив-ності в Азії та Африці.	Хвилеподібна. Зросла з 6,0 т/га, до рекорду 7,8–7,9 т/га (2021 та 2023 рр.). У посушливі та воєнні роки (2022, 2024) знижувалася до 6,4–6,9 т/га.
Валовий збір	Зріс із ~1,06 млрд. т (2016 р.) до рекордних 1,22–1,23 млрд. т в останні маркетингові роки.	Досяг абсолютного максимуму у 42,1 млн. т (2021 р.). Поточні воєнні збори впали приблизно на 30–35% і становлять 27–30 млн. т.
Частка на ринку експорту	Світовий експорт становить ~200 млн. т. Домінують США, Бразилія та Аргентина.	Україна входила до ТОП-4 світових експортерів із часткою понад 15% (експорт до 30 млн. т). Зараз утримує позиції в ТОП-6 із обсягом експорту 22–24 млн. т.

Зробивши аналіз ми бачимо що до 2021 року Україна демонструвала одні з найвищих темпів приросту врожайності у світі. Завдяки масовому переходу на високоякісні іноземні гібриди, точне землеробство та інтенсивне внесення добрив середня врожайність в Україні впевнено випередила середньосвітову (понад 7,8 т/га проти 5,8 т/га у світі) [1; 2; 3; 4]. Глобальний ринок майже не змінив посівних площ через геополітику, перерозподіливши частки на користь Бразилії та США. Натомість Україна втратила близько 1,5 млн га кукурудзяного поясу через мінування, окупацію Півдня та Сходу та критичну дорожнечу логістики через блокування чорноморських портів у перші роки війни [1; 2].

Також не малу роль відіграє зміна клімату, глобальне виробництво страждає від циклів El Niño, які періодично знижують врожаї в Аргентині та посухи в кукурудзяних штатах США. Зокрема і в Україні протягом 10 років чітко простежуються кліматичні аномалії. Рекордне літо 2021 та 2023 років забезпечило максимальні збори, тоді як екстремальні посухи 2020 та 2024 років (аномальна спека в липні–серпні) обвалили врожайність нижче психологічної позначки в 7 т/га. [1; 2; 3].

Якщо у світі ядро виробництва незмінне (США та Китай забезпечують більше половини валу), то всередині України відбувся тектонічний зсув. Посіви кукурудзи мігрували із зони ризикованого південного землеробства у західні та центральні області (Хмельницька, Тернопільська, Полтавська), де за рахунок м'якшого клімату поодинокі господарства збирають до 10–11 т/га. [1; 2; 3; 4].

Динаміка урожайності кукурудзи в Україні за останні 10 років (період 2016–2025 рр.) демонструє значні коливання – від рекордних показників до серйозного падіння через екстремальні літні посухи та фактор війни. Середня загальнонаціональна урожайність у цей період коливалася в межах 5,4–7,8 т/га. [12].

Загальноукраїнська динаміка за роками має наступний вигляд: 2016–2017 рр. – стабільні показники на рівні 5,5–6,6 т/га; 2018–2019 рр. – стрімкий технологічний стрибок, середня урожайність сягнула 7,2–7,8 т/га (у передових областях збирали понад 10 т/га); 2020 рік – сильна аномальна посуха знизила середній показник до 5,4 т/га; 2021 рік – історичний рекорд валового збору та урожайності – близько 7,5–7,7 т/га в середньому; 2022–2023 роки: попри воєнні дії та проблеми з добривами, урожайність трималася на високому рівні 6,5–7,4 т га завдяки сприятливій погоді; 2024–2025 роки – через екстремальну літню спеку та дефіцит вологи показники знову знизились до 6,4–6,9 т/га. [14].

Географічний розріз урожайності кукурудзи в Україні чітко ділиться на три природно-кліматичні зони:

1. Зона стабільно високої урожайності (Захід та Центр). Ці області мають достатній рівень зволоження та найсучасніші агротехнології. Впродовж 10 років вони є незмінними локомотивами:

– Хмельницька область: абсолютний лідер десятиріччя, де середня урожайність регулярно перевищує 10,0–10,5 т/га.

– Тернопільська область: демонструє стабільні 8,5–9,8 т/га. [1; 2].

– Чернігівська та Полтавська області: головні виробники за обсягами, середня урожайність варіюється в межах 8,0–9,3 т/га (саме на Чернігівщині у 2025 році було зафіксовано локальний рекорд окремого господарства у 21,42 т/га).

– Вінницька, Черкаська, Київська, Львівська області: стабільні показники на рівні 7,5–9,3 т/га залежно від погодних умов конкретного року.

2. Зона помірної урожайності (Схід та Північ)

– Сумська, Харківська, Житомирська області: урожайність сильно залежить від розподілу літніх опадів. Середні показники за останні 10 років становлять 6,0–7,5 т/га. Останні роки логістика та збір тут суттєво ускладнені через безпекові фактори у прифронтових зонах.

3. Зона ризикованого землеробства (Південь)

– Одеська, Миколаївська, Херсонська, Запорізька області: традиційно найнижча урожайність в Україні через жорсткий дефіцит вологи. Без штучного зрошення показники тут рідко перевищують 3,5–5,0 т/га, а в екстремально посушливі роки (як-от 2020 чи 2025) збір критично падав до 0,8–1,5 т/га, роблячи вирощування культури збитковим [1; 2].

Як вже згадувалося що вітчизняний сектор виробництва кукурудзи зазнав помітної реструктуризації. Якщо у довоєнний період (2021 рік) площі під культурою досягали історичного максимуму у 5,5 млн га, то наразі посіви стабілізувалися в межах 4,4–4,5 млн га.

Головними чинниками скорочення площ та зміни структури сівозмін є: економічна маржинальність, зростання вартості логістики та витрат на сушіння зерна (через дорожнечу енергоносіїв) змусили аграріїв переорієнтуватися на олійні культури (соняшник, соя, ріпак), які мають вищу вартість тони продукції. Також чи не малий вплив мають агрокліматичні зміни: Жорсткі літні гідротермічні стреси у Південному та Східному регіонах призвели до суттєвого падіння рентабельності кукурудзи в цих зонах.

Внаслідок цього відбувся чіткий географічний зсув посівів. Кукурудзяний пояс України остаточно зміститься у Західні, Центральні та Північні області (Полтавська, Чернігівська, Вінницька, Черкаська, Хмельницька, Київська), де рівень зволоження ґрунту залишається відносно сприятливим.

Хмельниччина утримує статус абсолютного лідера України за показником середньої врожайності кукурудзи, демонструючи результати на рівні кукурудзяного поясу США [5].

Площі під культурою в області є стабільними і коливаються в межах 260–280 тис. га. У 2026 році спостерігається часткова оптимізація структури полів: через здорожчання азотних добрив (зокрема, карбаміду) частина господарств зменшила посіви кукурудзи на користь менш вибагливої сої [4].

Середня врожайність кукурудзи в Хмельницькій області зафіксована на позначці 10,5 т/га. З площі у 261,2 тис. га аграрії області намолотили понад 2,74 млн т зерна, випередивши Тернопільську (9,78 т/га) та Львівську (9,36 т/га) області. Середня урожайність по Україні – 6,94 т/га [4].

Кліматичні зміни супроводжуються не лише зростанням середніх показників температури, а й різкими добовими коливаннями між денними та нічними температурами. Ці коливання поєднуються із нестабільним зволоженням, коли зливи різко змінюються тривалими посушливими періодами. Подібний гідротермічний режим пригнічує фізіологічний стан рослинних організмів, погіршуючи фотосинтетичну діяльність, водний обмін і мінеральне живлення, що призводить до падіння врожайності та зниження товарної якості агропродукції [2; 5]. Дефіцит вологи на тлі високих температур викликає у культурних рослин сильний водний стрес. Він гальмує ростові процеси, зменшує площу асиміляційної поверхні, стимулює передчасний хлороз, скручування та відмирання листкового апарату. Штучне прискорення вегетації за таких умов погіршує налив зерна чи плодів і знижує загальну біологічну продуктивність посівів [6]. Зазначені загрози зумовлюють актуальність селекції стресостійких сортів та модернізації сучасних агротехнологічних підходів до вирощування.

Періоди тривалого дефіциту вологи в поєднанні з термічним пресингом індукують розвиток водного дефіциту в тканинах рослин. Як наслідок, блокується лінійний ріст, зменшується площа листкових пластинок, прискорюється деградація хлорофілу, відбувається деформація та некроз листя. Окрім цього, за таких умов форсуються фази онтогенезу, що спричиняє дрібнозернистість чи недорозвиненість плодів, суттєво знижуючи загальну продуктивність агроценозів [6]. Викладене вище актуалізує потребу в оптимізації систем технології вирощування та інтенсифікації селекційного процесу задля отримання адаптивних генотипів.

Останні роки досліджень продемонстрували посилення аридності клімату в основних зонах вирощування культури, що супроводжувалося тривалими періодами високих температур повітря та дефіцитом продуктивної вологи у критичні фази онтогенезу рослин. Жорсткий гідротермічний стрес, викликаний повітряною та ґрунтовою посухою, призводить до значного зниження ефективності фотосинтетичних процесів, порушення метаболізму азоту та, як наслідок, до суттєвих втрат урожайності, які в окремих регіонах можуть перевищувати 40–50 % порівняно з оптимальними роками.

У зв’язку з цим виникає гостра науково-практична потреба в оптимізації елементів технології вирощування кукурудзи шляхом упровадження адаптивних заходів мінімізації наслідків абіотичного стресу. Одним із найбільш перспективних та екологічно безпечних напрямів інтенсифікації агроценозів є застосування спеціалізованих біостимуляторів-антистресантів. Такі препарати дозволяють активувати ендогенні захисні механізми рослинного організму, модулювати експресію генів стресостійкості та підтримувати транспірацію на належному рівні навіть за екстремальних умов навколишнього середовища.

Проте ефективність дії антистресових сполук безпосередньо залежить від чіткого визначення етапів та регламентів їхнього внесення, які мають збігатися з критичними періодами формування елементів продуктивності культури.

Результатами проведених досліджень встановлено позитивний вплив застосування біостимуляторів на продуктивність рослин та урожайність гібридів кукурудзи. Найвищу врожайність отримали в 2025 році. Показники урожайності знаходились в межах 16,1–16,9 т/га на варіанті без застосування біостимуляторів. Середнє значення становило 13,4–15,8 т/га (табл. 2).

Таблиця 2. Урожайність гібридів кукурудзи залежно від строків і норм внесення біостимулятора Вуксал Мікроплант

Строки внесення	Норми внесення, л/га	Гібриди											
		ДКС 3609				ДКС 3972				ДКС 4351			
		Роки досліджень											
		2023	2024	2025	Середнє	2023	2024	2025	Середнє	2023	2024	2025	Середнє
Без застосування (контроль)		11,6	12,3	16,2	13,4	11,2	15,9	16,1	14,7	14,4	16,1	16,9	15,8
(ВВСН 13-15)	0,5	12,5	13,8	17,1	14,4	12,7	16,4	17,1	15,4	15,2	16,2	17,5	16,3
	1,0	12,7	14,1	17,3	14,7	12,9	16,5	17,3	15,6	15,4	16,6	17,7	16,6
(ВВСН 13-15)+ (ВВСН 18-19)	0,5+1,0	12,7	14,3	17,5	14,8	13,2	17,1	17,8	16,0	15,5	16,8	18,1	16,8
	0,5+2,0	12,9	14,5	17,8	15,1	13,4	17,3	18,2	16,3	15,5	16,7	18,1	17,0
	1,0+1,0	13,0	14,7	18,1	15,3	13,6	17,5	18,4	16,5	15,8	17,2	18,2	17,1
	1,0+2,0	13,3	15,1	18,4	15,6	13,8	17,7	18,6	16,7	16,1	17,5	18,5	17,4
(ВВСН 18-19)	1,0	12,7	14,2	17,4	14,8	13,2	17,1	17,9	16,0	15,4	16,8	17,9	16,7
	2,0	12,8	14,4	17,6	14,9	13,3	17,2	18,3	16,2	15,6	17,1	18,1	16,9

Обробка посіву кукурудзи у фазу ВВСН 13–15 біостимулятором Вуксал Мікроплант з нормою 0,5 та 1,0 л/га підвищило урожайність в межах 14,4–16,3 т/га з прибавкою у гібридів ДКС 3609 – 1,0, ДКС 3972 – 0,7, ДКС 4351 – 0,5 т/га, відповідно.

Найбільшу прибавку від застосування біостимуляторів відмічено на варіантах з дворазовим внесенням у фази ВВСН 13–15+ ВВСН 18–19 з нормою 1,0+2,0 л/га, в середньому за роками становила ДКС 3609 – 15,6, ДКС 3972 – 16,7, ДКС 4351 – 17,4 т/га. Найвищу урожайність отримали в 2025 році гібриду ДКС 3972 – 18,6 т/га, що перевищила контроль на 4,2 т/га.

Найвища урожайність гібридів ДКС 3609 – 18,4 т/га з дворазовим внесенням у фази ВВСН 13–15 (1,0 л/га) + ВВСН 18–19 (2,0 л/га), що перевищило контроль на 2,2 т/га; ДКС 3972 – 16,7 т/га на 2,0 т/га; ДКС 4351 – 17,4 т/га, на 1,1 т/га, відповідно.

Висновки. Світовий ринок кукурудзи утримує високу планку виробництва за рахунок інтенсивних технологій США та розширення площ у Латинській Америці. Україна, попри втрату частини територій та логістичні виклики, стабілізувала виробництво завдяки західним та північним областям. Хмельницька область наочно демонструє, що впровадження системного захисту за рахунок біостимуляції дозволяє досягати європейських та американських стандартів продуктивності (10,5 т/га), нівелюючи будь-які погодні ризики.

Результатами наших досліджень було встановлено вагомий вплив внесення біостимуляторів Вуксал Мікроплант (WUXAL) та Інтермаг Кукурудза (Smart Grow) на продуктивність гібридів кукурудзи ДКС 3972, ДКС 3609, ДКС 4351.

Зміна клімату посилює інтерес до вивчення біостимуляторів-антистресантів, де ключовим практичним аспектом є визначення оптимальних термінів їх внесення під кукурудзу. За умов термічного та водного дефіциту (високі температури повітря/ґрунту, брак продуктивної вологи та посуха) застосування цих засобів демонструє

високу ефективність. Вони допомагають культурі долати стрес і водночас підтримують екологічну рівновагу сучасних агроценозів.

Внесення біостимулятора Вуксал Мікроплант (WUXAL) в період розвитку рослин кукурудзи: 3–5 листок (ВВСН 13–15), 8–9 листок (ВВСН 18–19) та дворазову обробку 3–5 листок (ВВСН 13–15) + 8–9 листок (ВВСН 18–19), з нормами препарату – 0,5 та 1,0 та 1,0–2,0 л/га з витратою робочого розчину 100 л/га, сприяло підвищенню продуктивності рослин та стабілізації рівня урожайності. Прибавка врожаю становила для гібридів: ДКС 3609 – 2,0 т/га; ДКС 3972 – 2,2 т/га; ДКС 4351 – 1,1 т/га, відповідно.

В умовах глобальних кліматичних трансформацій детермінуючого значення набуває дослідження ефекту антистресових біостимуляторів, зокрема оптимізація етапів їхнього внесення у посівах кукурудзи (*Zea mays L.*). Практичний досвід культивування даної зернової культури за дії гідротермічних стресорів – що виражається у поєднанні високих температур повітря й ґрунту з дефіцитом продуктивної вологи та тривалою відсутністю опадів – експериментально підтверджує високу функціональну ефективність зазначених препаратів. Їх застосування дозволяє нівелювати деструктивний вплив абіотичних чинників, забезпечуючи стабілізацію врожайності для збереження екологічної рівноваги агроценозів.

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

Список використаних джерел

1. Гангур В.В., Єремко Л.С., Руденко В.В. Вплив елементів технології вирощування на формування продуктивності гібридів кукурудзи різних груп стиглості. *Таврійський науковий вісник.* 2021. № 117. С. 37–43. https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.117.6.

2. Грабовський М.Б., Вахній С.П., Лозінський М.В., Панченко Т.В., Басюк П.Л. Зернова продуктивність гібридів кукурудзи залежно від застосування комплексних мінеральних добрив. *Агробіологія*. 2021. № 2. С. 33–42. doi: 10.33245/2310-9270-2021-.167-2-33-42

3. Коваленко О.А., Дробітько А.В. Вплив мікро- та функціональних добрив на стресостійкість і продуктивність кукурудзи за умов змін клімату. *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти: матеріали Міжн. наук.- практ. конф*. Київ: Агроосвіта, 2018. С. 727–730.

4. Кривенко А.І., Марткоплішвілі М.М. Особливості формування урожайності кукурудзи залежно від впливу елементів технології вирощування. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2020. Вип. 28. С. 201–209. DOI: https://doi.org/10.47414/np.28.2020.230241 .

5. Кулик М.І., Білявська Л.Г., Сиплива Н.О., Улізко П.М., Гайдай А.О. Мінливість елементів індивідуальної продуктивності та врожайності зерна гібридів кукурудзи. *Аграрні інновації*. 2022. Вип. 15. С. 111–119. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.15.17.

6. Методи аналізу в агрономії та агроекології за ред. Овчарука В.І. Кам'янець-Подільський, Харків : Мачулин, 2019. 364 с.

7. Овчарук О.В., Ороховський А.О., Овчарук К.О., Секрієру С., Скриник О.А. Вплив строків та норм внесення біостимуляторів-антистресантів на фотосинтетичну продуктивність сої в умовах Лісостепу західного. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка.* 2026. № 1 (50). С. 156–163. DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-1-20 .

8. Овчарук О.В., Рахметов Д.Б., Єременко О.А., Федорчук М.І. Вплив абіотичних і біотичних факторів на сільськогосподарські рослини. *Тенденції та виклики сучасної аграрної науки: теорія і практика*: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 20-22 жовтня 2021 р., Київ: НУБіП України, 2021. С. 215–217.

9. Паламарчук В.Д., Демчук Б.С. Роль позакореневих підживлень у сучасних технологіях вирощування зернової кукурудзи. *Сільське господарство та лісівництво*. 2021. № 20. С. 60–76. https://doi.org/10.37128/2707-5826-2021-5 .

10. Поліщук М.І. Паламарчук О.Д. Вплив позакореневих підживлень на продуктивність гібридів кукурудзи. *Сільське господарство та лісівництво*. 2016. № 4. С. 102–109.

11. Рибальченко А. М., Триль В. О. Вплив позакореневого підживлення на формування зернової продуктивності кукурудзи. *Сучасні аспекти і технології у захисті рослин: матеріали VI міжнар. наук.-практ. інтернет-конф.* (м. Полтава, 26 листопада 2024 р.). Полтава: ПДАУ, 2024. С. 111–112. DOI: 10.5281/zenodo.14534615.

12. Сидякіна О.В., Іванів О.О. Сучасний стан і перспективи виробництва зерна кукурудзи. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки.* 2023. № 130. С. 225–234. DOI: https://doi.org/10.32851/2226-0099.2023.130.33

13. Шевченко Л. А., Чмель О.П., Хоменко С. В. Вплив мікродобрив та рістрегуляторів на продуктивність гібридів кукурудзи в умовах Півночі України. *Аграрні інновації*. 2020. № 4. С. 73–78. DOI: https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.4.11.

14. Юрченко С.О., Шакалій С.М., Баган А.В. Формування продуктивного потенціалу гібридів кукурудзи за групами стиглості. *Аграрні інновації*. 2022. № 113. С. 7–11. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.13.1.

15. Bondarenko V., Havrylianchik R., Ovcharuk O., Pantsyreva H., Krusheknyckiy V., Tkach O., Niemec M. Features of the soybean photosynthetic productivity indicators formation depending on the foliar nutrition. *Ecology, Environment and Conservation.* 2022. 28. P. 20–26. DOI: 10.53550/eec.2022.v28i04s.004.

Zagorodnyi V. V.
Postgraduate Student at the Department of Plant Breeding, Selection and Seed Production,
Higher Educational Institution «Podillia State University»
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *viktorzvv@gmail.com*
ORCID: *0009-0006-6066-4900*

Ovcharuk O. V.
Doctor of Agricultural Sciences
Professor at the Department of Crop Production, Plant Breeding and Seed Production
Higher Educational Institution «Podillia State University»
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *ovcharuk.oleh@gmail.com*
ORCID: *0000-0002-1117-962X*

Ovcharuk K. O.
Bachelor's degree student
Higher Educational Institution «Podillia State University»
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
ORCID: *0009-0005-6997-6567*

CORN CULTIVATION VOLUMES AND YIELD AND PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF ANTI-STRESS BIOSTIMULATORS UNDER CLIMATE CHANGE

Abstract

The article provides a comprehensive analysis of current production volumes and fluctuations in corn (Zea mays L.) productivity in Ukraine and the world. The impact of global climate change, in particular prolonged droughts, shifts in agroclimatic zones and temperature anomalies, on the ontogenesis and physiological state of the crop is considered. Statistical data on corn production in the world and in Ukraine are substantiated. The sown areas and gross yields of this crop in recent years are characterized.

Corn traditionally occupies a strategic place in the agro-industrial complex of Ukraine, demonstrating a stable expansion of the geography of cultivation in all natural and climatic zones, regardless of the scale of management. Intensification of grain production is a priority vector for the development of the country's modern agricultural sector. The systematic growth of internal and external demand for food and feed grain makes research in this area relevant in the context of strengthening national food security.

Due to its higher productivity compared to other grain and fodder crops, corn is able to provide stable yields at the level of 60-70 c/ha. At the same time, empirical data indicate significant spatial and temporal variability of this indicator within agricultural enterprises. Such differentiation of yields, on the one hand, indicates the presence of significant unused bioresource potential of the crop, and on the other hand, creates economic risks for commodity producers and destabilizes the raw material base of livestock farming and the grain market in general. The maximum realization of the productivity potential of corn is possible only under the condition of a synergistic combination of the biological properties of the crop, genetic features of hybrids, adaptive agrotechnologies and favorable hydrothermal conditions. Each macroregion of cultivation is characterized by a specific regime of moistening, aeration and heat supply, which directly determines the processes of ontogenesis and the formation of plant biomass. Despite the regional specificity, there is a complex of universal technological solutions, the use of which guarantees high crop productivity. For a systematic understanding of the current state and problems of development of this industry, a comprehensive analysis of scientific and methodological literature and statistical sources was carried out in the work.

The conducted study confirms that the production of corn grain is characterized by a high level of profitability. It is this economic factor that determines the steady trend towards an increase in sown areas, an increase in gross yields and diversification of the directions of final use of products in accordance with modern market needs.

Key words: *agrocenosis, hybrid, corn, biostimulants, trace elements, application rates. application periods, mineral nutrition, stress, abiotic factors, growing technology, yield, gross harvest, agroclimatic zones, crop rotation structure, export potential.*

References

1. Gangur, V.V. (2021). Kukurudza na zerno – krashchi stroky sivby i optymalna hustota stoiannia roslyn dlia Livoberezhnoho Lisostepu [Corn for grain – the best sowing dates and optimal plant density for the Left Bank Forest Steppe]. *Ahrobiznes sohodni – Agribusiness today*, 7 (446), 24–25 https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.117.6. [in Ukrainian].

2. Grabovskyi, M.B., Vakhniy, S.P., Lozinskyi, M.V., Panchenko, T.V., & Basyuk, P.L. (2021). Zernova produktyvnist hibrydiv kukurudzy zalezhno vid zastosuvannia kompleksnykh mineralnykh dobryv [Grain productivity of corn hybrids depending on the application of complex mineral fertilizers]. *Ahrobiolohiia – Agrobiology,* 2, 33–42. doi: 10.33245/2310-9270-2021-.167-2-33-42 [in Ukrainian].

3. Kovalenko O.A. & Drobitko A.V. (2018). Vplyv mikro- ta funktsionalnykh dobryv na stresostiikist i produktyvnist kukurudzy za umov zmin klimatu. [The impact of micro- and functional fertilizers on stress resistance and productivity of corn under climate change]. *Klimatychni zminy ta silske hospodarstvo. Vyklyky dlia ahrarnoi nauky ta osvity*: materialy *Mizhn. nauk.-prakt.*

konf. – Climate change and agriculture. Challenges for agricultural science and education: materials of the International Scientific-Practical Conference. Kyiv: Ahroosvita. P. 727–730 [in Ukrainian].

4. Kryvenko A. I., & Martkoplishvili M. M. (2020). Osoblyvosti formuvannia urozhainosti kukurudzy zalezhno vid vplyvu elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia. [Peculiarities of corn yield formation depending on the influence of elements of growing technology]. *Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovykh buriak*iv – *Scientific works of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet*, 28. P. 201-209. https://doi.org/10.47414/np.28.2020.230241 [in Ukrainian].

5. Kulyk, M.I., Bilyavska, L.G., Syplyva, N.O., Ulizko, P.M., & Gaidai, A.O. (2022). Minlyvist elementiv indyvidualnoi produktyvnosti ta vrozhainosti zerna hibrydiv kukurudzy [Variability of elements of individual productivity and grain yield of corn hybrids]. *Ahrarni innovatsii – Agrarian innovations,* 15. P. 111–119. [in Ukrainian].

6. Ovcharuk, V.I. (2019). Metody analizu v ahronomii ta ahroekolohii. [Analysis methods in agronomy and agroecology]. Kamianets-Podilskyi, Kharkiv: Machulyn. 364 s. [in Ukrainian].

7. Ovcharuk, O.V., Orokhovskyi, A.O., Ovcharuk, K.O., Sekriieru, S., & Skrynyk O.A. (2026). Vplyv strokiv ta norm vnesennia biostymuliatoriv-antystresantiv na fotosyntetychnu produktyvnist soi v umovakh Lisostepu zakhidnoho [The influence of timing and rates of application of biostimulants-antistressants on the photosynthetic productivity of soybeans in the conditions of the Western Forest-Steppe]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika – Podolsky Visnyk: Agriculture, Technology, Economics* № 1 (50). P. 156–163. DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-1-20. [in Ukrainian].

8. Ovcharuk, O. V., Rakhmetov, D. B., Eremenko, O. A. & Fedorchuk, M. I. (2021). Vplyv abiotychnykh i biotychnykh faktoriv na silskohospodarski roslyny [The influence of abiotic and biotic factors on agricultural plants]. *Tendentsii ta vyklyky suchasnoi ahrarnoi nauky: teoriia i praktyka: zbirnyk nauk – prats Mizhn. nauk.- prakt. konf. – Trends and challenges of modern agricultural science: theory and practice: collection of scientific. proceedings of the International Scientific-practical Conference.* Kyiv, October 20-22, 2021. Kyiv: NUBIP of Ukraine. P. 215-217. [in Ukrainian].

9. Palamarchuk, V.D., & Demchuk, B.S. (2021). Rol pozakorenevykh pidzhyvlen u suchasnykh tekhnolohiiakh vyroshchuvannia zernovoi kukurudzy [The role of foliar fertilization in modern grain corn cultivation technologies]. *Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo – Agriculture and forestry*, 20, S. 60–76. https://doi.org/10.37128/2707-5826-2021-5. [in Ukrainian].

10. Polishchuk, M.I., & Palamarchuk, O.D. (2016). Vplyv pozakorenevykh pidzhyvlen na produktyvnist hibrydiv kukurudzy [The effect of foliar fertilization on the productivity of corn hybrids]. *Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo – Agriculture and forestry.* 4. S. 102–109 [in Ukrainian].

11. Rybalchenko, A.M., & Tryl, V.O. (2024). Vplyv pozakorenevoho pidzhyvlennia na formuvannia zernovoi produktyvnosti kukurudzy [The influence of foliar fertilization on the formation of grain productivity of corn]. *Suchasni aspekty i tekhnolohii u zakhysti roslyn* : *materialy VI mizhnar. nauk.-prakt. internet-konf. Modern aspects and technologies in plant protection: materials of the VI international scientific-practical online conference.* (m. Poltava, 26 lystop. 2024 r.). Poltava: PDAU. S. 111-112. DOI: 10.5281/zenodo.14534615. [in Ukrainian].

12. Sydiakina, O.V., & Ivaniv, O.O. (2023). Suchasnyi stan i perspektyvy vyrobnytstva zerna kukurudzy [Current status and prospects of corn grain production]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Silskohospodarski nauky– Tavria Scientific Bulletin. Series: Agricultural Sciences.* 2023. 130. P. 225–234. DOI: https://doi.org/10.32851/2226-0099.2023.130.33 [in Ukrainian].

13. Shevchenko, L. A., Chmel, O.P., & Khomenko, S. V. (2020). Vplyv mikrodobryv ta ristrehuliatoriv na produktyvnist hibrydiv kukurudzy v umovakh Pivnochi Ukrainy [The influence of microfertilizers and growth regulators on the productivity of corn hybrids in the conditions of Northern Ukraine]. *Ahrarni innovatsii*. *– Agrarian innovations,* 4. S. 73–78. DOI: https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.4.11 [in Ukrainian].

14. Yurchenko, S.O., Shakaliy, S.M., & Bagan, A.V. (2022). Formuvannia produktyvnoho potentsialu hibrydiv kukurudzy za hrupamy styhlosti [Formation of the productive potential of corn hybrids by maturity groups]. *Ahrarni innovatsii – Agrarian innovations*, 113, 7–11. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.13.1. [in Ukrainian].

15. Bondarenko, V., Havrylianchik, R., Ovcharuk, O., Pantsyreva, H., Krusheknyckiy, V., & Tkach, O. et al. (2022). Features of the soybean photosynthetic productivity indicators formation depending on the foliar nutrition. *Ecology, Environment and Conservation*., 28. 20-26. DOI: 10.53550/eec.2022.v28i04s.004 [in English].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 31.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 11.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026

УДК 631.42:633.2(477.42)
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-5

Залевський Р. А.
кандидат сільськогосподарських наук,
старший викладач кафедри «Агрономія та лісове господарство»,
Житомирський агротехнічний фаховий коледж;
старший науковий співробітник,
Інститут сільського господарства Полісся НААН
Житомир, Україна
E-mail: *renon@meta.ua*
ORCID: *0000-0003-3704-3998*

Ключевич М. М.
доктор сільськогосподарських наук, професор,
завідувач кафедри здоров'я природи та якості харчових ресурсів,
Державний університет «Житомирська політехніка»
Житомир, Україна
E-mail: *kluchevichm@ukr.net*
ORCID: *0000-0003-2711-2566*

Дрозд Б. Є.
молодший науковий співробітник,
Житомирський регіональний центр державної установи
«Інститут охорони ґрунтів України»
Житомир, Україна
E-mail: *drozdb@meta.ua*
ORCID: *0009-0008-1229-791X*

Алексєєвич Т. М.
кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри «Агрономія та лісове господарство»,
Житомирський агротехнічний фаховий коледж
Житомир, Україна
E-mail: *alextanya2@ukr.net*
ORCID: *0009-0004-4962-775X*

Пасічник І. О.
кандидат сільськогосподарських наук,
Відокремлений структурний підрозділ «Фаховий коледж будівництва,
архітектури та дизайну Поліського національного університету»
Житомир, Україна
E-mail: *irinkapas425@gmail.com*
ORCID: *0000-0001-5361-2375*

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА АГРОЕКОЛОГІЧНИХ ЗМІН ҐРУНТОВОГО СЕРЕДОВИЩА СІНОЖАТЕЙ ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ ЗА ЇХ ТРИВАЛОГО ВИКОРИСТАННЯ

Анотація

У статті представлено результати комплексної агроекологічної оцінки змін основних показників родючості верхнього шару ґрунтів сіножатей Житомирського Полісся за матеріалами трьох циклів державної агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення (2014, 2019, 2024 рр.). Дослідження проведено на прикладі двох ділянок сіножатей Звягельської територіальної громади Житомирської області – с. Великий Молодьків (317,9 га) та с. Дідовичі (100,3 га), сформованих у межах однакових провідних агрогруп ґрунтів на дерново глейових осушених та лучно-чорноземних легкосуглинкових ґрунтах. Динаміку показників оцінено порівняльно-хронологічним методом за абсолютними й відносними змінами

© Залевський Р. А., Ключевич М. М., Дрозд Б. Є., Алексєєвич Т. М., Пасічник І. О., 2026
pISSN 2706-9052, eISSN 2706-851X

вмісту гумусу, легкогідролізованого азоту, рухомих форм фосфору і калію, а також розподілу площ за ступенями кислотності ґрунтового розчину.

Встановлено зростання вмісту гумусу на обох масивах (на 3,3 % і 2,1 %), зумовлене особливостями лучного використання угідь. Динаміка поживного режиму була різноспрямованою: вміст обмінного калію стабільно зростав (+15,0 % і +7,5 %), тоді як вміст рухомого фосфору на одному масиві знизився (–5,6 %), а на іншому перевищив початковий рівень (+41,9 %). Забезпеченість ґрунтів легкогідролізованим азотом також змінювалася неоднаково: на сіножаті с. Великий Молодьків його вміст знизився (-16,4 %), тоді як на сіножаті с. Дідовичі до 2024 р. показник зріс, забезпечивши загальний приріст +12,3 %. Найбільш несприятливою тенденцією стало прогресуюче підкислення ґрунтів: середньозважений показник pH зменшився на 0,6 та 0,4 одиниці відповідно, що супроводжувалося збільшенням площ слабокислих ґрунтів. Виявлене підкислення за одночасного зростання гумусованості пояснюється відсутністю компенсаційного вапнування («парадокс луки»). Обґрунтовано доцільність першочергового проведення хімічної меліорації досліджуваних сіножатей для збереження й підвищення родючості ґрунтів.

Ключові слова: *сіножаті, Полісся, агрохімічна паспортизація, мікробіота, бур'яни, родючість ґрунту, ароекологічний моніторинг.*

Вступ. Стратегією розвитку Міністерства аграрної політики України до 2030 року визначено сільське господарство одним із пріоритетних напрямів розвитку держави [8]. Концепція розвитку тваринництва до 2033 року також акцентує увагу на розвитку кормовиробництва як основи забезпечення галузі високоякісними поживними кормами [9].

Сіножаті є важливою складовою кормової бази Полісся та водночас індикатором тривалого антропогенного впливу на ґрунтовий покрив. Довготривале використання лучних угідь без науково обґрунтованого удобрення і вапнування супроводжується змінами вмісту гумусу, азоту, рухомих форм фосфору і калію, а також реакції ґрунтового розчину. Оцінка цих процесів є необхідною для збереження родючості ґрунтів і раціонального використання природних кормових угідь. Особливої актуальності ці питання набувають з огляду на проголошений напрямок розвитку нашої держави [10].

Упродовж останніх десятиріч площі багаторічних трав і природних кормових угідь істотно скоротилися внаслідок переорієнтації агровиробництва на високорентабельні польові культури. Лучне кормовиробництво здебільшого ведеться екстенсивно, а фактичний стан сіножатей і пасовищ в Україні викликає занепокоєння [5; 7]. За таких умов актуальності набуває оцінка агрохімічного стану ґрунтів сіножатей як основи їх продуктивності та сталого використання.

Тривала експлуатація сільськогосподарських земель без належного відтворення родючості спричиняє деградаційні процеси, що супроводжуються погіршенням агрохімічних властивостей і зниженням продуктивності ґрунтів [10]. Ці процеси посилюються під впливом кліматичних змін, які порушують колообіг поживних елементів, насамперед азоту, та змінюють мікробіологічну активність ґрунту, прискорюючи втрати його родючого потенціалу [7]. Слід зазначити, що зміни кислотності та поживного режиму безпосередньо впливають на структуру і функціональну активність мікробних угруповань, що визначає довготривалу екологічну стійкість лучних екосистем.

Наявні статистичні дані свідчать про суттєве скорочення площ природних кормових угідь та недостатній рівень забезпечення тваринництва кормами. Дефіцит кормових одиниць і перетравного протеїну негативно впливає на продуктивність галузі та ефективність виробництва продукції тваринництва [1; 4].

У сучасних умовах удосконалення технологій використання й поліпшення сіножатей потребує адаптивного підходу з урахуванням природно-кліматичних, антропогенних і техногенних чинників. Важливою передумовою цього є комплексна оцінка сучасного стану ґрунтового середовища лучних угідь, як основи їх екологічної стійкості та продуктивності [2; 12; 13].

Мета роботи: здійснити комплексну агроекологічну оцінку динаміки основних показників родючості ґрунтів сіножатей Житомирського Полісся за період 2014–2024 рр. для оцінки їх фактичного стану та напрямку динаміки агрохімічних процесів і розробки рекомендацій щодо збереження і відтворення їх родючості.

Інформаційною основою дослідження стали матеріали державної агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення за 2014, 2019 і 2024 рр. двох масивів сіножатей Звягельської територіальної громади Житомирської області: с. Великий Молодьків – 317,9 га (ділянка 1) і с. Дідовичі – 100,3 га (ділянка 2). Обидва землекористування сформовані в межах однакових провідних типів ґрунтів – дернових глейових осушених легкосуглинкових і лучно-чорноземних легкосуглинкових, що забезпечує коректність порівняння та виключає вплив ґрунтово-генетичної неоднорідності.

Вихідні дані охоплюють незмінні площі угідь, однаковий перелік агрохімічних показників і п'ятирічну періодичність обстежень, що відповідає нормативній методиці агрохімічної паспортизації земель [6].

Об'єктом дослідження були ґрунти двох масивів сіножатей. Вмісту гумусу визначався за методом Тюріна (ДСТУ 4289:2004 «Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини»), легкогідролізований азоту за методом Корнфілда (ДСТУ 7863:2015 «Якість ґрунту. Визначення легкогідролізного азоту методом Корнфілда»), рухомий фосфор і обмінний калій за методом Кірсанова (ДСТУ 4405:2005 «Якість ґрунту. Визначання рухомих сполук фосфору і калію за методом Кірсанова в модифікації ННЦ ІГА»).

Динаміку показників оцінювали порівняльно-хронологічним методом із розрахунком абсолютних і відносних змін за 2014–2024 рр. Просторово-часову трансформацію кислотності аналізували методом структурного

розподілу площ за градаціями pH. Статистичну обробку даних і побудову графічних матеріалів виконано засобами Python (бібліотека *matplotlib*).

Виклад основного матеріалу дослідження. Узагальнені показники агрохімічного стану досліджуваних сіножатей за три цикли обстеження наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Динаміка агрохімічних показників ґрунтів сіножатей, 2014–2024 рр.

Землекористування	Рік	Площа, га	Гумус, %	Азот, мг/кг	P_2O5, мг/кг	K_2O, мг/кг	pH
Ділянка 1	2014	317,9	2,73	116	126	60	6,7
	2019	317,9	2,79	100	118	61	6,6
	2024	317,9	2,82	97	119	69	6,1
Ділянка 2	2014	100,3	3,26	106	117	80	6,8
	2019	100,3	3,33	103	201	93	6,8
	2024	100,3	3,33	119	166	86	6,4

За результатами обстежень встановлено стійке зростання вмісту гумусу на обох масивах (рис. 1): на ділянці 1 з 2,73 % до 2,82 % (+3,3 %), на ділянці 2 – з 3,26 % до 3,33 % (+2,1 %), причому основний приріст на цьому масиві припав на цикл 2014–2019 рр., після чого показник стабілізувався.

Ця динаміка закономірна і пояснюється відсутністю механічного обробітку, щорічним надходженням кореневих і поукісних решток трав і повільною мінералізацією органічної речовини за умов тимчасового перезволоження дернових глейових ґрунтів Полісся.

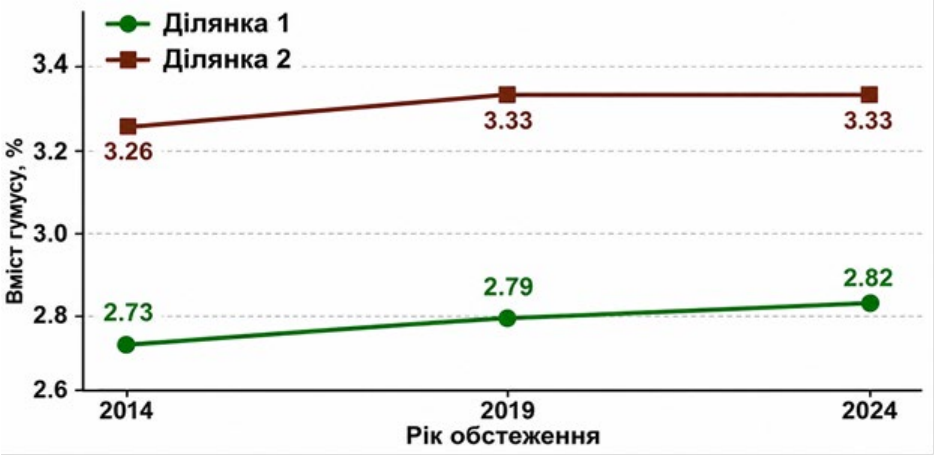


Рис. 1. Динаміка вмісту гумусу в ґрунтах сіножатей, 2014–2024 рр.

Забезпеченість ґрунтів рухомими формами фосфору і калію змінювалася різноспрямовано на досліджуваних масивах (рис. 2).

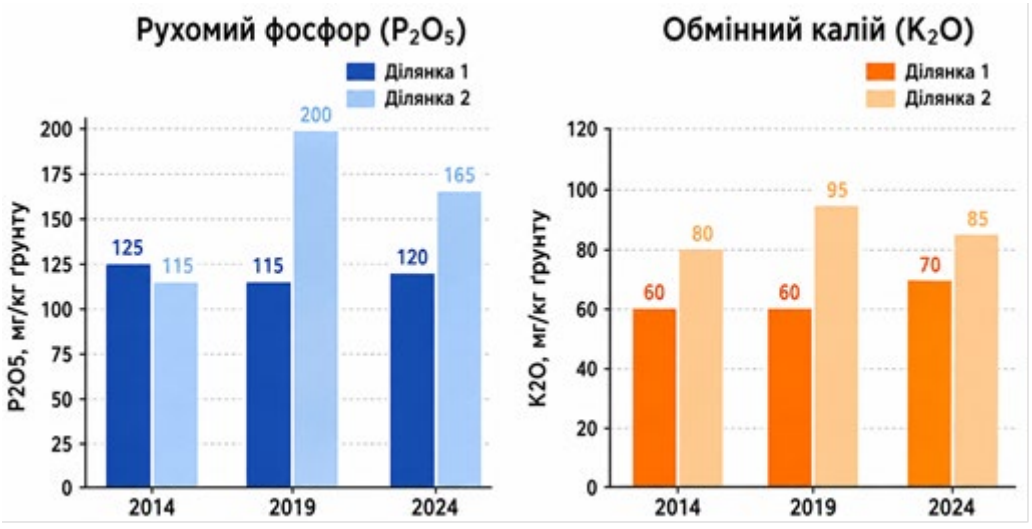


Рис. 2. Динаміка вмісту рухомого фосфору (P_2O_5) та обмінного калію (K_2O) у ґрунтах сіножатей

На ділянці 1 вміст P_2O_5 дещо знизився – зі 126 до 118–119 мг/кг (–5,6 %), тоді як K_2O стабільно зростав – із 60 до 69 мг/кг (+15,0 %). На ділянці 2 обидва показники досягли максимуму у 2019 р. (P_2O_5 – 201, K_2O – 93 мг/кг), а до 2024 р. дещо знизилися, залишаючись вищими за рівень 2014 р. (P_2O_5 +41,9 %; K_2O +7,5 %).

Пік 2019 р. з подальшим частковим зниженням, ймовірно, пов'язаний з нерівномірним внесенням органічних добрив у попередні роки та виносом поживних елементів з урожаєм без компенсаційного підживлення; накопичення калію на обох масивах є наслідком високої калійною ємності дернових глейових ґрунтів і низькою рухливістю елемента за перезволоження.

На відміну від фосфору і калію, забезпеченість азотом мала протилежно спрямовані тренди на двох масивах (рис. 3).

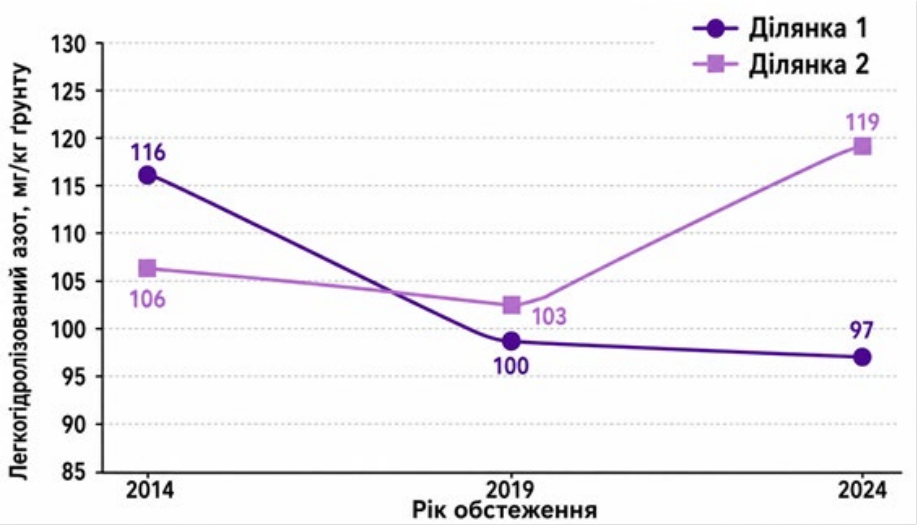


Рис. 3. Динаміка вмісту легкогідролізованого азоту в ґрунтах сіножатей, 2014–2024 рр.

На ділянці 1 вміст азоту знизився зі 116 до 97 мг/кг (-16,4 %), що, ймовірно, зумовлено виносом азоту з урожаєм без компенсаційного удобрення та посиленням підкислення. На ділянці 2 після незначного зниження у 2019 р. вміст зріс до 119 мг/кг до 2024 р. (+12,3 % до 2014 р.). Відмінності динаміки пов'язані з різною інтенсивністю використання угідь, надходженням органічної речовини та особливостями травостою; зниження азотного фонду за одночасного зростання гумусованості на ділянці 1 свідчить про зв'язування азоту в органічній речовині ґрунту.

Найбільш несприятливою тенденцією стало прогресуюче підкислення ґрунтів (рис. 4).

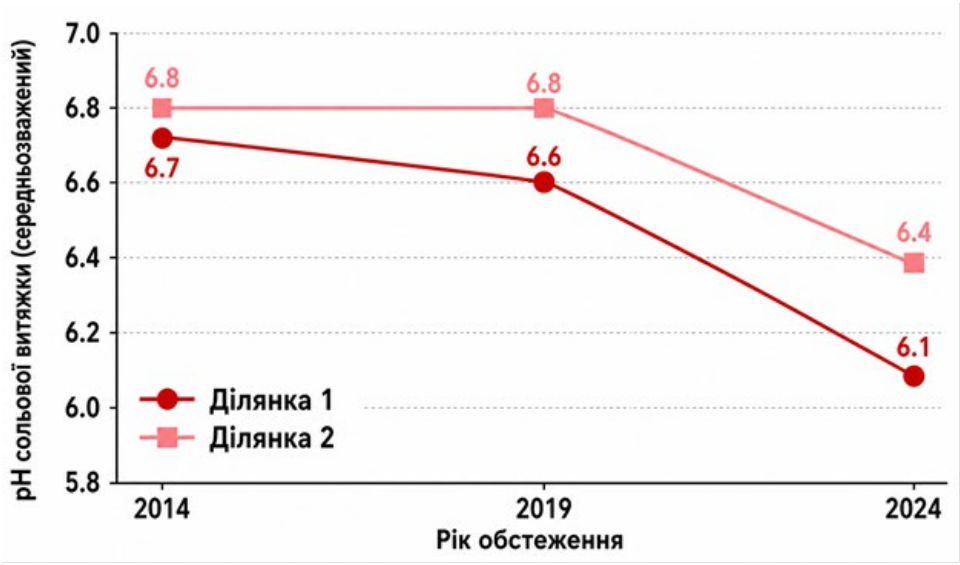


Рис. 4. Динаміка середньозваженого показника pH ґрунтів сіножатей

У ґрунтах ділянки 1 збільшення pH відбулося з 6,7 до 6,1 (-0,6), а ділянки 2 – з 6,8 до 6,4 (–0,4). Структурний аналіз (рис. 5, табл. 2–3) підтвердив тенденцію: у на ділянці 1 до 2024 р. ґрунти з pH 6,6–7,0 повністю перейшли до нижчих категорій, а площа слабокислих ґрунтів (14,2 %) залишалася майже незмінною. На ділянці 2 до 2019 р. усі ґрунти були нейтральними, але у 2024 р. 74,5 % площі вже належало до категорії pH 6,1–6,5 – підкислення тут розпочалося пізніше, але перебігало інтенсивніше.

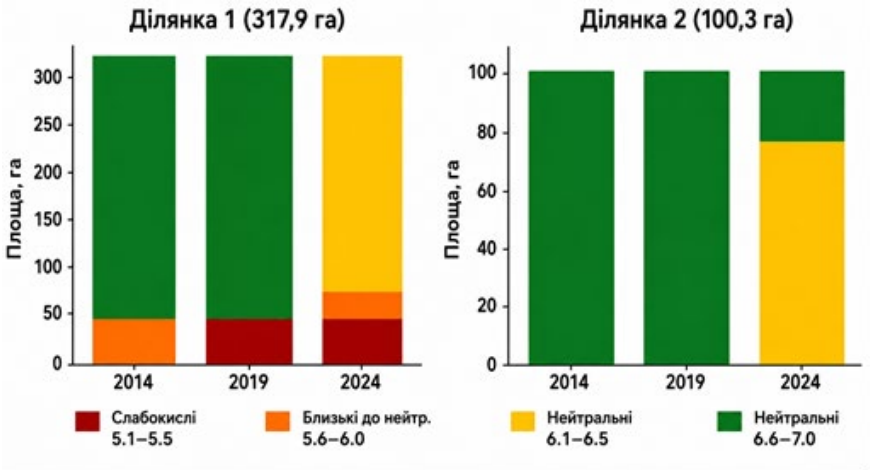


Рис. 5. Розподіл площ сіножатей за ступенями кислотності ґрунтового розчину, 2014–2024 рр.

Детальний розподіл площ за градаціями кислотності по роках наведено в таблицях 2 і 3.

Таблиця 2. Розподіл площ за ступенем кислотності, ділянка 1, га

Рік	Слабокислі 5,1–5,5, га	Близькі до нейтральних 5,6–6,0, га	Нейтральні 6,1–6,5, га	Нейтральні 6,6–7,0, га
2014	0,0	45,0	0,0	272,9
2019	45,0	0,0	0,0	272,9
2024	45,0	16,1	256,8	0,0

Таблиця 3. Розподіл площ за ступенем кислотності, ділянка 2, га

Рік	Слабокислі 5,1–5,5, га	Близькі до нейтральних 5,6–6,0, га	Нейтральні 6,1–6,5, га	Нейтральні 6,6–7,0, га
2014	0,0	0,0	0,0	100,3
2019	0,0	0,0	0,0	100,3
2024	0,0	0,0	74,7	25,6

Погіршення кислотно-лужного режиму може негативно впливати на чисельність і видовий склад корисної ґрунтової мікробіоти, знижуючи мікробіологічну трансформацію органічної речовини та ефективність використання елементів живлення рослинами, що у перспективі обмежить природне відновлення родючості лучних ґрунтів.

Узагальнені зміни ключових показників родючості, включно з вмістом легкогідролізованого азоту, за весь період спостережень наведено в табл. 4.

Таблиця 4. Абсолютні та відносні зміни показників родючості за 2014–2024 рр.

Землекористування	Δ Гумус, % (2024–2014)	Δ P_2O_5, мг/кг	Δ K_2O, мг/кг	Δ Азот, мг/кг	Δ pH
ділянка 1	+0,09 (+3,3 %)	–7 (–5,6 %)	+9 (+15,0 %)	–19 (–16,4 %)	–0,6
ділянка 2	+0,07 (+2,1 %)	+49 (+41,9 %)	+6 (+7,5 %)	+13 (+12,3 %)	–0,4

Виявлене підкислення ґрунтів обох сіножатей за одночасного зростання вмісту гумусу та калію є проявом «парадоксу луки»: накопичення органічної речовини без компенсації втрат кальцію і магнію вапнуванням зумовило поступове зміщення реакції середовища в кислий бік.

Різноспрямована динаміка азоту на тлі прогресуючого підкислення свідчить, що трансформація родючості лучних ґрунтів Полісся має комплексний характер і потребує диференційованих заходів. Виявлені зміни однозначно вплинуть і на гербологічний стан сіножатей: зростання кислотності та зміни забезпеченості елементами живлення змінюють передумови конкурентних взаємовідносин між кормовими травами і бур'яновою рослинністю та можливого поширення кислотостійких, малопридатних у кормовому відношенні видів, що потребує систематичного гербологічного моніторингу.

Висновки. За результатами трьох циклів державної агрохімічної паспортизації (2014, 2019, 2024 рр.) встановлено стійке зростання вмісту гумусу в ґрунтах обох досліджуваних масивів сіножатей Звягельської територіальної громади: на ділянці 1 (с. Великий Молодьків) – на 3,3 %, на ділянці 2 (с. Дідовичі) – на 2,1 %, що зумовлено особливостями лучного використання угідь, відсутністю механічного обробітку та повільною мінералізацією органічної речовини за умов тимчасового перезволоження дернових глейових ґрунтів Полісся.

Динаміка поживного режиму ґрунтів мала різноспрямований характер. Вміст обмінного калію стабільно зростав на обох масивах (+15,0 % і +7,5 % відповідно), що пояснюється високою калійною ємністю дернових глейових ґрунтів і низькою рухливістю елемента за перезволоження. Натомість вміст рухомого фосфору змінювався неоднозначно: на ділянці 1 знизився на 5,6 %, тоді як на ділянці 2 перевищив початковий рівень на 41,9 % попри часткове зниження після піку 2019 р. Забезпеченість ґрунтів легкогідролізованим азотом також виявила протилежні тенденції: на ділянці 1 показник зменшився на 16,4 % унаслідок виносу азоту з урожаєм без компенсаційного удобрення та зв'язування його в органічній речовині ґрунту, тоді як на ділянці 2, навпаки, зріс на 12,3 %.

Найбільш несприятливою тенденцією для обох масивів визначено прогресуюче підкислення ґрунтового середовища: середньозважений показник pH знизився на 0,6 одиниці на ділянці 1 та на 0,4 одиниці на ділянці 2, що супроводжувалося структурними змінами розподілу площ за градаціями кислотності – зникненням нейтральних ґрунтів (pH 6,6–7,0) на ділянці 1 та появою значних площ (74,5 %) слабонейтральних ґрунтів (pH 6,1–6,5) на ділянці 2.

Виявлене одночасне зростання гумусованості та підкислення ґрунтів обох сіножатей є проявом так званого «парадоксу луки»: накопичення органічної речовини без компенсаційного вапнування, що усуває втрати кальцію і магнію, зумовлює поступове зміщення реакції ґрунтового розчину в кислий бік. Це підтверджує комплексний і різноспрямований характер трансформації родючості лучних ґрунтів Житомирського Полісся, що потребує диференційованого підходу до розроблення заходів з їх охорони.

Встановлені зміни агрохімічних показників, насамперед прогресуюче підкислення, здатні негативно впливати на функціональну активність ґрунтової мікробіоти та створювати передумови для витіснення цінних кормових трав кислотостійкими бур'янами, що обґрунтовує необхідність систематичного гербологічного моніторингу досліджуваних угідь.

Отримані результати обґрунтовують доцільність першочергового проведення хімічної меліорації (вапнування) досліджуваних сіножатей як пріоритетного заходу для запобігання подальшій деградації ґрунтового середовища та збереження й підвищення їх родючості. Результати дослідження можуть бути використані під час розроблення регіональних програм відтворення родючості лучних угідь Житомирського Полісся.

На основі результатів дослідження можна окреслити декілька перспективних напрямів проведення подальших досліджень, а саме:

– проведення систематичного гербологічного моніторингу досліджуваних ділянок сіножатей для встановлення реальних змін видового складу трав'яного покриву під впливом підкислення ґрунтів та змін у поживному режимі, оскільки зростання кислотності потенційно створює сприятливі умови для поширення кислотостійких і малоцінних у кормовому відношенні бур'янів.

– вивчення динаміки мікробіологічної активності та структури мікробних угруповань ґрунтів ділянок сіножатей у зв'язку зі зміною pH і забезпеченості елементами живлення, оскільки саме мікробіота визначає темпи мінералізації органічної речовини та довготривалу стійкість лучних екосистем.

– розширення географії та чисельності дослідних ділянок за межі Звягельської територіальної громади, для охоплення усіх найбільш типових видів ґрунтів Житомирського Полісся, що дасть змогу перевірити універсальність виявленого «парадоксу луки» та отримати статистично репрезентативнішу картину регіональних тенденцій.

–перспективним є проведення довгострокового моніторингу з коротшим інтервалом обстежень, що дозволить точніше відстежити швидкість підкислення та своєчасно коригувати агротехнічні заходи.

Список використаних джерел

1. Векленко Ю. А., Підпалий І. Ф. Сучасний стан і перспективи розвитку кормовиробництва України. *Сільське господарство та лісівництво.* 2015. № 2. С. 45–52.

2. Вигера С. М., Ключевич М. М., Ковальчук Р. Л. Обґрунтування новітньої методології забезпечення здоров'я фітоценозів. Moderní aspekty vědy: XLVII. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2024. P. 166–175.

3. Гловин Н. М., Павлів О. В. Еколого-агрохімічна оцінка придатності ґрунтів сільськогосподарського підприємства для вирощування органічної продукції. *Вісник Полтавської державної аграрної академії.* 2021. № 1. С. 203–209. DOI: https: //doi.org/10.31210/visnyk2021.01.25.

4. Державна служба статистики України. Статистична інформація. Сільське, лісове та рибне господарство. Площі, валові збори та урожайність сільськогосподарських культур за їх видами. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/ (дата звернення: 07.07.2026).

5. Медведєв В. М., Тітенко Г. В. Новітні матеріали про стан ґрунтового покриву Європейських країн і України. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія».* 2017. Вип. 16. С. 9–17.

6. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення : керівний нормативний документ / за ред. І. П. Яцука, С. А. Балюка. 2-ге вид., допов. Київ, 2019. 108 с. URL: https://doi.org/rn.3rn73/mivg201901-162.

7. Петриченко В. Ф., Корнійчук О. В., Векленко Ю. А. Сталий розвиток лукопасовищного кормовиробництва в умовах змін клімату. *Вісник аграрної науки.* 2018. № 6. С. 25–32.

8. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15 листопада 2024 р. № 1163-р «Про схвалення Стратегії розвитку сільського господарства та сільських територій в Україні на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025–2027 роках». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1163-2024-%D1%80#Text (дата звернення: 07.07.2026).

9. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 31 січня 2025 р. № 76-р «Про схвалення Концепції Державної цільової економічної програми розвитку тваринництва на період до 2033 року». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/76-2025-%D1%80#Text (дата звернення: 07.07.2026).

10. Якубенко Б. Є. Природні кормові угіддя лісостепу України: флора, рослинність, динаміка, оптимізація : автореф. дис. … д-ра б. наук : 03.00.05 «Ботаніка». Київ, 2007. 48 с.

11. Didora V., Kliuchevych M., Cingiene R., Stoliar S., Derebon I. Restoration of soil fertility and improvement of phytosanitary condition of soil in short rotation of crops in Polissia of Ukraine. *Scientific Horizons.* 2024. Vol. 27, No. 4. P. 98–106. DOI: https://doi.org/10.48077/scihor4.2024.98.

12. Zakharchenko E., Klymenko O., Trotsenko V., Kravchenko N., Kliuchevych M., Mozharivska I., Kyrylchuk K., Datsko O., Toryanik V., Hnitetskyi M., Stavytskyi A., & Kotiuk R. Monitoring and restoration of soils (agrocenoses) in the border regions of the North-Eastern Forest-Steppe of Ukraine: challenges and prospects. *Modern Phytomorphology*. 2025. V. 19 (4), P. 310–315. https://doi.org/10.5281/zenodo.17349580

13. Petrychenko V. F., Korniychuk O. V., Voronetska I. S. Biological farming in conditions of transformational changes in the agrarian production of Ukraine. *Agricultural Science and Practic*e. 2018. Vol. 5, No. 2. P. 3–12. https://doi.org/10.15407/agrisp5.02.003.

Zalevskyi R. A.
Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Lecturer at the Department of Agronomy and Forestry,
Zhytomyr Agricultural Technical Professional College;
Senior Research Fellow,
Polissya Institute of Agriculture, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
Zhytomyr, Ukraine
E-mail: *renon@meta.ua*
ORCID: *0000-0003-3704-3998*

Kliuchevych M. M.
Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Head of the Department of Environmental Health and Food Quality,
Zhytomyr Polytechnic State University
Zhytomyr, Ukraine
E-mail: *kluchevichm@ukr.net*
ORCID: *0000-0003-2711-2566*

Drozd B. E.
Junior Research Fellow,
Zhytomyr Regional Centre of the State Institution
«Institute of Soil Protection of Ukraine»
Zhytomyr, Ukraine
E-mail: *drozdb@meta.ua*
ORCID: *0009-0008-1229-791X*

Alekseevich T. M.
Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Lecturer at the Department of Agronomy and Forestry,
Zhytomyr Agricultural Technical Professional College
Zhytomyr, Ukraine
E-mail: *alextanya2@ukr.net*
ORCID: *0009-0004-4962-775X*

Pasichnyk I. O.
Candidate of Agricultural Sciences,
Separate Structural Department «Professional College of Construction,
Architecture and Design Polissia National University»
Zhytomyr, Ukraine
E-mail: *irinkapas425@gmail.com*
ORCID: *0000-0001-5361-2375*

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF AGROECOLOGICAL CHANGES IN THE SOIL ENVIRONMENT OF HAYFIELDS OF ZHYTOMYR POLISSYA UNDER THEIR LONG-TERM USE

Abstract

The article presents the results of a comprehensive agroecological assessment of changes in the main soil fertility indicators of the topsoil layer of hayfields in Zhytomyr Polissya, based on the materials of three cycles of state agrochemical certification of agricultural lands (2014, 2019, 2024). The study was conducted using two hayfield plots of the Zviahel territorial community, Zhytomyr Oblast, as case studies – the village of Velykyi Molodkiv (317.9 ha) and the village of Didovychi (100.3 ha), formed within the same dominant soil agro-groups on drained sod-gleyed soils and meadow-chernozem light loamy soils. The dynamics of the indicators were

assessed using a comparative-chronological method based on absolute and relative changes in humus content, easily hydrolyzable nitrogen, mobile forms of phosphorus and potassium, as well as the distribution of areas by degree of soil solution acidity.

An increase in humus content was established on both plots (by 3.3% and 2.1%), attributable to the specific features of meadow land use. The dynamics of the nutrient regime were multidirectional: the content of exchangeable potassium showed steady growth (+15.0% and +7.5%), whereas the content of mobile phosphorus decreased on one plot (–5.6%) but exceeded the initial level on the other (+41.9%). The supply of easily hydrolyzable nitrogen in the soils also changed unevenly: on the Velykyi Molodkiv hayfield its content decreased (–16.4%), while on the Didovychi hayfield the indicator increased by 2024, yielding an overall gain of +12.3%. The most unfavorable trend was progressive soil acidification: the weighted-average pH decreased by 0.6 and 0.4 units, respectively, accompanied by an increase in the areas of slightly acidic soils. The observed acidification occurring alongside increasing humus content is explained by the absence of compensatory liming (the "meadow paradox"). The expediency of prioritizing chemical amelioration of the studied hayfields to preserve and enhance soil fertility is substantiated.

Key words: *hayfields, Polissya, agrochemical certification, microbiota, weeds, soil fertility, agroecological monitoring.*

References

1. Veklenko, Yu. A., & Pidpalyi, I. F. (2015). Suchasnyi stan i perspektyvy rozvytku kormovyrobnytstva Ukrainy [Current state and prospects for the development of feed production in Ukraine]. Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo, (2), 45–52. [in Ukrainian]
2. Vyhera, S. M., Kliuchevych, M. M., & Kovalchuk, R. L. (2024). Obgruntuvannia novitnoi metodolohii zabezpechennia zdorovia fitotsenoziv [Substantiation of the latest methodology for ensuring the health of phytocenoses]. In Moderní aspekty vědy: XLVII. Díl mezinárodní kolektivní monografie (pp. 166–175). Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. [in Ukrainian]
3. Hlovyn, N. M., & Pavliv, O. V. (2021). Ekoloho-ahrokhimichna otsinka prydatnosti gruntiv silskohospodarskoho pidpryiemstva dlia vyroshchuvannia orhanichnoi produktsii [Ecological and agrochemical assessment of the suitability of agricultural enterprise soils for growing organic products]. Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii, (1), 203–209. https://doi.org/10.31210/visnyk2021.01.25 [in Ukrainian]
4. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. (2026). Statystychna informatsiia. Silske, lisove ta rybne hospodarstvo. Ploshchi, valovi zbory ta urozhainist silskohospodarskykh kultur za yikh vydamy [Statistical information. Agriculture, forestry and fisheries. Areas, gross harvests and yields of agricultural crops by type]. Retrieved from http://www.ukrstat.gov.ua/ [in Ukrainian]
5. Medvediev, V. M., & Titenko, H. V. (2017). Novitni materialy pro stan gruntovoho pokryvu Yevropeiskykh krain i Ukrainy [New materials on the state of the soil cover of European countries and Ukraine]. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. N. Karazina. Seriia "Ekolohiia," (16), 9–17. [in Ukrainian]
6. Yatsuk, I. P., & Baliuk, S. A. (Eds.). (2019). Metodyka provedennia ahrokhimichnoi pasportyzatsii zemel silskohospodarskoho pryznachennia: Kerivnyi normatyvnyi dokument [Methodology for agrochemical certification of agricultural lands: Regulatory guidance document] (2nd ed., rev.). Kyiv. Retrieved from https://doi.org/rn.3rn73/mivg201901-162 [in Ukrainian]
7. Petrychenko, V. F., Korniichuk, O. V., & Veklenko, Yu. A. (2018). Stalyi rozvytok lukopasovyshchnoho kormovyrobnytstva v umovakh zmin klimatu [Sustainable development of meadow-pasture feed production under climate change]. Visnyk ahrarnoi nauky, (6), 25–32. [in Ukrainian]
8. Kabinet Ministriv Ukrainy. (2024). Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 15 lystopada 2024 r. № 1163-r "Pro skhvalennia Stratehii rozvytku silskoho hospodarstva ta silskykh terytorii v Ukraini na period do 2030 roku ta zatverdzhennia operatsiinoho planu zakhodiv z yii realizatsii u 2025–2027 rokakh" [Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine of November 15, 2024, No. 1163-r "On approval of the Strategy for the development of agriculture and rural areas in Ukraine until 2030 and approval of the operational action plan for its implementation in 2025–2027"]. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1163-2024-%D1%80#Text [in Ukrainian]
9. Kabinet Ministriv Ukrainy. (2025). Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 31 sichnia 2025 r. № 76-r "Pro skhvalennia Kontseptsii Derzhavnoi tsilovoi ekonomichnoi prohramy rozvytku tvarynnytstva na period do 2033 roku" [Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine of January 31, 2025, No. 76-r "On approval of the Concept of the State Target Economic Program for the Development of Livestock Farming until 2033"]. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/76-2025-%D1%80#Text [in Ukrainian]
10. Yakubenko, B. Ye. (2007). Pryrodni kormovi uhidia lisostepu Ukrainy: Flora, roslynnist, dynamika, optymizatsiia [Natural forage lands of the Forest-Steppe of Ukraine: Flora, vegetation, dynamics, optimization] (Extended abstract of doctoral dissertation, specialty 03.00.05 "Botany"). Kyiv. [in Ukrainian]
11. Didora, V., Kliuchevych, M., Cingiene, R., Stoliar, S., & Derebon, I. (2024). Restoration of soil fertility and improvement of phytosanitary condition of soil in short rotation of crops in Polissia of Ukraine. Scientific Horizons, 27(4), 98–106. https://doi.org/10.48077/scihor4.2024.98 [in English].
12. Zakharchenko, E., Klymenko, O., Trotsenko, V., Kravchenko, N., Kliuchevych, M., Mozharivska, I., Kyrylchuk, K., Datsko, O., Toryanik, V., Hnitetskyi, M., Stavytskyi, A., & Kotiuk, R. (2025). Monitoring and restoration of soils (agrocenoses) in the border regions of the North-Eastern Forest-Steppe of Ukraine: Challenges and prospects. Modern Phytomorphology, 19(4), 310–315. https://doi.org/10.5281/zenodo.17349580 [in English].
13. Petrychenko, V. F., Korniychuk, O. V., & Voronetska, I. S. (2018). Biological farming in conditions of transformational changes in the agrarian production of Ukraine. Agricultural Science and Practice, 5(2), 3–12. https://doi.org/10.15407/agrisp5.02.003 [in English].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 20.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 11.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026

УДК 636.4.082.4:636.082.453
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-6

Калітаєв К. К.
аспірант кафедри прикладної біології, розведення та генетики тварин,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
Київ, Україна
E-mail: *kalitaev.k@nubip.edu.ua*
ORCID: *0009-0009-1045-2119*

Лихач А. В.
доктор сільськогосподарських наук, професор,
професор кафедри прикладної біології, розведення та генетики тварин,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
Київ, Україна
E-mail: *avlykhach@nubip.edu.ua*
ORCID: *0000-0002-0472-6162*

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ШТУЧНОГО ОСІМЕНІННЯ СВИНОМАТОК В УМОВАХ ПРОМИСЛОВОГО СВИНАРСТВА

Анотація

Інтенсифікація промислового свинарства і необхідність максимальної реалізації генетичного потенціалу сучасних високопродуктивних свиней зумовлюють потребу в удосконаленні технологій штучного осіменіння, спрямованих на підвищення репродуктивної ефективності свиноматок і водночас раціональне використання генетичного матеріалу кнурів-плідників. Метою дослідження було оптимізувати технологію штучного осіменіння свиноматок в умовах промислового свинарства шляхом порівняльного оцінювання цервікального і постцервікального способів введення сперми за технологічними, репродуктивними та ресурсно-економічними показниками. Дослідження проведено у 2024–2026 роках у виробничих умовах СВК Агрофірма «Миг-Сервіс-Агро» (Миколаївська область). За принципом груп-аналогів сформовано дві групи по 30 клінічно здорових основних свиноматок 3–5-го опоросів. Свиноматок контрольної групи осіменяли традиційним цервікальним способом за використанням спермодози об'ємом 80 мл, що містила 2,5 млрд сперміїв, тоді як у дослідній групі застосовували постцервікальне осіменіння спермодозою об'ємом 45 мл із вмістом 1,5 млрд сперміїв. Оцінювали тривалість процедури, інтенсивність витоку сперми, опір проходженню катетера, поведінкову реакцію свиноматок, появу крові, рівень підтвердженої поросності, частоту повторної охоти, взаємозв'язки між технологічними показниками та розрахункову ресурсно-економічну ефективність.

Установлено, що постцервікальний спосіб забезпечив скорочення тривалості процедури осіменіння на 36,6 % ($p < 0,001$) та зменшення інтенсивності витоку сперми на 63,4 % ($p < 0,001$) порівняно з традиційним цервікальним способом. Статистично значущих відмінностей за опором проходженню катетера і частотою появи крові не виявлено, тоді як поведінкова реакція свиноматок характеризувалася тенденцією до меншої вираженості ($p = 0,050$). Рівень підтвердженої поросності у дослідній групі становив 86,7 % проти 83,3 % у контрольній, а частота повторної охоти знизилася з 16,7 до 13,3 %, однак зазначені відмінності не були статистично значущими. Кореляційний аналіз показав наявність помірного прямого зв'язку між тривалістю процедури та інтенсивністю витоку сперми ($r = 0,545$; $p < 0,001$), тоді як достовірного впливу окремих технологічних показників на заплідненість свиноматок не встановлено.

Розрахункова ресурсно-економічна оцінка засвідчила, що використання постцервікального способу дозволяє скоротити витрати робочого часу на 3,15 людино-години на кожні 100 осіменінь і на 31,50 людино-години на 1000 осіменінь, зменшити використання розрідженої сперми на 43,75 %, потребу в сперміях на 40,0 % та підвищити вихід спермодоз зі 100 млрд придатних сперміїв із 40,0 до 66,7 доз. Отримані результати свідчать, що постцервікальний спосіб штучного осіменіння забезпечує істотні технологічні й ресурсозберігаючі переваги без зниження репродуктивної результативності виключно основних свиноматок, що підтверджує доцільність його широкого впровадження у промисловому свинарстві для підвищення ефективності використання генетичного потенціалу кнурів-плідників та оптимізації виробничих процесів.

Ключові слова: *кнури, свині, спосіб осіменіння, спермодоза, технологічні, репродуктивні та ресурсно-економічні показники.*

Вступ. Інтенсифікація промислового свинарства і реалізація генетичного потенціалу сучасних високопродуктивних генотипів свиней зумовлюють необхідність постійного вдосконалення технологій відтворення маточного поголів'я [7–9]. Репродуктивна ефективність свиноматок визначає ритмічність виробництва, кількість одержаних поросят, продуктивність праці та економічну ефективність свинарських підприємств [12]. У сучасних умовах навіть незначне зниження заплідненості або збільшення витрат часу на проведення осіменіння призводить до істотних виробничих втрат [15; 19]. Тому одним із пріоритетних напрямів розвитку галузі є оптимізація технології штучного

© Калітаєв К. К., Лихач А. В., 2026

осіменіння, котра повинна забезпечувати високу відтворювальну результативність за одночасного раціонального використання генетичного матеріалу, трудових ресурсів і технологічного часу [22; 28–29; 31].

Штучне осіменіння залишається основною біотехнологією відтворення у промисловому свинарстві, забезпечуючи ефективне використання генетично цінних кнурів, прискорення селекційного прогресу та підвищення рівня біобезпеки [25; 32]. Сучасні дослідження [11] свідчать, що підвищення ефективності штучного осіменіння нині пов'язане не стільки зі збільшенням кількості сперміїв у дозі, скільки з удосконаленням усіх етапів технологічного процесу: контролю якості сперми, оптимізації її використання, удосконалення техніки введення та скорочення виробничих витрат [9].

Одним із найбільш перспективних напрямів є застосування постцервікального способу штучного осіменіння, який дає можливість зменшити об'єм спермодози, скоротити кількість сперміїв, необхідних для одного осіменіння і підвищити ефективність використання еякулятів високопродуктивних кнурів [10; 16–18]. Особливого значення ця технологія набуває на великих промислових комплексах, де необхідно забезпечити якісне осіменіння значної кількості свиноматок у стислі технологічні строки [26; 29–33]. Разом із тим результативність постцервікального осіменіння визначається не лише способом введення сперми, а й фізіологічним станом свиноматки, своєчасністю виявлення охоти, кваліфікацією оператора та дотриманням технологічного регламенту [17; 19].

За даними сучасних досліджень [30], удосконалення програм штучного осіменіння шляхом використання одноразового осіменіння у фіксований час, синхронізації овуляції та застосування постцервікальної технології дозволяє зменшити кількість технологічних операцій без погіршення основних репродуктивних показників. Одночасно активно розвиваються напрями автоматизованого визначення охоти, цифрового моніторингу поведінки свиноматок, удосконалення лабораторної оцінки сперми та оптимізації умов її зберігання, що знайшло відображення у роботах [17–19; 29].

Незважаючи на зазначену кількість наукових публікацій, більшість із них присвячена оцінюванню окремих біотехнологічних аспектів штучного осіменіння або аналізу кінцевих показників відтворення. Водночас недостатньо уваги приділено комплексному порівнянню традиційного цервікального та постцервікального способів осіменіння за однакових виробничих умов із одночасною оцінкою технологічних параметрів виконання процедури (тривалості осіменіння, витікання сперми, особливостей проходження катетера, реакції тварини) та їх впливу на заплідненість свиноматок.

Саме тому комплексне оцінювання технологічної і репродуктивної ефективності різних способів штучного осіменіння є актуальним як з наукової, так і з практичної точки зору, оскільки дозволяє обґрунтувати найбільш ефективні технологічні рішення для промислового свинарства.

Метою дослідження було оптимізувати технологію штучного осіменіння свиноматок в умовах промислового свинарства шляхом порівняльного оцінювання цервікального і постцервікального способів введення сперми за технологічними, репродуктивними та ресурсно-економічними показниками.

Матеріал і методи. Експериментальні дослідження проведено упродовж 2024–2026 років в умовах сільськогосподарського виробничого кооперативу Агрофірма «Миг-Сервіс-Агро» (Миколаївська область, Україна), який спеціалізується на промисловому виробництві свинини за потоковою технологією із замкнутим циклом виробництва [9]. Господарство використовує сучасну систему утримання тварин із контрольованими параметрами мікроклімату, що відповідали ВНТП-АПК – 02.05 «Свинарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми)» [3], автоматизованою роздачею кормів, механізованим видаленням гною та штучним осіменінням свиноматок.

Вибір тварин для проведення дослідження здійснювали з урахуванням результатів попереднього етапу наукової роботи, якими встановлено, що найвищий рівень реалізації відтворювального потенціалу помісних свиноматок поєднання велика біла × ландрас припадає на 3–5-й опороси. З огляду на це, для проведення досліду за принципом груп-аналогів було відібрано 60 клінічно здорових свиноматок зазначеного генотипу і кількістю опоросів, яких розподілили на контрольну та дослідну групи по 30 голів у кожній. Свиноматок контрольної групи осіменяли традиційним цервікальним способом, де об'єм однієї спермодози становив 80 мл з кількість сперміїв у дозі – 2,5 млрд, тоді як тварин дослідної групи – постцервікальним способом з об'ємом спермодози – 45 мл й кількістю сперміїв – 1,5 млрд. Групи формували з урахуванням номера опоросу (паритету), живої маси, фізіологічного стану та попередніх показників відтворювальної продуктивності, що забезпечило їх зіставність і дозволило об'єктивно оцінити вплив способу штучного осіменіння на технологічні та репродуктивні показники [4–5].

Свиноматок утримували відповідно до прийнятої у господарстві потокової технології. У період поросності тварини перебували як у індивідуальних, так і групових станках із вільним доступом до води через автоматичні напувалки, а за 5–7 діб до очікуваної дати опоросу їх переводили до цеху опоросу. Після народження поросят свиноматок утримували разом із приплодом до відлучення згідно з технологічним циклом підприємства [9].

Годівлю здійснювали повнораціонними комбікормами промислового виробництва, збалансованими за вмістом обмінної енергії, сирого протеїну, незамінних амінокислот, макро- та мікроелементів, а також вітамінів відповідно до фізіологічного стану тварин та сучасних норм годівлі свиней [24]. Раціони для холостих, поросних і лактуючих свиноматок відрізнялися за поживністю відповідно до їхніх фізіологічних потреб. Доступ до питної води був необмеженим протягом усього періоду продуктивного використання.

Відтворення стада здійснювали методом штучного осіменіння із використанням доз сперми кнурів компанії PIC, допущених до відтворення відповідно до внутрішніх вимог господарства [3]. Для осіменіння в обох

групах використовували спермодози, котрі відповідали встановленим вимогам щодо рухливості, концентрації, морфологічної повноцінності та санітарної якості сперміїв. Перед використанням спермодози поступово доводили до рекомендованої робочої температури та обережно перемішували для рівномірного розподілу сперміїв у середовищі. У межах одного дня дослідження намагалися використовувати сперму однакового строку зберігання. Осіменіння здійснював один підготовлений оператор за уніфікованою методикою, що дозволило мінімізувати вплив індивідуальної техніки виконання процедури.

Статеву охоту свиноматок встановлювали шляхом індивідуального спостереження за їх поведінкою у присутності кнура-пробника та проведення дорсального тесту [9]. Основною ознакою готовності тварини до осіменіння вважали наявність стійкого рефлексу нерухомості у відповідь на натискання на попереково-крижову ділянку. Додатково враховували почервоніння і набряк вульви, наявність слизових виділень, занепокоєння, характерне вокалізування та підвищену реакцію на кнура. Безпосередньо перед осімененням зовнішні статеві органи очищували одноразовою серветкою у напрямку від дорсальної до вентральної частини вульви, не допускаючи перенесення забруднень у статеві шляхи. Катетер вводили обережними обертальними рухами до його фіксації у шийці матки. У контрольній групі спермодозу вводили через цервікальний катетер. У дослідній групі після фіксації зовнішнього катетера внутрішній зонд проводили через канал шийки матки, після чого сперму вводили безпосередньо в тіло матки. У разі вираженого опору просування внутрішнього зонда припиняли, катетер дещо відводили назад і повторювали спробу без застосування надмірного зусилля [9].

Факт поросності свиноматок підтверджували за результатами ультразвукової діагностики на 28–35-ту добу після осіменіння та остаточно за результатами опоросу. Повторною охотою вважали повторну появу стійкого рефлексу нерухомості та інших характерних ознак еструсу після проведеного осіменіння, переважно в межах наступного статевого циклу. Тварин щоденно контролювали за участю кнура-пробника. Заплідненість визначали як відношення кількості свиноматок, що завершили поросність фізіологічним опоросом, до загальної кількості осіменених свиноматок відповідної групи та виражали у відсотках [4; 8–9].

Технологічну ефективність різних способів осіменіння оцінювали за тривалістю процедури, вираженістю витоку сперми, опором проходженню катетера, поведінковою реакцією свиноматки та появою крові під час або безпосередньо після маніпуляції [9]. Тривалість процедури визначали індивідуально для кожної свиноматки за допомогою секундоміра. Відлік часу розпочинали в момент початку введення підготовленого катетера у статеві шляхи та завершували після повного введення спермодози і видалення катетера. Одержаний час у секундах переводили у хвилини.

Витік сперми оцінювали під час введення спермодози і впродовж короткого стандартизованого періоду після завершення процедури. Під час оцінювання враховували наявність і вираженість видимого зворотного витоку сперми з піхви. Для забезпечення однакових умов оцінювання всіх тварин спостереження проводив один дослідник за використанням уніфікованої бальної шкали: 0 балів – видимий витік відсутній; 1 бал – поодинокі краплі або мінімальний витік; 2 бали – помірний, чітко помітний витік частини спермодози; 3 бали – виражений або тривалий витік значної частини введеної рідини [23; 27].

Опір проходження катетера оцінювали за суб'єктивно-об'єктивними відчуттями оператора під час уведення катетера та, у дослідній групі, під час проведення внутрішнього постцервікального зонда через канал шийки матки. Оцінювання здійснювали до введення спермодози за шкалою: 0 балів – катетер або внутрішній зонд проходив вільно, без відчутного опору; 1 бал – незначний опір, який не потребував зміни положення катетера; 2 бали – помірний опір, для подолання якого було необхідне коригування положення або повторна обережна спроба введення; 3 бали – виражений опір, неможливість нормального проходження катетера або необхідність припинення маніпуляції [20].

Поведінкову реакцію свиноматки оцінювали під час введення катетера і спермодози. Реєстрували рухи тулуба і кінцівок, спроби відійти, присідання, вигинання спини, різкі рухи хвоста, вокалізацію та інші ознаки занепокоєння або дискомфорту. Для стандартизації оцінювання поведінкової реакції свиноматок в умовах виробництва автором розроблено і використано уніфіковану чотирибальну шкалу, що ґрунтувалася на загальноприйнятих принципах оцінювання [34]: 0 балів – свиноматка залишалася спокійною, зберігала нерухомість, виражена негативна реакція була відсутня; 1 бал – незначне занепокоєння, окремі рухи або короткочасна зміна положення без перешкод для проведення осіменіння; 2 бали – помірна реакція, повторні рухи, вокалізація або спроби відійти, що ускладнювали виконання процедури; 3 бали – різко виражена реакція, активні спроби уникнути маніпуляції, сильна вокалізація або необхідність тимчасово припинити процедуру. Больова реакція не є прямим фізіологічним показником болю або стресу, тому її слід інтерпретувати як операційну оцінку поведінкового занепокоєння під час маніпуляції.

Появу крові оцінювали як дихотомічний показник за принципом «наявна чи відсутня». Оглядали катетер після його видалення, а також зовнішні статеві органи свиноматки. Навіть незначні свіжі кров'янисті сліди на катетері або в ділянці піхви реєстрували як випадок появи крові.

Для встановлення взаємозв'язків між технологічними характеристиками процедури і репродуктивним результатом використовували ранговий коефіцієнт кореляції Спірмена. Силу зв'язку інтерпретували за абсолютним значенням коефіцієнта: до 0,19 – дуже слабкий зв'язок; 0,20–0,39 – слабкий; 0,40–0,59 – помірний; 0,60–0,79 – сильний; 0,80–1,00 – дуже сильний [1].

Економічну оцінку здійснювали розрахунково-порівняльним методом за показниками економії робочого часу, зменшення об'єму спермодози, скорочення кількості сперміїв у дозі та потенційного збільшення кількості доз, одержаних із однакового запасу сперміїв [9; 12].

Статистичну обробку результатів проводили із застосуванням методів біометричного аналізу [1].

Усі виробничі процедури виконували відповідно до чинної технології господарства без додаткового експериментального втручання. Утримання, годівля, ветеринарне обслуговування та поводження з тваринами відповідали чинним вимогам законодавства України щодо благополуччя сільськогосподарських тварин [6] та рекомендаціям WOAH [34] і Європейського Союзу [13–14] щодо гуманного поводження із продуктивними тваринами [2].

Виклад основного матеріалу дослідження. Ефективність застосування різних способів штучного осіменіння свиноматок доцільно оцінювати комплексно, поєднуючи аналіз технологічних характеристик виконання процедури осіменіння з її кінцевими виробничими результатами [11–12; 21]. Такий підхід дає змогу встановити не лише відмінності у рівні заплідненості тварин, а й визначити технологічні чинники, які можуть впливати на успішність введення сперми та подальшу реалізацію репродуктивної функції свиноматок.

Порівняльний аналіз технологічних параметрів засвідчив істотні відмінності між цервікальним і постцервікальним способами штучного осіменіння свиноматок (табл. 1). Установлено, що застосування постцервікального способу осіменіння забезпечило скорочення середньої тривалості процедури з 5,17 до 3,28 хв, тобто на 1,89 хв, або на 36,6 % порівняно з традиційним цервікальним осімененням, що підтверджується іспанськими дослідженнями [28]. Виявлена у нашому експерименті різниця була статистично високодостовірною ($p < 0,001$), що свідчить про вищу технологічну оперативність постцервікального введення сперми і можливість скорочення витрат робочого часу оператора під час обслуговування маточного поголів'я.

Таблиця 1. Технологічна характеристика процедури штучного осіменіння свиноматок залежно від способу введення сперми

Показник	Група, *n*=30		*p*
	контрольна	дослідна	
Тривалість процедури, хв	5,17±0,084	3,28±0,066	<0,001
Витік сперми, бал	1,83±0,156	0,67±0,134	<0,001
Опір проходження катетера, бал	1,30±0,16	1,10±0,14	0,463
Поведінкова реакція свиноматки, бал	1,00±0,14	0,63±0,14	0,050
Поява крові під час процедури, гол. (%)	2 (6,7)	2 (6,7)	1,000

Очевидно, скорочення тривалості постцервікального осіменіння, незважаючи на необхідність проведення внутрішнього зонда через шийку матки, зумовлене насамперед меншим об'ємом спермодози і введенням сперми безпосередньо в тіло матки. Це забезпечує нижчий гідродинамічний опір під час інфузії, зменшує вираженість її зворотного витоку та скорочує час, необхідний для повного введення спермодози. За умови належної кваліфікації оператора додатковий етап проведення внутрішнього зонда практично не компенсує виграшу часу, отриманого завдяки швидшому введенню меншого об'єму сперми. Фактично тривалість процедури визначається не стільки способом введення катетера, скільки часом, необхідним для інфузії спермодози. Саме цей етап є найдовшим при традиційному цервікальному осімененні, тоді як за постцервікального введення він істотно скорочується.

Особливо виражені відмінності встановлено за інтенсивністю витоку сперми, що узгоджується з іншими результатами досліджень [20]. Так, у нашому експерименті в контрольній групі середня оцінка цього показника становила 1,83 бала, тоді як у дослідній – лише 0,67 бала. Отже, застосування постцервікального типу осіменіння сприяло зменшенню вираженості витоку на 1,16 бала, або на 63,4 % ($p < 0,001$). Менший витік може свідчити про ефективніше розміщення сперми у статевих шляхах свиноматки і зменшення непродуктивних втрат спермодози, що використовують для осіменіння. Виявлене у нашому дослідженні зменшення інтенсивності витоку сперми узгоджується також із результатами [27], де зазначено, що витік сперми є поширеним фізіологічним явищем після осіменіння свиноматок, причому об'єм рідини, яка витікає, може бути значним. Разом з тим, кількість сперміїв у витоку є відносно меншою, ніж об'єм рідини, що свідчить про вибірковий транспорт сперміїв у статевих шляхах самки [27].

Середній рівень опору під час проходження катетера у дослідній групі був на 0,20 бала нижчим, ніж у контрольній, однак встановлена різниця не досягла статистичної значущості ($p = 0,463$). Це вказує на те, що проходження постцервікального катетера в окремих тварин також може супроводжуватися певним опором, який залежить не лише від конструкції катетера, а й від індивідуальних анатомічних особливостей шийки матки, ступеня статевого збудження свиноматки та техніки роботи оператора.

Поведінкова реакція тварин у дослідній групі була менш вираженою: 0,63 проти 1,00 бала у контрольній групі. Рівень статистичної значущості становив $p = 0,050$, що дає підстави говорити про межову тенденцію до спокійнішої реакції свиноматок за постцервікального осіменіння. Скорочення тривалості маніпуляції та менший витік сперми могли зменшувати загальне занепокоєння тварини під час виконання процедури.

Появу крові під час проведення штучного осіменіння зареєстровано у двох свиноматок кожної групи, що становило по 6,7 % від загальної кількості тварин. Частота випадків появи крові не відрізнялася залежно від

способу осіменіння (p = 1,000). Отримані результати свідчать, що застосування постцервікального типу осіменіння за дотримання належної техніки введення не супроводжувалося підвищенням частоти травмування слизової оболонки статевих шляхів порівняно з традиційним цервікальним способом.

Водночас наявність поодиноких випадків появи крові в обох групах вказує на те, що травматизація може залежати не лише від типу катетера, а й від індивідуальних анатомо-фізіологічних особливостей свиноматок, ступеня розслаблення шийки матки, вираженості статевої охоти, опору під час введення катетера та кваліфікації оператора, що кореспондується з іншими проведеними дослідженнями [28]. Через невелику кількість зареєстрованих випадків установити стійкий взаємозв'язок між способом осіменіння з появою крові в межах проведеного дослідження неможливо.

Таким чином, одержані у даному експерименті результати відповідають загальній закономірності, встановленій іншими дослідниками [16–18; 21]: постцервікальний спосіб штучного осіменіння характеризується більшою технологічною ефективністю порівняно з традиційним цервікальним методом, забезпечуючи скорочення тривалості процедури, істотне зменшення витоку сперми та зіставний рівень безпечності щодо травматизації статевих шляхів. У зв'язку з цим, наступним етапом дослідження стало встановлення, чи трансформуються виявлені технологічні переваги у покращення репродуктивної ефективності свиноматок.

У свою чергу, порівняльний аналіз одержаних результатів із даними інших дослідників підтверджує технологічну доцільність застосування постцервікального штучного осіменіння у свинарстві. Вчені Великобританії [33] одними з перших у масштабному виробничому дослідженні довели можливість внутрішньоматкового введення зменшеної кількості спермій без істотного погіршення репродуктивних показників свиноматок.

Результативність різних способів осіменіння оцінювали за кількістю свиноматок, у яких було підтверджена поросність та за частотою прояву повторної охоти, що наведено на рисунку 1. Аналіз отриманих даних показав, що використання постцервікального способу осіменіння забезпечило тенденцію до покращення відтворювальних показників порівняно з традиційним цервікальним методом.

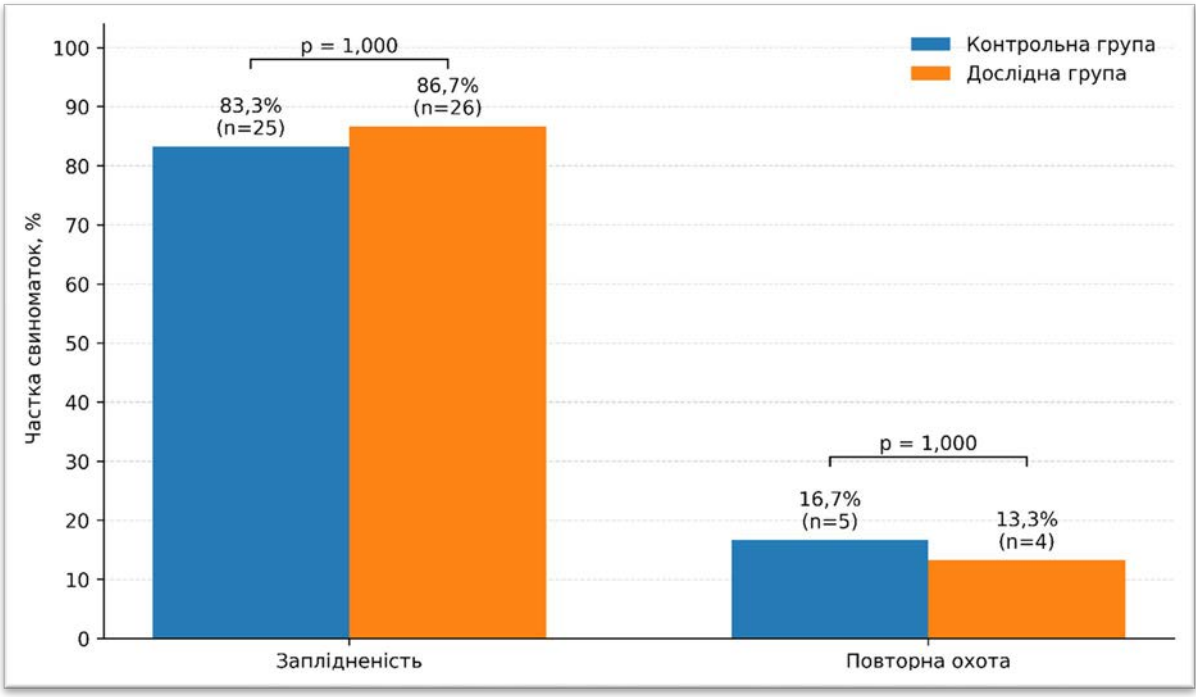


Рис. 1. Репродуктивна ефективність свиноматок залежно від способу штучного осіменіння

Джерело: авторська розробка

Зокрема, рівень запліднюваності свиноматок у дослідній групі становив 86,7 %, що на 3,4 % перевищував відповідний показник контрольної групи (83,3 %). Одночасно частота прояву повторної охоти знизилася з 16,7 до 13,3 %, тобто також на 3,4 %. Незважаючи на те, що встановлені відмінності не були статистично значущими (p > 0,05), напрям отриманих змін свідчить про позитивний вплив постцервікального способу введення сперми на реалізацію репродуктивного потенціалу свиноматок. Варто відзначити, що абсолютні показники демонструють стабільну тенденцію до підвищення частки запліднених свиноматок і одночасного зменшення кількості тварин із повторним проявом охоти.

Біологічне підґрунтя встановлених закономірностей полягає в тому, що під час постцервікального осіменіння сперма вводиться безпосередньо за шийку матки, що скорочує шлях транспортування сперматозоїдів до місця запліднення, зменшує їх витік та підвищує ефективність використання кожної спермодози. Саме тому

сучасні технології постцервікального осіменіння дозволяють суттєво знижувати як об'єм спермодози, так і кількість сперматозоїдів без погіршення репродуктивних показників.

Отримані результати добре узгоджуються з дослідженнями [18; 20–21], які показали, що основними перевагами постцервікального осіменіння є скорочення тривалості процедури, зменшення витоку сперми та можливість ефективного використання спермодоз зі зниженою концентрацією сперміїв за збереження високого рівня заплідненості свиноматок.

Таким чином, наведені на рисунку 1 результати підтверджують, що постцервікальний спосіб осіменіння забезпечує щонайменше еквівалентний рівень репродуктивної ефективності порівняно з традиційним цервікальним методом, водночас характеризуючись низкою технологічних переваг, що мають важливе практичне значення для сучасного промислового виробництва свинини.

Особливо важливо, що отримані показники заплідненості були досягнуті за використання спермодози об'ємом 45 мл із вмістом 1,5 млрд сперміїв, тоді як у контрольній групі застосовували традиційну дозу 80 мл із концентрацією 2,5 млрд сперміїв. Це свідчить про можливість підвищення ефективності використання генетичного матеріалу кнурів без зниження відтворювальної продуктивності свиноматок.

Для визначення можливих взаємозв'язків між технологічними характеристиками процедури та її репродуктивним результатом було проведено кореляційний аналіз. Між тривалістю процедури та інтенсивністю витоку сперми встановлено помірний прямий кореляційний зв'язок: $r = 0{,}545$; $p < 0{,}001$. Це означає, що зі збільшенням тривалості виконання осіменіння, як правило, підвищувалася й вираженість витоку сперми. Такий результат може характеризувати ускладнення або недостатню технологічну узгодженість процедури: довше введення дози могло супроводжуватися менш рівномірним її надходженням, скороченнями статевих шляхів або зворотним витіканням частини сперми.

Водночас кореляційний зв'язок між інтенсивністю витоку сперми і фактом запліднення був слабким і статистично незначущим: $r = –0{,}125$; $p = 0{,}340$. Отже, у межах наявної вибірки збільшення витоку мало напрям негативного зв'язку із заплідненістю, однак його сили було недостатньо для статистичного підтвердження. Це може бути пов'язано з тим, що успішність запліднення визначається комплексом факторів: якістю сперми, часом осіменіння відносно овуляції, функціональним станом свиноматки, кількістю опоросів (паритетом), інтервалом від відлучення до охоти та кваліфікацією оператора [16; 23].

Не встановлено достовірного зв'язку між тривалістю процедури і заплідненістю ($r = 0{,}084$; $p = 0{,}525$), між поведінковою реакцією свиноматки і заплідненістю ($r = –0{,}003$; $p = 0{,}982$), а також між опором проходженню катетера та появою крові ($r = 0{,}015$; $p = 0{,}911$).

Таким чином, із досліджених технологічних показників статистично підтвердженим був передусім зв'язок між тривалістю процедури та інтенсивністю витоку сперми. Безпосереднього статистично значущого впливу окремих технологічних параметрів на факт запліднення за наявного обсягу вибірки не встановлено. Загалом результати кореляційного аналізу свідчать, що технологічні параметри процедури значно тісніше взаємопов'язані між собою, ніж безпосередньо визначають кінцевий репродуктивний результат. Це підтверджує багатофакторний характер процесу запліднення свиноматок, який залежить не лише від техніки введення сперми, а й від фізіологічного стану тварини, якості сперми, точності визначення оптимального часу осіменіння та умов утримання [16].

Отже, основна перевага постцервікального осіменіння у проведеному дослідженні полягала передусім у підвищенні технологічної ефективності процедури, що забезпечило достовірне скорочення тривалості маніпуляції та зменшення втрат сперми через витік. Позитивні зміни заплідненості й частоти повторної охоти мали характер тенденції та потребують підтвердження на більшій кількості тварин.

Результати розрахункової ресурсно-економічної оцінки (табл. 2) засвідчили переваги постцервікального осіменіння свиноматок. Скорочення середньої тривалості процедури з 5,17 до 3,28 хв забезпечило економію 1,89 хв, або 36,6 %, у розрахунку на одну свиноматку.

Відповідно, для проведення 100 осіменінь за традиційного цервікального способу необхідно 8,617 людино-години безпосередньої роботи оператора, тоді як за постцервікального – 5,467 людино-години. Таким чином, економія на кожні 100 процедур становить 3,15 людино-години, а на 1000 процедур – 31,50 людино-години.

За умови безперервного виконання лише процедури осіменіння протягом восьмигодинної робочої зміни розрахункова продуктивність одного оператора може збільшуватися з 92,8 до 146,3 осіменіння, тобто на 53,5 свиноматки, або на 57,7 %. Водночас зазначений показник не враховує витрат часу на переміщення між тваринами, підготовку спермодоз, гігієнічну обробку та ведення виробничого обліку. Тому його слід розглядати як характеристику потенційного підвищення технологічної пропускної здатності процедури, а не як норматив фактичного навантаження на оператора.

Застосування постцервікального осіменіння також забезпечило зменшення об'єму однієї спермодози з 80 до 45 мл, тобто на 35 мл, або на 43,75 %. У розрахунку на 100 процедур це дозволяє скоротити використання розрідженої сперми з 8,0 до 4,5 л, а на 1000 процедур – з 80,0 до 45,0 л. Отже, економія становить відповідно 3,5 і 35,0 л спермопродукції. Таке зменшення потенційно супроводжується скороченням потреби в розріджувачі, ємностях для фасування, площах і обладнанні для зберігання, а також витрат на транспортування спермодоз.

Таблиця 2. Розрахункова ресурсно-економічна ефективність застосування різних способів штучного осіменіння свиноматок

Показник	Спосіб осіменіння		Різниця / Економічний ефект
	цервікальний	постцервікальний	
Тривалість осіменіння однієї свиноматки, хв	5,17	3,28	-1,89
Скорочення тривалості процедури, %	-	-	+36,6
Витрати робочого часу на 100 осіменінь, людино-год.	8,617	5,467	-3,15
Витрати робочого часу на 1000 осіменінь, людино-год	86,17	54,67	-31,50
Кількість осіменінь за 8-годинну зміну, гол.	92,8	146,3	+53,5
Об'єм однієї спермодози, мл	80	45	-35
Витрати розрідженої сперми на 100 осіменінь, л	8,0	4,5	-3,5
Витрати розрідженої сперми на 1000 осіменінь, л	80,0	45,0	-35,0
Кількість сперміїв в одній дозі, млрд	2,5	1,5	-1,0
Потреба у сперміях на 100 осіменінь, млрд	250	150	-100
Потреба у сперміях на 1000 осіменінь, млрд	2500	1500	-1000
Вихід доз зі 100 млрд придатних сперміїв, шт.	40,0	66,7	+26,7
Збільшення виходу спермодоз, %	-	-	66,7
Інтенсивність витоку сперми, балів	1,83	0,67	-1,16
Рівень підтвердженої поросності, %	83,3	86,7	+3,4
Частота повторної охоти, %	16,7	13,3	-3,4

Кількість сперміїв у постцервікальній спермодозі була знижена з 2,5 до 1,5 млрд, або на 40,0 %. У розрахунку на 100 осіменінь загальна потреба у сперміях зменшується з 250 до 150 млрд, тобто на 100 млрд, а на 1000 осіменінь – із 2500 до 1500 млрд, або на 1000 млрд сперміїв. Зі 100 млрд придатних до використання сперміїв за традиційного цервікального способу можна сформувати 40 доз, тоді як за постцервікального – близько 66–67 доз. Отже, вихід спермодоз збільшується на 26–27 доз, або на 66,7 %.

Зазначений результат має важливе селекційне та виробниче значення, оскільки дозволяє інтенсивніше використовувати генетичний матеріал високоцінних кнурів-плідників, збільшувати кількість осіменених свиноматок від одного еякуляту та прискорювати поширення бажаних генетичних ознак у стаді. Водночас фактичний вихід доз залежатиме від загальної кількості сперміїв в еякуляті, їх рухливості, морфологічної повноцінності, технологічних втрат під час оцінювання, розрідження й фасування, а також установлених на підприємстві критеріїв якості спермопродукції.

Додатковою передумовою ресурсозбереження було зниження середньої бальної оцінки витоку сперми з 1,83 до 0,67 бала, тобто на 1,16 бала, або на 63,4 %, що свідчить про зменшення непродуктивних втрат введеної дози та підвищення технологічної керованості процедури.

Рівень підтвердженої поросності за постцервікального осіменіння був на 3,4 % вищим, а частота повторної охоти – на 3,4 % нижчою. Оскільки зазначені відмінності не досягли статистичної значущості, їх не враховували як гарантоване джерело додаткового економічного прибутку. Водночас збереження зіставної репродуктивної результативності за зменшення об'єму спермодози та кількості сперміїв підтверджує ресурсну доцільність постцервікального способу осіменіння.

Отже, розрахункова економічна ефективність постцервікального осіменіння формується передусім завдяки скороченню витрат робочого часу, зменшенню використання розрідженої сперми, підвищенню виходу спермодоз з однаковою кількістю сперміїв та ефективнішому використанню генетичного потенціалу кнурів. Однак для визначення чистого економічного ефекту у грошовому вираженні необхідно додатково врахувати вартість різних типів катетерів, оплату праці оператора, вартість розріджувача, тари, лабораторного контролю, зберігання й транспортування спермодоз, а також можливі витрати на навчання персоналу. Подібні результати отримали вчені Бразилії [23] під час виробничого застосування постцервікального осіменіння основних свиноматок.

Висновки. На підставі проведеного дослідження встановлено:

1. Постцервікальний спосіб штучного осіменіння свиноматок забезпечив скорочення тривалості процедури з 5,17 до 3,28 хв, або на 36,6 % ($p < 0,001$), порівняно з традиційним цервікальним способом.

2. За постцервікального введення сперми інтенсивність її витоку зменшилася з 1,83 до 0,67 бала, або на 63,4 % ($p < 0,001$), що свідчить про зниження непродуктивних втрат спермодози.

3. За показниками опору проходженню катетера і частоти появи крові статистично значущих відмінностей між способами осіменіння не встановлено.

4. Поведінкова реакція свиноматок за постцервікального осіменіння була менш вираженою, однак різниця мала межовий рівень статистичної значущості ($p = 0,050$).

5. Рівень підтвердженої поросності у дослідній групі становив 86,7 % проти 83,3 % у контрольній, а частота повторної охоти – відповідно 13,3 і 16,7 %. Встановлені відмінності не були статистично значущими, тому свідчать лише про тенденцію до покращення репродуктивних показників.

6. Між тривалістю процедури та інтенсивністю витоку сперми встановлено помірний прямий кореляційний зв'язок ($r = 0,545$; $p < 0,001$). Статистично значущих зв'язків між окремими технологічними показниками та фактом запліднення не виявлено.

7. Зменшення об'єму спермодози з 80 до 45 мл і кількості сперміїв із 2,5 до 1,5 млрд забезпечило скорочення витрат розрідженої сперми на 43,75 % і потреби у сперміях на 40,0 % без зниження репродуктивної результативності свиноматок.

8. Застосування постцервікального осіменіння дало змогу заощадити 3,15 людино-години на 100 процедур і 31,50 людино-години на 1000 процедур. Розрахункова кількість осіменінь за восьмигодинну зміну збільшилася з 92,8 до 146,3, або на 57,7 %.

9. Використання спермодози з 1,5 млрд сперміїв підвищило розрахунковий вихід доз зі 100 млрд придатних сперміїв із 40,0 до 66,7, що створює можливості для ефективнішого використання генетичного матеріалу високоцінних кнурів-плідників.

10. Постцервікальний спосіб штучного осіменіння є технологічно та ресурсно доцільним для застосування в умовах промислового свинарства, оскільки забезпечує скорочення тривалості процедури, зменшення витоку сперми, зниження витрат спермопродукції та збереження зіставного рівня заплідненості свиноматок.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на порівняльну оцінку впливу різних розріджувачів для сперми кнурів на її якісні показники, термін зберігання та репродуктивну ефективність свиноматок за цервікального і постцервікального способів осіменіння.

Список використаних джерел

1. Аналіз біометричних даних у розведенні та селекції тварин : навчальний посібник / С. С. Крамаренко та ін. Миколаїв: МНАУ, 2019. 211 с.

2. Біоетика, біобезпека і благополуччя у тваринництві : навч. посіб. / Р. А. Санжара та ін. Миколаїв : Іліон, 2026. 205 с.

3. Відомчі норми технологічного проектування Свинарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми), ВНТП-АПК – 02.05. Київ : Мінагрополітики України, 2005. 98 с.

4. Ладика В. І., Хмельничий Л. М., Повод, М. Г. Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва: підручник для аспірантів. Одеса : Олді+, 2023. 244 с.

5. Методологія та організація наукових досліджень у тваринництві / за ред. І. І. Ібатуліна і О. М. Жукорського : посібник. Київ, 2017. 328 с.

6. Наказ Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України № 224 від 08.02.2021 «Про затвердження вимог до благополуччя сільськогосподарських тварин під час їх утримання». Зареєстрований від 18.02.2021 Міністерством Юстиції України № 206/35828.

7. Підвищення продуктивності свиней за використання сучасного генофонду та інноваційних технологічних рішень : монографія / В. Я. Лихач та ін. Миколаїв : Іліон, 2022. 275 с.

8. Технологічні інновації у свинарстві : монографія / В. Я. Лихач, А. В. Лихач. Київ : ФОП Ямчинський О.В., 2020. 290 с.

9. Технологія виробництва продукції свинарства : навчальний посібник. М. Повод та ін.; за ред. М. Г. Повода. Київ : Науково-методичний центр ВФПО, 2021. 360 с.

10. Ausejo-Marcos R., Tejedor M. T., Miguel-Jiménez S., Gómez-Giménez B., Soriano-Úbeda C., Mendoza N., Vicente-Carrillo A., Hurtado W. F., Ávila Holguín C., Moreno B., Falceto M. V. Spermiogram, kinetics, flow cytometric characteristics and DNA damage degree in boar ejaculates: summarization and clustering. *Veterinary Sciences*. 2024. Vol. 11. № 9. Article 420. https://doi.org/10.3390/vetsci11090420.

11. Bortolozzo F. P., Zanin G. P., Christ T. S., Rech R. D., Ulguim R. da R., Mellagi A. P. G. Artificial insemination and optimization of the use of seminal doses in swine. *Animal Reproduction Science*. 2024. Vol. 269. Article 107501. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2024.107501

12. Crespo S., Gadea J. Use of a vaginally administered gel containing the GnRH agonist triptorelin and a single, fixed-time artificial insemination in pigs under commercial conditions: productive and economic impacts. *Animals*. 2024. Vol. 14. № 18. Article 2673. DOI: https://doi.org/10.3390/ani14182673.

13. Council Directive 2008/120/EC of 18 December 2008 laying down minimum standards for the protection of pigs (Codified version). *Official Journal of the European Union*. L 47. 18.2.2009. P. 5-13.

14. Council Directive 2010/63/EC of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes. *Official Journal of the European Union*. L 276/33. 22.09.2010. P. 15-47.

15. Falceto M. V., Reyero D., Tejedor M. T., Renaud P., Mateu A., Lafuente A., Bonastre C., Laborda A., Garrido A. M., Mitjana O. Role of triptorelin and single fixed-time artificial insemination on productive and reproductive performance of hyperprolific sows. *Veterinary and Animal Science*. 2025. Vol. 30. Article 100505. DOI: https://doi.org/10.1016/j.vas.2025.100505.

16. Fontana D. L., Ulguim R. R., Sbardella P. E., Bernardi M. L., Wentz I., Bortolozzo F. P. Fixed-time post-cervical artificial insemination in sows receiving porcine luteinising hormone at oestrus onset. *Animal Reproduction Science*. 2014. Vol. 144. № 3-4. P. 109-114. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2013.12.003

17. García-Vázquez F. A., Llamas-López P. J., Jacome M. A., Sarrias-Gil L., López Albors O. Morphological changes in the porcine cervix: a comparison between nulliparous and multiparous sows with regard to post-cervical artificial insemination. *Theriogenology*. 2019. Vol. 127. P. 120-129. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.01.004

18. García-Vázquez F. A., Mellagi A. P. G., Ulguim R. R., Hernández-Caravaca I., Llamas-López P. J., Bortolozzo F. P. Post-cervical artificial insemination in porcine: the technique that came to stay. *Theriogenology*. 2019. Vol. 129. P. 37-45. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.02.004

19. Glencorse D., Grupen C. G., Bathgate R. A review of the monitoring techniques used to detect oestrus in sows. *Animals*. 2025. Vol. 15. № 3. Article 331. https://doi.org/10.3390/ani15030331.

20. Hernández-Caravaca I., Izquierdo-Rico M. J., Matás C., Carvajal J. A., Vieira L., Abril D., Soriano-Úbeda C., García-Vázquez F. A. Reproductive performance and backflow study in cervical and post-cervical artificial insemination in sows. *Animal Reproduction Science*. 2012. Vol. 136. № 1-2. P. 14-22. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.10.007

21. Knox R. V., Esparza-Harris K. C., Johnston M. E., Webel S. K. Effect of numbers of sperm and timing of a single, post-cervical insemination on the fertility of weaned sows treated with OvuGel®. *Theriogenology*. 2017. Vol. 92. P. 197-203. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.01.033

22. Lykhach A., Lykhach V., Barkar Y., Shpetny M., Kucher O. Dependence between behavioural acts and sperm parameters of boars of modern and local breeds of Ukraine. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology.* 2023. Vol. 11 (1). P. e2023008. doi:10.31893/jabb.23008

23. Mezalira J. S., Dallanora D., Bernardi M. L., Wentz I., Bortolozzo F. P. Influence of sperm cell dose and post-insemination backflow on reproductive performance of intrauterine inseminated sows. *Reproduction in Domestic Animals*. 2005. Vol. 40. № 1. P. 1-5. https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2004.00524.x

24. National Research Council. *Nutrient Requirements of Swine.* 11th revised ed. Washington, DC : National Academies Press, 2012. 400 p.

25. Rath D. Low dose insemination in the sow – a review. *Reproduction in Domestic Animals*. 2002. Vol. 37. № 4. P. 201-205. https://doi.org/10.1046/j.1439-0531.2002.00377.x

26. Singh M., Katiyar R., Chaudhary J. K., Yadav R., Bhutia P. L., Barman J., Kumar R., Chamuah J., Kalita H. Post-cervical artificial insemination with a low sperm dose in gilts and sows improved reproductive performance in subtropical climates. *Scientific Reports*. 2026. Vol. 16. Article 15535. https://doi.org/10.1038/s41598-026-46814-1

27. Steverink D. W. B., Soede N. M., Bouwman E. G., Kemp B. Semen backflow after insemination and its effect on fertilisation results in sows. *Animal Reproduction Science*. 1998. Vol. 54. № 2. P. 109-119. https://doi.org/10.1016/S0378-4320(98)00146-8

28. Suárez-Usbeck A., Mitjana O., Tejedor M. T., Bonastre C., Moll D., Coll J., Ballester C., Falceto M. V. Post-cervical compared with cervical insemination in gilts: reproductive variable assessments. *Animal Reproduction Science*. 2019. Vol. 211. Article 106207. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2019.106207

29. Taechamaeteekul P., Jaijarim C., Audban C., Sang-Gassanee K., Numsri P., Lin H., Collell M., Tummaruk P. Buserelin acetate added to boar semen enhances litter size in gilts in tropical environments. *Animals*. 2024. Vol. 14, № 17. Article 2501. https://doi.org/10.3390/ani14172501.

30. Ulguim R. da R., Will K. J., Mellagi A. P., Bortolozzo F. P. Does a single fixed-time insemination in weaned sows affect gestation and lactation length, and piglet performance during lactation compared with multiple insemination protocols in a commercial production setting? *Animal Reproduction Science*. 2022. Vol. 247. Article 107072. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2022.107072

31. Waberski D., Riesenbeck A., Schulze M., Weitze K. F., Johnson L. Application of preserved boar semen for artificial insemination: past, present and future challenges. *Theriogenology*. 2019. Vol. 137. P. 2-7. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.05.030

32. Waberski D., Luther A.-M. Boar semen storage at 5 °C for the reduction of antibiotic use in pig insemination: pathways from science into practice. *Animal Reproduction Science*. 2024. Article 107486. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2024.107486.

33. Watson P. F., Behan J. R. Intrauterine insemination of sows with reduced sperm numbers: results of a commercially based field trial. *Theriogenology*. 2002. Vol. 57. № 6. P. 1683-1693. https://doi.org/10.1016/s0093-691x(02)00648-9

34. World Organisation for Animal Health (WOAH). Terrestrial Animal Health Code. Chapter 7.13. Animal Welfare and Pig Production Systems. Paris : WOAH, 2024.

Kalitaev K. K.
Postgraduate Student at the Department of Applied Biology, Animal Breeding and Genetics,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
E-mail: *kalitaev.k@nubip.edu.ua*
ORCID: *0009-0009-1045-2119*

Lykhach A. V.
Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Professor at the Department of Applied Biology, Animal Breeding and Genetics
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
E-mail: *avlykhach@nubip.edu.ua*
ORCID: *0000-0002-0472-6162*

OPTIMIZATION OF ARTIFICIAL INSEMINATION TECHNOLOGY FOR SOWS UNDER COMMERCIAL PIG PRODUCTION CONDITIONS

Abstract

The intensification of commercial pig production and the need to maximize the genetic potential of modern high-performance pig genotypes require continuous improvement of artificial insemination technologies aimed at enhancing sow reproductive efficiency while ensuring the rational use of boar genetic resources. The aim of this study was to optimize artificial insemination technology

for sows under commercial pig production conditions through a comparative evaluation of cervical and post-cervical insemination methods based on technological, reproductive and resource-economic indicators.

The study was conducted during 2024–2026 at the agricultural production cooperative "Mig-Service-Agro" (Mykolaiv Region, Ukraine). Two analogous groups of clinically healthy crossbred sows in parities 3–5 (30 animals per group) were formed. Sows in the control group were inseminated using the conventional cervical method with an 80 ml semen dose containing 2.5 billion spermatozoa, whereas sows in the experimental group were inseminated by the post-cervical method using a 45 ml semen dose containing 1.5 billion spermatozoa. The duration of the insemination procedure, semen backflow, catheter insertion resistance, sow behavioral response, occurrence of blood during the procedure, confirmed pregnancy rate, repeat estrus rate, relationships among technological parameters, and calculated resource-economic efficiency were evaluated.

Post-cervical insemination reduced the duration of the insemination procedure by 36.6% ($p < 0.001$) and decreased semen backflow by 63.4% ($p < 0.001$) compared with the conventional cervical method. No statistically significant differences were found regarding catheter insertion resistance or the occurrence of blood, whereas the behavioral response of sows showed a tendency toward lower expression ($p = 0.050$). The confirmed pregnancy rate reached 86.7% in the experimental group compared with 83.3% in the control group, while the repeat estrus rate decreased from 16.7% to 13.3%; however, these differences were not statistically significant. Correlation analysis revealed a moderate positive relationship between procedure duration and semen backflow ($r = 0.545$; $p < 0.001$), whereas no significant associations were found between the evaluated technological parameters and pregnancy rate.

The calculated resource-economic assessment demonstrated that post-cervical insemination reduced labor requirements by 3.15 person-hours per 100 inseminations and by 31.50 person-hours per 1,000 inseminations, decreased diluted semen consumption by 43.75%, reduced sperm demand by 40.0%, and increased semen dose yield from 40.0 to 66.7 doses per 100 billion viable spermatozoa. The obtained results indicate that post-cervical artificial insemination provides substantial technological and resource-saving advantages without compromising sow reproductive performance. These findings support the practical implementation of post-cervical insemination in commercial pig production to improve the efficiency of utilizing genetically valuable boars and to optimize reproductive management.

Key words: *boars, pigs, sows, artificial insemination, cervical insemination, post-cervical insemination, semen dose, reproductive performance, technological efficiency, resource-saving, commercial pig production.*

References

1. Kramarenko, S. S., Lugovoy, S. I., Lykhach, A. V., & Kramarenko O. S. (2019). *Analiz biometrychnykh danykh u rozvedenni ta selektsii tvaryn* [Analysis of biometric data in animal breeding and selection]. Mykolayiv: MNAU, 211. [in Ukrainian].

2. Sanzhara, R. A., Lesnovska, O. V., Milostyvyi, R. V., Lykhach, A. V., Izhboldina, O. O., & Mykolaichuk, L. P. (2026). *Bioetyka, biobezpeka i blahopoluchchia u tvarynnytstvi* : navch. posib. [Bioethics, biosafety and welfare in animal husbandry]. Mykolaiv : Ilion, 2026. 205. [in Ukrainian].

3. Ministry of Agrarian Policy of Ukraine. (2005). Vidomchi normy tekhnolohichnoho proektuvannia. Svynarski pidpryiemstva (kompleksy, fermy, mali fermy): VNTP-APK 02.05 [Departmental standards of technological design. Pig enterprises (complexes, farms, small farms): VNTP-APK 02.05]. Kyiv: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine. https://lugdpss.gov.ua/images/bezpechnist_veterynariya/Svynarski-pidpryyemstva-VNTP-APK-02.05.pdf [In Ukrainian].

4. Ladyka, V. I., Khmelnychyi, L. M., & Povod, M. H. (2023). *Tekhnolohiya vyrobnytstva i pererobky produktsiyi tvarynnytstva: pidruchnyk dlia aspirantiv.* [Technology of production and processing of livestock products: a textbook for postgraduate students]. Odesa: Oldi+. 244. [in Ukrainian].

5. Ibatulin, I. I., & Zhukorskyi, O. M. (Eds.). (2017). Metodolohiia ta orhanizatsiia naukovykh doslidzhen u tvarynnytstvi [Methodology and organization of scientific research in animal husbandry]. Kyiv. 328. [in Ukrainian].

6. Ministry for Development of Economy, Trade and Agriculture of Ukraine. (2021, February 8). Order No. 224 «Pro zatverdzhennia vymoh do blahopoluchchia silskohospodarskykh tvaryn pid chas yikh utrymannia» [On approval of requirements for the welfare of farm animals during their keeping]. [In Ukrainian].

7. Lykhach, V. Ya., Faustov, R. V., Shebanin, P. O., Lykhach, A. V., & Lenkov, L. H. (2022). *Pidvyshchennia produktyvnosti svynei za vykorystannia suchasnoho henofondu ta innovatsiinykh tekhnolohichnykh rishen* [Increasing pig productivity through the use of the modern gene pool and innovative technological solutions]. Mykolaiv: Ilion. 422. [In Ukrainian].

8. Lykhach, V. Ya., & Lykhach, A. V. (2020). *Tekhnolohichni innovatsii u svynarstvi* [Technological innovations in pig production]. Kyiv: FOP Yamchynskyi O. V. 290. [In Ukrainian].

9. Povod, M. H. (Ed.), Bondarska, O., Lykhach, V., Zhyshka, S., Nechmilov, V., et al. (2021). *Tekhnolohiia vyrobnytstva produktsii svynarstva* [Technology of pig production]. Kyiv: Naukovo-metodychnyi tsentr VFPO. 360. [In Ukrainian].

10. Ausejo-Marcos, R., Tejedor, M. T., Miguel-Jiménez, S., Gómez-Giménez, B., Soriano-Úbeda, C., Mendoza, N., Vicente-Carrillo, A., Hurtado, W. F., Ávila Holguín, C., Moreno, B., Falceto, M. V. (2024). Spermiogram, kinetics, flow cytometric characteristics and DNA damage degree in boar ejaculates: summarization and clustering. *Veterinary Sciences*. 11(9), 420. https://doi.org/10.3390/vetsci11090420 [in English].

11. Bortolozzo, F. P., Zanin, G. P., Christ, T. S., Rech, R. D., Ulguim, R. da R., Mellagi, A. P. G. (2024). Artificial insemination and optimization of the use of seminal doses in swine. *Animal Reproduction Science*. 269, 107501. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2024.107501 [in English].

12. Crespo, S., Gadea, J. (2024). Use of a vaginally administered gel containing the GnRH agonist triptorelin and a single, fixed-time artificial insemination in pigs under commercial conditions: productive and economic impacts. *Animals*. 14(18):2673. https://doi.org/10.3390/ani14182673 [in English].

13. Council of the European Union. (2008). *Council Directive 2008/120/EC of 18 December 2008 laying down minimum standards for the protection of pigs (Codified version). Official Journal of the European Union, L 47*, 5-13 [in English].

14. Council of the European Union. (2010). *Directive 2010/63/EU of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes. Official Journal of the European Union, L 276*, 33-79 [in English].

15. Falceto, M. V., Reyero, D., Tejedor, M. T., Renaud, P., Mateu, A., Lafuente, A., Bonastre, C., Laborda, A., Garrido, A. M., Mitjana, O. (2025). Role of triptorelin and single fixed-time artificial insemination on productive and reproductive performance of hyperprolific sows. *Veterinary and Animal Science*. 30, 100505. https://doi.org/10.1016/j.vas.2025.100505 [in English].

16. Fontana, D. L., Ulguim, R. R., Sbardella, P. E., Bernardi, M. L., Wentz, I., Bortolozzo, F. P. (2014). Fixed-time post-cervical artificial insemination in sows receiving porcine luteinising hormone at oestrus onset. *Animal Reproduction Science*. 144 (3-4), 109–114. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2013.12.003 [in English].

17. García-Vázquez, F. A., Llamas-López, P. J., Jacome, M. A., Sarrias-Gil, L., López Albors, O. (2019). Morphological changes in the porcine cervix: a comparison between nulliparous and multiparous sows with regard to post-cervical artificial insemination. *Theriogenology*. 127, 120–129. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.01.004 [in English].

18. García-Vázquez, F. A., Mellagi, A. P. G., Ulguim, R. R., Hernández-Caravaca, I., Llamas-López, P. J., Bortolozzo, F. P. (2019). Post-cervical artificial insemination in porcine: the technique that came to stay. *Theriogenology*. 129, 37–45. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.02.004 [in English].

19. Glencorse, D., Grupen, C. G., Bathgate, R. (2025). A review of the monitoring techniques used to detect oestrus in sows. *Animals*. 15(3), 331. https://doi.org/10.3390/ani15030331 [in English].

20. Hernández-Caravaca, I., Izquierdo-Rico, M. J., Matás, C., Carvajal, J. A., Vieira, L., Abril, D., Soriano-Úbeda, C., García-Vázquez, F. A. (2012). Reproductive performance and backflow study in cervical and post-cervical artificial insemination in sows. *Animal Reproduction Science*. 136(1-2), 14–22. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2012.10.007 [in English].

21. Knox, R. V., Esparza-Harris, K. C., Johnston, M. E., Webel, S. K. (2017). Effect of numbers of sperm and timing of a single, post-cervical insemination on the fertility of weaned sows treated with OvuGel®. *Theriogenology*. 92. 197–203. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.01.033 [in English].

22. Lykhach, A., Lykhach, V., Barkar, Y., Shpetny, M., Kucher, O. (2023). Dependence between behavioural acts and sperm parameters of boars of modern and local breeds of Ukraine. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology.* 11(1), e2023008. doi:10.31893/jabb.23008 [in English].

23. Mezalira, J. S., Dallanora, D., Bernardi, M. L., Wentz, I., Bortolozzo, F. P. (2005). Influence of sperm cell dose and post-insemination backflow on reproductive performance of intrauterine inseminated sows. *Reproduction in Domestic Animals*. 40(1), 1-5. https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2004.00524.x [in English].

24. National Research Council. (2012). Nutrient requirements of swine (11th rev. ed.). National Academies Press. [in English].

25. Rath, D. (2002). Low dose insemination in the sow – a review. *Reproduction in Domestic Animals*. 37(4), 201–205. https://doi.org/10.1046/j.1439-0531.2002.00377.x [in English].

26. Singh, M., Katiyar, R., Chaudhary, J. K., Yadav, R., Bhutia, P. L., Barman, J., Kumar, R., Chamuah, J., & Kalita, H. (2026). Post-cervical artificial insemination with a low sperm dose in gilts and sows improved reproductive performance in subtropical climates. *Scientific Reports*. 16, 15535. https://doi.org/10.1038/s41598-026-46814-1 [in English].

27. Steverink, D. W. B., Soede, N. M., Bouwman, E. G., & Kemp, B. (1998). Semen backflow after insemination and its effect on fertilisation results in sows. *Animal Reproduction Science*. 54 (2), 109–119. https://doi.org/10.1016/S0378-4320(98)00146-8 [in English].

28. Suárez-Usbeck, A., Mitjana, O., Tejedor, M. T., Bonastre, C., Moll, D., Coll, J., Ballester, C., & Falceto, M. V. (2019). Post-cervical compared with cervical insemination in gilts: reproductive variable assessments. *Animal Reproduction Science*. 211, 106207. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2019.106207 [in English].

29. Taechamaeteekul, P., Jaijarim, C., Audban, C., Sang-Gassanee, K., Numsri, P., Lin, H., Collell, M., & Tummaruk, P. (2024). Buserelin acetate added to boar semen enhances litter size in gilts in tropical environments. *Animals*. 14 (17), 2501. https://doi.org/10.3390/ani14172501 [in English].

30. Ulguim, R. da R., Will, K. J., Mellagi, A. P., & Bortolozzo, F. P. (2022). Does a single fixed-time insemination in weaned sows affect gestation and lactation length, and piglet performance during lactation compared with multiple insemination protocols in a commercial production setting? *Animal Reproduction Science*. 247, 107072. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2022.107072 [in English].

31. Waberski, D., Riesenbeck, A., Schulze, M., Weitze, K. F., & Johnson, L. (2019). Application of preserved boar semen for artificial insemination: past, present and future challenges. *Theriogenology*. 137, 2-7. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.05.030 [in English].

32. Waberski, D., & Luther, A.-M. (2024). Boar semen storage at 5 °C for the reduction of antibiotic use in pig insemination: pathways from science into practice. *Animal Reproduction Science*. 107486. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2024.107486 [in English].

33. Watson, P. F., Behan, J. R. (2002). Intrauterine insemination of sows with reduced sperm numbers: results of a commercially based field trial. *Theriogenology*. 57(6), 1683-1693. https://doi.org/10.1016/s0093-691x(02)00648-9 [in English].

34. World Organisation for Animal Health (WOAH) (2024). Terrestrial Animal Health Code. Chapter 7.13. Animal Welfare and Pig Production Systems. Paris : WOAH [in English].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 30.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 01.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026

УДК 633.15:631.816:631.559
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-7

Карбівська У. М.
доктор сільськогосподарських наук, професор,
завідувач кафедри лісового і аграрного менеджменту,
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна
E-mail: *uliana.karbivska@cnu.edu.ua*
ORCID: *0000-0002-0540-8887*

Дмитрик П. М.
кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри лісового і аграрного менеджменту,
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна
E-mail: *pavlo.dmytryk@cnu.edu.ua*
ORCID: *0000-0003-1973-391X*

Гусак В. В.
кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри біохімії та біотехнології,
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна
E-mail: *viktor.husak@cnu.edu.ua*
ORCID: *0000-0001-9415-9837*

Заїка В. К.
доктор біологічних наук, професор,
професор кафедри лісового і аграрного менеджменту
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна
E-mail: *volodymyr.zaika@cnu.edu.ua*
ORCID: *0000-0002-2206-772X*

Шеленко Д. І.
доктор економічних наук, професор,
професор кафедри підприємництва, торгівлі та прикладної економіки
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна
E-mail: *diana.shelenko@cnu.edu.ua*
ORCID: *0000-0002-9214-7258*

ВПЛИВ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ *ZEA MAYS* В УМОВАХ ЗАХІДНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ

Анотація

У статті наведено результати досліджень впливу різних систем удобрення на формування врожайності та показників якості зерна кукурудзи в умовах західного регіону на дерново-підзолистому ґрунті. Встановлено, що природна родючість ґрунту є недостатньою для формування високої продуктивності культури, що підтверджується низькою врожайністю на контрольному варіанті без внесення добрив – 4,82 т/га.

Застосування органічних і мінеральних добрив суттєво підвищує рівень урожайності кукурудзи. Зокрема, внесення гною у дозі 30 т/га забезпечило підвищення врожайності до 6,54 т/га, що на 35,7 % більше порівняно з контролем. Використання мінеральних добрив у нормі $N_{60}P_{60}K_{60}$ сприяло зростанню врожайності до 7,86 т/га (приріст 63,1 %), а підвищення дози до $N_{90}P_{90}K_{90}$ – 9,14 т/га (приріст 89,6 %). Найвищий рівень продуктивності отримано за органо-мінеральної системи удобрення (гній 30 т/га + $N_{60}P_{60}K_{60}$) – 9,48 т/га, що на 96,7 % перевищує контроль.

© Карбівська У. М., Дмитрик П. М., Гусак В. В., Заїка В. К., Шеленко Д. І., 2026
pISSN 2706-9052, eISSN 2706-851X

Встановлено, що системи удобрення істотно впливають на елементи структури врожаю. За органо-мінерального удобрення довжина качана становила 20,1 см, кількість зерен у качані – 536 шт., а маса 1000 зерен – 301 г, тоді як на контролі ці показники складали відповідно 16,4 см, 428 шт. і 256 г.

Досліджено вплив удобрення на якісні показники зерна кукурудзи. Встановлено, що вміст білка зростав від 8,6 % на контролі до 10,6 % за органо-мінерального удобрення, а вміст крохмалю – від 70,8 % до 73,4 %. Застосування мінеральних добрив у нормі $N_{90}P_{90}K_{90}$ забезпечило вміст білка 10,4 % та крохмалю 72,8 %.

Отримані результати свідчать, що найбільш ефективним є поєднання органічних і мінеральних добрив, яке забезпечує не лише максимальну врожайність кукурудзи, але й покращення якісних показників зерна. Органо-мінеральної системи удобрення сприяє оптимізації живлення рослин та підвищенню ефективності використання ґрунтових ресурсів.

Ключові слова: *кукурудза, врожайність, структура врожаю, удобрення, дерново-підзолистий ґрунт.*

Вступ. Кукурудза (*Zea mays L.)* є однією з провідних зернових культур світового землеробства та займає важливе місце у структурі посівних площ України. Високий потенціал урожайності, універсальність використання зерна у продовольчій, кормовій та промисловій галузях, а також значний експортний потенціал зумовлюють постійне зростання її ролі в аграрному виробництві. У структурі зернового балансу України кукурудза посідає одне з важливих місць, забезпечуючи значну частку валового виробництва зерна [6].

Особливо сприятливі умови для вирощування кукурудзи сформовані в західному регіоні України, де поєднання родючих ґрунтів та помірно-континентального клімату дозволяють реалізувати високий генетичний потенціал сучасних гібридів. Проте ефективність вирощування цієї культури значною мірою залежить від рівня забезпечення рослин елементами мінерального живлення. У сучасних умовах інтенсивного землеробства одним із основних факторів формування стабільної врожайності кукурудзи є оптимізація систем удобрення, які повинні враховувати біологічні особливості культури, родючість ґрунту та агрокліматичні умови регіону [15].

Кукурудза характеризується високою потребою у поживних речовинах, особливо у азоті, фосфорі та калії. Для формування 1 т зерна культура в середньому використовує 24–30 кг азоту, 10–12 кг фосфору та 25–30 кг калію. Відповідно, за врожайності 7,0–7,5 т/га загальний винос поживних речовин із ґрунту становить приблизно 168–225 кг азоту, 70–90 кг фосфору та 175–225 кг калію.

Нестача хоча б одного з цих елементів призводить до зниження інтенсивності фотосинтезу, уповільнення росту рослин та формування меншої кількості генеративних органів, що безпосередньо впливає на врожайність та якість зерна. Водночас надмірне або незбалансоване застосування мінеральних добрив може спричиняти погіршення агрохімічних властивостей ґрунту, зниження ефективності використання поживних речовин та підвищення витрат на виробництво продукції [3; 4].

Навіть за високої природної родючості ґрунт не здатний повністю забезпечити таку кількість елементів живлення у доступній для рослин формі, що зумовлює необхідність застосування систематичного та збалансованого удобрення.

Результати багаторічних досліджень свідчать, що застосування оптимальних норм мінеральних добрив здатне підвищувати врожайність кукурудзи на 30–60 % порівняно з варіантами без удобрення, однак ефективність різних систем удобрення значною мірою залежить від ґрунтово-кліматичних умов, гібриду кукурудзи та рівня агротехніки [5; 7; 10].

У сучасних умовах зміни клімату, зростання вартості мінеральних добрив та необхідності збереження родючості ґрунтів особливої актуальності набуває питання оптимізації систем удобрення кукурудзи. Визначення ефективності різних варіантів застосування добрив дозволяє підвищити рівень використання поживних речовин рослинами, забезпечити формування високої врожайності та покращити показники якості зерна.

Таким чином, дослідження впливу різних систем удобрення на врожайність і якість зерна кукурудзи в умовах західного регіону України є важливим завданням, спрямованим на підвищення ефективності виробництва та забезпечення сталого розвитку аграрного сектору.

Проблематика удобрення кукурудзи детально висвітлена у працях як вітчизняних, так і зарубіжних науковців. Ефективність застосування добрив визначається багатьма чинниками, зокрема погодними умовами, рівнем родючості ґрунту, біологічними особливостями сорту чи гібриду, видом і способом внесення, нормою добрив, а також співвідношенням поживних елементів тощо [14; 15].

За останні десять років в Україні площі посіву кукурудзи зросли майже вдвічі, а рівень її врожайності – утричі. Високі показники отримують господарства, що застосовують інтенсивні технології вирощування. Зокрема, валовий збір зерна становив 11,16 млн т із площі 1,76 млн га (32 % посівних площ) за середньої врожайності 6,34 т/га [1–4].

Питання оптимізації систем удобрення кукурудзи в умовах західного регіону України є предметом численних наукових досліджень, оскільки забезпечення рослин доступними формами поживних речовин безпосередньо впливає на формування врожайності та показники якості зерна. Сучасні наукові дослідження свідчать, що ефективність удобрення кукурудзи значною мірою залежить від поєднання органічних і мінеральних добрив, рівня родючості ґрунтів, погодних умов вегетаційного періоду та біологічних особливостей гібридів [18; 20; 24].

Добрива є одним із провідних чинників інтенсифікації рослинництва, оскільки істотно впливають на формування врожаю сільськогосподарських культур, у тому числі кукурудзи. Серед елементів живлення найбільше

значення для підвищення врожайності має азот. Його споживання кукурудзою відбувається нерівномірно. До фази 8 листків засвоюється лише 3 % загальної потреби, тоді як у період від 8 листків до фази висихання приймочок качана рослина поглинає близько 85 % азоту. Решта елементу засвоюється майже до повної стиглості зерна.

За даними досліджень українських учених, внесення повного мінерального добрива забезпечує істотне підвищення врожайності кукурудзи на зерно. Так, у дослідженнях на чорноземах типових Правобережного Лісостепу встановлено, що застосування удобрення $N_{120}P_{90}K_{90}$ сприяло підвищенню врожайності культури на 3,5–4,8 т/га порівняно з контролем [13].

У дослідженнях, проведених у різних ґрунтово-кліматичних умовах Лісостепу України, визначено, що оптимальні норми мінеральних добрив можуть підвищувати врожайність кукурудзи до 10–12 т/га за умови збалансованого співвідношення основних елементів живлення. При цьому найбільший вплив на формування врожаю має азотне живлення, яке визначає інтенсивність ростових процесів, формування листкової поверхні та накопичення сухої речовини [11; 14].

Внесення мінеральних добрив у дозі $N_{128}P_{128}K_{128}$ під передпосівний обробіток забезпечувало підвищення врожайності до 9,44 т/га. Найвищу зернову продуктивність гібриду SY Torino (12,88 т/га) отримано за поєднання основного внесення мінеральних добрив із підживленням у дозі N_{70}. Це підтверджує важливу роль удобрення в технології вирощування кукурудзи [5; 25].

Водночас у багатьох дослідженнях недостатньо враховано рівень родючості ґрунту, сформований унаслідок тривалого застосування добрив, а також особливості засвоєння поживних елементів як із ґрунту, так і з добрив.

Кукурудза особливо чутлива до азотного живлення. Для ефективного використання азотних добрив і оптимізації їх норм необхідно враховувати не лише заплановану врожайність, а й фактичний вміст азоту в ґрунті, який залежить від попередника та системи удобрення і може коливатися в межах 20–100 кг/га [7– 9].

Результати досліджень Г. С. Сіам [23] показали, що застосування аміачної селітри сприяло істотному підвищенню висоти рослин кукурудзи, сирої та сухої маси, маси качана, маси 1000 зерен, урожайності, а також вмісту NPK у рослинах. Підвищення дози азоту до 140 кг д.р./га зумовлювало значне збільшення висоти рослин, накопичення сухої речовини, маси качана, маси 1000 зерен і врожайності зерна. Водночас застосування сульфату амонію сприяло істотному зростанню концентрації заліза та марганцю в зеленій масі кукурудзи, тоді як на вміст цинку цей фактор істотно не впливав. Разом з тим саме внесення сульфату амонію забезпечило найвищий вміст заліза, марганцю та цинку у зерні кукурудзи [19].

Дослідженнями встановлено, що ефективність азотних добрив залежить від їх виду, фази розвитку кукурудзи та кількості позакореневих підживлень. Найбільшу масу 1000 зерен у гібриду ЕС Конкорд (320 г) отримано за застосування КАС-32 у поєднанні з позакореневим підживленням препаратом Гумілін Стимул у фазі 5–7 листків (ВВСН 15–17), тоді як на контролі цей показник становив 280 г. Найменші показники зафіксовано за використання аміачної води. Найбільшу кількість зерен у ряду (36 шт.) і в качані (504 шт.) сформовано за внесення КАС-32 та одноразового підживлення Гумілін Стимул (3 л/га) [1; 2].

За даними О. В. Трубілова [17], внесення мінеральних добрив у нормі $N_{45}P_{45}K_{45}$ під першу культивацію забезпечило приріст урожайності зерна на рівні 0,40 т/га. Подібний результат отримано і за внесення добрив під час сівби у дозі $N_{30}P_{30}K_{30}$, де приріст становив 0,41 т/га. Найвищу ефективність відзначено за комбінованого внесення добрив: $N_{45}P_{45}$ під культивацію та $N_{15}P_{15}K_{15}$ під час сівби, що забезпечило збільшення врожайності зерна на 0,80 т/га.

Застосування мінеральних добрив і позакореневих підживлень загалом підвищує врожайність кукурудзи. Післясходове внесення комплексних мінеральних добрив Plantonit Frumentum і Plantonit Grain підвищувало продуктивність кукурудзи в середньому на 6,0 та 5,4 % відповідно порівняно з варіантом застосування лише $N_{60}P_{60}K_{60}$. За поєднання $N_{60}P_{60}K_{60}$ із Plantonit Grain урожайність зерна збільшувалася на 1,76 т/га: у ранньостиглих гібридів, у середньоранніх – на 2,11 т/га, у середньостиглих – на 1,96 т/га відносно варіанту без удобрення [2; 21; 22].

Окремі дослідження присвячені вивченню ефективності поєднання органічних та мінеральних добрив. Встановлено, що застосування органо-мінеральної системи удобрення сприяє не лише підвищенню врожайності, а й покращенню агрофізичних та агрохімічних властивостей ґрунту. Зокрема, внесення гною у поєднанні з мінеральними добривами забезпечувало приріст урожайності кукурудзи на 4,0–5,5 т/га порівняно з контролем [4; 16; 17].

Важливим аспектом сучасних досліджень є також вплив систем удобрення на показники якості зерна кукурудзи. Наукові дослідження показують, що оптимальні норми азотних добрив сприяють підвищенню вмісту білка в зерні на 1,2–2,0 %, тоді як фосфорні та калійні добрива позитивно впливають на накопичення крохмалю та покращують енергетичну цінність зерна [5].

У дослідженнях, проведених у Правобережному Лісостепу, встановлено, що використання сучасних систем удобрення дозволяє підвищити коефіцієнт використання поживних речовин рослинами кукурудзи та забезпечити стабільну врожайність навіть за умов нестійкого зволоження. При цьому найбільш ефективними виявилися системи удобрення, що передбачають диференційоване внесення азотних добрив упродовж вегетаційного періоду [1; 9; 10; 12].

Таким чином, аналіз сучасних наукових публікацій свідчить, що система удобрення є одним із найважливіших факторів формування врожайності та якості зерна кукурудзи. Разом із тим ефективність різних варіантів удобрення значною мірою залежить від ґрунтово-кліматичних умов, технології вирощування та біологічних

особливостей гібридів, що обумовлює необхідність подальших досліджень у цьому напрямі для умов західного регіону України.

Мета дослідження – встановлення впливу різних систем удобрення на формування врожайності та показників якості зерна кукурудзи в умовах західного регіону України.

Дослідження впливу різних систем удобрення на врожайність та якість зерна кукурудзи проводили в умовах польового досліду на дерново-підзолистому ґрунті західного регіону України. Вони характеризуються відносно невисоким природним рівнем родючості, підвищеною кислотністю та обмеженим забезпеченням доступними формами азоту, фосфору і калію, що зумовлює необхідність раціонального застосування добрив для підвищення продуктивності сільськогосподарських культур. Вміст гумусу орного шару (0–20 см) складав 1,8–2,1 %, що свідчить про помірну родючість ґрунту. Реакція ґрунтового середовища за pH сольової витяжки коливалася від 4,8 до 5,0, легкогідролізований азот у межах 70–85 мг/кг, рухомий фосфор (P_2O_5) – 60–75 мг/кг, а K_2O – 95–120 мг/кг, що забезпечує достатній запас макроелементів для нормального росту і розвитку культурних рослин.

Польовий дослід було закладено рендомізовано у трьох повтореннях. Площа облікової ділянки становила 50 м². У досліді вивчали вплив різних систем удобрення на продуктивність кукурудзи: контроль (без добрив); гній 30 т/га; $N_{60}P_{60}K_{60}$; $N_{90}P_{90}K_{90}$; гній 30 т/га + $N_{60}P_{60}K_{60}$

Мінеральні добрива вносили у вигляді аміачної селітри, суперфосфату гранульованого та калійної солі. Основну частину фосфорно-калійних добрив та половину азотних вносили під основний обробіток ґрунту, решту азоту – у підживлення у фазі 5–6 листків кукурудзи.

Об'єктом дослідження – гібрид кукурудзи Мантікора середньостиглої групи стиглості. Сівбу проводили у третій декаді квітня при прогріванні ґрунту до 10–12 °С. Норма висіву становила 70–75 тис. схожих насінин на 1 га. Ширина міжрядь – 70 см. Технологія вирощування загальноприйнята, за винятком факторів, які вивчалися.

У процесі проведення досліджень здійснювали фенологічні спостереження за ростом і розвитком рослин кукурудзи. Облік урожайності проводили методом суцільного збирання зерна з облікових ділянок з подальшим перерахунком на стандартну вологість 14 %. Лабораторні аналізи проводили відповідно до стандартних методик агрохімічних досліджень (ДСТУ 4117:2007 Зерно та продукти його переробки. Методи визначення якості).

Виклад основного матеріалу дослідження. Формування врожайності кукурудзи значною мірою залежить від рівня мінерального живлення рослин, оскільки ця культура характеризується високим споживанням поживних речовин упродовж вегетаційного періоду. На дерново-підзолистих ґрунтах, які відзначаються низьким вмістом гумусу та обмеженою забезпеченістю доступними формами азоту, фосфору і калію, застосування добрив є одним із головних факторів підвищення продуктивності культури. Як зазначає Г.М. Господаренко, ефективність мінерального живлення кукурудзи значною мірою залежить від оптимального співвідношення основних елементів живлення та їх доступності для рослин протягом критичних фаз розвитку [3].

Результати досліджень українських учених свідчать, що кукурудза використовує з ґрунту значну кількість елементів живлення. Для формування 1 т зерна разом із відповідною кількістю побічної продукції рослини засвоюють у середньому 20–25 кг азоту, 8–10 кг фосфору та 25–30 кг калію [11]. За недостатнього забезпечення цими елементами суттєво знижується інтенсивність ростових процесів, зменшується площа листкової поверхні та погіршується формування генеративних органів.

Отримані результати досліджень свідчать про суттєвий вплив різних систем удобрення на формування врожайності культури. Найнижчий рівень продуктивності спостерігався на контрольному варіанті без внесення добрив, де урожайність становила 4,82 т/га (табл. 1). Такий показник зумовлений використанням рослинами переважно природної родючості ґрунту та обмеженою доступністю основних елементів живлення, насамперед азоту, фосфору та калію.

Таблиця 1. Врожайність зерна кукурудзи залежно від удобрення (середнє 2023-2025 рр.)

Варіант удобрення	Урожайність, т/га	Приріст до контролю, т/га	Приріст, %
Контроль (без добрив)	4,82	–	–
Гній 30 т/га	6,54	1,72	35,7
$N_{60}P_{60}K_{60}$	7,86	3,04	63,1
$N_{90}P_{90}K_{90}$	9,14	4,32	89,6
Гній 30 т/га + $N_{60}P_{60}K_{60}$	9,48	4,66	96,7
НІР 05	0,60		

У варіанті з внесенням гною у дозі 30 т спостерігалось підвищення врожайності до 6,54 т/га, що на 1,72 т/га перевищує контроль. Більш високі показники продуктивності зафіксовано у варіанті $N_{60}P_{60}K_{60}$, де урожайність досягла 7,86 т/га, а приріст відносно контролю становив 63,1 %. Поєднання азотного, фосфорного та калійного живлення створює більш збалансовані умови для росту й розвитку рослин.

Подальше підвищення рівня мінерального живлення до $N_{90}P_{90}K_{90}$ забезпечило урожайність 9,14 т/га, що на 4,32 т/га більше порівняно з контролем. Внесення підвищеної дози мінерального добрива сприяє покращенню водного режиму рослин, активізації ферментативних процесів та підвищенню стійкості до абіотичних і біотичних стресів.

Найвищу врожайність отримано у варіанті органо-мінерального удобрення (гній 30 т/га + $N_{60}P_{60}K_{60}$) – 9,48 т/га, що перевищує контроль на 96,7 %. Висока ефективність цього варіанту зумовлена комплексною дією органічних і мінеральних добрив. Гній не лише забезпечує рослини додатковими елементами живлення, а й покращує агрофізичні, агрохімічні та біологічні властивості ґрунту.

Формування врожайності кукурудзи залежить не лише від кількості рослин на площі, а й від показників структури врожаю, зокрема маси 1000 зерен, довжини качана та кількості зерен у качані. Саме вони значною мірою визначають кінцевий рівень продуктивності культури. Встановлено, що найнижчі значення всіх досліджуваних показників спостерігалися на контрольному варіанті без внесення добрив. Довжина качана становила 16,4 см, кількість зерен у качані – 428 шт., а маса 1000 зерен – 256 г (табл. 2). Це пояснюється обмеженим забезпеченням рослин доступними елементами живлення, що стримує процеси формування генеративних органів та накопичення сухої речовини в зерні.

Таблиця 2. Вплив систем удобрення на основні елементи структури врожаю кукурудзи

Варіант удобрення	Довжина качана, см	Кількість зерен у качані, шт.	Маса 1000 зерен, г
Контроль (без добрив)	16,4	428	256
Гній 30 т/га	17,8	462	268
$N_{60}P_{60}K_{60}$	18,9	496	281
$N_{90}P_{90}K_{90}$	19,6	518	294
Гній 30 т/га + $N_{60}P_{60}K_{60}$	20,1	536	301

Внесення гною сприяло покращенню показників структури врожаю. Довжина качана збільшилася до 17,8 см, кількість зерен у качані – до 462 шт., а маса 1000 зерен – до 268 г. Позитивний вплив азоту зумовлений активізацією ростових процесів, підвищенням інтенсивності фотосинтезу та формуванням більш потужного листкового апарату, що забезпечує кращі умови для розвитку репродуктивних органів.

У варіанті $N_{60}P_{60}K_{60}$ довжина качана досягла 18,9 см, кількість зерен у качані становила 496 шт., а маса 1000 зерен – 281 г, що суттєво перевищує показники на контролі та варіанті із внесенням гною. Найкращі показники структури урожаю зафіксовано на варіанті з органо-мінеральним удобренням, які перевищують інші варіанти від 8 до 25 %.

Система живлення рослин істотно впливає не лише на рівень урожайності, але й на біохімічний склад зерна кукурудзи. Результати проведених досліджень свідчать, що застосування різних систем удобрення суттєво впливає не лише на врожайність, але й на якісні показники зерна, зокрема вміст білка, крохмалю та масу 1000 зерен. Ці показники характеризують харчову та технологічну цінність продукції і значною мірою залежать від рівня забезпечення рослин елементами мінерального живлення.

На контрольному варіанті без внесення добрив вміст білка становив 8,6 %, крохмалю – 70,8 %, а маса 1000 зерен – 256 г (табл. 3). Такий рівень показників пояснюється обмеженим надходженням елементів живлення до рослин, що негативно впливає на синтез органічних сполук і накопичення запасних речовин у зерні.

Таблиця 3. Показники якості зерна кукурудзи

Варіант удобрення	Вміст білка, %	Вміст крохмалю, %	Маса 1000 зерен, г
Контроль (без добрив)	8,6	70,8	256
Гній 30 т/га	9,3	71,5	268
$N_{60}P_{60}K_{60}$	9,8	72,1	281
$N_{90}P_{90}K_{90}$	10,4	72,8	294
Гній 30 т/га + $N_{60}P_{60}K_{60}$	10,6	73,4	301

Як видно з наведених даних, внесення гною у дозі 30 т/га сприяло покращенню якісних характеристик зерна. Зокрема, вміст білка підвищився до 9,3 %, крохмалю – до 71,5 %, а маса 1000 зерен – до 268 г.

Покращення показників якості зерна спостерігалося у варіанті $N_{60}P_{60}K_{60}$, де вміст білка досяг 9,8 %, крохмалю – 72,1 %, а маса 1000 зерен – 281 г. Мінеральне живлення забезпечує оптимальні умови для синтезу органічних речовин і розвитку кореневої системи. Фосфор бере участь у процесах енергетичного обміну та сприяє ефективнішому використанню азоту, що позитивно впливає на формування якісного зерна.

За внесення підвищеної дози удобрення $N_{90}P_{90}K_{90}$ відмічено подальше покращення досліджуваних показників, вміст білка становив 10,4 %, крохмалю – 72,8 %, а маса 1000 зерен – 294 г.

Найвищі показники якості зерна сформувалися у варіанті органо-мінерального удобрення (гній + $N_{60}P_{60}K_{60}$). За цих умов вміст білка досяг 10,6 %, крохмалю – 73,4 %, а маса 1000 зерен – 301 г. Висока ефективність цього варіанту пояснюється комплексною дією органічних і мінеральних добрив.

Висновки. Отримані результати досліджень засвідчили істотний вплив різних систем удобрення на формування врожайності кукурудзи. Застосування мінеральних добрив сприяло суттєвому підвищенню урожайності. Так, у варіанті із внесенням гною без мінерального удобрення урожайність зросла до 6,54 т/га, що

на 35,7 % більше порівняно з контролем. За використання $N_{60}P_{60}K_{60}$ вона зросла до 7,86 т/га, що забезпечило приріст 3,04 т/га (63,1 %) по відношенню до контролю.

Подальше підвищення норм мінерального живлення до $N_{90}P_{90}K_{90}$ сприяло збільшенню врожайності до 9,14 т/га, що на 89,6 % перевищувало контрольний варіант. Найвищий показник урожайності сформувався за органо-мінерального удобрення (гній 30 т/га + $N_{60}P_{60}K_{60}$) – 9,48 т/га, що забезпечило приріст 96,7 % порівняно з контролем.

Отримані результати підтверджують високу ефективність поєднання органічних і мінеральних добрив, яке забезпечує оптимізацію умов живлення рослин і сприяє максимальній реалізації їх продуктивного потенціалу.

Перспективним напрямом подальших досліджень є встановлення закономірностей формування продуктивності кукурудзи за тривалого застосування різних систем удобрення з урахуванням агрокліматичних умов вирощування. Особливого значення набуває дослідження впливу органо-мінерального удобрення на якісні показники зерна, коефіцієнти використання елементів живлення та агрохімічні властивості ґрунту. Результати таких досліджень сприятимуть науковому обґрунтуванню оптимальних рівнів органо-мінерального живлення кукурудзи.

Список використаних джерел

1. Господаренко Г. М., Черно О. Д., Новак А. В. Вплив метеорологічних умов та удобрення на врожайність кукурудзи у Правобережному Лісостепу. Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва. Агрономія. 2023. Вип. 102, ч. 1. С. 26–34. https://doi.org/10.32782/2415-8240-2023-102-1-26-34
2. Говенько Р. В., Антал Т. В. Продуктивність кукурудзи залежно від виду азотних добрив, позакореневого підживлення та погодних умов. Аграрні інновації. 2022. Вип. 15. С. 22–29. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.15.3
3. Господаренко Г. М. Агрохімія : підручник. Київ : ТОВ «СІК ГРУП Україна», 2019. 560 с.
4. Мащенко Ю. В., Соколовська І. М. Продуктивність кукурудзи залежно від її частки в сівозміні та удобрення. Аграрні інновації. 2023. Вип. 21. С. 57–64. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.21.8
5. Грабовський М. Б., Вахній С. П., Лозінський М. В., Панченко Т. В., Басюк П. Л. Зернова продуктивність гібридів кукурудзи залежно від застосування комплексних мінеральних добрив. Агробіологія. 2021. № 2. С. 33–42. https://doi.org/10.33245/2310-9270-2021-167-2-33-42
6. Державна служба статистики України. Статистичний щорічник України. Київ : Державна служба статистики України, 2023.
7. Dovhelia O., Antonenko O., Bachinsky O., Melnychuk F., Alekseeva S. Effect of mineral nutrition and nitrogen-fixing agent on maize yield in the Central Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*. 2025. Vol. 21, No. 3. P. 37–48. DOI: https://doi.org/10.31548/dopovidi/3.2025.37
8. Дудка М. І., Якунін О. П., Ковтун О. В., Гладкий О. В. Формування врожайності зерна кукурудзи залежно від макро- і мікродобрив. Зернові культури. 2021. Т. 5. № 1. С. 45–51. https://doi.org/10.31867/2523-4544/0157
9. Каленська С. М., Таран В. Г., Данилів П. О. Особливості формування урожайності гібридів кукурудзи залежно від удобрення, густоти стояння рослин та погодних умов. Таврійський науковий вісник. 2018. № 101. С. 122–128.
10. Лень О. І., Тоцький В. М., Гангур В. В., Єремко Л. С. Вплив системи удобрення та основного обробітку ґрунту на продуктивність гібридів кукурудзи. Вісник ПДАА. 2021. № 2. С. 52–58. https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.06
11. Мазур В. А., Паламарчук В. Д., Поліщук І. С. Технологія вирощування кукурудзи на зерно в умовах Лісостепу України. Вінниця : ВНАУ, 2017. 132 с.
12. Марініч Л. Г., Ласло О. О., Цуревський В. Ю. Вплив системи удобрення на продуктивність кукурудзи. Scientific World Journal. Bulgaria, Svishtov, Issue № 28, November, 2024. С. 39–45. https://doi.org/10.30888/2663-5712.2024-28-00-005
13. Павліченко К. В. Формування елементів структури врожаю гібридами кукурудзи на силос під впливом макро- і мікродобрив. Аграрні інновації. 2022. № 12. С. 77–84. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.12.12
14. Паламарчук В. Д., Мазур О. В., Шевченко Н. В., Мазур О. В. Елементи структури врожаю гібридів кукурудзи залежно від внесення біологічних препаратів в умовах Лісостепу правобережного. Сільське господарство та лісівництво. 2021. № 4 (23). С. 244–252. URL: http://repository.vsau.org/repository/getfile.php/30529.pdf
15. Паламарчук В. Д., Дідур І. М., Колісник О. М., Алєксєєв О. О. Аспекти сучасної технології вирощування висококрохмальної кукурудзи в умовах Лісостепу правобережного. Вінниця : Друк, 2020. 536 с.
16. Степаненко М. В., Грабовський М. Б. Вплив способів сівби на формування маси 1000 зерен у гібридів кукурудзи. Таврійський науковий вісник. 2023. № 133. С. 159–165. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.21
17. Трубілов О. В. Зернова продуктивність гібридів кукурудзи залежно від способів обробітку ґрунту і мінерального живлення. Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України. 2012. № 3. С. 114–117.
18. Черняховський О. Сучасне удобрення кукурудзи. Agronomy.com.ua. URL: http://agronomy.com.ua/statti/zernovikultury/276suchasneudobrenniakukurudzy.html
19. Шинкарук Л. М. Вплив макро- і мікродобрив на врожайність кукурудзи. Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія: агрономія. 2021. № 25. С. 162–166. https://doi.org/10.31734/agronomy2021.01.162
20. Budiastuti M. T. S., Purnomo D., Pujiasmanto B., Setyaningrum D. Response of Maize Yield and Nutrient Uptake to Indigenous Organic Fertilizer from Corn Cobs. Agriculture. 2023. Vol. 13, No. 2. Article 309. https://doi.org/10.3390/agriculture13020309
21. Infante P. A., Moore K. J., Lenssen A. W., Archontoulis S. V., Scott P., Fei S. Z. Phenology and Biomass Production of Adapted and Non-Adapted Tropical Corn Populations in Central Iowa. Agronomy Journal. 2018. Vol. 110, No. 1. P. 171–182. https://doi.org/10.2134/agronj2016.11.0666
22. Shcatula Yu., Matsera O., Zabarna T. The application of different fertilizer systems for the formation of corn hybrids grain productivity. Agriculture and Forestry. 2022. Vol. 27. P. 25–40. https://doi.org/10.37128/2707-5826-2022-4-3
23. Siam H. S., Abd-El-Kader M. G., El-Alia H. I. Yield and Yield Components of Maize as Affected by Different Sources and Application Rates of Nitrogen Fertilizer. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences. 2008. Vol. 4, No. 5. P. 399–412.
24. Wang J., Yang X., Huang S. та ін. Long-term combined application of organic and inorganic fertilizers increases crop yield sustainability by improving soil fertility in maize–wheat cropping systems. Journal of Integrative Agriculture. 2025. Vol. 24, No. 1. P. 290–305. https://doi.org/10.1016/j.jia.2024.07.003
25. Zuffo L. T., Luz L. S., Destro V., Silva M. E. J., Rodrigues M. C., Lara L. M., Faria S. V., De Lima R. O. Assessing genotypic variation for nitrogen use efficiency and associated traits in Brazilian maize hybrids grown under low and high nitrogen inputs. Euphytica. 2021. Vol. 217. https://doi.org/10.1007/s10681-021-02806-y

Karbivska U. M.
Doctor of Agricultural Sciences, Professor
Head of the Department of Forestry and Agricultural Management,
Vasyl Stefanyk Carpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
E-mail: *uliana.karbivska@cnu.edu.ua*
ORCID: *0000-0002-0540-8887*

Dmytryk P. M.
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Forestry and Agricultural Management,
Vasyl Stefanyk Carpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
E-mail: *pavlo.dmytryk@cnu.edu.ua*
ORCID: *0000-0003-1973-391X*

Husak V. V.
*Candidate of Biological Sciences, Associate Professor***,**
Associate Professor at the Department of Biochemistry and Biotechnology
Vasyl Stefanyk Carpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
E-mail: *viktor.husak@cnu.edu.ua*
ORCID: *0000-0001-9415-9837*

Zaika V. K.
Doctor of Biological Sciences, Professor,
Professor at the Department of Forestry and Agricultural Management,
Vasyl Stefanyk Carpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
E-mail: *volodymyr.zaika@cnu.edu.ua*
ORCID: *0000-0002-2206-772X*

Shelenko D. I.
Doctor of Economic Sciences, Professor,
Professor at the Department of Entrepreneurship, Trade and Applied Economics,
Vasyl Stefanyk Carpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
E-mail: *diana.shelenko@cnu.edu.ua*
ORCID: *0000-0002-9214-7258*

EFFECT OF FERTILIZATION SYSTEMS ON THE PRODUCTIVITY OF ZEA MAYS UNDER THE CONDITIONS OF THE WESTERN REGION OF UKRAINE

Abstract

The article presents the results of a study on the influence of different fertilization systems on grain yield formation and grain quality parameters of maize under the conditions of the western region of Ukraine on sod-podzolic soil. It was established that the natural soil fertility is insufficient to ensure high crop productivity, as confirmed by the low grain yield of 4.82 t/ha in the unfertilized control treatment.

The application of both organic and mineral fertilizers significantly increased maize productivity. In particular, the application of farmyard manure at a rate of 30 t/ha increased grain yield to 6.54 t/ha, representing a 35.7% increase compared with the control. The use of mineral fertilizers at the rate of $N_{60}P_{60}K_{60}$ resulted in a grain yield of 7.86 t/ha (63.1% increase), while increasing the fertilizer rate to $N_{90}P_{90}K_{90}$ further enhanced yield to 9.14 t/ha (89.6% increase). The highest grain yield (9.48 t/ha) was obtained under the organo-mineral fertilization system (farmyard manure 30 t/ha + $N_{60}P_{60}K_{60}$), exceeding the control by 96.7%.

It was established that fertilization systems significantly affected the yield structure components. Under the organo-mineral fertilization system, ear length reached 20.1 cm, the number of kernels per ear was 536, and the 1,000-kernel weight was 301 g, whereas in the unfertilized control these values were 16.4 cm, 428 kernels, and 256 g, respectively.

The influence of fertilization on maize grain quality characteristics was also investigated. The protein content increased from 8.6% in the control treatment to 10.6% under the organo-mineral fertilization system, while the starch content increased from 70.8% to 73.4%. The application of mineral fertilizers at the rate of $N_{90}P_{90}K_{90}$ resulted in a protein content of 10.4% and a starch content of 72.8%.

The obtained results indicate that the combined application of organic and mineral fertilizers is the most effective fertilization strategy, ensuring not only the highest maize grain yield but also improved grain quality. The organo-mineral fertilization system promotes balanced plant nutrition and enhances the efficiency of soil resource utilization.

Key words: *maize, yield, yield composition, fertilisation, sod-podzolic soil.*

References

1. Hospodarenko, H. M., Cherno, O. D., & Novak, A. V. (2023). Vplyv meteorolohichnykh umov ta udobrennia na vrozhainist kukurudzy u Pravoberezhhnomu Lisostepu [Influence of meteorological conditions and fertilization on maize yield in the Right-Bank Forest-Steppe]. *Collection of Scientific Papers of Uman National University of Horticulture: Agronomy*, (102, Pt. 1), 26–34. https://doi.org/10.32782/2415-8240-2023-102-1-26-34 [in Ukrainian].

2. Hovenko, R. V., & Antal, T. V. (2022). Produktyvnist kukurudzy zalezhno vid vydu azotnykh dobryv, pozakorenevoho pidzhyvlennia ta pohodnykh umov [Maize productivity depending on the type of nitrogen fertilizer, foliar feeding, and weather conditions]. *Agrarian Innovations*, (15), 22–29. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.15.3 [in Ukrainian].

3. Hospodarenko, H. M. (2019). *Ahrokhimiia* [Agrochemistry]. SIK HRUP Ukraina. [in Ukrainian].

4. Mashchenko, Yu. V., & Sokolovska, I. M. (2023). Produktyvnist kukurudzy zalezhno vid yii chastky v sivozmini ta udobrennia [Maize productivity depending on its share in the crop rotation and fertilization]. *Agrarian Innovations*, (21), 57–64. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.21.8 [in Ukrainian].

5. Grabovskyi, M. B., Vakhnii, S. P., Lozinskyi, M. V., Panchenko, T. V., & Basiuk, P. L. (2021). Zernova produktyvnist hibrydiv kukurudzy zalezhno vid zastosuvannia kompleksnykh mineralnykh dobryv [Grain productivity of maize hybrids depending on the application of complex mineral fertilizers]. *Ahrobiolohiia*, (2), 33–42. https://doi.org/10.33245/2310-9270-2021-167-2-33-42 [in Ukrainian].

6. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy [State Statistics Service of Ukraine]. (2023). *Statystychnyi shchorichnyk Ukrainy* [Statistical Yearbook of Ukraine]. Kyiv: Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy [State Statistics Service of Ukraine]. [in Ukrainian].

7. Dovhelia, O., Antonenko, O., Bachinsky, O., Melnychuk, F., & Alekseeva, S. (2025). Effect of mineral nutrition and nitrogen-fixing agent on maize yield in the Central Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*, 21(3),37-48. https://doi.org/10.31548/dopovidi/3.2025.37 [in English].

8. Dudka, M. I., Yakunin, O. P., Kovtun, O. V., & Hladkyi, O. V. (2021). Formuvannia vrozhainosti zerna kukurudzy zalezhno vid makro- i mikrodobryv [Formation of maize grain yield depending on macro- and micronutrient fertilizers]. *Grain Crops*, *5*(1), 45–51. https://doi.org/10.31867/2523-4544/0157 [in Ukrainian].

9. Kalenska, S. M., Taran, V. H., & Danyliv, P. O. (2018). Osoblyvosti formuvannia urozhainosti hibrydiv kukurudzy zalezhno vid udobrennia, hustoty stoiannia roslyn ta pohodnykh umov [Features of yield formation in maize hybrids depending on fertilization, plant stand density, and weather conditions]. *Taurian Scientific Bulletin*, (101), 122–128. [in Ukrainian].

10. Len, O. I., Totskyi, V. M., Hanhur, V. V., & Yeremko, L. S. (2021). Vplyv systemy udobrennia ta osnovnoho obrobitku gruntu na produktyvnist hibrydiv kukurudzy [Influence of the fertilization system and primary tillage on the productivity of maize hybrids]. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (2), 52–58. https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.06 [in Ukrainian].

11. Mazur, V. A., Palamarchuk, V. D., & Polishchuk, I. S. (2017). *Tekhnolohiia vyroshchuvannia kukurudzy na zerno v umovakh Lisostepu Ukrainy* [Technology of growing maize for grain in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine]. Vinnytsia National Agrarian University. [in Ukrainian].

12. Marinich, L. H., Laslo, O. O., & Tsurevskyi, V. Yu. (2024). Vplyv systemy udobrennia na produktyvnist kukurudzy [Influence of the fertilization system on maize productivity]. *ScientificWorldJournal*, (28-02), 39–45. https://doi.org/10.30888/2663-5712.2024-28-00-005 [in Ukrainian].

13. Pavlichenko, K. V. (2022). Formuvannia elementiv struktury vrozhaiu hibrydamy kukurudzy na sylos pid vplyvom makro- i mikrodobryv [Formation of yield structure elements in maize hybrids grown for silage under the influence of macro- and micronutrient fertilizers]. *Agrarian Innovations*, (12), 77–84. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.12.12 [in Ukrainian].

14. Palamarchuk, V. D., Mazur, O. V., Shevchenko, N. V., & Mazur, O. V. (2021). Elementy struktury vrozhaiu hibrydiv kukurudzy zalezhno vid vnesennia biolohichnykh preparativ v umovakh Lisostepu Pravoberezhnoho [Yield structure elements of maize hybrids depending on the application of biological preparations in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe]. *Agriculture and Forestry*, (4), 244–252. http://repository.vsau.org/repository/getfile.php/30529.pdf [in Ukrainian].

15. Palamarchuk, V. D., Didur, I. M., Kolisnyk, O. M., & Alieksieiev, O. O. (2020). *Aspekty suchasnoi tekhnolohii vyroshchuvannia vysokokrokhmalnoi kukurudzy v umovakh Lisostepu Pravoberezhnoho* [Aspects of modern technology for growing high-starch maize in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe]. Druk. [in Ukrainian].

16. Stepanenko, M. V., & Grabovskyi, M. B. (2023). Vplyv sposobiv sivby na formuvannia masy 1000 zeren u hibrydiv kukurudzy [Influence of sowing methods on the formation of 1,000-kernel weight in maize hybrids]. *Taurian Scientific Bulletin*, (133), 159–165. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.21 [in Ukrainian].

17. Trubilov, O. V. (2012). Zernova produktyvnist hibrydiv kukurudzy zalezhno vid sposobiv obrobitku gruntu i mineralnoho zhyvlennia [Grain productivity of maize hybrids depending on tillage methods and mineral nutrition]. *Bulletin of the Institute of Agriculture of the Steppe Zone of NAAS*, (3), 114–117. [in Ukrainian].

18. Cherniakhovskyi, O. (2022). *Suchasne udobrennia kukurudzy* [Modern fertilization of maize]. *Agronomy.com.ua.* http://agronomy.com.ua/statti/zernovikultury/276suchasneudobrenniakukurudzy.html [in Ukrainian].

19. Shynkaruk, L. M. (2021). Vplyv makro- i mikrodobryv na vrozhainist kukurudzy [Influence of macro- and micronutrient fertilizers on maize yield]. *Visnyk of Lviv National Agrarian University: Agronomy Series*, (25), 162–166. https://doi.org/10.31734/agronomy2021.01.162 [in Ukrainian].

20. Budiastuti, M. T. S., Purnomo, D., Pujiasmanto, B., & Setyaningrum, D. (2023). Response of maize yield and nutrient uptake to indigenous organic fertilizer from corn cobs. *Agriculture*, *13*(2), Article 309. https://doi.org/10.3390/agriculture13020309 [in English].

21. Infante, P. A., Moore, K. J., Lenssen, A. W., Archontoulis, S. V., Scott, P., & Fei, S. Z. (2018). Phenology and biomass production of adapted and non-adapted tropical corn populations in Central Iowa. *Agronomy Journal*, *110*(1), 171–182. https://doi.org/10.2134/agronj2016.11.0666 [in English].

22. Shcatula, Yu., Matsera, O., & Zabarna, T. (2022). The application of different fertilizer systems for the formation of corn hybrids grain productivity. *Agriculture and Forestry*, *27*, 25–40. https://doi.org/10.37128/2707-5826-2022-4-3 [in English].

23. Siam, H. S., Abd-El-Kader, M. G., & El-Alia, H. I. (2008). Yield and yield components of maize as affected by different sources and application rates of nitrogen fertilizer. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, *4*(5), 399–412. [in English].

24. Wang, J., Yang, X., Huang, S., Wu, L., Cai, Z., & Xu, M. (2025). Long-term combined application of organic and inorganic fertilizers increases crop yield sustainability by improving soil fertility in maize–wheat cropping systems. *Journal of Integrative Agriculture*, *24*(1), 290–305. https://doi.org/10.1016/j.jia.2024.07.003 [in English].

25. Zuffo, L. T., Luz, L. S., Destro, V., Silva, M. E. J., Rodrigues, M. C., Lara, L. M., Faria, S. V., & De Lima, R. O. (2021). Assessing genotypic variation for nitrogen use efficiency and associated traits in Brazilian maize hybrids grown under low and high nitrogen inputs. *Euphytica*, *217*. https://doi.org/10.1007/s10681-021-02806-y [in English].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 31.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 08.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026

УДК 639.3:504.45:556.53(477.42)
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-8

Ковальова С. П.
кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник,
докторант кафедри екології та природоохоронних технологій,
Державний університет «Житомирська політехніка»
Житомир, Україна
E-mail: *svitlanakovalova2@gmail.com*
ORCID: *0000-0003-1858-625X*

Вербельчук С. П.
кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри біоресурсів, тваринництва та аквакультури,
Поліський національний університет
Житомир, Україна
E-mail: *verba5551@ukr.net*
ORCID: *0000-0002-1136-5617*

Кобернюк В. В.
кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри біоресурсів, тваринництва та аквакультури,
Поліський національний університет
Житомир, Україна
E-mail: *kobernukvera@gmail.com*
ORCID: *0000-0001-7037-8269*

Вербельчук Т. В.
кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри біоресурсів, тваринництва та аквакультури,
Поліський національний університет
Житомир, Україна
E-mail: *ver-ba555@ukr.net*
ORCID: *0000-0001-7334-4507*

Матковська С. І.
кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри біоресурсів, тваринництва та аквакультури,
Поліський національний університет
Житомир, Україна
E-mail: *matkovcka@ukr.net*
ORCID: *0000-0002-8019-5498*

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ЖИТОМИРСЬКОГО РАЙОНУ ТА ЇХ ПРИДАТНОСТІ ДЛЯ ПОТРЕБ АКВАКУЛЬТУРИ

Анотація

Забезпечення належної якості поверхневих вод є однією з ключових передумов сталого розвитку аквакультури, збереження біорізноманіття водних екосистем та ефективного використання водних ресурсів. В умовах посилення антропогенного навантаження, інтенсифікації сільськогосподарського виробництва, урбанізації та кліматичних змін особливого значення набуває систематичний екологічний моніторинг поверхневих вод, що дозволяє своєчасно виявляти негативні зміни їхнього екологічного стану та обґрунтовувати природоохоронні заходи. Метою дослідження було здійснення комплексної екологічної оцінки якості поверхневих вод Житомирського району за фізико-хімічними показниками та вмістом важких металів, визначення їх відповідності чинним екологічним нормативам і встановлення придатності досліджених водних об'єктів для використання у сфері аквакультури.

Дослідження виконано у 2025 році на семи стаціонарних пунктах моніторингу, розташованих на річках Тетерів, Кам'янка, Гуйва та Гнилоп'ять. Відбір проб проводили у весняний, літній, осінній та передзимовий періоди. У лабораторних

© Ковальова С. П., Вербельчук С. П., Кобернюк В. В., Вербельчук Т. В., Матковська С. І., 2026 pISSN 2706-9052, eISSN 2706-851X

умовах визначали водневий показник (pH), загальну жорсткість, концентрацію хлоридів, а також вміст свинцю, кадмію, цинку, мангану, міді та заліза. Результати досліджень опрацьовано методами варіаційної статистики з визначенням середніх значень та похибки середнього (M ± m). Комплексну екологічну оцінку здійснювали відповідно до чинних нормативно-методичних документів України та міжнародних рекомендацій щодо оцінювання якості поверхневих вод.

Установлено, що досліджені поверхневі води характеризуються відносно стабільним гідрохімічним режимом. Значення pH знаходилися в межах 7,65–8,28, загальна жорсткість становила 4,13–7,61 мг-екв./л, концентрація хлоридів – 29,63–43,55 мг/л. Концентрації важких металів характеризувалися просторовою мінливістю, однак у більшості випадків відповідали рівням, характерним для поверхневих вод Поліського регіону. Найбільшу варіабельність встановлено для заліза та мангану, що обумовлено природними геохімічними особливостями водозбірних територій та локальним антропогенним впливом. За результатами комплексної оцінки більшість досліджених водних об'єктів віднесено до водойм із добрим екологічним станом, придатних для використання у рибогосподарських цілях та ведення аквакультури за умови систематичного екологічного моніторингу.

Наукова новизна роботи полягає у проведенні комплексної оцінки сучасного екологічного стану поверхневих вод Житомирського району за результатами сезонного моніторингу 2025 року із використанням комплексу фізико-хімічних показників та вмісту важких металів, що дозволило обґрунтувати їх придатність для потреб аквакультури. Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості їх використання під час здійснення державного та виробничого моніторингу поверхневих вод, планування природоохоронних заходів, управління водними ресурсами, оцінювання екологічних ризиків та розроблення рекомендацій щодо сталого розвитку аквакультури в умовах Житомирського Полісся.

Ключові слова: *якість поверхневих вод, екологічна оцінка, аквакультура, екологічний моніторинг, гідрохімічні показники, важкі метали, Житомирський район, водні ресурси.*

Вступ. Збереження екологічної якості поверхневих вод є одним із пріоритетних напрямів сучасної екологічної політики та важливою умовою сталого використання водних ресурсів. Поверхневі водні об'єкти забезпечують функціонування природних екосистем, розвиток аквакультури, рибного господарства, сільськогосподарського виробництва та інших галузей економіки. Водночас зростання антропогенного навантаження, урбанізація, інтенсифікація сільського господарства та зміни клімату спричиняють погіршення екологічного стану водойм, що обумовлює необхідність систематичного моніторингу їх якості та своєчасного впровадження природоохоронних заходів [3; 8; 10].

Правові засади охорони та використання водних ресурсів в Україні визначаються Водним кодексом України, Законами України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про аквакультуру» та Порядком здійснення державного моніторингу вод [3; 8; 9; 10]. Система державного моніторингу гармонізована з положеннями Водної рамкової директиви Європейського Союзу, що передбачає комплексну оцінку екологічного стану поверхневих вод та забезпечення їх доброго екологічного статусу [21].

Наукові основи екологічної оцінки поверхневих вод, методичні підходи до визначення їх якості та класифікації розроблено у працях В. Д. Романенка, А. В. Яцика, В. К. Хільчевського, С. І. Сніжка та інших учених [5; 6; 14; 15; 16; 17]. Значний внесок у дослідження екологічного стану поверхневих вод Житомирського Полісся зробили С. П. Ковальова, Р. П. Паламарчук, Л. Д. Романчук, П. М. Салій та їхні співавтори, які дослідили особливості гідрохімічного режиму водойм регіону, вплив антропогенних чинників на якість води та обґрунтували підходи до екологічного моніторингу [7, с. 101–105; 12, с. 119–125; 13, с. 41–48].

Особливого значення екологічна оцінка поверхневих вод набуває для розвитку аквакультури, оскільки фізико-хімічні показники водного середовища визначають умови існування гідробіонтів, рівень рибопродуктивності водойм та безпечність продукції рибництва [2, с. 381–396; 19; 20]. Сучасні міжнародні дослідження підтверджують, що комплексне визначення фізико-хімічних показників, концентрацій важких металів та інтегральних індексів якості води є одним із найбільш інформативних підходів до оцінки екологічного стану водних екосистем і можливості їх використання для потреб аквакультури [18; 23; 24; 25].

Актуальні дані моніторингу підтверджують необхідність систематичного контролю якісного стану поверхневих вод регіону. За результатами аналітичного огляду якісного стану масивів поверхневих вод суббасейну річки Прип'ять за червень 2026 року простежується просторова мінливість показників якості води, що зумовлює необхідність подальшого комплексного оцінювання стану водних об'єктів та виявлення локальних проявів антропогенного навантаження [1].

Незважаючи на наявність значної кількості наукових праць, сучасна інформація щодо екологічного стану поверхневих вод Житомирського району, особливо в частині комплексної оцінки фізико-хімічних показників та вмісту важких металів, є недостатньо узагальненою. Це обумовлює необхідність проведення комплексних досліджень, результати яких можуть бути використані для оцінки придатності водойм до рибогосподарського використання та розроблення заходів щодо раціонального використання водних ресурсів.

Мета дослідження – здійснити комплексну екологічну оцінку якості поверхневих вод Житомирського району за фізико-хімічними показниками та вмістом важких металів, визначити їх відповідність чинним екологічним нормативам і оцінити придатність досліджуваних водних об'єктів для використання у сфері аквакультури.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження проводили упродовж 2025 року на поверхневих водних об'єктах Житомирського району, які характеризуються різним ступенем антропогенного навантаження та мають потенціал для використання у рибогосподарських цілях. До програми моніторингу було включено сім

пунктів спостережень, розташованих на річках Тетерів, Гуйва, Гнилоп'ять і Кам'янка. Вибір пунктів дослідження здійснювали з урахуванням особливостей басейнової структури, характеру землекористування, наявності потенційних джерел забруднення та перспектив використання водойм для потреб аквакультури.

Сезонний відбір проб води проводили чотири рази на рік (березень, травень, вересень і листопад), що дозволило охопити основні гідрологічні періоди та мінімізувати вплив сезонних коливань на оцінку якості води. Відбір, транспортування та лабораторний аналіз проб здійснювали відповідно до вимог чинного природоохоронного законодавства України, нормативних документів державного моніторингу вод та загальноприйнятих методик екологічної оцінки поверхневих вод [3; 5; 6; 9].

У відібраних пробах визначали фізико-хімічні показники, що характеризують екологічний стан водойм, зокрема водневий показник (pH), загальну жорсткість, концентрацію хлоридів, а також вміст важких металів (Pb, Cd, Zn, Mn, Cu та Fe). Перелік досліджуваних показників сформовано з урахуванням їх екологічної значущості, потенційного впливу на водні екосистеми та вимог до якості води, що використовується для рибогосподарських потреб [5; 6; 17; 20].

Схему розташування пунктів моніторингу наведено на рис. 1.

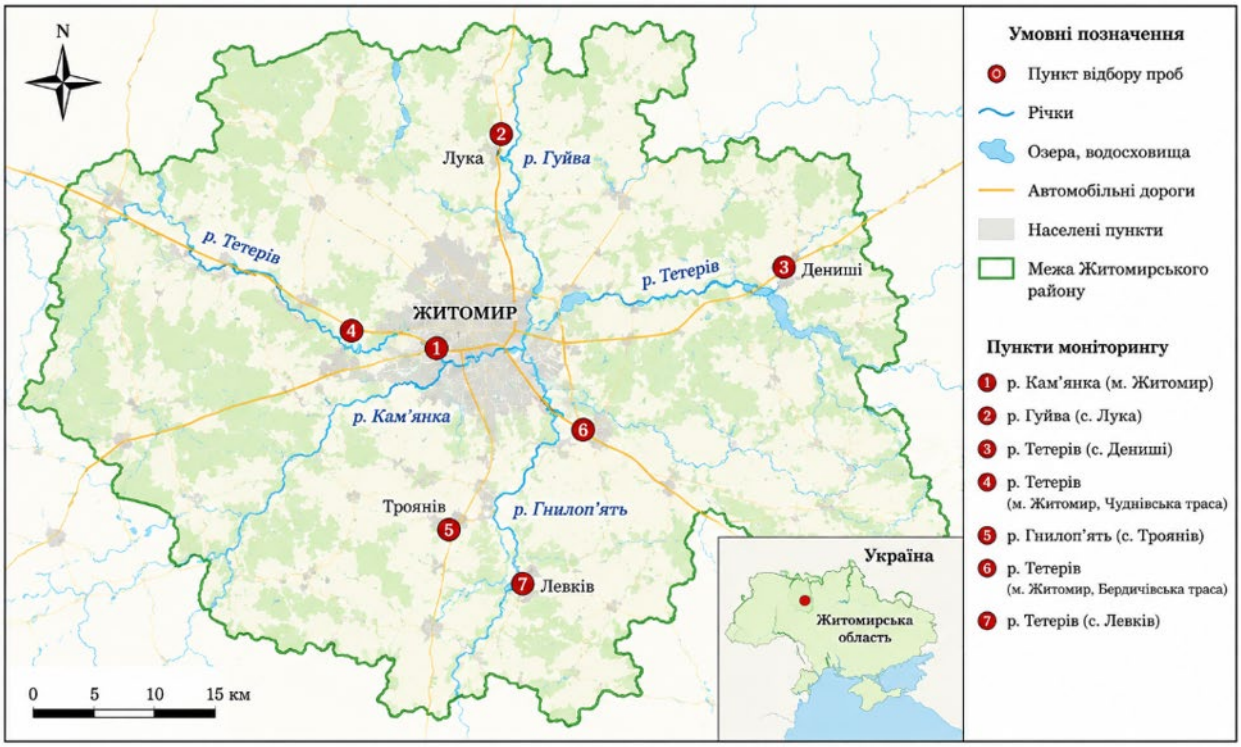


Рис. 1. Схема розташування пунктів відбору проб поверхневих вод Житомирського району

Джерело: розроблено авторами

Аналіз просторового розміщення пунктів спостережень свідчить, що вони охоплюють водні об'єкти з різним рівнем антропогенного навантаження. До дослідження включено ділянки річок, які перебувають під впливом урбанізованих територій, сільськогосподарських угідь та природних ландшафтів. Такий підхід забезпечує можливість об'єктивної оцінки сучасного екологічного стану поверхневих вод і дозволяє встановити особливості формування їх гідрохімічного режиму.

Основну характеристику пунктів моніторингу наведено в табл. 1.

Досліджувані пункти моніторингу охоплюють основні поверхневі водні об'єкти Житомирського району та характеризуються різними природними умовами формування водного режиму й інтенсивністю антропогенного навантаження. Такий підхід забезпечує репрезентативність отриманих результатів і дозволяє оцінити сучасний екологічний стан поверхневих вод залежно від особливостей використання прилеглих територій.

Найбільшого антропогенного впливу зазнають річки Кам'янка в межах м. Житомира, Гуйва поблизу с. Лука та ділянки річки Тетерів у районі транспортних магістралей. Формування якості води на цих ділянках відбувається під впливом урбанізованих територій, поверхневого стоку з автомобільних доріг, комунально-побутових і частково промислових стічних вод. Крім того, істотний внесок у зміну гідрохімічного режиму здійснює дифузне надходження забруднювальних речовин із сільськогосподарських угідь, розташованих у межах водозбірних площ [3; 10; 21].

Водночас пункти моніторингу, розташовані у верхніх та середніх течіях річок, характеризуються меншою інтенсивністю антропогенного навантаження, що дозволяє використовувати їх як умовно фонові ділянки під час

оцінювання просторових змін екологічного стану водних екосистем. Порівняння результатів досліджень між такими ділянками дає можливість встановити характер і масштаби впливу господарської діяльності на якість поверхневих вод.

Таблиця 1. Характеристика пунктів моніторингу поверхневих вод Житомирського району

№ пункту	Водний об'єкт	Місце відбору проб	Характеристика ділянки	Основний антропогенний вплив
1	р. Кам'янка	м. Житомир	Мала річка в межах урбанізованої території	Комунальне навантаження, поверхневий стік із міської території
2	р. Гуйва	с. Лука	Ділянка річки у зоні сільськогосподарського використання	Сільськогосподарське навантаження, поверхневий стік із орних земель
3	р. Тетерів	с. Дениші	Верхня течія річки з переважно природними умовами	Незначний рекреаційний вплив
4	р. Тетерів	м. Житомир (Чуднівська траса)	Урбанізована ділянка річки	Транспортна інфраструктура, міський поверхневий стік
5	р. Гнилоп'ять	с. Троянів	Ділянка річки у зоні сільськогосподарських угідь	Агроландшафти, локальне господарське навантаження
6	р. Тетерів	м. Житомир (Бердичівська траса)	Ділянка нижче межі міста	Комунальне та транспортне навантаження
7	р. Тетерів	с. Левків	Ділянка нижче за течією від міста	Комплексний вплив міської та сільськогосподарської діяльності

Джерело: сформовано авторами за результатами польових досліджень.

Вибір саме цих пунктів моніторингу також обумовлений перспективами використання водних об'єктів для потреб аквакультури. Відомо, що ефективність вирощування риби безпосередньо залежить від стабільності гідрохімічного режиму, концентрації біогенних і токсичних елементів та відсутності критичних екологічних навантажень. Саме тому комплексна оцінка якості води повинна враховувати не лише відповідність нормативним показникам, але й просторові особливості формування водного середовища [2, с. 381–396; 17; 18].

Отже, сформована мережа пунктів спостережень дозволяє об'єктивно оцінити сучасний екологічний стан поверхневих вод Житомирського району, визначити основні чинники формування їх якості та надати науково обґрунтовану оцінку придатності досліджуваних водойм для рибогосподарського використання й розвитку аквакультури.

Наступним етапом досліджень було визначення фізико-хімічних показників поверхневих вод, які найбільш повно характеризують сучасний екологічний стан водойм та їх придатність для використання у рибогосподарських цілях. До аналізу включено показники загальної жорсткості, вмісту хлоридів, водневого показника (pH), а також концентрації важких металів (Pb, Cd, Zn, Mn, Cu та Fe), які є чутливими індикаторами антропогенного навантаження на водні екосистеми та можуть суттєво впливати на функціонування гідробіоценозів і безпечність продукції аквакультури [5; 17; 18; 24].

Узагальнені результати визначення фізико-хімічних показників поверхневих вод Житомирського району за результатами сезонного моніторингу 2025 року наведено в таблиці 2.

Аналіз результатів, наведених у таблиці 2, свідчить, що досліджувані поверхневі води Житомирського району характеризуються відносно стабільними фізико-хімічними показниками, проте між окремими пунктами спостережень простежуються певні відмінності, зумовлені природними умовами формування водного стоку та різною інтенсивністю антропогенного навантаження.

Одним із важливих показників якості природних вод є загальна жорсткість, яка визначає вміст солей кальцію та магнію і безпосередньо впливає на гідрохімічний режим водойм, фізіологічний стан гідробіонтів та ефективність рибогосподарського використання водойм [17; 20]. За результатами проведених досліджень величина загальної жорсткості змінювалася від 4,13 мг-екв./л у воді р. Кам'янка (м. Житомир) до 7,61 мг-екв./л у р. Гуйва поблизу с. Лука. В інших пунктах спостережень цей показник перебував у межах 5,06–6,26 мг-екв./л, що свідчить про достатньо однорідний сольовий склад досліджуваних водойм.

Отримані значення відповідають природним особливостям річок Поліської зони та не перевищують величин, які можуть негативно впливати на розвиток гідробіонтів або обмежувати використання водойм у рибогосподарській практиці. Відомо, що помірна жорсткість води створює сприятливі умови для розвитку кормової бази, нормального перебігу фізіологічних процесів у риб та підтримання стабільності гідрохімічного режиму водойм [17; 20]. Дещо вищі значення жорсткості у воді річки Гуйва можуть бути пов'язані з особливостями геологічної будови водозбірної території, а також надходженням мінералізованого поверхневого стоку із сільськогосподарських угідь.

Таблиця 2. Середні значення фізико-хімічних показників поверхневих вод Житомирського району за результатами моніторингу у 2025 році (M±m, n = 4)

Пункт моніторингу	Жорсткість, мг-екв./л	Хлориди, мг/л	pH	Хімічні елементи, мг/л					
				Pb	Cd	Zn	Mn	Cu	Fe
р. Кам'янка (м. Житомир)	4,13±0,21	29,63±1,91	7,65±0,06	0,016±0,002	0,0015±0,0001	0,024±0,004	0,080±0,007	0,009±0,002	0,435±0,012
р. Гуйва (с. Лука)	7,61±0,25	40,10±3,06	7,98±0,10	0,025±0,001	0,0029±0,0002	0,017±0,004	0,020±0,003	0,012±0,002	0,128±0,026
р. Тетерів (с. Дениші)	5,06±0,28	35,93±3,68	7,95±0,11	0,021±0,001	0,0017±0,0002	0,018±0,002	0,061±0,007	0,006±0,001	0,255±0,009
р. Тетерів (Чуднівська траса)	5,40±0,28	32,36±2,40	8,03±0,09	0,022±0,002	0,0018±0,0002	0,015±0,001	0,060±0,014	0,017±0,003	0,152±0,025
р. Гнилоп'ять (с. Троянів)	6,26±0,31	43,55±2,46	8,08±0,12	0,018±0,002	0,0024±0,0002	0,017±0,001	0,069±0,012	0,009±0,001	0,226±0,030
р. Тетерів (Бердичівська траса)	5,77±0,40	29,86±2,49	8,28±0,08	0,022±0,002	0,0019±0,0001	0,015±0,002	0,060±0,016	0,017±0,004	0,152±0,030
р. Тетерів (с. Левків)	5,64±0,44	32,28±2,79	8,15±0,15	0,022±0,002	0,0022±0,0003	0,013±0,002	0,024±0,005	0,007±0,002	0,250±0,036

Примітка: M – середнє арифметичне; m – похибка середнього; n = 4 сезонні відбори проб (березень, травень, вересень, листопад 2025 року).

Джерело: розраховано авторами за результатами власних досліджень.

Концентрація хлоридів у досліджуваних пробах перебувала в межах 29,63–43,55 мг/л. Найнижчий їх вміст встановлено у воді р. Кам'янка, тоді як найбільші концентрації зафіксовано у р. Гнилоп'ять. Незважаючи на певні просторові відмінності, отримані значення були значно нижчими від гранично допустимих концентрацій для водойм рибогосподарського призначення, що свідчить про відсутність суттєвого сольового забруднення досліджуваних водних об'єктів [5; 21].

Підвищення концентрації хлоридів у природних водах зазвичай пов'язують із впливом комунально-побутових стічних вод, поверхневого стоку з урбанізованих територій, використанням протиожеледних реагентів та інтенсивною господарською діяльністю в межах водозбірних басейнів. У досліджуваних водоймах виявлені концентрації свідчать про помірний рівень антропогенного навантаження та не становлять загрози для функціонування водних екосистем і розвитку аквакультури [18].

Водневий показник (pH) є одним із найважливіших критеріїв оцінювання екологічного стану поверхневих вод, оскільки визначає інтенсивність перебігу біохімічних процесів, доступність хімічних елементів та рівень токсичності окремих сполук для водних організмів. За результатами досліджень величина pH змінювалася від 7,65 до 8,28, що характеризує води досліджуваних річок як нейтральні або слабколужні.

Такі значення є оптимальними для більшості прісноводних видів риб та відповідають рекомендованим параметрам водного середовища для ведення аквакультури. Істотних відхилень показника pH між окремими пунктами моніторингу не встановлено, що свідчить про достатньо стабільний кислотно-лужний режим поверхневих вод Житомирського району.

Оцінка вмісту важких металів показала, що їх концентрації у досліджуваних поверхневих водах характеризувалися певною просторовою мінливістю, однак у більшості випадків залишалися на рівнях, характерних для річкових екосистем із помірним антропогенним навантаженням. Найбільшу екологічну увагу привертають свинець і кадмій, які належать до пріоритетних токсичних забруднювачів водного середовища та здатні накопичуватися в донних відкладах і тканинах водних організмів [18].

Концентрація свинцю (Pb) змінювалася від 0,016 до 0,025 мг/л. Найменший його вміст встановлено у воді р. Кам'янка, тоді як найбільший – у р. Гуйва поблизу с. Лука. Підвищені концентрації свинцю можуть бути пов'язані з надходженням поверхневого стоку з урбанізованих територій, автомобільних доріг та інших об'єктів господарської діяльності. Незважаючи на просторові відмінності, суттєвих локальних осередків забруднення за досліджуваними пунктами не виявлено, що свідчить про відносно рівномірний характер його надходження у водні екосистеми.

Вміст кадмію (Cd) був найнижчим серед досліджуваних металів і перебував у межах 0,0015–0,0029 мг/л. Максимальні концентрації також відмічено у р. Гуйва, тоді як мінімальні – у р. Кам'янка. Відомо, що кадмій є одним із найбільш токсичних мікроелементів навіть за низьких концентрацій, тому його контроль має важливе значення для оцінювання екологічної безпеки водойм, призначених для вирощування риби [18; 20]. Встановлені концентрації не свідчать про формування критичного екологічного ризику, однак підтверджують необхідність постійного моніторингу цього показника.

Концентрація цинку (Zn) змінювалася в межах 0,013–0,024 мг/л. Найбільший його вміст встановлено у р. Кам'янка, що, ймовірно, пов'язано з впливом міської території та поверхневого стоку. Водночас у більшості досліджуваних пунктів концентрація цинку була достатньо стабільною. Оскільки цинк є біогенним мікроелементом

і бере участь у багатьох фізіологічних процесах водних організмів, його вміст у встановлених межах не повинен негативно впливати на функціонування водних екосистем [17; 18].

Концентрація мангану (Mn) характеризувалася більшою варіабельністю порівняно з іншими металами та становила від 0,020 до 0,080 мг/л. Найвищий показник зафіксовано у воді р. Кам'янка, тоді як найнижчий – у р. Гуйва. Такі відмінності можуть бути зумовлені як природними особливостями геохімічного складу водозбірних територій, так і локальними умовами формування поверхневого стоку. Водночас концентрації мангану не виходили за межі значень, характерних для поверхневих вод Поліського регіону [13, с. 41–48].

Вміст міді (Cu) у досліджуваних пробах змінювався від 0,006 до 0,017 мг/л. Підвищені концентрації спостерігалися у двох пунктах моніторингу річки Тетерів, розташованих поблизу автомобільних магістралей, що може бути пов'язано із впливом транспортної інфраструктури та поверхневого стоку. Проте загалом концентрація міді залишалася на рівні, який не створював ризику для більшості прісноводних організмів.

Серед досліджуваних мікроелементів найбільшу варіабельність продемонстрував вміст заліза (Fe), концентрація якого становила від 0,128 до 0,435 мг/л. Максимальне значення встановлено у воді р. Кам'янка, тоді як найнижче – у р. Гуйва. Враховуючи природні особливості Полісся, підвищений вміст заліза є характерною рисою багатьох поверхневих вод регіону і зумовлений як геохімічними умовами формування водного стоку, так і процесами вимивання залізовмісних сполук із ґрунтів [15; 16]. Для потреб аквакультури встановлені концентрації потребують урахування під час вибору технологічних рішень, однак не свідчать про критичне погіршення екологічного стану досліджуваних водойм.

Таким чином, результати досліджень свідчать, що за більшістю визначених фізико-хімічних показників та концентрацій важких металів поверхневі води Житомирського району характеризуються задовільним екологічним станом. Водночас виявлені просторові відмінності підтверджують вплив природних і антропогенних чинників на формування гідрохімічного режиму окремих водних об'єктів та обґрунтовують необхідність проведення їх подальшого систематичного моніторингу.

Для комплексної оцінки екологічного стану поверхневих вод недостатньо аналізу окремих фізико-хімічних показників, оскільки їх сукупний вплив визначає загальний екологічний статус водного об'єкта та можливість його використання для господарських потреб. Саме тому наступним етапом досліджень було здійснено інтегральну екологічну оцінку якості води з урахуванням комплексу визначених показників відповідно до чинних методичних рекомендацій [5; 6; 14].

Для оцінки варіабельності досліджуваних показників було визначено середні значення та похибку середнього (M ± m), що дало можливість охарактеризувати стабільність фізико-хімічного режиму поверхневих вод у різні сезони року. Невеликі значення похибки середнього для більшості показників свідчать про відносну однорідність отриманих результатів та достатню відтворюваність проведених досліджень. Найбільшу варіабельність встановлено для концентрації заліза та мангану, що, ймовірно, пов'язано з природними геохімічними особливостями досліджуваних водозбірних басейнів та сезонними змінами гідрологічного режиму. Подібні закономірності описані й у сучасних міжнародних дослідженнях поверхневих вод помірної кліматичної зони [18].

Результати узагальненої екологічної оцінки поверхневих вод Житомирського району наведено в таблиці 3.

Таблиця 3. Комплексна екологічна оцінка придатності поверхневих вод Житомирського району для використання в аквакультурі

Водний об'єкт	Кислотно-лужний режим	Мінералізація та сольовий склад	Вміст важких металів	Загальна екологічна оцінка	Придатність для аквакультури
р. Кам'янка	відповідає нормативам	відповідає нормативам	локальне підвищення Fe	добра	придатна за умови моніторингу
р. Гуйва	відповідає нормативам	відповідає нормативам	відповідає нормативам	добра	придатна
р. Тетерів (с. Дениші)	відповідає нормативам	відповідає нормативам	відповідає нормативам	добра	придатна
р. Тетерів (Чуднівська траса)	відповідає нормативам	відповідає нормативам	відповідає нормативам	добра	придатна
р. Гнилоп'ять	відповідає нормативам	відповідає нормативам	відповідає нормативам	добра	придатна
р. Тетерів (Бердичівська траса)	відповідає нормативам	відповідає нормативам	відповідає нормативам	добра	придатна
р. Тетерів (с. Левків)	відповідає нормативам	відповідає нормативам	відповідає нормативам	добра	придатна

Аналіз інтегральної оцінки показав, що істотних відмінностей між досліджуваними пунктами моніторингу не встановлено. За сукупністю фізико-хімічних показників більшість досліджених водних об'єктів можна віднести до категорії поверхневих вод із добрим екологічним станом. Виявлені локальні відхилення окремих показників не мали системного характеру та не вплинули на загальну екологічну оцінку водойм.

Найбільш сприятливими екологічними характеристиками відзначалися ділянки річок Тетерів та Гнилоп'ять, де фізико-хімічні показники характеризувалися незначною сезонною мінливістю та відносно стабільним гідрохімічним режимом. Дещо вищий рівень антропогенного впливу простежувався на окремих ділянках річок Кам'янка та Гуйва, що підтверджується підвищенням концентрацій окремих мікроелементів і збільшенням загальної жорсткості води. Водночас навіть у цих пунктах моніторингу сукупність досліджених показників не свідчила про формування критичного екологічного стану.

Отримані результати узгоджуються з дослідженнями інших авторів, які зазначають, що для більшості річок Поліського регіону характерний задовільний гідрохімічний стан із локальними проявами антропогенного впливу поблизу населених пунктів та транспортних магістралей [7, с. 101–105; 12, с. 119–125; 13, с. 41–48]. Подібні закономірності також встановлені в сучасних міжнародних дослідженнях, де основними чинниками погіршення якості поверхневих вод визначено урбанізацію, сільськогосподарське використання територій та дифузне надходження забруднювальних речовин із водозбірних площ [18; 23].

З практичної точки зору результати проведених досліджень свідчать, що більшість досліджених поверхневих водних об'єктів Житомирського району можуть використовуватися для потреб аквакультури за умови здійснення постійного екологічного моніторингу, контролю концентрацій токсичних елементів та дотримання вимог природоохоронного законодавства щодо охорони водних ресурсів [3; 9; 21].

Незважаючи на те, що більшість досліджених фізико-хімічних показників характеризувалися незначною просторовою мінливістю, їх екологічне значення може бути об'єктивно оцінене лише шляхом порівняння з чинними нормативними вимогами. Саме такий підхід широко застосовується під час екологічної оцінки поверхневих вод та визначення їх придатності для різних видів водокористування, зокрема аквакультури [5; 6; 20]. Результати порівняльної оцінки наведено в таблиці 4.

Таблиця 4. Відповідність фізико-хімічних показників поверхневих вод Житомирського району нормативним вимогам для водойм рибогосподарського призначення

Показник	Нормативне значення*	Фактичний діапазон	Оцінка відповідності
pH	6,5–8,5	7,65–8,28	Відповідає
Загальна жорсткість, мг-екв./л	1,5–7,0**	4,13–7,61	Переважно відповідає
Хлориди, мг/л	≤300	29,63–43,55	Відповідає
Pb, мг/л	згідно чинних нормативів	0,016–0,025	Потребує постійного контролю
Cd, мг/л	згідно чинних нормативів	0,0015–0,0029	Потребує постійного контролю
Zn, мг/л	згідно чинних нормативів	0,013–0,024	Відповідає
Mn, мг/л	згідно чинних нормативів	0,020–0,080	Відповідає
Cu, мг/л	згідно чинних нормативів	0,006–0,017	Відповідає
Fe, мг/л	згідно чинних нормативів	0,128–0,435	Відповідає

Примітка: * – нормативні значення наведено відповідно до чиного природоохоронного законодавства України та методичних рекомендацій щодо оцінки якості поверхневих вод [3; 5; 6]; ** – орієнтовне значення, яке використовується для оцінювання придатності води до рибогосподарського використання.

Джерело: сформовано авторами за результатами власних досліджень.

Порівняння отриманих результатів із чиними нормативними вимогами свідчить, що більшість досліджених фізико-хімічних показників відповідали критеріям якості поверхневих вод, рекомендованим для рибогосподарського використання. Найбільш стабільними показниками були водневий показник, концентрація хлоридів, цинку, мангану, міді та заліза, значення яких перебували в межах, характерних для поверхневих вод Поліського регіону та не створювали суттєвих обмежень для функціонування водних екосистем [5; 17; 20].

Особливу увагу під час екологічної оцінки приділяють токсичним важким металам, насамперед свинцю та кадмію, оскільки навіть незначне підвищення їх концентрацій може призводити до накопичення у донних відкладах і тканинах гідробіонтів. Отримані результати не свідчать про наявність критичного техногенного забруднення досліджених водних об'єктів, однак підтверджують необхідність подальшого систематичного моніторингу цих показників, особливо на ділянках із найбільшим антропогенним навантаженням [18; 23; 25].

Встановлено, що найбільшу стабільність фізико-хімічного режиму мали ділянки річок Тетерів та Гнилоп'ять, тоді як окремі пункти спостережень на річках Кам'янка і Гуйва характеризувалися дещо вищою варіабельністю окремих показників. Така закономірність узгоджується з особливостями використання водозбірних територій, де на формування якості води істотно впливають урбанізовані території, транспортна інфраструктура та сільськогосподарське освоєння земель [7, с. 101–105; 12, с. 119–125; 13, с. 41–48].

У цілому результати досліджень свідчать, що поверхневі води Житомирського району характеризуються задовільним екологічним станом та можуть використовуватися для потреб аквакультури за умови здійснення постійного екологічного моніторингу й контролю потенційно небезпечних забруднювальних речовин.

Проведена комплексна екологічна оцінка підтвердила, що якість поверхневих вод Житомирського району формується під впливом як природних, так і антропогенних чинників. Встановлені відмінності між окремими пунктами моніторингу насамперед пов'язані з особливостями землекористування у межах водозбірних басейнів, ступенем урбанізації територій та інтенсивністю сільськогосподарського виробництва. Найбільш помітний вплив антропогенного навантаження спостерігався на ділянках річок, розташованих поблизу населених пунктів і транспортних магістралей, що підтверджується зміною окремих фізико-хімічних показників та концентрацій мікроелементів.

Отримані результати узгоджуються з даними регіональних досліджень, у яких зазначено, що екологічний стан поверхневих вод Житомирського Полісся загалом характеризується як задовільний, однак окремі водні об'єкти зазнають локального антропогенного впливу, пов'язаного з розвитком населених пунктів, аграрним використанням земель та поверхневим стоком із водозбірних територій [7, с. 101–105; 12, с. 119–125; 13, с. 41–48]. Подібні закономірності відзначаються й у сучасних міжнародних дослідженнях, де основними чинниками погіршення якості поверхневих вод визначено урбанізацію, дифузне надходження забруднювальних речовин із сільськогосподарських угідь та кліматичні зміни [18; 23; 24].

Особливе значення для розвитку аквакультури має стабільність фізико-хімічного режиму водойм. Досліджені показники загальної жорсткості, кислотно-лужного стану та мінерального складу води свідчать про формування сприятливих умов для існування більшості прісноводних видів риб. Водночас виявлена просторова мінливість концентрацій окремих важких металів свідчить про необхідність їх постійного контролю, особливо на ділянках із підвищеним антропогенним навантаженням.

Практичне значення проведених досліджень полягає у можливості використання отриманих результатів під час організації екологічного моніторингу поверхневих вод, планування заходів із раціонального використання водних ресурсів та прийняття управлінських рішень щодо розвитку аквакультури в Житомирському районі. Отримані дані також можуть бути використані для оцінювання екологічних ризиків, пов'язаних із погіршенням якості водного середовища, та вдосконалення системи виробничого контролю у рибогосподарських підприємствах.

Висновки. За результатами проведених досліджень здійснено комплексну екологічну оцінку якості поверхневих вод Житомирського району за фізико-хімічними показниками та вмістом важких металів, що дозволило визначити їх сучасний екологічний стан і оцінити можливість використання для потреб аквакультури.

Встановлено, що фізико-хімічні показники досліджених водних об'єктів характеризуються відносною стабільністю та перебувають у межах, характерних для поверхневих вод Поліського регіону. Значення водневого показника, загальної жорсткості та концентрації хлоридів свідчать про сприятливі умови для функціонування водних екосистем і вирощування більшості видів прісноводних риб.

Дослідження концентрацій важких металів показало наявність просторової мінливості їх вмісту, що зумовлена поєднанням природних геохімічних особливостей водозбірних басейнів та впливом антропогенних чинників. Найбільшу варіабельність встановлено для сполук заліза та мангану, тоді як концентрації кадмію, цинку та міді характеризувалися відносною стабільністю.

Комплексна оцінка якості поверхневих вод засвідчила, що більшість досліджених водойм характеризуються задовільним екологічним станом і можуть використовуватися для рибогосподарських потреб та розвитку аквакультури за умови дотримання вимог екологічної безпеки та здійснення постійного виробничого й державного моніторингу.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання під час організації екологічного моніторингу поверхневих вод, розроблення заходів щодо раціонального використання водних ресурсів, оцінювання екологічних ризиків та наукового обґрунтування розвитку аквакультури в умовах Житомирського району.

Перспективи подальших досліджень доцільно пов'язати з розширенням мережі пунктів моніторингу, вивченням сезонної динаміки забруднювальних речовин, визначенням біологічних індикаторів якості водного середовища та оцінюванням впливу кліматичних змін на екологічний стан поверхневих вод і ефективність ведення аквакультури.

Список використаних джерел

1. Аналітичний огляд якісного стану масивів поверхневих вод суббасейну річки Прип'ять за червень 2026 року. URL: https://buvrzt.gov.ua/doc/report/yakist/06.26.pdf (дата звернення: 08.06.2026).

2. Вербельчук С. П., Вербельчук Т. В., Лавринюк О. О., Кобернюк О. О., Матковська С. І. Аналіз сучасного стану аквакультури Житомирської області. Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки. 2026. № 147. Ч. 1. С. 381–396. DOI: https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.147.1.45.

3. Водний кодекс України : Кодекс України від 06.06.1995 № 213/95-ВР. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/213/95-%D0%B2%D1%80 (дата звернення: 10.05.2026).

4. Моніторинг та екологічна оцінка водних ресурсів України. http://monitoring.davr.gov.ua/EcoWaterMon/MapEcoWaterMon/Index (дата звернення: 03.06.2026).

5. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В. Д. Романенко, В. М. Жукінський, О. П. Оксіюк, А. В. Яцик. Київ : Символ-Т, 1998. 28 с.

6. Методика встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуаріїв України / В. Д. Романенко, В. М. Жукинський, О. П. Оксіюк та ін. Київ : Мінекоресурсів України, 2001. 48 с.

7. Паламарчук Р. П., Ковальова С. П., Дудка Т. В., Ільніцька О. В. Якість поверхневих вод Житомирського району. Агропромислове виробництво Полісся. 2014. Вип. 7. С. 101–105.

8. Про аквакультуру : Закон України від 18.09.2012 № 5293-VI. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/5293-17 (дата звернення: 12.05.2026).

9. Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод : постанова Кабінету Міністрів України від 19.09.2018 № 758. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/758-2018-%D0%BF (дата звернення: 16.05.2026).

10. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/1264-12 (дата звернення: 14.05.2026).

11. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Житомирській області / Житомирська обласна військова адміністрація. URL: https://surl.li/lrxjzl (дата звернення: 14.06.2026).

12. Романчук Л. Д., Василюк Т. П., Пазич В. М. Гідрофітне очищення стічних вод в біологічних ставках Житомирського регіону. *Агробіологія.* 2014. № 2. С. 119–125. URL: https://surl.li/qfgxxx (дата звернення: 11.06.2026).

13. Смілій П. М., Гопчак І. В., Басюк Т. О. Екологічна оцінка якості поверхневих вод Житомирського Полісся. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.* 2021. № 2(60). С. 41–48. DOI: https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.2.5

14. Сніжко С. І. Оцінка та прогнозування якості природних вод. Київ : Ніка-Центр, 2001. 264 с.

15. Хільчевський В. К., Хільчевський Р. В., Гороховська М. С. Еколого-гідрохімічна оцінка поверхневих вод басейну Дніпра. Меліорація і водне господарство. 1998. Вип. 85. С. 88–95.

16. Малі річки України : довідник / А. В. Яцик, Л. Б. Бишовець, Є. О. Богатов та ін. ; за ред. А. В. Яцика. Київ : Урожай, 1991. 296 с.

17. Водне господарство в Україні / за ред. А. В. Яцика, В. М. Хорєва. Київ : Генеза, 2000. 456 с.

18. Barszcz A. A., Sidoruk M. Impacts of water management in aquaculture on heavy metal accumulation in rainbow trout muscles and associated health risks from consumption. Food Control. 2024. Vol. 164. Article 110617. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110617

19. Boyd C. E. Water Quality Management for Pond Fish Culture. Amsterdam : Elsevier, 1982. 318 p.

20. Boyd C. E., Tucker C. S. Pond Aquaculture Water Quality Management. New York : Springer, 1998. 700 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5407-3

21. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities. 2000. L327. P. 1–73. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32000L0060

22. European Commission. Report from the Commission to the Council and the European Parliament on the implementation of the Water Framework Directive (2000/60/EC) and the Floods Directive (2007/60/EC). COM (2025) 2 final. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52025DC0002

23. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. Blue Transformation in Action. Rome : FAO, 2024. DOI: https://doi.org/10.4060/cd0683en.

24. Misman N. A., Sharif M. F., Chowdhury A. J. K., Azizan N. H. Water pollution and the assessment of water quality parameters: a review. *Desalination and Water Treatment*. 2023. Vol. 294. P. 79–88. DOI: https://doi.org/10.5004/dwt.2023.29433

25. World Health Organization. Guidelines for Drinking-water Quality. 4th ed. Geneva : World Health Organization, 2022. 614 p.

Kovalova S. P.
Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher,
Doctoral Student at the Department of Ecology and Environmental Protection Technologies,
Zhytomyr Polytechnic State University
Zhytomyr, Ukraine
E-mail: *svitlanakovalova2@gmail.com*
ORCID: *0000-0003-1858-625X*

Verbelchuk S. P.
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Bioresources,
Animal Husbandry and Aquaculture,
Polissia National University
Zhytomyr, Ukraine
E-mail: *verba5551@ukr.net*
ORCID: *0000-0002-1136-5617*

Koberniuk V. V.
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Bioresources,
Animal Husbandry and Aquaculture,
Polissia National University
Zhytomyr, Ukraine
E-mail: *kobernukvera@gmail.com*
ORCID: *0000-0001-7037-8269*

Verbelchuk T. V.
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Bioresources,
Animal Husbandry and Aquaculture,
Polissia National University
Zhytomyr, Ukraine
E-mail: *verba555@ukr.net*
ORCID: *0000-0001-7334-4507*

Matkovska S. I.
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Bioresources,
Animal Husbandry and Aquaculture,
Polissia National University
Zhytomyr, Ukraine
E-mail: *matkovcka@ukr.net*
ORCID: *0000-0002-8019-5498*

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF SURFACE WATER QUALITY IN ZHYTOMYR DISTRICT AND ITS SUITABILITY FOR AQUACULTURE

Abstract

Ensuring high surface water quality is one of the key prerequisites for the sustainable development of aquaculture, conservation of aquatic biodiversity, and rational management of water resources. Under conditions of increasing anthropogenic pressure, agricultural intensification, urbanization, and climate change, systematic environmental monitoring of surface waters has become an essential tool for identifying adverse ecological changes and developing scientifically based measures for the protection and sustainable use of aquatic ecosystems. The aim of this study was to conduct a comprehensive environmental assessment of surface water quality in Zhytomyr District based on physicochemical parameters and heavy metal concentrations, determine their compliance with current environmental standards, and evaluate the suitability of the investigated water bodies for aquaculture purposes.

The study was carried out during 2025 at seven permanent monitoring sites located on the Teteriv, Kamianka, Huiva, and Hnylopiat rivers. Water samples were collected during four seasonal monitoring campaigns representing spring, summer, autumn, and pre-winter periods. Laboratory analyses included the determination of pH, total hardness, chloride concentration, and the content of lead (Pb), cadmium (Cd), zinc (Zn), manganese (Mn), copper (Cu), and iron (Fe). The obtained data were processed using methods of variation statistics with the calculation of arithmetic means and standard errors ($M \pm m$). A comprehensive environmental assessment of water quality was performed in accordance with the current Ukrainian regulatory framework and internationally accepted approaches for surface water quality assessment.

The results demonstrated that the investigated surface waters were characterized by a relatively stable hydrochemical regime. The pH values ranged from 7.65 to 8.28, total hardness varied between 4.13 and 7.61 meq/L, while chloride concentrations ranged from 29.63 to 43.55 mg/L. Heavy metal concentrations showed certain spatial variability; however, in most cases they corresponded to the levels typical of surface waters within the Polissia region. The greatest variability was observed for iron and manganese, which was associated with the natural geochemical characteristics of the catchment areas and local anthropogenic impacts. According to the integrated environmental assessment, most of the investigated water bodies were classified as having a good ecological status and were considered suitable for fisheries and aquaculture provided that systematic environmental monitoring is maintained.

The scientific novelty of the study lies in the comprehensive assessment of the current ecological status of surface waters in Zhytomyr District based on the results of seasonal monitoring conducted in 2025 using an integrated set of physicochemical indicators and heavy metal concentrations. The practical significance of the obtained results consists in their application for state and industrial environmental monitoring, development of water protection measures, assessment of environmental risks, water resources management, and scientific support for the sustainable development of aquaculture in the Polissia region of Ukraine.

Key words: *surface water quality, environmental assessment, aquaculture, environmental monitoring, physicochemical parameters, heavy metals, water resources, Zhytomyr District.*

References

1. Analitychnyi ohliad yakisnoho stanu masyviv poverkhnevykh vod subbaseinu richky Prypiat za cherven 2026 roku [Analytical review of the qualitative status of surface water bodies of the Prypiat River sub-basin for June 2026]. (2026). Retrieved from https://buvrzt.gov.ua/doc/report/yakist/06.26.pdf [in Ukrainian].

2. Verbelchuk, S. P., Verbelchuk, T. V., Lavryniuk, O. O., Koberniuk, O. O., & Matkovska, S. I. (2026). Analiz suchasnoho stanu akvakultury Zhytomyrskoi oblasti [Analysis of the current state of aquaculture in Zhytomyr region]. Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriia: Silskohospodarski nauky – Taurida Scientific Herald. Series: Agricultural Sciences, 147 (1), 381–396. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.147.1.45 [in Ukrainian].

3. Verkhovna Rada of Ukraine. (1995). Vodnyi kodeks Ukrainy [Water Code of Ukraine]: Code of Ukraine dated June 6, 1995, no. 213/95-VR. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/go/213/95-%D0%B2%D1%80 [in Ukrainian].

4. State Agency of Water Resources of Ukraine. (2026). Monitorynh ta ekolohichna otsinka vodnykh resursiv Ukrainy [Monitoring and environmental assessment of water resources of Ukraine]. Retrieved from http://monitoring.davr.gov.ua/EcoWaterMon/MapEcoWaterMon/Index [in Ukrainian].

5. Romanenko, V. D., Zhukinskyi, V. M., Oksiiuk, O. P., & Yatsyk, A. V. (1998). Metodyka ekolohichnoi otsinky yakosti poverkhnevykh vod za vidpovidnymy katehoriiamy [Methodology for ecological assessment of surface water quality by relevant categories]. Kyiv: Symvol-T. 28 p. [in Ukrainian].

6. Romanenko, V. D., Zhukynskyi, V. M., Oksiiuk, O. P., et al. (2001). Metodyka vstanovlennia i vykorystannia ekolohichnykh normatyviv yakosti poverkhnevykh vod sushi ta estuariiv Ukrainy [Methodology for establishing and applying environmental quality standards for inland surface waters and estuaries of Ukraine]. Kyiv: Minekoresursiv Ukrainy. 48 p. [in Ukrainian].

7. Palamarchuk, R. P., Kovalova, S. P., Dudka, T. V., & Ilnitska, O. V. (2014). Yakist poverkhnevykh vod Zhytomyrskoho raionu [Surface water quality of Zhytomyr district]. Ahropromyslove vyrobnytstvo Polissia – Agro-industrial Production of Polissia, 7, 101–105 [in Ukrainian].

8. Verkhovna Rada of Ukraine. (2012). Pro akvakulturu [On Aquaculture]: Law of Ukraine dated September 18, 2012, no. 5293-VI. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/go/5293-17 [in Ukrainian].

9. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2018). Pro zatverdzhennia Poriadku zdiisnennia derzhavnoho monitorynhu vod [On approval of the Procedure for state water monitoring]: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated September 19, 2018, no. 758. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/go/758-2018-%D0%BF [in Ukrainian].

10. Verkhovna Rada of Ukraine. (1991). Pro okhoronu navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha [On Environmental Protection]: Law of Ukraine dated June 25, 1991, no. 1264-XII. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/go/1264-12 [in Ukrainian].

11. Zhytomyr Regional Military Administration. (n.d.). Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha u Zhytomyrskii oblasti [Regional report on the state of the environment in Zhytomyr region]. Retrieved from https://surl.li/lrxjzl [in Ukrainian].

12. Romanchuk, L. D., Vasyliuk, T. P., & Pazych, V. M. (2014). Hidrofitne ochyshchennia stichnykh vod v biolohichnykh stavkakh Zhytomyrskoho rehionu [Hydrophytic wastewater treatment in biological ponds of the Zhytomyr region]. Ahrobiolohiia – Agrobiology, 2, 119–125. Retrieved from https://surl.li/qfgxxx [in Ukrainian].

13. Smilyi, P. M., Hopchak, I. V., & Basiuk, T. O. (2021). Ekolohichna otsinka yakosti poverkhnevykh vod Zhytomyrskoho Polissia [Ecological assessment of surface water quality in Zhytomyr Polissia]. Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia – Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology, 2 (60), 41–48. https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.2.5 [in Ukrainian].

14. Snizhko, S. I. (2001). Otsinka ta prohnozuvannia yakosti pryrodnykh vod [Assessment and forecasting of natural water quality]. Kyiv: Nika-Tsentr. 264 p. [in Ukrainian].

15. Khilchevskyi, V. K., Khilchevskyi, R. V., & Horokhovska, M. S. (1998). Ekoloho-hidrokhimichna otsinka poverkhnevykh vod baseinu Dnipra [Ecological and hydrochemical assessment of surface waters of the Dnipro River basin]. Melioratsiia i vodne hospodarstvo – Land Reclamation and Water Management, 85, 88–95 [in Ukrainian].

16. Yatsyk, A. V., Byshovets, L. B., Bohatov, Ye. O., et al. (1991). Mali richky Ukrainy: dovidnyk [Small rivers of Ukraine: A reference book] (A. V. Yatsyk, Ed.). Kyiv: Urozhai. 296 p. [in Ukrainian].

17. Yatsyk, A. V., & Khoriev, V. M. (2000). Vodne hospodarstvo v Ukraini [Water management in Ukraine]. Kyiv: Heneza. 456 p. [in Ukrainian].

18. Barszcz, A. A., & Sidoruk, M. (2024). Impacts of water management in aquaculture on heavy metal accumulation in rainbow trout muscles and associated health risks from consumption. Food Control, 164, 110617. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110617 [in English].

19. Boyd, C. E. (1982). Water Quality Management for Pond Fish Culture. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company. 318 p. [in English].

20. Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (1998). Pond Aquaculture Water Quality Management. New York: Springer. 700 p. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5407-3 [in English].

21. European Parliament and Council of the European Union. (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities, L327, 1–73 [in English].

22. European Commission. (2025). Report from the Commission to the Council and the European Parliament on the implementation of the Water Framework Directive (2000/60/EC) and the Floods Directive (2007/60/EC). COM(2025) 2 final. Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52025DC0002 [in English].

23. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. Blue Transformation in Action. Rome: FAO. https://doi.org/10.4060/cd0683en [in English].

24. Misman, N. A., Sharif, M. F., Chowdhury, A. J. K., & Azizan, N. H. (2023). Water pollution and the assessment of water quality parameters: A review. Desalination and Water Treatment, 294, 79–88. https://doi.org/10.5004/dwt.2023.29433 [in English].

25. World Health Organization. (2022). Guidelines for Drinking-water Quality. 4th ed. Geneva: World Health Organization. 614 p. [in English].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 16.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 17.08.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026

УДК 635.9:582.548.25:631.526.3(477.51)
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-9

Колб Л. П.
науковий співробітник,
Прилуцька дослідна станція Інституту Садівництва НААН
Прилуки, Україна
E-mail: *lyubenik@ukr.net*
ORCID: *0009-0009-8516-8200*

Оленіч О. А.
завідувач відділу селекції,
Прилуцька дослідна станція Інституту Садівництва НААН
Прилуки, Україна
E-mail: *osa141@ukr.net*
ORCID: *0009-0003-2667-1144*

ВПЛИВ РЕГУЛЯТОРІВ РОСТУ ПРИ РІЗНИХ СПОСОБАХ ПРОРОЩУВАННЯ КОРЕНЕВИЩ КАННИ ГІБРИДНОЇ

Анотація

У статті наведено результати дослідження щодо ефективності використання регуляторів росту Гетероауксину та Радіфарму при пророщуванні канни гібридної на базі Прилуцької дослідної станції ІС НААН. Актуальність роботи полягала в необхідності пошуку альтернативних способів обробки посадкового матеріалу при вирощуванні даної культури.

Тому метою досліджень було вивчити ефективність застосування регуляторів росту при різних схемах пророщування кореневищ канни гібридної на продуктивні та декоративні показники. При проведені спостережень, аналізів та обліків впливу відмічено позитивний їх вплив при різних способах пророщення: контейнер, ящик і відкритий ґрунт, що сприяло додатковому використанню закладеного в них потенціалу продуктивності. Так застосовані у досліді препарати загалом сприяли підвищенню середніх показників висоти, кількості квіток, вегетативних та генеративних пагонів що в свою чергу вплинуло на показники коефіцієнту розмноження.

Дослідженнями встановлено, що різниця між обробленими варіантами і контролем складала: у сорту Yellow King Humbert від 21,3 до 34,1 квіток, генеративних пагонів 0,7–1,4 шт. та вегетативних пагонів 0,6–1,2 шт., коефіцієнт вегетативного розмноження 0,8–1,4; у сорту Крон кількість квіток на рослині 26,0–41,1 шт., вегетативних пагонів 1,4–2,2 шт. та генеративних – 0,1–0,4 шт., коефіцієнт вегетативного розмноження 0,6–1,7. Аналізуючи дані між стимуляторами росту можна відмітити, що найбільш позитивний вплив на рослини мав препарат Радіфарм.

Ключові слова: *канна гібридна, сорт, регулятори росту, декоративність, продуктивність.*

Вступ. Сучасне декоративне квітникарство є галуззю, яка швидко розвивається і найважливіше його завдання – постійне розширення асортименту квітково-декоративних рослин різного призначення в озелененні [3, с. 71–74]. Поряд з однорічними культурами пропонується введення в культуру багаторічних рослин, які займають свою нішу та доповнюють решту елементів благоустрою, при створенні різноманітних квіткових композицій, завдяки своїм неповторним декоративним якостям. Серед квіткових рослин, що використовуються в ландшафтному дизайні, особливе місце належить канні гібридній (*Canna hybrida* hort.). До складу роду *Canna* L. (*Zingiberales: Cannaceae*) входять близько 100 видів, рослини поширені в тропічних та субтропічних районах Америки, Азії, Африки в Індії та Китаї [1, с. 90–95; 19, с. 34–43]. Селекціонерами виведено близько 1 000 сортів канни, з яких майже 200 використовуються для озеленення.

У вітчизняному декоративному квітникарстві вона відносно нова культура – активне її використання та перші селекційні роботи розпочались з 1972 року, хоча як декоративно-листяна культура вона відома ще з 1560–1620 років [9, с. 169–172]. Деякі види канн здавна культивувалися в якості кормових, крохмаленосних, харчових і лікарських рослин. Згідно літературних джерел рослини широко застосовували в народній медицині як протизапальний, імуномодулюючий, антиоксидантний засіб [13, с. 413–417]. Нині канни – популярні, декоративно-листові культури з барвистими квітками та великим листям, що культивуються по всій земній кулі і вражають різноманіттям сортів, гібридних форм [2, с. 141–147].

В Лівобережному Лісостепу інтерес до канни гібридної, як потенційно промислової культури, різко зріз у результаті інтродукційної діяльності Прилуцької дослідної станції ІС НААН, яка займається збереженням та поповненням генофондової колекції, вивченням та створенням нових сортів придатних до вирощування не лише в лісостеповій зоні, а й на території всієї України.

© Колб Л. П., Оленіч О. А., 2026 pISSN 2706-9052, eISSN 2706-851X

Більшість праць, що опубліковані впродовж останніх десятиріч, присвячені вивченню інтродукційних можливостей поширених та нових видів і сортів *Canna* L., визначення перспективності їх використання для озеленення [3. с 549–558; 7; 8, с. 18–24; 10, с. 65–71; 11, с. 152–164]. Проведені дослідження по застосуванню сповільнювачів росту рослин і вивчено їх вплив на ріст і цвітіння [14, с. 171–174; 15, с. 114–119; 16, с. 180–183]. В країнах де канна розповсюджена ведуться дослідження по використанні самої рослини та продуктів її переробки для видалення органічних забруднювачів, поживних речовин та важких металів з водних екосистем [17, с. 499–513; 18].

На даний час при вирощуванні рослин велика увага приділяється зниженню забруднення навколишнього середовища, шляхом зменшення використання хімічних засобів рослин. Вирішити це завдання може впровадження екологічно безпечних регуляторів росту рослин, які дозволять не лишезбільшити урожайність, а й посилити імунозахисні властивості рослин до багатьох стресових чинників [12, с 132–137]. Сучасні регулятори росту рослин та інші біологічні препарати містять збалансований комплекс біологічно активних речовин, фіторегуляторів, мікроелементів які сприяють посиленню обмінних процесів у ґрунті та рослинах, підвищують стійкість рослин до несприятливих умов середовища різного походження: перепадів температур, дефіциту вологи, токсичної дії пестицидів, ураженню хворобами і пошкодженню шкідниками, сприяють додатковому використанню закладеного в них потенціалу продуктивності [6]. Тому вивчення та впровадження у виробництво використання регуляторів росту є перспективним та доцільним для широкого спектру сільськогосподарських культур.

Мета дослідження: вивчити ефективність застосування регуляторів росту залежно від способів пророщування кореневищ на продуктивні та декоративні показники канни гібридної.

Матеріали і методи. Матеріалом для досліджень були сорт Крон (*Canna x orchioides* Bailey) та сорт Yellow King Humbert (*Canna x crozy* Hort.) (табл. 1).

Таблиця 1. Характеристика сортів *Canna hybrida* hort.

Сорт	Ознаки суцвіття, листка куща
Yellow King Humbert	Квітки жовті з червоним крапом, середні (8,9 х 8,0 см). Листки зелені (41,3 х 14,2 см). Кущ середньорослий 130–150 см
Крон	Квітки жовті, великі (13,9 х11,3 см). Листки зелені (44,6 х 19,8 см). Кущ високорослий 150–180 см

На сьогоднішній день для садівників та городників торгова мережа пропонує значну кількість синтезованих та природних регуляторів росту. Для вивчення їх впливу на пророщування кореневищ канн нами були використані такі регулятори росту: Гетероауксин та Радіфарм.

Гетероауксин – органічний стимулятор росту рослин на основі ß-індолилоцтової кислоти, має високу біологічну активність. У рослин при його дії розвивається здорова коренева система, що сприяє активному росту надземної частини. Гетероауксин є єдиним препаратом з групи ауксинів, який можна отримати шляхом синтезу.

Радіфарм – комплекс витяжок рослинного походження, містить полісахариди, глюкозиди, амінокислоти і бетаїни, збагачений особливими вітамінами і мінералами в хелатній формі. Дозволяє зменшити стрес та сприяє швидкому вкоріненню завдяки стимулювання вироблення гормонів, що відповідають за зростання кореня.

Дані препарати широко використовується для стимулювання коренеутворення саджанців і живців плодово-ягідних культур, декоративних дерев і чагарників.

Схема досліду включала 3 варіанта у трьох повторностях (рис. 1).

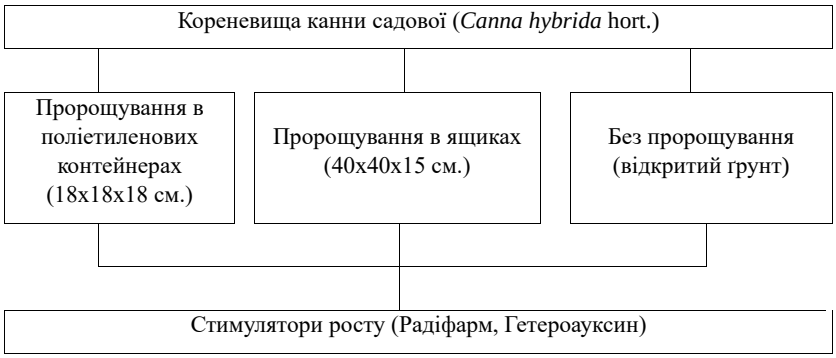


Рис. 1. Схема досліду з використання стимуляторів росту

Дослідження проводили на Прилуцькій дослідній станції ІС НААН протягом 2021–2023 років. Для досліджень використовували кореневища сортів канни однакового порядку. Пророщування в контейнерах і ящиках проводили в закритому ґрунті при контрольованих умовах, до висаджування у ґрунт. Обробку препаратами здійснювали відповідно інструктивних рекомендацій виробників. Кореневища канни на одну добу замочували в розчині коренеутворювача Гетероауксину (2,5г/л), перед висаджуванням в контейнери і ящики та садінням у відкритий ґрунт без попереднього пророщування. Безпосередньо після посадки кореневищ для пророщування

(контейнери, ящики) у закритому ґрунті та після садіння (без пророщування) у відкритому ґрунті було полито розчином препарату Радіфарм (2,5 мл/л). Висаджування рослин у відкритий ґрунт – коли мине загроза весняних заморозків, схема посадки 70х70 см.

Морфологічний опис сортів *Canna hybrida* hort. проводили за методикою Державного сортовипробування («Методика проведення експертизи сортів канни (*Canna* L.) на відмінність, однорідність і стабільність») [5]. Визначали габітус рослини, загальну кількість пагонів і квітів, коефіцієнт розмноження.

На сорті групи Крозі проводили визначення насіннєвої продуктивності.

Одержані дані опрацьовували статистично з використанням програми Microsoft Office Excel-2003.

Виклад основного матеріалу дослідження. Досліди закладено на неглибоких вилугуваних крупнопилуватих легкосуглинистих малогумусних чорноземах (вміст гумусу – 2,6 %). Реакція ґрунтового розчину близька до нейтральної (pH 6,5). Забезпеченість ґрунту азотом – 106 мг/кг, рухомим фосфором – 201 мг/кг, обмінним калієм – 180 мг/кг. Клімат регіону – помірно-континентальний, характеризується порівняно м'якою зимою, теплим літом при максимальній температурі в липні в межах 21,8-34,1 °С, кількістю опадів 542,4 – 888,6 мм. Кліматичні умови літа ЛЛУ сприятливі для вирощування рослин, які походять із тропічної і субтропічної Америки, Азії та Африки, але відносно коротка тривалість безморозного періоду скорочує тривалість цвітіння і не дає змогу повністю проявити декоративні якості рослинам тропічного походження. Перші осінні заморозки починаються в першій половині жовтня, а останні весняні – в першій декаді травня. Відносна середньорічна вологість повітря 78 %. Відсутність снігового покриву за роки вивчення.

У зв'язку з тим, що сорти канни садової для досягнення фази цвітіння потребують досить значної суми ефективних температур (< 1100°С) нами було використано різні способи пророщення кореневищ: в поліетиленових контейнерах (18х18х18 см), в ящиках (40х40х15 см) в закритому ґрунті та без пророщування у відкритому ґрунті. Посадку кореневищ канн з використанням препаратів проводили в 2021 році – 27 березня, 2022 р. – 04 квітня, 2023 р. – 19 березня. На одну одиницю використано по 0,5 л розчину «Радіфарму». Молоді рослини до висаджування у відкритий ґрунт досягали висоти 10,9–52,8 см та мали 2–4 сформованих листка. Висадження досліджуваних сорти у відкритий ґрунт здійснювали в 2021 році – 25 червня, 2022 р. – 08 червня, 2023 р. – 29 травня. Під час вегетаційного періоду не проводилися підживлення мінеральними добривами (аміачна селітра, нітроамофоска), але здійснювали в період бутонізації–цвітіння двохразовий обробіток інсектицидами – Актара (1,4 г на 10 л води), Конфідор Максі (1 г на 10 л води). Закладання на зберігання проводили в першій половині жовтня у спеціалізоване приміщення з температурою 4–12 °С.

Визначали такі показники рослин, як висота, кількість вегетативних і генеративних пагонів, інтенсивність цвітіння, насіннєва продуктивність (сорт Yellow King Humbert), коефіцієнт вегетативного розмноження.

За даними біометричних показників рослин встановлено, що застосовані стимулятори росту Гетероауксин (2,5 г/л) та Радіфарм (2,5 мл/л) при різних способах пророщення посадкового матеріалу по різному впливали на її висоту в фазі цвітіння (табл. 2).

Таблиця 2. Вплив регуляторів росту на висоту *Canna hybrida* hort., 2021–2023 рр.

Препарат (Фактор В)	Yellow King Humbert				Крон			
	2021	2022	2023	середнє	2021	2022	2023	середнє
Пророщування кореневищ у контейнерах (18х18х18 см.) (Фактор А)								
без обробки (контроль)	83,3	91,6	98,6	91,2	111,5	121,7	149,9	127,7
Гетероауксин (2,5 г/л)	87,9	95,8	107,1	96,9	118,7	115,7	147,0	127,1
Радіфарм (2,5 мл/л)	96,5	97,7	99,7	98,0	125,8	118,1	139,6	127,8
+/-до контролю	4,6/13,2	4,2/6,1	8,5/1,1	5,7/6,8	7,2/14,3	-6,0/-3,6	-2,9/-10,3	-0,6/0,1
Пророщування кореневищ в ящиках (40х40х15 см.) (Фактор А)								
без обробки (контроль)	78,5	93,1	101,8	91,1	112,4	135,4	117,7	121,8
Гетероауксин (2,5 г/л)	85,3	92,4	99,4	92,4	115,1	124,3	134,3	124,6
Радіфарм (2,5 мл/л)	95,9	96,9	98,4	97,1	122,6	122,4	107,7	117,6
+/-до контролю	6,8/17,4	-0,7/3,8	-2,4/-3,4	1,3/6,0	2,7/10,2	-11,1/-13,0	5,3/-8,3	2,8/-4,2
Без попереднього пророщування кореневищ (Фактор А)								
без обробки (контроль)	54,1	-	71,4	41,8	82,6	70,3	137,5	96,8
Гетероауксин (2,5 г/л)	56,2	59,7	67,7	61,2	88,2	100,0	142,8	110,3
Радіфарм (2,5 мл/л)	85,3	65,4	51,7	67,5	94,8	108,8	129,2	110,9
+/-до контролю	2,1/31,2	-	-3,7/-19,7	19,4/25,7	5,6/12,2	29,7/38,5	16,6/-10,0	13,5/14,1

Як видно з таблиці 1, вплив стимуляторів росту на висоту залежав в першу чергу від особливостей сорту. Так, при попередньому пророщуванні кореневищ вплив стимуляторів росту відмічено у сорту Yellow King Humbert, найбільш ефективним є препарат Радіфарм з середнім приростом 6,0–6,8 см, сорт Крон відреагував на дію стимуляторів лише в 2021 році. Найбільший ефект стимуляторів відчутний при використанні прямого висаджування кореневищ у ґрунт. Так, висота надземної частини у варіанті з використанням Радіфарму переважала над контролем у сорту Yellow King Humbert на 25,7 см, у сорту Крон на 14,1 см, а з Гетероауксином – 19,4 см, 13,5 см відповідно. Але при висаджуванні кореневищ без пророщення спостерігалась відсутність відростання вегетативної маси: 2022 році у сорта Yellow King Humbert (Контроль – 100 %, Радіфарм – 50 %, Гетероауксин – 70 %), сорт Крон (Радіфарм – 20 %, Гетероауксин – 40%); 2023р. – сорт Yellow King Humbert (Контроль – 30 %, Радіфарм – 70 %, Гетероауксин – 70 %) та сорт Крон (Радіфарм – 30 %, Гетероауксин – 30%). Протягом досліджуваних років також не відбувалося зав'язування насіння у сорту групи Крозі. Тому можна зробити висновок, що даний метод є не доцільний у використанні.

Попереднє пророщування рослин сприяло підвищенню декоративного ефекту за рахунок збільшення тривалості квітування та активувало процес закладання квіток і суцвіть в бруньках відновлення в порівнянні з прямим висаджуванням кореневищ в ґрунт.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що кількість квіток, генеративних і генеративних пагонів на рослині залежала, як не тільки від погодних умов, рівня вологозабезпечення в період росту, розвитку та формування продуктивності рослин, так і від досліджуваних факторів (табл. 3, 4).

Таблиця 3. Вплив регуляторів росту на продуктивність надземної частини *Canna hybrida* hort., середнє за 2021–2023 рр.

Пророщування кореневищ (Фактор А)	Препарат (Фактор В)	Квіток на рослині				Вегетативних пагонів			
		Середнє	Різниця за фактором		$НІР_{0,5}$	Середнє	Різниця за фактором		$НІР_{0,5}$
			А	В			А	В	
Yellow King Humbert (*Canna x crozy* Hort),									
ящик (40х40х15 см.)	без обробки (контроль)	165,1	-	-	46,41	3,7	-	-	2,79
	Гетероауксин (2,5 г/л)	185,2	-	0,1		4,7	-	1,0	
	Радіфарм (2,5 мл/л)	211,8	-	6,7		4,7	-	1,0	
контейнер (18х18х18 см.)	без обробки (контроль)	230,5	5,4	-		4,6	0,9	-	
	Гетероауксин (2,5 г/л)	251,8	6,7	1,3		5,2	1,5	0,6	
	Радіфарм (2,5 мл/л)	264,6	9,5	4,1		5,8	2,1	1,2	
$НІР_{0,5}$ за фактором		23,7/29,3	6,79	2,81			1,61	1,97	
Крон (*Canna x orchioides* Bailey)									
ящик (40х40х15 см.)	без обробки (контроль)	103,0	-	-	25,39	5,6	-	-	0,89
	Гетероауксин (2,5 г/л)	112,4	-	9,4		6,6	-	1,0	
	Радіфарм (2,5 мл/л)	125,0	-	22,0		7,0	-	1,4	
контейнер (18х18х18 см.)	без обробки (контроль)	116,8	13,8	-		5,2	0,4	-	
	Гетероауксин (2,5 г/л)	142,8	39,8	26,0		6,6	1,0	1,4	
	Радіфарм (2,5 мл/л)	157,9	54,9	41,1		7,4	1,8	2,2	
$НІР_{0,5}$ за фактором		13,5/19,15	14,66	17,95		0,88/1,54	0,51	0,63	

За результатами спостережень встановлено позитивний вплив дії даних стимуляторів росту на декоративні та продуктивні показники канни гібридної при різних способах пророщування. На варіантах з попереднім пророщуванням у ящиках при обробці препаратами намітилася тенденція до зменшення інтенсивності цвітіння, кількості пагонів, в порівнянні до варіантів з використанням контейнерного способу. Оцінюючи середні за три роки досліджень показники, можна відмітити, що різниця між обробленими варіантами і контролем складала у сорту Yellow King Humbert від 21,3 до 34,1 квіток при $НІР_{0,5}$ 29,3., генеративних пагонів 0,7–1,4 шт ($НІР_{0,5}$ – 0,91) та вегетативних пагонів 0,6–1,2 шт, коефіцієнт вегетативного розмноження 0,8–1,4 ($НІР_{0,5}$ – 1,03) у сорту Крон кількість квіток на рослині 26,0–41,1 шт. ($НІР_{0,5}$ – 19,15), вегетативних пагонів 1,4–2,2 шт. ($НІР_{0,5}$ – 1,54) та генеративних – 0,1–0,4 шт. ($НІР_{0,5}$ – 0,27), коефіцієнт вегетативного розмноження 0,6–1,7 ($НІР_{0,5}$ – 0,39). Аналізуючи дані між стимуляторами росту, можна відмітити, що найбільший вплив на рослини мав препарат Радіфарм.

Таблиця 4. Вплив регуляторів росту на продуктивність *Canna hybrida* hort., середнє за 2021–2023 рр.

Пророщування кореневищ (Фактор А)	Препарат (Фактор В)	Генеративних пагонів				Коефіцієнт вегетативного розмноження			
		середнє	Різниця за фактором		$НІР_{0,5}$	середнє	Різниця за фактором		$НІР_{0,5}$
			А	В			А	В	
Yellow King Humbert (*Canna x crozy* Hort.),									
ящик (40х40х15 см)	без обробки (контроль)	5,7	-	-	0,71	6,7	-	-	3,26
	Гетероауксин (2,5 г/л)	5,8	-	0,1		7,1	-	0,4	
	Радіфарм (2,5 мл/л)	7,0	-	1,3		8,2	-	1,5	
контейнер (18х18х18 см)	без обробки (контроль)	7,5	1,8	-		9,3	2,6	-	
	Гетероауксин (2,5 г/л)	8,2	2,5	0,7		10,1	3,4	0,8	
	Радіфарм (2,5 мл/л)	8,9	3,2	1,4		10,7	4,0	1,4	
$НІР_{0,5}$ за фактором		0,58/0,91	0,41	0,51		-/1,03	1,88	2,31	
Крон (*Canna x orchioides* Bailey)									
ящик (40х40х15 см)	без обробки (контроль)	3,6	-	-	0,31	8,0	-	-	1,22
	Гетероауксин (2,5 г/л)	3,9	-	0,3		8,9	-	0,9	
	Радіфарм (2,5 мл/л)	4,1	-	0,5		9,4	-	1,4	
контейнер (18х18х18 см)	без обробки (контроль)	4,4	0,8	-		8,6	0,6	-	
	Гетероауксин (2,5 г/л)	4,5	0,9	0,1		9,2	1,2	0,6	
	Радіфарм (2,5 мл/л)	4,8	1,2	0,4		10,3	2,3	1,7	
$НІР_{0,5}$ за фактором		0,25/0,27	0,18	0,22		1,17/0,39	0,70	0,86	

Проведені дослідження показали, що дані стимулятори росту мали не значний вплив на зав'язування плодів та утворення повноцінного насіння при попередньому пророщуванні кореневищ. Виявлено, що зав'язування насіння сорту Yellow King Humbert у першому варіанті в 2022 році найбільше спостерігалося при використанні стимулятора росту Радіфарм і становив 27,6 шт., а у 2023 р. при використанні Гетероауксину – 195,0 шт. на рослину. Встановлено, що у одній коробочці максимально зав'язувалося насіння при використанні стимуляторів росту Гетероауксин 7 шт, а Радіфарм 9 шт. Коефіцієнта плодоношення (КП) в 2023 р. по досліду був у межах від 14,4 до 17,8 %, що перевищує на 12,8–13,1 в порівнянні до 2022 року вивчення. При застосуванні способу пророщування кореневищ у контейнерах КП мав найвищий показник при використанні Гетероауксину (17,8%), а у ящику при застосуванні препарату Радіфарм – 17,7%. Вивчення насіннєвої продуктивності показало, що потенційна насіннєва продуктивність варіює по рокам від 2 550,4 до 6 388,8 шт насіннєвих зачатків на одній рослині. У зв'язку з відмінністю препаратів та способів пророщування кореневищ по зав'язуємості плодів і числу повноцінного насіння в плоді сорту Yellow King Humbert не значно відрізняються по фактичній насіннєвій продуктивності від 2,0 шт насіння (КНП 0,50 %) до 2,4 шт (КНП 0,71 %) в 2022 р., а в 2023 р. – відповідно 2,93%-3,05%. (табл. 5).

Таблиця 5. Показники репродуктивної здатності сорту Yellow King Humbert (*Canna x crozy* Hort.), 2022–2023 рр.

Препарат (Фактор В)	Рік	Кількість, шт.				КП, %	Насіннєва продуктивність, шт.		Коефіцієнт продуктивності, %
		квіток в суцвітті	квіток на рослині	плодів на рослині	насіння в плоді		ПНП	ФСНП	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ящик (40х40х15 см.)									
без обробки (контроль)	2022	16,7	159,4	5,8	2,4	3,6	2550,4	13,7	0,54
	2023	18,8	261,5	43,1	2,1	16,4	4184,0	122,8	2,93
Гетероауксин (2,5 г/л)	2022	17,5	181,2	7,2	2,0	4,0	2899,2	14,6	0,50
	2023	20,3	276,7	28,3	2,7	15,6	4427,2	81,3	1,84
Радіфарм (2,5 мл/л)	2022	17,8	181,8	7,5	2,3	4,1	2908,8	17,1	0,59
	2023	20,4	320,9	47,6	2,7	17,7	5134,4	132,4	2,58

Продовження таблиці 5

контейнер (18х18х18 см.)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
без обробки (контроль)	2022	18,1	200,0	9,5	2,4	4,7	3200,0	22,6	0,71
	2023	19,2	383,8	63,2	3,0	16,5	6140,8	182,2	2,97
Гетероауксин (2,5 г/л)	2022	19,0	242,3	8,9	2,6	3,7	3876,8	22,8	0,59
	2023	19,3	399,3	71,0	2,7	17,8	6388,8	195,0	3,05
Радіфарм (2,5 мл/л)	2022	19,4	258,6	10,3	2,7	4,0	4137,6	27,6	0,67
	2023	18,3	395,1	64,7	2,7	16,4	6321,6	189,4	3,00

Примітка: ПНП — потенційна насіннєва продуктивність; ФНП — фактична (реальна) насіннєва продуктивність; КП – коефіцієнт плодоношення.

У досліджуваному сорту Крон (*Canna x orchioides* Bailey) в 2023 році спостерігалося зав'язування насіння, що є не типово для даної садової групи.

Висновки. Проведені дослідження показали, що застосування стимуляторів росту Радіфарм та Гетероауксин мали позитивний вплив на ріст і розвиток канни гібридної, що підтверджують результати аналізу біометричних показників рослин. Найбільшу декоративність та продуктивність відмічено у препарату Радіфарм при контейнерному способі пророщування у сорта Yellow King Humbert становив 264,6 квіток на рослину та сорту Крон – 157,9 шт, що більше в порівнянні до контролю на 34,1 та 41,1; генеративних пагонів відповідно 8,9–4,2 шт (1,4–0,4).

У перспективі подальших досліджень необхідно вивчити використання препаратів при позакореневих підживленнях.

Список використаних джерел

1. Брежицька І. М., Миколайко І. І. Рід *Canna* L. та його використання в селекції та практичному квітникарстві. *Збірник. Наукові записки екологічної лабораторії УДПУ.* 2024. Вип. 27. С 90–95.

2. Кисличенко О. А., Процька В. В., Журавель І. О. Дослідження фотосинтезувальних пігментів трави канни садової деяких сортів. *Актуальні питання фармацевтичної і медичної науки та практики.* 2019. Т. 12, №2. С. 141–147. https://doi.org/10.14739/2409-2932.2019.2.170976

3. Колб Л. П. Перспективні сорти канни садової (*Canna hybrida* hort.) селекції Прилуцької дослідної станції ІС НААН. *Науковий збірник. Вісник степу.* 2020. Вип. 17. С. 71–74.

4. Колб Л. П. Оленіч О. А. Насіннєва продуктивність сортів та сортозразків *Canna hybrida* hort. в Лівобережному Лісостепу. *Збірник наукових праць Уманського Національного Університету.* 2025. Частина 1. Вип. № 107. С. 549–558. https://doi.org/10.32782/2415-8240-2025-107-1-549-558 .

5. Костенко Н. П., Гринів С. В. Методика проведення експертизи сортів рослин групи декоративних на відмінність, однорідність і стабільність (2-ге вид., випр. і доп. / за ред С. О. Ткачик). Київ, Україна: *Цифрове видавництво Українського інституту експертизи сортів рослин.* 2016. https://doi.org/10.21498/978-966-924-592-2

6. Лихочвор В.В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. 2-е видання, виправлене. К. : Центр навчальної літератури. 2004. 809 с.

7. Мазура М. Ю. Біоморфологічні особливості, інтродукція, перспективи використання преставників роду *Canna* L. в умовах Правобережного Степового Придніпров'я : автореф. … дис. канд. біол. наук: спец. 05.00.05. «Ботаніка». Київ. 2018. 24 с.

8. Мазура М. Ю. Інтегральна оцінка успішності інтродукції представників роду *Canna* L. у Криворіжжя. *Інтродукція рослин*. Київ, 2016. Вип. № 2. С. 18–24. URL: http://jnas.nbuv.gov.ua/j-pdf/IR_2016_2_4pdf

9. Матяшук Р. К., Мазура М. Ю. Вивчення чутливості канни до дії колхіцину. *Modern Phytomorphology*. Львів, 2012. № 2, С 169–172.

10. Матяшук Р .К., Бєлкіна М. Ю., Зубкова Н. В Мінливість росту і розвитку канни залежно від умов вирощування. *Бюл. Нікіт. ботан. саду*. 2011. №102. С. 65–71.

11. Матяшук Р. К., Мазура М. Ю. Чутливість окремих сортів канни до дії абіотичних чинників. *Наукові доповіді НУБіП України*. Київ, 2013. №42. URL: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Nd_2013_6_2.pdf

12. Тернавський А. Г. Щетина С. В. Слободяник Г. Я. Кецкало В. В. Урожайність і якість плодів шпалерного огірка залежно від застосування регуляторів росту в умовах Правобережного Лісостепу України. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Агрономія і біологія».* 2022. Вип. 1. № 47. С. 132–137. https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.1.18

13. Тимофєєва С. В., Журавель І. О. Визначення кількісного вмісту гідроксикоричних кислот в сировині канни садової (*Canna hybrida* hort.). *Зб. наук. праць співробіт. НМАПО ім. П. Л. Шупика.* 2016. Вип 26. С. 413–417. URL: http://dspace.nuph.edu.ua/handle/123456789/11058

14. Bruner L. L., Keever G. J., Gilliam C. H., and Kessler J. R.. Growth Regulation of Canna x generalis ‘Florence Vaughan’. *Journal of Environmental Horticulture*. 2000. 18 (3). P. 171–174. https://doi.org/10.24266/0738-2898-18.3.171

15. Bruner L. L., Keever G. J., Kessler J. R. and Gilliam C. H.. Growth Retardant Application to Canna x generalis ‘Florence Vaughan’. *Journal of Environmental Horticulture*. 2001. 19 (3). P. 114–119. https://doi.org/10.24266/0738-2898-19.3.114

16. Bruner L. L., Keever G. J., Kessler J. R., and Gilliam C. H.. Plant Growth Retardant and Initial Plant Height Affect Canna Lily Growth and Flowering. *Journal of Environmental Horticulture.* 2001. 19 (4). P. 180–183. https://doi.org/10.24266/0738-2898-19.4.180

17. Karungamye P. N. Potential of *Canna indica* in Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Review. *Conservation*, 2022. 2(3), P. 499–513. https://doi.org/10.3390/conservation2030034

18. Shah V., Gajbhiye P., Metha J., Tudu B., Sillanpaa M. I. H., Kumar A., Shas M. A. Effectiveness of *Canna indica* leaves and stalk biochar in the treatment of textile effluent. AIP Advances, 2024. 14 (3), Article 035227. https://doi.org/10.1063/5.0191708

19. Tanaka N. Taxonomic revision of the family Cannaceae in the New Wold and Asia. *Makinoa*. 2001. Ser. 2, Vol. 1. P. 34–43.

Kolb L. P.
Research Workers,
Pryluky Research Station of the Institute of Horticulture NAAS,
Pryluky, Ukraine
E-mail: *lyubenik@ukr.net*
ORCID: *0009-0009-8516-8200*

Olenich O. A.
Head of the Breeding Department,
Pryluky Research Station of the Institute of Horticulture NAAS,
Pryluky, Ukraine
E-mail: *osa141@ukr.net*
ORCID: *0009-0003-2667-1144*

INFLUENCE OF GROWTH REGULATORS IN VARIOUS METHODS OF GERMINATION OF CANNA HYBRID RHIZOMES

Abstract

The article presents the results of a study on the effectiveness of using growth regulators Heteroauxin and Radifarm in the germination of hybrid canna on the basis of the Pryluky Research Station of the IS NAAS. The relevance of the work was the need to find alternative methods of processing planting material when growing this crop.

Therefore, the purpose of the research was to study the effectiveness of using growth regulators in different schemes of germination of hybrid canna rhizomes on productive and decorative indicators. When conducting observations, analyzes and accounting of the impact, their positive effect was noted in different methods of germination: container, box and open ground, which contributed to the additional use of their inherent productivity potential. The drugs used in the experiment generally contributed to an increase in the average height, number of flowers, vegetative and generative shoots, which in turn affected the reproduction coefficient indicators.

The studies found that the difference between the treated variants and the control was: in the Yellow King Humbert variety from 21.3 to 34.1 flowers, generative shoots 0.7–1.4 pcs. and vegetative shoots 0.6–1.2 pcs., vegetative propagation coefficient 0.8–1.4; in the Kron variety, the number of flowers per plant was 26.0–41.1 pcs., vegetative shoots 1.4–2.2 pcs. and generative shoots – 0.1– 0.4 pcs., vegetative propagation coefficient 0.6–1.7. Analyzing the data between growth stimulants, it can be noted that the drug Radipharm had the most positive effect on the plants.

Key words: *hybrid canna, variety, growth regulators, decorativeness, productivity.*

References

1. Brezhytska, I. M., & Mykolaiko, I. I. (2024). Rid *Canna* L ta yogo vykorystannia v selektsii ta praktychomu kvitnykarstvi [The genus *Canna* L. and its use in breeding and practical floriculture]. *Naukovi zapysky ekolohichnoi laboratorii UDPU*, 27, 90–95 [in Ukrainian].

2. Kyslychenko, O. A., Protska, V. V., & Zhuravel, I. O. (2019). Doslidzhennya forosyntezuvalnykh pihmentiv travy kanny safovoyi deyakykh sortiv. [The study of photosynthesis pigments of canna hybrid herb of some varieties]. *Fktualni pytannya farmatsevtychoyi I medychnoyi nauky ta praktyky – Current issues in pharmacy and medicine: science and practice,* 12, № (2). Pp. 141–147. https://doi.org/10.14739/2409-2932.2019.2.170976 [in Ukrainian].

3. Kolb, L. P. (2020.) Perspektyvni sorty kanny safovoyi (*Canna hybrida* hort) selektiyi Prylutskoyi doslidnoyi stansiyi IS NAAN [Perspektive varieties of *Canna hybrida* hort. selection of Pryluky experinental station of the Institute of Horticulture NAAS]. *Visnyk Stepu – Bulletin of the Steppe,* 17. Pp. 71–74. [in Ukrainian].

4. Kolb, L. P., & Olenich, O. A. (2025). Nasinnyeva produktyvnist sortiv ta sortosrazkiv *Canna hybrida* hort. v Livoberezhnomu Lisostepu [Seed productivity of *Canna hybrida* hort. varieties and clones in the Left Bank Forest-Steppe]. *Sbirnyk naukovykh prats Umanskoho Natsionalnogo Universytetu – Collection of scientific papers of the Uman National University.* 1 (107). Pp. 549–558. https://doi.org/10.32782/2415-8240-2025-107-1-549-558 [in Ukrainian].

5. Kostenko, N. P., & Gryniv, S. V. (2016). Metodbka provedennya ekspertyzy sortiv roslyn hrupy dekoratyvnykh na vidminnist, odnoridnist ta stabilnist [Methodology for conducting the examination of varieties of ornamental plants for distinctiveness, uniformity and stability]. (2nd edition, revised and expanded, in S. O. Tkachyk (Eds)). Kyiv, Ukraina: *Digital Publishing House of the Urainian Institute for Plant Variety Examination*. https://doi.org/10.21498/978-966-924-592-2 [in Ukrainian].

6. Likhochvor, V. V. (2004). Roslynnytstvo. Tekhnolohiyi vyroshchuvannya silskohospodarskykh kultur [Crop production. Technologies of growing agricultural crops]. (2nd edition, revised). K.: *Center for Educational Literature*, 809 p. [in Ukrainian].

7. Mazura, M. Yu. (2018). Biolohichni osoblyvosti, introduktsiia, perspektyvy vykorystannia predstavnykiv rodu Canna L. v umovakh pravoberezhnoho stepovoho Prydniprovia [Biological features, introduction, prospects for the user of the representatives of Canna L. genus under the conditions of Right-bank steppe Pridneprov'ia] *Extended abstract of Candidate's thesis*. Kyiv. 24 p. [in Ukrainian].

8. Mazura, M. Yu. (2016). Intehralna otsinka uspishnosti introduktsii predstavnykiv rodu Canna L. u Kryvorizhzhia [The success of the introduction integral assessment of the genus Canna L. representatives at Kryvorizhzhya]. *Introduktsiia Roslyn – Plant introduction*, 2, 18–24. URL: http://jnas.nbuv.gov.ua/j-pdf/IR_2016_2_4pdf [in Ukrainian].

9. Matiashuk, R. K., & Mazura, M. Yu. (2012). Vyvchennia chutlyvosti kanny do dii kolkhitsynu [The canna sensitivity study to the colchicine action]. *Modern Phytomorphology*, 2, 169–172. [in Ukrainian].

10. Matiashuk, R. K., Belkina, M. Yu., & Zubkova, N. V (2011). Minlyvist rostu i rosvutku kanny zalezhno vid umov vyroshuvannya. [Peculiarities of growth and development of canna depending on growing conditions]. *Bul. Nikit. Botan. Sadu – Bul. Nikit. Botan. Gard*, 102, 65–71. [in Ukrainian].

11. Matiashuk, R. K., & Mazura, M. Yu (2013). Chytluvist okremykh sortiv kanny do diyi abiotichnykh chynnykiv [Sensitivity of individual genomes cannes to the influence of abiotic factors]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy – Scientific reports of NULES of Ukraine,* №42. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Nd_2013_6_2.pdf [in Ukrainian].

12. Ternavskyi, A. G., Shchetyna, S. V., Slobodyanyk, G. Ya., & Ketskalo, V. V. (2022). Urozhaynist i yakist plodiv shpalernoho ohirka zalezhno vid zastosuvannya rehulyatoriv rostu v umovakh Pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Yield and quality of fruits of cucumber an o vertical trettil depending on the application of plant growth regulators in the forest steppe of Ukraine]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu: seriya "Ahronomiya i Biolohiya" – Bulletin of Sumy National Agrarian University: series "Agronomy and Biology",* 1 (47), 132–137. https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.1.18 [in Ukrainian].

13. Timofeeva, S. V., & Zhuravel, I. O. (2016). Vyznachennya kilkisnoho vmistu hidroksykorychnykh kyslot v syrovyni kanny safovoyi (*Canna hybrida* hort.) [Determination of hydroxycinnamic acids content in the plant of materials canna (*Canna hybrida* hort.)]. *Zb. nauk. plats spivrobit. NMAPO im. P. L. Shupyka – Collection of Scientific Works of Employees of P. L. Shupyk National Medical Academy,* iss. 26. Pp. 413–417. Retrieved from: http://dspace.nuph.edu.ua/handle/123456789/11058 [in Ukrainian].

14. Bruner, L. L., Keever, G. J., Gilliam, C. H., & Kessler, J. R. (2000). Growth Regulation of Canna x generalis 'Florence Vaughan'. *Journal of Environmental Horticulture*, 18 (3), 171–174. https://doi.org/10.24266/0738-2898-18.3.171 [in English].

15. Bruner, L. L., Keever, G. J., Kessler, J. R., & Gilliam C. H. (2001). Growth Retardant Application to Canna x generalis 'Florence Vaughan'. *Journal of Environmental Horticulture*, 19 (3), 114–119. https://doi.org/10.24266/0738-2898-19.3.114 [in English].

16. Bruner, L. L., Keever, G. J., Kessler, J. R., & Gilliam, C. H. (2001). Plant Growth Retardant and Initial Plant Height Affect Canna Lily Growth and Flowering. *Journal of Environmental Horticulture,* 19(4), 180–183. https://doi.org/10.24266/0738-2898-19.4.180 [in English].

17. Karungamye, P. N. (2022). Potential of *Canna indica* in Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Review. *Conservation*, 2(3), 499–513. https://doi.org/10.3390/conservation2030034 [in English].

18. Shah, V., Gajbhiye, P., Metha, J., Tudu, B., Sillanpaa, M. I. H., Kumar, A., & Shas, M. A. (2024). Effectiveness of *Canna indica* leaves and stalk biochar in the treatment of textile effluent. *AIP Advances,* 14 (3), Article 035227. https://doi.org/10.1063/5.0191708 [in English].

19. Tanaka, N. (2001). Taxonomic revision of the family Cannaceae in the New Wold and Asia. *Makinoa*. Ser. 2, 1. P. 34–43 [in English].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 28.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 11.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026

УДК 636.4.082.352:636.083:612.12
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-10

Лихач В. Я.
доктор сільськогосподарських наук, професор,
завідувач кафедри технологій у тваринництві,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
Київ, Україна
E-mail: *vylykhach80@nubip.edu.ua*
ORCID: *0000-0002-9150-6730*

Леньков Л. Г.
кандидат сільськогосподарських наук,
старший науковий співробітник лабораторії годівлі, фізіології та здоров'я тварин,
Інститут свинарства і агропромислового виробництва НААН
Полтава, Україна
E-mail: *lenkovleonid@gmail.com*
ORCID: *0000-0003-1596-6740*

Отченашко В. В.
доктор сільськогосподарських наук, член-кореспондент НААН України,
професор кафедри годівлі тварин та технології кормів ім. П. Д. Пшеничного,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
Київ, Україна
E-mail: *otchenashko@nubip.edu.ua*
ORCID: *0000-0003-0336-9340*

Мельник В. В.
доктор історичних наук, доцент,
професор кафедри технологій у тваринництві,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
Київ, Україна
E-mail: *melnikvika@nubip.edu.ua*
ORCID: *0000-0003-2491-757X*

Зламанюк Л. М.
кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
доцент кафедри технологій у тваринництві,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
Київ, Україна
E-mail: *zlamanuk@nubip.edu.ua*
ORCID: *0000-0003-3323-4658*

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВПЛИВУ РІЗНИХ ТИПІВ ВЕНТИЛЯЦІЇ НА ПОКАЗНИКИ БІОХІМІЧНОГО ПРОФІЛЮ КРОВІ КНУРІВ-ПЛІДНИКІВ ЗАЛЕЖНО ВІД ВІКУ ТА СЕЗОНУ РОКУ

Анотація

Забезпечення стабільного метаболічного гомеостазу та високої репродуктивної здатності кнурів-плідників є однією з найважливіших проблем інтенсивного свинарства, яка суттєво загострюється внаслідок несприятливих сезонних коливань параметрів мікроклімату. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває пошук і фізіологічне обґрунтування новітніх технологічних рішень для оптимізації повітряного середовища, зокрема енергоефективних геотермальних систем вентиляції, та оцінка їхнього комплексного впливу на організм тварин у різні вікові періоди.

У статті представлено результати дослідження ізольованого та сумісного впливу віку, сезону року й конструктивних особливостей вентиляції на біохімічні показники крові кнурів-плідників. Експеримент проведено протягом 2021–2022 рр.

© Лихач В. Я., Леньков Л. Г., Отченашко В. В., Мельник В. В., Зламанюк Л. М., 2026
pISSN 2706-9052, eISSN 2706-851X

на базі ПрАТ «Племзавод «Степной» Запорізької області на кнурах великої білої породи, ландрас та дюрок у віці 6, 12 та 24 місяців (n = 18). Тварини контрольної групи утримувалися за класичної поперечної вентиляції, а дослідної – в умовах автоматизованої геотермальної системи з підземним повітропроводом. Біохімічний аналіз сироватки крові (загальний білок, альбуміни, глобуліни, сечовина, лужна фосфатаза) виконували на автоматичному аналізаторі ERBA XL-640. Статистичний аналіз здійснювали за допомогою трифакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) у пакеті STATISTICA.

Установлено, що метаболічний статус плідників формується під комплексним впливом ендогенних та екзогенних чинників. Рівні загального білка та альбумінів вірогідно залежали від усіх чинників (P < 0,01). Геотермальна вентиляція забезпечила підвищення загального білка у 24-місячних кнурів в усі сезони, тоді як у 6-місячних тварин цей показник залишався стабільним. Вміст глобулінів визначався вентиляцією та сезоном (P≤0,002), а потрійна інтерференція чинників (P≤0,001) підтвердила, що геотермальна система сприяє збереженню оптимального співвідношення білкових фракцій та покращенню адаптаційного статусу тварин у критичні періоди (взимку для 12-місячних та влітку для 24-місячних тварин). Рівень сечовини знижувався за умов геотермального повітрообміну у 6-місячних кнурів в усі сезони, що свідчить про краще засвоєння азоту корму та зниження технологічного стресу. Активність лужної фосфатази залежала від віку та вентиляції (P<0,001), виявляючи максимальні відмінності в період активного росту кнурів (6 міс.).

Доведено, що геотермальна вентиляція є фізіологічно обґрунтованою технологією, яка стабілізує метаболічний гомеостаз та підвищує адаптаційну здатність кнурів-плідників за рахунок нівелювання температурно-вологісних коливань.

Ключові слова: *кнури-плідники, порода, біохімія крові, геотермальна вентиляція, трифакторний дисперсійний аналіз, метаболічний гомеостаз, вік, сезонність.*

Вступ. Сучасна інтенсифікація свинарства та перехід до концепції точного тваринництва (*Precision Livestock Farming*) висувають дедалі жорсткіші вимоги до технологічної оптимізації умов утримання високопродуктивних генотипів тварин. Особливе місце в селекційно-племінній роботі посідають кнури-плідники, чий фізіологічний стан, адаптаційний потенціал та репродуктивна спроможність безпосередньо визначають темпи генетичного прогресу та загальну економічну ефективність галузі. Оскільки свині надзвичайно чутливі до коливань параметрів повітряного середовища, підтримання стабільного й фізіологічно оптимального мікроклімату в свинарниках є базовою передумовою збереження їхнього здоров'я та високої продуктивності [12; 17; 19].

Традиційні системи примусової вентиляції (зокрема класичні системи поперечного типу) часто виявляються малоефективними під час критичних сезонних коливань температур – екстремальної літньої спеки чи зимових морозів. Це призводить до виникнення температурного стресу тварин, що супроводжується глибокими функціональними збоями в їх організмі. У зв'язку з цим актуальним і науково обґрунтованим напрямом є впровадження енергоефективних геотермальних систем вентиляції. Використання природної теплової енергії ґрунту через мережу підземних тунелів-повітропроводів дозволяє здійснювати пасивне кондиціонування припливного повітря (підігрів узимку та охолодження влітку), суттєво нівелюючи негативний вплив погодних аномалій на тварин [3; 4; 21–23].

Для об'єктивної оцінки фізіологічного відгуку організму кнурів на технологічні зміни умов утримання найінформативнішим є дослідження їхнього метаболічного профілю. Біохімічний склад крові є тонкішим та чутливішим індикатором стану гомеостазу, ніж загальноклінічні показники, оскільки він відображає субклінічні зрушення в обміні речовин задовго до появи перших симптомів патології. Особливу діагностичну цінність для оцінки адаптаційного потенціалу кнурів-плідників має моніторинг показників білкового метаболізму (загального білка, альбумінів і глобулінів), азотистого обміну (сечовини) та активності лужної фосфатази, які безпосередньо пов'язані з інтенсивністю білкового синтезу, імунологічною резистентністю, функціональним станом гепатобіліарної системи та фосфорно-кальцієвим метаболізмом [6; 15; 17; 18; 24]. Проте в сучасній науковій літературі практично відсутні комплексні дані щодо синергічного впливу віку тварин, сезону року та різних типів вентиляційних систем на ці біохімічні показники.

Розв'язання цієї проблеми потребує застосування системного математико-статистичного підходу, зокрема алгоритмів трифакторного дисперсійного аналізу. Це дозволяє не лише диференціювати ізольований вплив вікової групи, типу вентиляції та сезону року, а й кількісно оцінити силу впливу ефектів їхньої взаємодії другого та третього порядків.

З огляду на це, передбачається проведення комплексної експериментальної оцінки та наукового обґрунтування закономірностей формування метаболічного статусу й адаптаційних можливостей кнурів-плідників різних генотипів за ізольованого та поєднаного впливу вікових чинників, сезонних коливань довкілля та конструктивно-технологічних рішень систем мікроклімату. Для реалізації поставлених завдань передбачалося встановлення сили впливу та характеру взаємодії головних факторів («вікова група», «тип вентиляції», «сезон року»), а також ефектів їхньої інтерференції другого і третього порядків на динаміку біохімічних маркерів сироватки крові (вміст загального білка, альбумінів, глобулінів, сечовини та активність лужної фосфатази) за умов використання класичної поперечної та енергоефективної геотермальної вентиляції.

Метою роботи є статистичне оцінювання та порівняльний аналіз сили впливу віку, сезону року та способу організації повітрообміну (поперечного та геотермального типів вентиляції) на метаболічний гомеостаз кнурів-плідників трьох провідних генотипів (велика біла, ландрас та дюрок) за результатами трифакторного дисперсійного аналізу біохімічних маркерів крові.

Матеріал і методи. Експериментальну частину роботи було виконано на базі ПрАТ «Племзавод «Степной» (Запорізька область) – одного з провідних племінних підприємств України із високим рівнем селекційно-племінної

роботи та стандартизації технологічних процесів протягом 2021–2022 рр. Об'єктом досліджень слугували кнури-плідники трьох генотипів: велика біла, ландрас та дюрок. Для проведення науково-господарського досліду за принципом аналогів було сформовано експериментальні групи чисельністю 18 голів у віці 6, 12 та 24 місячного віку.

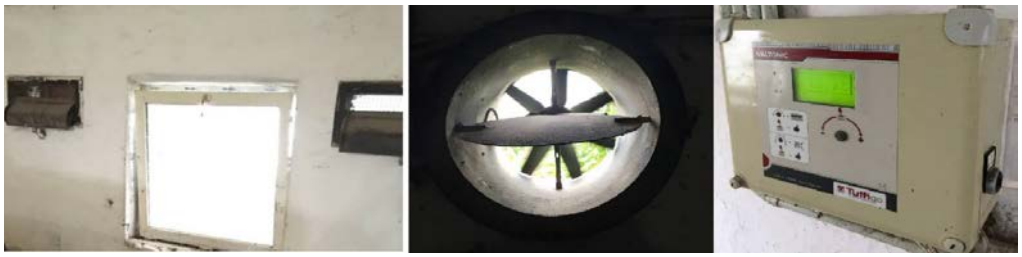
Утримання кнурів-плідників здійснювали на підстилці в індивідуальних станках площею 7 м^2 із бетонною підлогою, облаштованою ефективною тепло- та вологоізоляцією. На момент формування дослідних груп та впродовж усього експериментального періоду піддослідні тварини всіх досліджуваних порід перебували у фізіологічно та клінічно здоровому стані. Повітрообмін та оптимальний температурно-вологісний режим у приміщенні підтримували за допомогою автоматизованої комбінованої системи, яка поєднувала примусову поперечну та геотермальну вентиляцію з електронним програмним керуванням. Параметри мікроклімату під час утримання кнурів повністю відповідали чинним нормативним вимогам [2; 5; 9; 10; 14].

Годівля тварин була індивідуальною, дворазовою (о 08:00 та 16:00 год) відповідно до технологічного регламенту підприємства. Як основний раціон використовували повнораціонний комбікорм у добовому обсязі 2,8–3,0 кг на одну голову. Поживна цінність 1 кг кормосуміші характеризувалася вмістом сирого протеїну на рівні 202,6 г та концентрацією обмінної енергії 12,4 МДж. Рецептурний склад використовуваного комбікорму включав кукурудзу (20,0 %), пшеницю (18,4 %), висівки пшеничні (25,0 %), макуху соєву (22,6 %), шрот соняшниковий (10,0 %) та білково-мінерально-вітамінну добавку «Аміномікс» (4,0 %) [9; 11]. Напування кнурів здійснювалося в автоматичному режимі за допомогою ніпельних напувалок, що забезпечувало безперешкодний та постійний доступ тварин до питної води нормативної якості.

Усі маніпуляції з тваринами, умови їх утримання, годівлі, щоденного догляду, а також система профілактичних і ветеринарно-санітарних заходів повністю відповідали вимогам вітчизняного та європейського законодавства у сфері захисту тварин і забезпечення їхнього благополуччя [13; 16; 24].

Методологічні підходи та протокол поводження з кнурами-плідниками під час проведення експериментів були узгоджені й повністю схвалені Комісією з питань біоетики Національного університету біоресурсів і природокористування України (експертний висновок / протокол № 007/2021).

Для формування контрольної групи за принципом аналогів було відібрано по 3 кнури-плідники кожної з трьох досліджуваних порід [9; 10]. Тварин цієї групи утримували в індивідуальних станках у приміщенні, де оптимізація повітряного середовища забезпечувалася класичною системою поперечної вентиляції. Даний технологічний комплекс включав настінні припливні клапани (1), витяжні настінні вентилятори (2) та автоматизовану систему контролю мікроклімату (3), загальну схему розстановки та взаємодії яких представлено на рис. 1.



1 2 3

Рис. 1. Конструктивні елементи поперечної вентиляції для утримання кнурів різних порід контрольної групи

Джерело: фото авторів

Технологічний процес повітрообміну передбачав надходження свіжих повітряних мас в об'єм приміщення через настінні клапани, тоді як виведення відпрацьованого повітря здійснювалося примусово. При цьому ключові робочі параметри системи – зокрема частота обертання крильчаток витяжних вентиляторів та ступінь (кут) відкриття заслінок припливних клапанів – динамічно й синхронно коригувалися комп'ютеризованим модулем управління на основі зворотного зв'язку від датчиків, що дозволяло підтримувати стабільні параметри мікроклімату відповідно до заданих технологічних режимів.

Утримання кнурів-плідників дослідної групи здійснювали у приміщенні, ключовою конструктивною особливістю якого було застосування енергоефективної геотермальної системи вентиляції (рис. 2). Технологічна схема організації повітрообміну в цій системі передбачала первинний забір свіжого атмосферного повітря через припливну повітрозабірну шахту (1) та його подальше транспортування підземним тунелем-повітропроводом (2). Проходячи цим контуром, повітряний потік піддавався природній терморегуляції за рахунок теплового потенціалу ґрунту: у холодну пору року він попередньо підігрівався, а в літній період – охолоджувався. Після проходження підземного колектора підготовлене повітря подавалося безпосередньо у свинарник через нижні вентиляційні стійки (3), які були рівномірно розташовані в приміщенні поблизу витяжних вентиляційних шахт, призначених для примусового виведення відпрацьованого повітря за його межі. Функціонування та узгоджена взаємодія всіх конструктивних елементів цього вентиляційного комплексу координувалися в автоматичному режимі за допомогою спеціалізованого пристрою електронного керування мікрокліматом (4), що забезпечувало точне й динамічне підтримання заданих параметрів повітряного середовища.



1 2 3 4

Рис. 2. Конструктивні елементи геотермальної вентиляції для утримання кнурів різних порід дослідної групи

Джерело: фото авторів

Приміщення, в яких утримували піддослідних кнурів-плідників обох груп (контрольної та дослідної) за різних систем вентиляції, мали абсолютно тотожне конструктивно-планувальне вирішення. Обидві будівлі були зведені за єдиним проєктом з аналогічних будівельних матеріалів із рівнозначними теплофізичними характеристиками, а також мали однакову просторову орієнтацію відносно переважаючої рози вітрів цієї місцевості, що дозволило повністю нівелювати вплив зовнішніх аеродинамічних чинників на параметри внутрішнього мікроклімату.

Внутрішня інфраструктура приміщень була повністю уніфікована: кількість та корисна площа індивідуальних станків, а також технологічне вирішення систем автонапування, транспортування та роздавання кормів були абсолютно ідентичними в обох свинарниках. Очищення обох приміщень від гною здійснювали за допомогою горизонтальних скребкових транспортерів з наступним вивантаженням за допомогою виносних похилих транспортерів безпосередньо у тракторні причепи для подальшого транспортування до гноєсховища.

Біохімічний профіль крові є чутливим індикатором, що інтегрально відображає стан гомеостазу, інтенсивність метаболічних процесів та адаптаційний потенціал організму тварин за дії різноманітних ендогенних та екзогенних чинників [6; 8]. Систематичний контроль біохімічних показників у кнурів-плідників має вирішальне значення для своєчасної діагностики субклінічних змін в організмі, оцінки загального стану здоров'я та збереження високої репродуктивної здатності під впливом умов утримання.

Для проведення лабораторних досліджень відбір проб крові здійснювали у ранковий час натщесерце (до ранкового згодовування корму) шляхом пункції яремної вени. Маніпуляцію проводили у клінічно здорових кнурів-плідників з кожної групи. Зразки цільної крові збирали в одноразові вакуумні системи (пробірки) з активатором згортання для прискорення процесу коагуляції. Відокремлення сироватки крові здійснювали шляхом центрифугування отриманих проб за загальноприйнятим технологічним режимом розділення фракцій. Комплексний біохімічний аналіз зразків сироватки виконували на базі лабораторії ТОВ «Експертний центр «Біолайтс»» із застосуванням сучасного автоматичного біохімічного аналізатора ERBA XL-640 (Erba Lachema, Чехія) та фірмових сертифікованих наборів реактивів відповідно до верифікованих методичних протоколів [6; 8].

З метою нівелювання специфічного породного впливу та отримання узагальнених закономірностей фізіологічного відгуку кнурів-плідників на тип вентиляції, експериментальні групи були збалансовані за генотиповим складом (велика біла, ландрас, дюрок у рівних співвідношеннях – по 3 голови кожного генотипу в групі). Попередній статистичний аналіз за критерієм ANOVA не виявив вірогідного ізольованого впливу чинника «генотип» ($P>0,05$) на досліджувані біохімічні маркери сироватки крові, що дозволило консолідувати дані в межах вікових та сезонних підгруп для оцінки визначальних факторів мікроклімату.

Для комплексної оцінки ізольованого та сумісного впливу вікової групи, типу вентиляції та сезону року на показники біохімії крові кнурів-плідників (концентрація загального білку, альбумінів, глобулінів, сечовини та лужної фосфатази) було застосовано алгоритм трифакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) з фіксованими факторами. У межах побудованої моделі, окрім оцінки головних ефектів, розраховували значення дисперсійного відношення (критерію Фішера) для інтерференцій чинників другого порядку («вікова група» × «тип вентиляції», «вікова група» × «сезон року», «тип вентиляції» × «сезон року») та третього порядку («вікова група» × «тип вентиляції» × «сезон року»). Оцінку сили впливу окремих чинників та їхніх поєднань (η^2, %) визначали як частку від ділення відповідної факторіальної суми квадратів (*SS*) на загальну суму квадратів (*MS*) усього дисперсійного комплексу. Математико-статистичний аналіз проводили диференційовано – окремо для кожного досліджуваного генотипу тварин (велика біла, ландрас та дюрок). Для всіх комбінацій головних факторів визначали групові середні арифметичні значення та їхні 95%-ві довірчі інтервали (95% ДІ). Розрахунки та біометричну обробку масиву експериментальних даних виконували у спеціалізованому програмному пакеті STATISTICA (StatSoft Inc., США) на основі стандартних статистичних алгоритмів [1; 7].

Виклад основного матеріалу дослідження. Оцінка міжпородної мінливості біохімічного профілю крові свідчить, що досліджувані кнури-плідники великої білої породи, ландрас та дюрок за умов дотримання нормативних параметрів годівлі та утримання характеризувалися зіставимими показниками білкового та азотистого обміну. Статистично значущих відмінностей між генотипами за вмістом загального білка, альбумінів, глобулінів, сечовини та активністю лужної фосфатази встановлено не було ($P>0,05$). Це вказує на універсальний характер метаболічних реакцій організму плідників зазначених генотипів на зміни чинників мікроклімату та дає підстави для узагальнення одержаних закономірностей.

Результати трифакторного дисперсійного аналізу свідчать при наявність вірогідного (у всіх випадках: $P < 0,001$) впливу всіх головних факторів (вікової групи, типу вентиляції та місяця року) на концентрацію загального білку в крові (табл. 1).

Таблиця 1. Результати трифакторного дисперсійного аналізу впливу вікової групи, типа вентиляції та сезону року на концентрацію загального білку

Джерело мінливості	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P*	η^2, %
Вік (1)	1626,5	2	813,3	170,0	< 0,001	52,9
Вентиляція (2)	273,4	1	273,4	57,1	< 0,001	8,9
Сезон (3)	187,4	3	62,5	13,1	< 0,001	6,1
1×2	484,1	2	242,0	50,6	< 0,001	15,7
1×3	65,5	6	10,9	2,3	0,051	2,1
2×3	26,0	3	8,7	1,8	0,158	0,8
1×2×3	181,9	6	30,3	6,3	< 0,001	5,9
Помилка	229,7	48	4,8	-	-	7,5
Разом	3074,4	71	-	-	-	100,0

Примітки (тут і далі): джерела мінливості (чинники): (1) – вікова група кнурів (6, 12 та 24 місяці); (2) – тип вентиляційної системи (поперечна та геотермальна); (3) – сезон року (зима, весна, літо, осінь). Взаємодія чинників: 1×2 – «вік × вентиляція»; 1×3 – «вік × сезон»; 2×3 – «вентиляція × сезон»; 1×2×3 – потрійна інтерференція «вік × вентиляція × сезон». Статистичні показники: *SS* – факторіальна сума квадратів відхилень; *df* – число ступенів свободи; *MS* – середній квадрат; *F* – розрахункове значення критерію Фішера; *P* – досягнутий рівень статистичної значущості; η^2 – сила впливу чинника (частка впливу джерела мінливості у загальній дисперсії комплексу), %. Ефекти та їхні взаємодії вважали статистично значущими за рівня помилки $P < 0,05$.

Що стосується сполучення факторів другого та третього порядку, то вірогідний вплив було відмічено для сполучень «вікова група» × «тип вентиляції» та «вікова група» × «тип вентиляції» × «сезон року» (в обох випадках: $P < 0,001$). Це пов'язано із тим, що у віці 6 міс. концентрація загального білку у крові не залежала ані від сезону року, ані від типу вентиляції (рис. 3), тоді як у віці 24 міс. тварини, що утримувалися в умовах геотермальної вентиляції характеризувалися підвищеною концентрацією загального білку у крові незалежно від сезону року. Нарешті, у віці 12 міс. вірогідні відмінності між групами тварин, що утримувалися при різних типах вентиляції, були відмічені у відношенні концентрації загального білку у крові навесні та восени. При цьому, навесні переважали тварини, що утримувалися в умовах геотермальної вентиляції, а восени, навпаки, в умовах поперечної вентиляції.

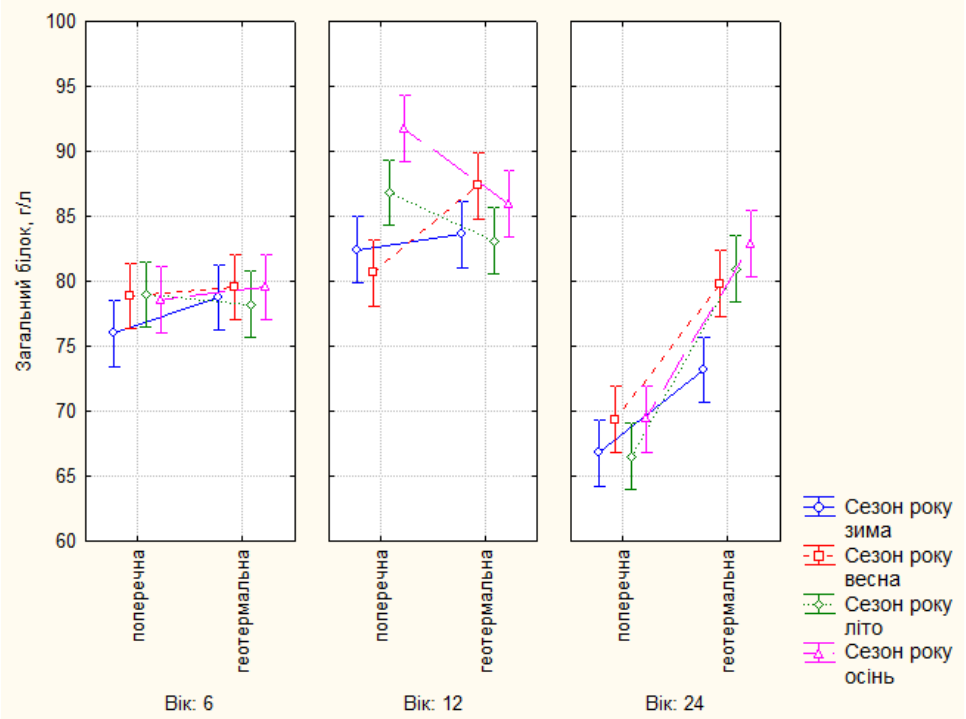


Рис. 3. Оцінки середніх арифметичних (± 95% ДІ) концентрації загального білку залежно від вікової групи, типу вентиляції та сезону року

Аналогічно, результати трифакторного дисперсійного аналізу свідчать при наявність вірогідного (у всіх випадках: P < 0,001-0,002) впливу всіх головних факторів (вікової групи, типу вентиляції та місяця року) на концентрацію альбумінів в крові (табл. 2). Що стосується сполучення факторів другого та третього порядку, то вірогідний вплив було відмічено лише для сполучення «вікова група» × «сезон року» (P = 0,003).

Таблиця 2. Результати трифакторного дисперсійного аналізу впливу вікової групи, типа вентиляції та сезону року на концентрацію альбумінів

Джерело мінливості	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P*	η^2, %
Вік (1)	182,9	2	91,5	33,4	< 0,001	36,5
Вентиляція (2)	30,5	1	30,5	11,1	0,002	6,1
Сезон (3)	45,9	3	15,3	5,6	0,002	9,2
1×2	6,3	2	3,1	1,1	0,326	1,3
1×3	64,1	6	10,7	3,9	0,003	12,8
2×3	15,2	3	5,1	1,9	0,150	3,0
1×2×3	24,2	6	4,0	1,5	0,208	4,8
Помилка	131,5	48	2,7	-	-	26,3
Разом	500,7	71	-	-	-	100,0

Якщо проаналізувати оцінки середніх арифметичних концентрації альбумінів в крові залежно від вікової групи, типу вентиляції та місяця року (рис. 4), то можна відмітити що, вірогідні відмінності були відмічені лише між тваринами, що утримувалися при різних типах вентиляції у віці 6 міс. та 12-місячного віку взимку.

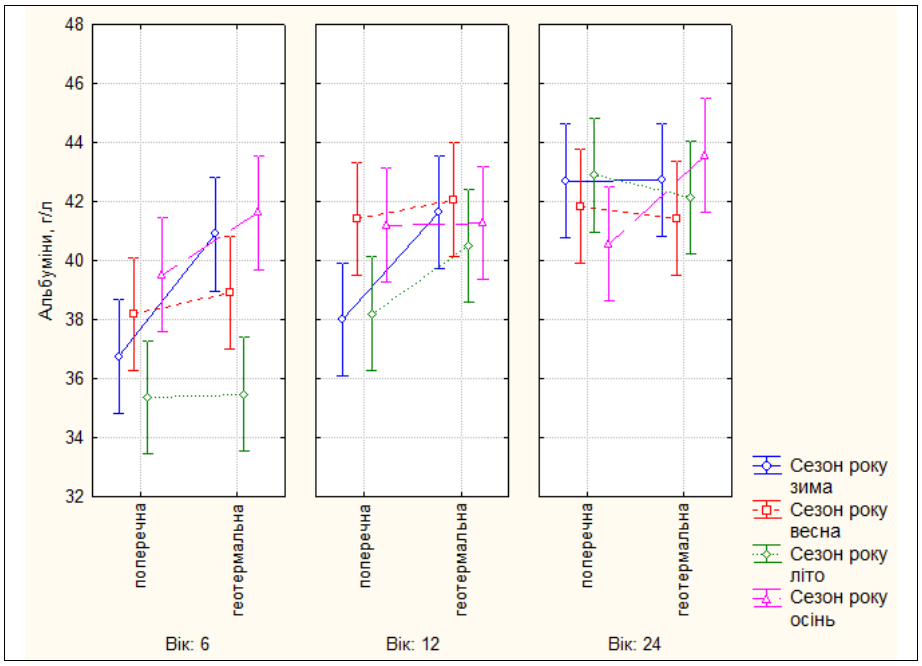


Рис. 4. Оцінки середніх арифметичних (± 95% ДІ) концентрації альбумінів залежно від вікової групи, типу вентиляції та сезону року

У відношенні концентрації глобулінів (рис. 5) результати трифакторного дисперсійного аналізу свідчать при наявність вірогідного впливу лише двох головних факторів – типу вентиляції та місяця року (в обох випадках: P < 0,001-0,002). Що стосується сполучення факторів другого та третього порядку, то вірогідний вплив було відмічено для всіх із них без виключення. Особливо суттєвий вплив мав місце для сполучення «вікова група» × «сезон року» та «вікова група» × «тип вентиляції» × «сезон року» (в обох випадках: P < 0,001).

Цей вплив обумовлено тим, що у віці 6 міс. концентрація глобулінів у крові не залежала від типу вентиляції, але була значно вищою восени, особливо серед тварин, що утримувалися в умовах поперечного типу вентиляції (рис. 3). У віці 12 міс. вірогідний вплив типу вентиляції на концентрацію глобулінів у крові мав місце лише взимку і, відповідно, тварини, що утримувалися в умовах геотермальної вентиляції значно переважали тих, що утримувалися в умовах поперечного типу вентиляції.

Таблиця 3. Результати трифакторного дисперсійного аналізу впливу вікової групи, типа вентиляції та сезону року на концентрацію глобулінів

Джерело мінливості	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P*	η^2, %
Вік (1)	3,5	2	1,7	1,8	0,182	2,0
Вентиляція (2)	10,6	1	10,6	10,8	0,002	5,9
Сезон (3)	38,5	3	12,8	13,0	< 0,001	21,5
1×2	6,7	2	3,3	3,4	0,043	3,7
1×3	31,0	6	5,2	5,2	< 0,001	17,3
2×3	9,7	3	3,2	3,3	0,029	5,4
1×2×3	31,5	6	5,3	5,3	< 0,001	17,6
Помилка	47,4	48	1,0	-	-	26,5
Разом	178,8	71	-	-	-	100,0

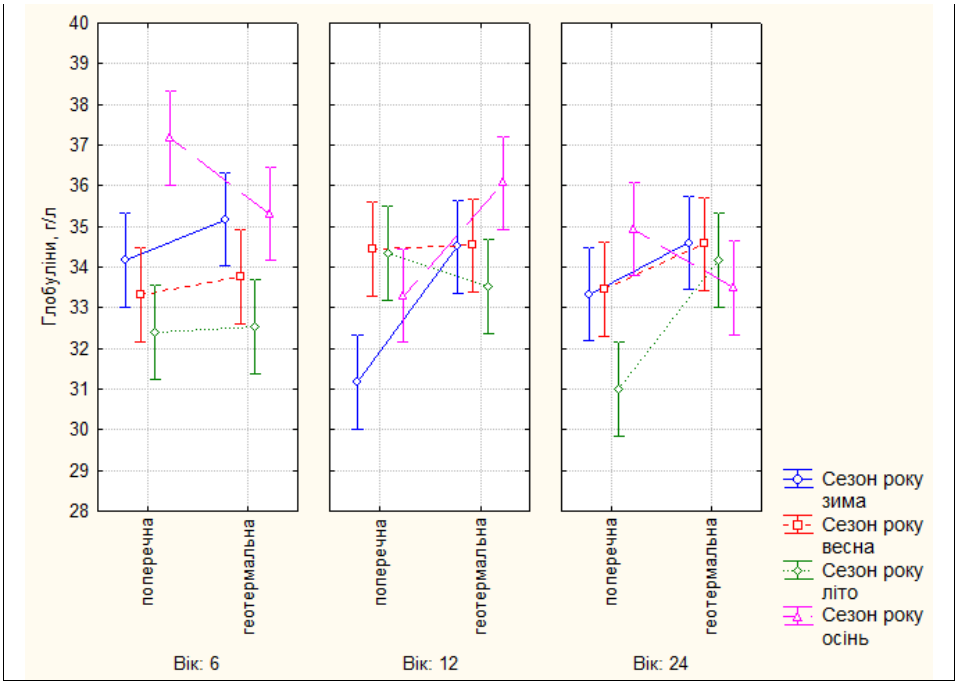


Рис. 5. Оцінки середніх арифметичних (± 95% ДІ) концентрації глобулінів залежно від вікової групи, типу вентиляції та сезону року

Аналогічну закономірність було відмічено і восени. У віці 24 міс. вірогідний вплив типу вентиляції на концентрацію глобулінів у крові мав місце лише влітку і, відповідно, тварини, що утримувалися в умовах геотермальної вентиляції значно переважали тих, що утримувалися в умовах поперечного типу вентиляції.

Результати трифакторного дисперсійного аналізу свідчать при наявність вірогідного (у всіх випадках: $P < 0,001$) впливу всіх головних факторів (вікової групи, типу вентиляції та місяця року) на концентрацію сечовини в крові (табл. 4).

Таблиця 4. Результати трифакторного дисперсійного аналізу впливу вікової групи, типа вентиляції та сезону року на концентрацію сечовини

Джерело мінливості	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P*	η^2, %
Вік (1)	72,3	2	36,2	50,6	< 0,001	27,0
Вентиляція (2)	89,3	1	89,3	125,0	< 0,001	33,3
Сезон (3)	23,7	3	7,9	11,1	< 0,001	8,9
1×2	23,8	2	11,9	16,7	< 0,001	8,9
1×3	4,9	6	0,8	1,1	0,353	1,8
2×3	5,2	3	1,7	2,4	0,076	2,0
1×2×3	14,2	6	2,4	3,3	0,008	5,3
Помилка	34,3	48	0,7	-	-	12,8
Разом	267,9	71	-	-	-	100,0

Що стосується сполучення факторів другого та третього порядку, то вірогідний вплив на концентрацію сечовини було відмічено для сполучення «вікова група» × «тип вентиляції» ($P < 0,001$), а також «вікова група» × «тип вентиляції» × «сезон року» ($P = 0,008$).

Аналізуючи характер мінливості даної ознаки можна вказати, що, по-перше, спостерігається чітка тенденція до зниження сили впливу типу вентиляції із зростанням віку тварин (рис. 6). Якщо у віці 6 міс. вірогідний вплив типу вентиляції на концентрацію сечовини мав місце у всі сезони року, при цьому, тварини, що утримувалися в умовах геотермального типу вентиляції значно поступалися аналогам, що утримувалися в умовах поперечної вентиляції. Але у віці 12 міс. аналогічна закономірність мала місце лише восени та в меншому ступені навесні. Нарешті, у віці 24 міс. певний вплив типу вентиляції на концентрацію сечовини було відмічено лише навесні.

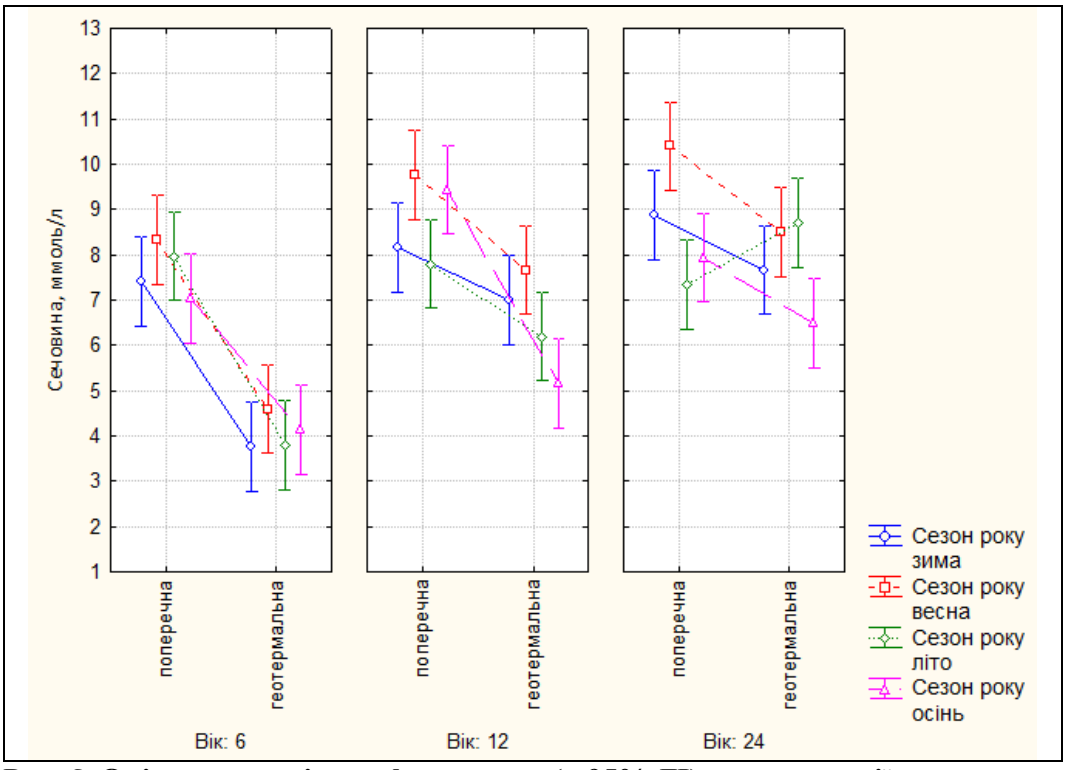


Рис. 6. Оцінки середніх арифметичних (± 95% ДІ) концентрації сечовини залежно від вікової групи, типу вентиляції та сезону року

Результати трифакторного дисперсійного аналізу свідчать при наявність вірогідного впливу на концентрацію лужної фосфатази в крові (табл. 5) лише для вікової групи та типу вентиляції (в обох випадках: $P < 0,001$). Що стосується сполучення факторів другого та третього порядку, то вірогідний вплив на концентрацію лужної фосфатази було відмічено, як і в попередньому випадку, для сполучення «вікова група» × «тип вентиляції» ($P < 0,001$), а також «вікова група» × «тип вентиляції» × «сезон року» ($P = 0,025$).

Не залежно від вікової групи, було відмічено вірогідний вплив типу вентиляції на концентрацію лужної фосфатази у всі сезони року без виключення (рис. 7). При цьому, у віці 6 міс. ці відмінності були більш суттєвими, ніж у віці 12 та 24 міс.

Таблиця 5. Результати трифакторного дисперсійного аналізу впливу вікової групи, типа вентиляції та сезону року на концентрацію лужної фосфатази

Джерело мінливості	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P*	η^2, %
Вік (1)	7912,3	2	3956,2	28,7	< 0,001	8,6
Вентиляція (2)	64201,4	1	64201,4	465,8	< 0,001	69,4
Сезон (3)	558,7	3	186,2	1,4	0,269	0,6
1×2	9331,4	2	4665,7	33,9	< 0,001	10,1
1×3	1145,3	6	190,9	1,4	0,240	1,2
2×3	490,8	3	163,6	1,2	0,325	0,5
1×2×3	2214,0	6	369,0	2,7	0,025	2,4
Помилка	6616,0	48	137,8	-	-	7,2
Разом	92470,0	71	-	-	-	100,0

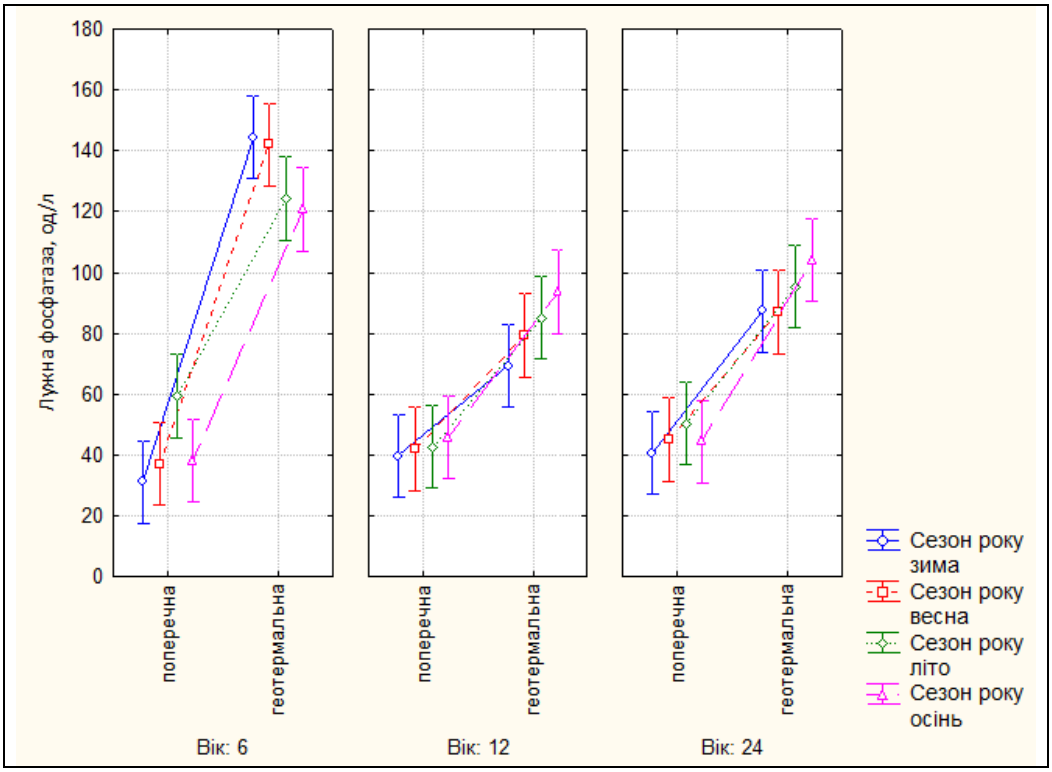


Рис. 7. Оцінки середніх арифметичних (± 95% ДІ) концентрації лужної фосфатази залежно від вікової групи, типу вентиляції та сезону року

Висновки. 1. Встановлено відсутність вірогідної міжпородної диференціації ($P > 0,05$) за основними біохімічними маркерами сироватки крові (загальний білок, альбуміни, глобуліни, сечовина, лужна фосфатаза) між кнурами-плідниками великої білої породи, ландрас та дюрок. Це підтверджує універсальний характер виявлених закономірностей стабілізації метаболічного гомеостазу за умов застосування геотермальної вентиляції незалежно від генотипу тварин.

2. Встановлено, що метаболічний статус кнурів-плідників формується під комплексним і взаємопов'язаним впливом ендогенних (вік тварин) та екзогенних (тип вентиляції та сезон року) чинників, причому характер цієї взаємодії має виражену специфіку залежно від конкретного біохімічного маркера сироватки крові.

3. Показники білкового обміну (концентрація загального білка та альбумінів) вірогідно залежать від усіх трьох головних факторів ($P < 0,001$ та $P \leq 0,002$ відповідно). Використання геотермальної вентиляції забезпечує виражений позитивний вплив на білковосинтезувальну функцію організму дорослих тварин: у кнурів у віці 24 місяців зафіксовано підвищену концентрацію загального білка в усі сезони року, тоді як у молодих тварин (6 міс.) цей показник залишається стабільним незалежно від способу повітрообміну та сезонних коливань.

4. Концентрація глобулінової фракції білків крові значною мірою визначається типом вентиляції та сезоном року ($P \leq 0,002$), тоді як ізольований вплив вікового фактора не є статистично значущим ($P = 0,182$). Проте інтерференція другого та третього порядків («вік × сезон» та «вік × тип вентиляції × сезон», $P < 0,001$) вказує на те, що оптимізація мікроклімату за допомогою геотермальної системи сприяє збереженню оптимального співвідношення білкових фракцій та покращенню адаптаційного статусу тварин у критичні сезони року: у 12-місячних кнурів – у зимовий та осінній періоди, а у 24-місячних – у літню спеку.

5. Дослідження азотистого метаболізму за концентрацією сечовини виявило високодостовірний вплив усіх головних чинників ($P < 0,001$) та їхньої потрійної взаємодії ($P = 0,008$). Встановлено закономірне зниження сили впливу вентиляційної системи на цей показник у міру дорослішання кнурів. У 6-місячному віці використання геотермальної вентиляції сприяло вірогідному зниженню рівня сечовини в крові в усі сезони року, що вказує на раціональніше використання амінокислот корму для пластичних потреб та нижчий рівень технологічного стресу у молодих плідників порівняно з контрольною групою.

6. Активність лужної фосфатази в сироватці крові регулюється переважно віком тварин та типом вентиляції ($P < 0,001$), тоді як вплив сезонного фактора є неістотним ($P = 0,269$). Оптимізація повітряного середовища завдяки геотермальній системі забезпечує виражені відмінності в активності цього ферменту в усі пори року, які є найбільш суттєвими у молодих кнурів (6 міс.), що відображає інтенсивніший перебіг фосфорно-кальцієвого обміну та остеогенезу в період їхнього активного росту.

7. Впровадження автоматизованої геотермальної вентиляції з підземним тунелем-повітропроводом у технологію утримання кнурів-плідників є фізіологічно та екологічно обґрунтованим рішенням. На відміну від

класичної поперечної вентиляції, геотермальна система нівелює температурно-вологісні коливання зовнішнього середовища, забезпечуючи стабільний метаболічний гомеостаз, покращення використання поживних речовин корму та вищий адаптаційний потенціал тварин у різні вікові періоди.

Перспективи подальших досліджень полягають у вивченні прямого взаємозв'язку між оптимізованим метаболічним гомеостазом кнурів-плідників за умов використання геотермальної вентиляції та кількісними і якісними характеристиками спермопродукції, а також запліднювальною здатністю у різні вікові періоди. Важливим вектором майбутніх розробок є розрахунок еколого-економічної ефективності, оцінка енергозбереження та інженерне моделювання окупності автоматизованих геотермальних систем у межах реалізації концепції точного (прецизійного) свинарства.

Список використаних джерел

1. Аналіз біометричних даних у розведенні та селекції тварин : навчальний посібник / С. С. Крамаренко, С. І. Луговий, А. В. Лихач, О. С. Крамаренко. Миколаїв: МНАУ, 2019. 211 с.
2. Відомчі норми технологічного проектування. Свинарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми), ВНТП-АПК – 02.05. К. : Мінагрополітики України, 2005. 98 с. URL : https://lugdpss.gov.ua/images/bezpechnist_veterynariya/Svynarski-pidpryyemstva-VNTP-APK-02.05.pdf (дата звернення 20.06.2026).
3. Дещенко О.С., Лихач А.В. Вплив температурного фактору за різних систем вентиляції на фізіологічні показники кнурів-плідників. *Подільський вісник*: *сільське господарство, техніка, економіка*, 2023. № 41. С. 19–25. DOI: https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-4.3
4. Іванов В. О., Волощук В. М. Біологія свиней : навч. посіб. Київ: ЗАТ «НІЧЛАВА», 2009. 304 с.
5. Інструкція із штучного осіменіння свиней. Київ: Аграрна наука, 2003. 56 с.
6. Інтер'єр сільськогосподарських тварин : навч. посіб. / Й. З. Сірацький та ін. Київ: Вища освіта, 2009. 280 с.
7. Крамаренко О. С., Луговий С. І., Крамаренко С. С. Сучасні генетико-селекційні методи аналізу відтворювальних якостей свиней та овець : монографія. Миколаїв: МНАУ, 2022. 150 с.
8. Лабораторні методи досліджень у біології, тваринництві та ветеринарній медицині : довідник / за ред. В. В. Влізла. Львів: СПОЛОМ, 2012. 764 с.
9. Ладика В. І., Хмельничий Л. М., Повод, М. Г. Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва: підручник для аспірантів. Одеса: Олді+, 2023. 244 с.
10. Методологія та організація наукових досліджень у тваринництві : посібник / за ред. І. І. Ібатуліна, О. М. Жукорського. Київ, 2017. 328 с.
11. Норми годівлі, раціони і поживність кормів для різних видів сільськогосподарських тварин / Г. В. Проваторов та ін. Суми: ТОВ ВДТ «Університетська книга», 2007. 488 с.
12. Підвищення продуктивності свиней за використання сучасного генофонду та інноваційних технологічних рішень : монографія / В. Я. Лихач та ін. Миколаїв: Іліон, 2022. 275 с. URL: http://dglib.nubip.edu.ua:8080/jspui/handle/123456789/9332 (дата звернення: 10.07.2026).
13. Про затвердження вимог до благополуччя сільськогосподарських тварин під час їх утримання : наказ Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України від 08 лют. 2021 р. № 224. Зареєстр. в Міністерстві юстиції України 18 лют. 2021 р. за № 206/35828.
14. Технологія виробництва продукції свинарства : навчальний посібник / М. Повод та ін. ; за ред. М. Г. Повода. Київ: Науково-методичний центр ВФПО, 2021. 360 с.
15. Юр'єва К. В., Черненко О. М., Поліщук А. А., Вербельчук Т. В., Ільченко М. О., Кузьменко М. В., Кобернюк В. В., Марченко Є. І., Колот О. В. Спермопродуктивність кнурів материнських порід і батьківської лінії та вплив генотипу на кількісні та якісні показники сперми. *Вісник Сумського національного аграрного університету.* Серія: Тваринництво. 2026. № 1. С. 174–188. DOI: https://doi.org/10.32782/bsnau.lvst.2026.1.19
16. Council Directive 2008/120/EC. (2008, December). URL : https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008L0120-20191214&from=NL. (дата звернення 24.06.2026).
17. Deschenko A., Lykhach A., Lykhach V., Lenkov L., Barkar Y., Shpetny M. The impact of ventilation system type on the microclimate of boar's pen and their clinical triad parameters. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 2024. Vol. 34(3). P. 420–434. DOI: https://doi.org/10.29133/yyutbd.1424785
18. Deschenko O., Lykhach A. Behavioural patterns of boars by breed depending on age, season, and type of ventilation. *Animal Science and Food Technology*, 2024. Vol. 15(2), P. 72–92. DOI: https://doi.org/10.31548/animal.2.2024.72
19. Flowers W. L. Factors affecting the production of quality ejaculates from boars. *Animal Reproduction Science*. 2022. Vol. 246. Art. 106840. DOI: https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2021.106840.
20. Gourdine J.-L., Rauw W. M., Gilbert H., Poullet N. The Genetics of Thermoregulation in Pigs: A Review. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021. Vol. 8. Art. 770480. DOI: https://doi.org/10.3389/fvets.2021.770480
21. Hu Z., Yang Q., Tao Y., Shi L., Tu J., Wang Y. A review of ventilation and cooling systems for large-scale pig farms. *Sustainable Cities and Society*. 2023. Vol. 89. Art. 104372. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104372.
22. Kim H., Lee I., Aarnink A., Lee B., Jeong D., Jeong H. Development and validation of an air recirculated ventilation system. Part 1: Application of system in a pig farm and evaluation of pig productivity during winter. *Biosystems Engineering*. 2023. Vol. 230. P. 106–130. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.04.008
23. Liu F., Zhao W., Le H. H., Cottrell J. J., Green M. P., Leury B. J., Dunshea F. R., Bell A. W. Review: What have we learned about the effects of heat stress on the pig industry? *Animal*. 2022. Vol. 16, № 2. Art. 100349. DOI: https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100349
24. Welfare of pigs : monograph / V. Y. Lykhach, A. V. Lykhach, L. G. Lenkov, L.V. Chepil, E.V. Barkar. Mykolaiv : Ilyon, 2025. 435 p., 60 tables, 84 figures.

Lykhach V. Ya.
Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Head of the Department of Animal Technology,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
E-mail: *vylykhach80@nubip.edu.ua*
ORCID: *0000-0002-9150-6730*

Lenkov L. G.
Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Researcher at the Laboratory of Animal Nutrition, Physiology, and Health,
Institute of Pig Breeding and Agro-Industrial Production,
National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
Poltava, Ukraine
E-mail: *lenkovleonid@gmail.com*
ORCID: *0000-0003-1596-6740*

Otchenashko V. V.
Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine,
Professor at the Department of Animal Nutrition and Feed Technology named after P. D. Pshenychnyi,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
E-mail: *otchenashko@nubip.edu.ua*
ORCID: *0000-0003-0336-9340*

Melnik V. V.
Doctor of Historical Sciences, Associate Professor,
Professor at the Department of Animal Technology,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
E-mail: *melnikvika@nubip.edu.ua*
ORCID: *0000-0003-2491-757X*

Zlamanuk L. M.
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Animal Technology,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
E-mail: *zlamanuk@nubip.edu.ua*
ORCID: *0000-0003-3323-4658*

A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECT OF DIFFERENT TYPES OF VENTILATION ON THE BIOCHEMICAL PROFILE OF BLOOD IN BREEDING BOARS, DEPENDING ON AGE AND SEASON

Abstract

Ensuring stable metabolic homeostasis and high reproductive performance in breeding boars is one of the most critical challenges in intensive swine production, a challenge that is significantly exacerbated by adverse seasonal fluctuations in microclimate parameters. In this regard, the search for and physiological justification of the latest technological solutions for optimizing the air environment-in particular, energy-efficient geothermal ventilation systems-and the assessment of their comprehensive impact on the animals' bodies at different life stages have become particularly relevant.

This article presents the results of a study on the isolated and combined effects of age, season, and ventilation design features on the biochemical parameters of the blood of breeding boars. The experiment was conducted during 2021–2022 at the «Stepnoy» Breeding Farm (PJSC) in the Zaporizhzhia region on boars of the Large White, Landrace, and Duroc breeds aged 6, 12, and 24 months (n = 18). Animals in the control group were housed under conventional cross-ventilation, while those in the experimental group were housed under an automated geothermal system with an underground air duct. Biochemical analysis of blood serum (total protein, albumin, globulins, urea, alkaline phosphatase) was performed using an ERBA XL-640 automatic analyzer. Statistical analysis was conducted using a three-factor analysis of variance (ANOVA) in the STATISTICA software package.

It has been established that the metabolic status of breeding stock is determined by the combined influence of endogenous and exogenous factors. Total protein and albumin levels were significantly influenced by all factors ($P < 0.01$). Geothermal ventilation increased total protein levels in 24-month-old boars during all seasons, whereas this parameter remained stable in 6-month-old animals. Globulin content was determined by ventilation system and season ($P \leq 0.002$), while the significant three-way interaction of the factors ($P \leq 0.001$) confirmed that the geothermal ventilation system contributes to maintaining an optimal balance of protein fractions and improving the adaptive status of animals during critical periods (in winter in 12-month-old animals and in summer in 24-month-old animals). Urea levels decreased under geothermal ventilation conditions in 6-month-old boars during all seasons, indicating better utilization of dietary nitrogen and reduced technological stress. Alkaline phosphatase activity depended on age and ventilation ($P < 0.001$), with the greatest differences observed during the period of active growth in boars (6 months).

It has been proven that geothermal ventilation is a physiologically sound technology that stabilizes metabolic homeostasis and enhances the adaptive capacity of breeding boars by leveling out temperature and humidity fluctuations.

Key words: *breeding boars, breed, blood biochemistry, geothermal ventilation, three-factor analysis of variance, metabolic homeostasis, age, seasonality.*

References

1. Kramarenko, S. S., Lugovoy, S. I., Lykhach, A. V. & Kramarenko O. S. (2019). *Analiz biometrychnykh danykh u rozvedenni ta selektsii tvaryn [Analysis of biometric data in animal breeding and selection]*. Mykolayiv: MNAU, 211. [in Ukrainian].

2. *Vidomchi normy tekhnolohichnoho proektuvannia. Svynarski pidpryiemstva (kompleksy, fermy, mali fermy), VNTP-APK – 02.05. [Departmental norms of technological design Pig enterprises (complexes, farms, small farms), VNTP-APK - 02.05].* K.: Minahropolityky Ukrainy, (2005), 98. Retrieved from: https://lugdpss.gov.ua/images/bezpechnist_veterynariya/Svynarski-pidpryyemstva-VNTP-APK-02.05.pdf [in Ukrainian].

3. Deshchenko, O. S., & Lykhach, A. V. (2023). Vplyv temperaturnoho faktoru za riznykh system ventyliatsii na fiziolohichni pokaznyky knuriv-plidnykiv [Effect of temperature under different ventilation systems on physiological parameters of breeding boars]. Podilskyi Visnyk: Silske Hospodarstvo, Tekhnika, Ekonomika, 41, 19–25. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-4.3 [in Ukrainian].

4. Ivanov, V. O., & Voloshchuk, V. M. (2009). Biolohiia svynei [Pig biology]. Nichlava, 304. [in Ukrainian].

5. Instruktsiia iz shtuchnoho osimeninnia svynei [Instructions for artificial insemination of pigs]. (2003). Agrarna Nauka. 56. [in Ukrainian].

6. Siratskyi, Y. Z., et al. (2009). Interier silskohospodarskykh tvaryn [Exterior and constitution of farm animals]. Vyshcha Osvita, 280. [in Ukrainian].

7. Kramarenko, O. S., Luhovyi, S. I., & Kramarenko, S. S. (2022). *Suchasni henetyko-selektsiini metody analizu vidtvoriuvalnykh yakostei svynei ta ovets [Modern genetic and breeding methods for analyzing reproductive traits of pigs and sheep]*. Mykolaiv National Agrarian University, 150. [in Ukrainian].

8. Vlizlo, V. V. (2012). Laboratorni metody doslidzhen u biolohii, tvarynnytstvi ta veterynarnii medytsyni [Laboratory research methods in biology, animal husbandry and veterinary medicine]. SPOLOM, 764. [in Ukrainian].

9. Ladyka, V. I., Khmelnychiy, L. M., Povod, M. G. (2023). *Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktsii tvarynnytstva: pidruchnyk dlia aspirantiv [Technology of production and processing of livestock products: a textbook for graduate students]*. Odesa: Oldi+, 244. [in Ukrainian].

10. Ibatulin, I. I., Zhukorskyi, O. M. (2017). *Metodolohiia ta orhanizatsiia naukovykh doslidzhen u tvarynnytstvi [Methodology and organization of scientific research in animal husbandry]*. K., 328. [in Ukrainian].

11. Provatorov, H. V., Ladyka, V. I., Bondarchuk, L. V., Provatorova, V. O. & Opara V. O. (2007). *Normy hodivli, ratsiony i pozhyvnist kormiv dlia riznykh vydiv silskohospodarskykh tvaryn [Feeding rates, rations and feed nutrition for different types of farm animals].* Sumy: TOV VDT «Universytetska knyha», 488. [in Ukrainian].

12. Lykhach, V. Ya., Faustov, R. V., Shebanin, P. O., Lykhach, A. V. & Lenkov L. H. (2022). *Pidvyshchennia produktyvnosti svynei za vykorystannia suchasnoho henofondu ta innovatsiinykh tekhnolohichnykh rishen [Increasing pig productivity using modern gene pool and innovative technological solutions : monohrafiia].* Mykolaiv : Ilion, 275. [in Ukrainian].

13. Ministry for Development of Economy, Trade and Agriculture of Ukraine. (2021). Pro zatverdzhennia vymoh do blahopoluchchia silskohospodarskykh tvaryn pid chas yikh utrymannia [On approval of requirements for the welfare of farm animals during keeping] (Order No. 224). [in Ukrainian].

14. Povod, M. H. (2021). Tekhnolohiia vyrobnytstva produktsii svynarstva [Pig production technology]. Scientific and Methodological Center for Higher and Professional Pre-Higher Education, 360. [in Ukrainian].

15. Yurieva, K. V., Chernenko, O. M., Polishchuk, A. A., Verbelchuk, T. V., Ilchenko, M. O., Kuzmenko, M. V., Koberniuk, V. V., Marchenko, Ye. I., & Kolot, O. V. (2026). Spermoproduktyvnist knuriv materynskykh porid i batkivskoi linii ta vplyv henotypu na kilkisni ta yakisni pokaznyky spermy [Sperm production of boars of maternal breeds and paternal line and the effect of genotype on quantitative and qualitative semen parameters]. Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriia: Tvarynnytstvo, (1), 174–188. https://doi.org/10.32782/bsnau.lvst.2026.1.19 [in Ukrainian].

16. Council Directive 2008/120/EC. (2008, December). Retrieved from: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008L0120-20191214&from=NL.

17. Deschenko, A., Lykhach, A., Lykhach, V., Lenkov, L., Barkar, Y., & Shpetny, M. (2024). The impact of ventilation system type on the microclimate of boar's pen and their clinical triad parameters. Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences, 34(3), 420–434. https://doi.org/10.29133/yyutbd.1424785 [in English].

18. Deschenko, O., & Lykhach, A. (2024). Behavioural patterns of boars by breed depending on age, season, and type of ventilation. Animal Science and Food Technology, 15(2), 72–92. https://doi.org/10.31548/animal.2.2024.72 [in English].

19. Flowers, W. L. (2022). Factors affecting the production of quality ejaculates from boars. Animal Reproduction Science, 246, Article 106840. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2021.106840 [in English].

20. Gourdine, J.-L., Rauw, W. M., Gilbert, H., & Poullet, N. (2021). The genetics of thermoregulation in pigs: A review. Frontiers in Veterinary Science, 8, Article 770480. https://doi.org/10.3389/fvets.2021.770480 [in English].

21. Hu, Z., Yang, Q., Tao, Y., Shi, L., Tu, J., & Wang, Y. (2023). A review of ventilation and cooling systems for large-scale pig farms. Sustainable Cities and Society, 89, Article 104372. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104372 [in English].

22. Kim, H., Lee, I., Aarnink, A., Lee, B., Jeong, D., & Jeong, H. (2023). Development and validation of an air recirculated ventilation system. Part 1: Application of system in a pig farm and evaluation of pig productivity during winter. Biosystems Engineering, 230, 106–130. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.04.008 [in English].

23. Liu, F., Zhao, W., Le, H. H., Cottrell, J. J., Green, M. P., Leury, B. J., Dunshea, F. R., & Bell, A. W. (2022). Review: What have we learned about the effects of heat stress on the pig industry? Animal, 16(2), Article 100349. https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100349 [in English].

24. Lykhach, V. Y., Lykhach, A. V., Lenkov, L. G., Chepil, L. V., & Barkar, E. V. (2025). Welfare of pigs. Ilyon, 435. [in English].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 20.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 12.08.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026

УДК 635.655:631.5
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-11

Максимишин О. В.
аспірант,
Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН,
Вінниця, Україна
E-mail: *maksymyshyn2070@gmail.com*
ORCID: *0009-0004-0296-0678*

Кобак С. Я.
кандидат сільськогосподарських наук,
завідувачка лабораторії технології вирощування сої та зернобобових культур,
Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН
Вінниця, Україна
E-mail: *k05.854.01-iksgp@ukr.net*
ORCID: *0000-0002-8747-4537*

ФОРМУВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА СТРУКТУРИ РОСЛИН СОЇ ЗА ДІЇ СТРОКУ СІВБИ

Анотація

Дослідження проводились в Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН на сірих лісових середньосуглинкових ґрунтах на лесі. Метою досліджень було вивчити вплив строку сівби від 20 квітня до 20 травня з інтервалом 5 діб на формування структури та індивідуальної продуктивності рослин різних сортів сої, зокрема Амбелла (ультраранньостиглий), Титан (середньоранньостиглий) та Палладор (середньостиглий). Оптимальним строком сівби сої сорту Амбелла за якого сформувалися найбільші показники індивідуальної структури рослин: кількість бобів (41,4±22,4–41,5±19,4 шт/рослину), насінин (84,2±42,8-84,9±36,8 шт/рослину) та маса насіння (12,8±5,7–12,9±4,9 г/рослину) був пізній строк, який припадав на 15–20 травня, тоді як найвищу масу 1000 насінин (172,0±3,4–171,6±7,1 г) цей сорт сформував за сівби 30 квітня та 05 травня. Оптимальним строком сівби сої сорту Титан за якого сформувалися найвищі показники індивідуальної продуктивності: кількість бобів (42,9±16,8 шт/рослину), насінин (85,5±24,2 шт/рослину), маса насіння (20,9±9,7 г/рослину) та маса 1000 насінин (198,1±2,6 г) був строк, який припадав на 10 травня. Оптимальним строком сівби сої сорту Палладор за якого сформувалися найвищі показники індивідуальної продуктивності: кількість бобів (49,9±13,8 шт/рослину), насінин (116,0±24,7 шт/рослину), маса насіння (21,9±6,1 г/рослину) та маса 1000 насінин (155,4±2,1 г) був строк, який припадав на 30 квітня. Сівба сої цих сортів у інші строки сівби, які були поставлені на вивчення призвели до зменшення показників індивідуальної продуктивності рослин. Крім цього, за цих строків сівби відмічено найвищий відсоток продуктивних вузлів на стеблі сої у сорту Амбелла (94,7 %), у сорту Титан (89,5 %, у сорту Палладор (91,4 %). Також відмічено деякий вплив строку сівби на висоту прикріплення нижнього бобу. У сорту Амбелла цей показник коливався від 8,3 до 10,1 см, у сорту Титан – від 10,2 до 11,2 см, у сорту Палладор – від 16,0 до 19,8 см.

Ключові слова: *соя, сорт, строк сівби, кількість та маса плодоелементів з однієї рослини, маса 1000 насінин, загальна кількість вузлів, кількість продуктивних вузлів, висота прикріплення нижнього бобу.*

Вступ. Особливе значення у технології вирощування будь-якої сільськогосподарської культури, в тому числі і сої, має строк сівби, адже це чинник, який не потребує додаткових затрат і, разом з тим, суттєво впливає на їх ріст, розвиток та формування продуктивності. У сої від проростання до повної стиглості лімітуючим чинником є тепло, тому строки сівби є одним із найважливіших агротехнічних заходів збільшення її врожайності, адже вони мають значний вплив на формування густоти рослин та їх виживаність [8].

В умовах північного Сходу Польщі ранні строки сівби сприяють збільшенню кількості вузлів на стеблі, бобів на рослині, насінин у бобі та маси 1000 насінин. Пізні строки, навпаки, обмежують ці показники, що суттєво знижує біологічну і господарську врожайність культури [14; 15].

Про сприятливий вплив ранніх (третя декада квітня) та оптимальних (перша декада травня) строків сівби на ріст, розвиток та формування високої індивідуальної продуктивності сортів сої різних груп стиглості зазначають дослідження проведені в Хмельницькій державній сільськогосподарській дослідній станції. Причому, за ранньої сівби посіви досягали повної стиглості зерна зі зниженою його передзбиральною вологістю вже у першій половині вересня, що позитивно впливало на економічну ефективність вирощування сої за рахунок зменшення затрат на післязбиральне досушування [5]. Подальші дослідження у Хмельницькій ДСГДС щодо впливу строку сівби на формування продуктивності сої різних сортів показало, що цей чинник істотно впливає на висоту прикріплення нижнього бобу, кількість бобів та насінин на рослині, масу 1000 насінин та масу насіння з 1 рослини. Разом з тим, строк сівби

© Максимишин О. В., Кобак С. Я., 2026 pISSN 2706-9052, eISSN 2706-851X

практично не мав впливу на кількість насінин у бобі. Відмічено, що сорт сої Діадема Поділля найвищі показники урожайності формує за оптимального та пізнього строків сівби, тоді як сорти КиВін, Княжна, Хуторяночка та Тріада – за пізнього строку сівби (ІІ декада травня). Зростання урожайності насіння, порівняно із сівбою в оптимальні строки (І декада травня), становило, Відповідно, 6,6 %, 3,1 %, 13,8 % та 9,6 % [6; 7].

Результати досліджень Шевнікова М.Я із колегами показали позитивну сторону відтермінування проведення сівби сої, особливо, в роки з затяжною та прохолодною весною за наявності достатньої ґрунтової вологи, завдяки чому створюється можливість ефективного контролювання бур'янів до появи сходів. Зі зміщенням строків сівби в бік пізніх забур'яненість різко знижується [9].

В умовах Полісся, частка впливу взаємодії чинників «сорт» та «строк сівби» у формуванні врожайність насіння сої становила 61 %, що підкреслює ключову роль строку сівби у реалізації генетичного потенціалу культури [2].

Окрім біологічної реакції сорту сої на зміну строку сівби, слід враховувати також взаємодію цього технологічного прийому з іншими елементами технології. Результати досліджень ряду науковців доводять, що максимальна реалізація генетичного потенціалу врожайності сої досягається при гармонійному поєднанні строків сівби з нормою висіву, густотою стояння, вибором сорту, передпосівною обробкою насіння тощо [1; 10; 12; 16].

В умовах Лісостепу лівобережного, максимальні значення структурних елементів урожайності та маси 1000 зерен відмічені на варіантах, що передбачали сівбу сої за температури 10–12 °С на глибині загортання насіння та передпосівну його обробку препаратом Ризогумін [4]. Поряд з тим, у дослідженнях, виконаних у вище згаданій агроекологічній зоні, найвищий фотосинтетичний потенціал та насіннєву продуктивність сої було отримано за сівби сої за температури ґрунту 10 °С на глибині 10 см в поєднанні з передпосівною обробкою насіння мікродобривом «Рексолін» і проведенням позакореневих підживлень упродовж вегетаційного періоду препаратами «Рексолін» і «Брасітрел» [11].

Залежно від біологічних властивостей сорти сої виявляють специфічну реакцію на зміну строку сівби, що проявляється у варіаціях морфологічних, фізіологічних і біологічних характеристик та рівнях урожайності насіння. У зв'язку з цим досить актуальними є дослідження впливу термінів проведення сівби на формування продуктивності сучасних генотипів сої з огляду на можливість пошуку ефективних підходів до активізації процесів реалізації генетичного потенціалу культури. Це також сприяє підвищенню стійкості рослин до дії абіотичних чинників середовища, що особливо важливо за умов нестабільного клімату [13].

Мета дослідження: вивчити вплив строку сівби від 20 квітня до 20 травня з інтервалом 5 діб на формування структури та індивідуальної продуктивності рослин різних сортів сої (Амбелла, Титан, Палладор) на сірих лісових середньо суглинкових ґрунтах на лесі в умовах Лісостепу правобережного.

Виклад основного матеріалу дослідження. Формування структури та індивідуальної продуктивності рослин сої залежно від строку сівби в умовах Лісостепу правобережного вивчали в польовому досліді впродовж 2024–2025 рр., який був закладений на дослідному полі лабораторії технології вирощування сої та зернобобових культур Інституту кормів та сільського господарства Поділля НААН згідно методики «Основи наукових досліджень в агрономії» [3].

Схемою досліду передбачалось вивчення дії та взаємодії двох чинників: А – сорт: Амбелла (ТОВ "Заатбау Пробстдорфер Україна", занесений до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні в 2020 році; група стиглості – ультраранньостиглий); Титан (Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН, занесений до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні в 2021 році; група стиглості – середньоранньостиглий); Палладор (ТОВ "Євраліс Семенс Україна", занесений до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні в 2019 році; група стиглості – середньостиглий); Б – строк сівби: 20 квітня, 25 квітня, 30 квітня, 5 травня, 10 травня, 15 травня та 20 травня.

Градація факторів становила 3х7. Повторність досліду чотириразова. Розміщення варіантів систематичне. Загальна площа ділянки 27 м^2.

За контроль був прийнятий варіант – строк сівби сої 30 квітня.

В умовах 2024 року провести закладку досліду в повній мірі не вдалось, через надмірну кількість опадів (120,1 мм) у третій декаді квітня. Перший строк сівби згідно схеми досліду був проведений 30 квітня. У 2025 році було проведено всі строки сівби згідно схеми досліду.

Ґрунти дослідного поля представлені сірими лісовими середньосуглинковими ґрунтами на лесі, які характеризувались вмістом гумусу в орному шарі складав 1,96 %, pH (сол.) – 5,1, вмістом азоту, що легко гідролізується – 16,8 мг/кг ґрунту, вмістом рухомого фосфору – 159,0 мг/кг ґрунту та рухомого калію – 107,0 мг/кг ґрунту.

Визначення структури та індивідуальної продуктивності рослин сої проводили методом пробного снопа з кожного варіанту та повторення (кількість рослин у снопі min 25 шт). Крім цього застосовували підрахунково-ваговий метод [3].

Встановлено суттєвий вплив строків сівби на формування індивідуальної продуктивності рослин сої. Крім цього, відмічено сортову реакцію культури на цей технологічний чинник.

Максимальні показники індивідуальної продуктивності у сорту Амбелла, зокрема кількість бобів (41,4–41,5 шт/рослину), насінин (84,2–84,9 шт/рослину) та маса насіння (12,8–12,9 г/рослину) відмічена за сівби у пізні строки, які припадали на 15–20 травня, що більше за контроль, відповідно на 19,8–19,9 шт, на 35,1–35,8 шт

та на 4,4–4,5 г. Щодо маси 1000 насінин, то у цього сорту сої вона була максимальною (172,0–171,6 г) за сівби 30 квітня та 05 травня, що більше на 3 г за пізні строки (табл. 1).

Таблиця 1. Вплив строку сівби на індивідуальна продуктивність рослин сої (у середньому за 2024-2025 рр.), M±m*

Сорт	Строк сівби	Кількість плодоелементів, шт./рослину		Маса насіння з однієї рослини, г	Маса 1000 насінин, г
		бобів	насінин		
Амбелла	30.04	21,6±11,7*	49,1±26,3	8,4±4,4	172,0±3,4
	5.05	30,2±12,0	70,5±27,4	11,4±4,6	171,6±7,1
	10.05	34,1±18,6	74,9±42,8	11,3±5,4	165,1±8,1
	15.05	41,4±22,4	84,2±42,8	12,8±5,7	168,3±13,8
	20.05	41,5±19,4	84,9±36,8	12,9±4,9	168,9±16,1
Титан	30.04	32,2±20,6	60,1±32,4	15,3±9,7	187,9±9,6
	5.05	38,3±17,4	76,4±22,1	17,3±9,3	193,8±5,9
	10.05	42,9±16,8	85,5±24,2	20,9±9,7	198,1±2,6
	15.05	43,0±18,4	83,8±30,9	20,0±12,1	191,3±9,3
	20.05	42,8±19,0	83,4±32,1	18,8±13,1	191,5±9,5
Палладор	30.04	49,9±13,8	116,0±24,7	21,9±6,1	155,4±2,1
	5.05	46,1±10,4	103,5±21,9	17,6±4,2	148,2±3,5
	10.05	41,8±6,5	95,0±16,7	15,2±2,2	145,6±0,3
	15.05	35,1±6,1	85,5±26,1	12,8±3,2	144,1±1,5
	20.05	34,3±6,5	84,7±24,1	11,3±1,7	144,6±4,2

Примітка: M±m* – довірчий інтервал на 5% рівні значимості

У сорту Амбелла встановлений від'ємний кореляційний зв'язок середньої сили між масою насіння з рослини та масою 1000 насінин (r = –0,477).

У сорту сої Титан найвищі показники індивідуальної продуктивності: кількість бобів (42,9 шт/рослину), насінин (85,65 шт/рослину), маса насіння (20,9 г/рослину) та маса 1000 насінин (198,1 г) сформувалися за сівби 10 травня. Сівба цього сорту раніше (30.04–05.05) або пізніше (15.05–20.05) призвела до деякого зниження показників індивідуальної продуктивності, відповідно, 4,6–10,7 шт, 2,1–25,4 шт, 0,9–5,9 г та 4,3–10,2 г.

На відміну від сорту Амбелла, у сорту Титан встановлений прямий позитивний сильний зв'язок між масою насіння з однієї рослини та масою 1000 насінин (r = 0,732).

У сорту сої Палладор найвищі показники індивідуальної продуктивності: кількість бобів (49,9 шт/рослину), насінин (116,0 шт/рослину), маса насіння (21,9 г/рослину) та маса 1000 насінин (155,4 г) відмічена за сівби 30 квітня. Сівба у наступні строки, що вивчались призвела до зниження кількості бобів на 3,8–15,6 шт, кількості насінин – на 12,5–31,3 шт, маси насіння – на 4,3–10,6 г та маси 1000 насінин – на 7,2–10,8 г.

На основі кореляційного аналізу встановлено, що між масою насіння з однієї рослини та масою 1000 насінин сорту Палладор існує прямий сильний зв'язок (r = 0,949).

Не менш важливими у формуванні урожайності насіння сої є такі показники структури рослини, як загальна кількість вузлів та кількість продуктивних вузлів і їх відсоток.

Виявлено, що у сої сорту Амбелла залежно від строку сівби загальна кількість вузлів становила від 17,3 до 25,9 шт/рослину, з них від 15,9 до 21,4 шт/рослину продуктивних або 82,8-94,7 %. Найбільша кількість вузлів, як загальна (25,9 шт/рослину) так і продуктивних (21,4 шт/рослину) відмічена за сівби 30 квітня, тоді як відсоток продуктивних вузлів на стеблі сої (94,7 %) максимальних був за сівби 15 травня (табл. 2).

У сорту Титан загальна кількість вузлів коливалась від 20,9 до 22,2 шт/рослину, кількість продуктивних вузлів – від 18,1 до 19,0 шт/рослину, а їх відсоток – від 86,6 до 89,5. Максимальний відсоток продуктивних вузлів на стеблі (89,5–89,3 %) спостерігався за сівби 10–15 травня.

У сорту Палладор відмічена найбільша загальна кількість вузлів, яка залежно від строку сівби коливалась від 23,7 до 32,4 шт/рослину; кількість продуктивних вузлів на стеблі цього сорту становила 19,1–29,6 шт/рослину, а їх відсоток був на рівні 80,6–91,4.

Максимальна кількість вузлів (загальна 32,4 шт та продуктивних 29,6 шт) відмічена за сівби 30 квітня. За цього строку сівби виявлено і найбільший відсоток продуктивних вузлів 91,4.

Ще одним важливим показником структури рослин сої є висота прикріплення нижнього бобу. Цей показник важливий при збиранні сої і показує технологічність сорту. Чим нижче прикріплення нижнього бобу на стеблі сої, тим більші можуть бути втрати при збиранні сої. Оптимальною висота прикріплення нижнього бобу вважається 12–14 см, мінімальною – 10 см.

Таблиця 2. Вплив строку сівби на структуру рослин сої (у середньому за 2024-2025 рр.), M±m*

Сорт	Строк сівби	Загальна кількість вузлів, шт./рослину	Кількість продуктивних вузлів, шт./рослину	% продуктивних вузлів	Висота прикріплення нижнього бобу, см
Амбелла	30.04	25,9±3,0*	21,4±1,0	82,8	8,3±0,5
	5.05	22,8±3,4	21,1±3,5	92,5	8,7±0,9
	10.05	21,4±2,6	19,6±2,8	91,6	8,5±0,7
	15.05	20,9±2,6	19,8±2,8	94,7	8,5±0,9
	20.05	17,3±0,9	15,9±0,3	92,2	10,1±2,1
Титан	30.04	20,9±0,7	18,1±0,7	86,6	10,2±3,2
	5.05	21,0±0,2	18,4±1,2	87,6	11,2±2,2
	10.05	21,1±0,9	18,9±0,0	89,5	10,4±1,2
	15.05	21,0±3,0	18,8±2,3	89,3	10,7±2,3
	20.05	22,2±4,5	19,0±3,0	85,8	10,1±2,7
Палладор	30.04	32,4±2,6	29,6±1,0	91,4	17,5±3,2
	5.05	29,0±0,2	25,3±2,3	87,4	16,0±2,2
	10.05	26,5±0,7	23,8±1,8	89,6	17,6±1,2
	15.05	24,5±0,7	21,6±1,6	88,2	16,5±2,3
	20.05	23,7±1,3	19,1±3,5	80,6	19,8±2,7

Примітка: M±m* – довірчий інтервал на 5% рівні значимості

У середньому за роки досліджень виявлено, що у сорту Амбелла висота прикріплення нижнього бобу коливалась залежно від строку сівби від 8,3 до 10,1 см, у сорту Титан – від 10,2 до 11,2 см, у сорту Палладор – від 16,0 до 19,8 см. Слід відмітити, що прослідковується тенденція до збільшення висоти прикріплення нижнього бобу за сівби у більш пізні строки.

Висновки і перспективи подальших досліджень. В умовах Лісостепу правобережного встановлено, що строк сівби мав значний вплив на формування структури та індивідуальної продуктивності рослин сої сортів Амбелла, Титан, Палладор. Оптимальним строком сівби для формування найвищих показників індивідуальної продуктивності сої сорту Амбелла був пізній строк, який припадав на 15–20 травня; у сорту Титан – 10 травня; у сорту Палладор – 30 квітня. Сівба цих сортів у інші строки, що досліджувались призводила до зменшення показників структури та індивідуальної продуктивності рослин сої. На липень 2026 року до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні занесено 280 сортів сої вітчизняної та іноземної селекції. Тому доцільно продовжити дослідження з вивчення впливу строків сівби у взаємодії з іншими технологічними чинниками, зокрема «сорт» на формування індивідуальної продуктивності рослин та врожайності насіння сої.

Список використаних джерел

1. Бараболя О. В., Пащенко І. В. Вплив строків сівби та мікродобрив на продуктивність сої в умовах Лісостепу України. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 132. С. 10–20 https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.132.2

2. Баранов А. І., Ступніцька О. С. Особливості формування врожайності сої в умовах Полісся України. *Агропромислове виробництво Полісся*. 2014. № 7. С. 118–121

3. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Опришко В. П., Костогриз П В. Основи наукових досліджень в агрономії /за ред. В.О. Єщенка. К.: Дія. 2005. 288 с.

4. Кулібаба М. Ю. Ріст і розвиток сої залежно від строків сівби та мікробіопрепарату. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2015. № 1–2. С. 155–159. https://doi.org/10.31210/visnyk2015.1-2.35

5. Молдован Ж. А. Формування біометричних показників залежно від строків сівби та норм висіву сортами сої з різним вегетаційним періодом. *Вісник Житомирського Національного агроекологічного університету*. 2017. № 2 (61). С. 60–67

6. Молдован В. Г., Молдован Ж. А., Собчук С. І. Вплив строків сівби та норм висіву на біометричні показники сортів сої з різним вегетаційним періодом. Наукові горизонти. 2020. № 07(92). С. 32–39 http://ir.polissiauniver.edu.ua/handle/123456789/11049

7. Молдован В. Г., Молдован Ж. А., Собчук С. І. Строк сівби як спосіб підвищення врожайності сортів сої з різним вегетаційним періодом. *Корми і кормовиробництво*. 2021. Вип. 91. С. 71–81 https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202191-06

8. Фурман О. В. Густота рослин сої та їх виживання залежно від строків сівби та сортів. *Корми та кормовиробництво.* 2017. Вип. 83. С. 85–89. https://fri-journal.com/index.php/journal/article/view/226

9. Шевніков М. Я., Лотиш І. І. Конкурентоспроможність рослин сої до бур'янів залежно від строків сівби та норми висіву. *Scientific Progress & Innovations*. 2024. № 27 (4). С. 72–78 https://doi.org/10.31210/spi2024.27.04.12

10. Шепілова Т. П., Петренко Д. І., Лещенко С. М., Артеменко Д. Ю. Формування продуктивності сої залежно від строків сівби та регуляторів росту рослин. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. №4. С.30–35 https://doi.org/10.31210/visnyk2021.04.03

11. Шовкова О. В. Фотосинтетична продуктивність посівів сої залежно від строків сівби та способів застосування мікродобрив. *Scientific Progress & Innovations*. 2014. №. 2. С. 156–60

12. Шовкова О. В. Формування симбіотичного апарату та урожайності сої залежно від строків сівби й різних способів застосування мікродобрив. *Агробіологія*. 2015. № 2. С.86–89

13. Шовкова О. В., Шевніков М. Я., Міленко О. Г. Особливості формування насіннєвої продуктивності рослинами сої залежно від елементів технології вирощування. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2020. № 2(84). https://doi.org/10.31548/dopovidi2020.02.015

14. Fordoński G., Okorski A., Olszewski J., Dąbrowska J., Pszczółkowska A. The Effect of Sowing Date on the Growth and Yield of Soybeans Cultivated in North-Eastern Poland. *Agriculture*. 2023. №13 (12). P. 2199 https://doi.org/10.3390/agriculture13122199

15. Nico M., Miralles D., Kantolic A. Natural post-flowering photoperiod and photoperiod sensitivity: Roles in yield-determining processes in soybean. *Field crops research*. 2019. №231. P.141–152 https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.10.019

16. Salmerón M., Gbur E., Bourland F., Buehring N., Earnest L., Fritschi F., Golden B., Hathcoat D., Lofton J., McClure A., Miller T., Neely C., Shannon G., Udeigwe T., Verbree D., Vories E., Wiebold W., Purcell L. Yield Response to Planting Date Among Soybean Maturity Groups for Irrigated Production in the US Midsouth. *Crop Science*. 2016. 56. https://doi.org/10.2135/cropsci2015.07.0466

Maksymyshyn O. V.
Postgraduate Student,
Instituteof Feed Research and Agriculture of Podillya NAAS
Vinnytsia, Ukraine
E-mail: *maksymyshyn2070@gmail.com*
ORCID: *0009-0004-0296-0678*

Kobak S. Ya.
Candidate of Agricultural Sciences,
Head of the Laboratory of Soybean and Grain Legume Cultivation Technology,
Instituteof Feed Research and Agriculture of Podillya NAAS
Vinnytsia, Ukraine
E-mail: *k05.854.01-iksgp@ukr.net*
ORCID: *0000-0002-8747-4537*

FORMATION OF INDIVIDUAL PRODUCTIVITY AND STRUCTURE OF SOYBEAN PLANTS UNDER THE EFFECTS OF SOWING TIME

Abstract

The research was conducted at the Institute of Feed and Agriculture of Podillia NAAS on gray forest medium loam soils on loess. The aim of the research was to study the influence of the sowing period from April 20 to May 20 with an interval of 5 days on the formation of the structure and individual productivity of plants of different soybean varieties, in particular Ambella (ultra-early ripe), Titan (medium-early ripe) and Pallador (medium-ripe). The optimal sowing time of soybeans of the Umbella variety, during which the highest indicators of individual plant structure were formed: the number of beans (41.4±22.4–41.5±19.4 pcs/plant), seeds (84.2±42.8-84.9±36.8 pcs/plant) and seed weight (12.8±5.7–12.9±4.9 g/plant), was the late period, which fell on May 15–20, while this variety formed the highest mass of 1000 seeds (172.0±3.4–171.6±7.1 g) when sown on April 30 and May 5. The optimal sowing date for soybeans of the Titan variety, which formed the highest individual productivity indicators: the number of beans (42.9±16.8 pcs/plant), seeds (85.5±24.2 pcs/plant), seed weight (20.9±9.7 g/plant) and the weight of 1000 seeds (198.1±2.6 g), was the date that fell on May 10. The optimal sowing date of the Pallador variety soybean, which formed the highest individual productivity indicators: the number of beans (49.9±13.8 pcs/plant), seeds (116.0±24.7 pcs/plant), seed weight (21.9±6.1 g/plant) and the weight of 1000 seeds (155.4±2.1 g), was the date that fell on April 30. Sowing soybeans of these varieties at other sowing dates that were put to study led to a decrease in the individual productivity indicators of plants. In addition, at these sowing dates, the highest percentage of productive nodes on the soybean stem was noted in the Ambella variety (94.7%), in the Titan variety (89.5%), and in the Pallador variety (91.4%). Some influence of the sowing date on the height of attachment of the lower bean was also noted. In the Ambella variety, this indicator ranged from 8.3 to 10.1 cm, in the Titan variety – from 10.2 to 11.2 cm, and in the Pallador variety – from 16.0 to 19.8 cm.

Key words: *soybean, variety, sowing date, number and weight of fruit elements from one plant, weight of 1000 seeds, total number of nodes, number of productive nodes, height of attachment of the lower bean.*

References

1. Barabolia, O. V., Pashchenko, I. V. (2023). Vplyv strokiv sivby ta mikrodobryv na produktyvnist soi v umovakh Lisostepu Ukrainy [The influence of sowing dates and microfertilizers on soybean productivity in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk – Taurida Scientific Herald.* 132. pp. 10–20. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.132.2 [in Ukrainian].

2. Baranov, A. I., Stupnitska, O. S. (2014). Osoblyvosti formuvannia vrozhainosti soi v umovakh Polissia Ukrainy [Peculiarities of soybean yield formation in the conditions of Polissya, Ukraine]. *Ahropromyslove vyrobnytstvo Polissia – Agro-industrial production of Polissya.* 7. pp. 118–121 [in Ukrainian]

3. Yeshchenko, V. O., Kopytko, P. H., Opryshko, V. P. & Kostohryz, P. V. (2005). Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii [Fundamentals of scientific research in agronomy]. Kuiv, 288 p. [in Ukrainian]

4. Kulibaba, M. Yu. (2015). Rist i rozvytok soi zalezhno vid strokiv sivby ta mikrobiopreparatu [Growth and development of soybeans depending on sowing dates and microbiological preparation]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii – Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*. 1–2. pp. 155–159. https://doi.org/10.31210/visnyk2015.1-2.35 [in Ukrainian].

5. Moldovan, Zh. A. (2017). Formuvannia biometrychnykh pokaznykiv zalezhno vid strokiv sivby ta norm vysivu sortamy soi z riznym vehetatsiinym periodom [Formation of biometric indicators depending on sowing dates and sowing rates of soybean varieties with different growing seasons]. *Visnyk Zhytomyrskoho Natsionalnoho Ahroekolohichnoho Universytetu – Bulletin of the Zhytomyr National Agroecological University*. 2 (61). pp. 60–67 [in Ukrainian]

6. Moldovan, V. H., Moldovan, Zh. A. & Sobchuk, S. I. (2020). Vplyv strokiv sivby ta norm vysivu na biometrychni pokaznyky sortiv soi z riznym vehetatsiinym periodom [The influence of sowing dates and seeding rates on biometric indicators of soybean varieties with different growing seasons]. *Naukovi horyzonty – Scientific horizons.* 07(92). pp. 32–39. http://ir.polissiauniver.edu.ua/handle/123456789/11049 [in Ukrainian].

7. Moldovan, V. H., Moldovan, Zh. A. & Sobchuk, S. I. (2021). Strok sivby yak sposib pidvyshchennia vrozhainosti sortiv soi z riznym vehetatsiinym periodom [Sowing time as a way to increase the yield of soybean varieties with different growing seasons]. *Kormy i kormovyrobnytstvo – Feeds and Feed Production*. iss. 91. pp. 71–81. https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202191-06 [in Ukrainian].

8. Furman, O. V. (2017). Hustota stoyannya roslyn soi ta yiyi vyzhyvanist zalezhno vid strokiv sivby ta sortu [Soybean plant density and their survival depending on the sowing terms and varieties]. *Kormy i kormovyrobnytstvo – Feeds and Feed Production*. iss. 83, pp. 83–89. https://fri-journal.com/index.php/journal/article/view/226 [in Ukrainian].

9. Shevnikov, M. Ya., Lotysh, I. I. (2024). Konkurentospromozhnist roslyn soi do burianiv zalezhno vid strokiv sivby ta normy vysivu [The competitiveness of soybean plants against weeds depending on the timing of sowing and the rate of sowing]. *Scientific Progress & Innovations*. 27 (4). pp. 72–78. https://doi.org/10.31210/spi2024.27.04.12 [in Ukrainian].

10. Shepilova, T. P., Petrenko, D. I., Leshchenko, S. M. & Artemenko, D. Yu. (2021). Formuvannia produktyvnosti soi zalezhno vid strokiv sivby ta rehuliatoriv rostu roslyn [Formation of soybean productivity depending on sowing dates and plant growth regulators]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii – Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*. 4. pp. 30–35. https://doi.org/10.31210/visnyk2021.04.03 [in Ukrainian].

11. Shovkova, O. V. (2014). Fotosyntetychna produktyvnist posiviv soi zalezhno vid strokiv sivby ta sposobiv zastosuvannia mikrodobryv [Photosynthetic productivity of soybean crops depending on sowing dates and methods of microfertilizer application]. *Scientific Progress & Innovations.* 2. pp. 156–60 [in Ukrainian]

12. Shovkova, O. V. (2015). Formuvannia symbiotychnoho aparatu ta urozhainosti soi zalezhno vid strokiv sivby y riznykh sposobiv zastosuvannia mikrodobryv. [Formation of symbiotic apparatus and soybean yield depending on sowing dates and different methods of applying microfertilizers]. *Ahrobiolohiia – Agrobiology*. 2. pp.86–89 [in Ukrainian]

13. Shovkova, O. V., Shevnikov, M. Ya. & Milenko, O. H. (2020). Osoblyvosti formuvannia nasinnievoi produktyvnosti roslynamy soi zalezhno vid elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia [Peculiarities of the formation of seed productivity by soybean plants depending on the elements of cultivation technology]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy – Scientific reports of NUBiP of Ukraine.* 2(84). https://doi.org/10.31548/dopovidi2020.02.015 [in Ukrainian].

14. Fordoński, G., Okorski, A., Olszewski, J., Dąbrowska, J. & Pszczółkowska, A. (2023). The Effect of Sowing Date on the Growth and Yield of Soybeans Cultivated in North-Eastern Poland. *Agriculture*. 13 (12). P. 2199 https://doi.org/10.3390/agriculture13122199 [in English].

15. Nico, M., Miralles, D. & Kantolic A. (2019). Natural post-flowering photoperiod and photoperiod sensitivity: Roles in yield-determining processes in soybean. *Field crops research*. 231. pp.141–152 https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.10.019 [in English].

16. Salmerón, M., Gbur, E., Bourland, F., Buehring, N., Earnest, L., Fritschi, F., Golden, B., Hathcoat, D., Lofton, J., McClure, A., Miller, T., Neely, C., Shannon, G., Udeigwe, T., Verbree, D., Vories, E., Wiebold, W. & Purcell, L. (2016). Yield Response to Planting Date Among Soybean Maturity Groups for Irrigated Production in the US Midsouth. *Crop Science*. 56. https://doi.org/10.2135/cropsci2015.07.0466 [in English].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 23.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 17.08.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026

УДК 633.15:631.84:631.811(477.8)
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-12

Мулярчук О. І.
кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
завідувач кафедри садівництва і виноградарства,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: *muliarchukoi@pdatu.edu.ua*
ORCID: *0000-0003-2072-8536*

Дудка С. Д.
старший викладач кафедри машиновикористання, агрономії та агротехнологій,
Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України
«Бережанський агротехнічний інститут»,
Бережани, Україна
E-mail: *skepechshuk@gmail.com*
ORCID: *0009-0008-7012-3790*

Бялковська О. А.
доктор економічних наук,
професор кафедри енергозберігаючих технологій та біомедичної інженерії,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»,
Кам'янець-Подільський, Україна;
начальник відділу міжнародного наукового співробітництва
Національна академія аграрних наук України,
Київ, Україна
E-mail: *Ksenish05@gmail.com*
ORCID: *0000-0002-8239-2700*

Плахтій Д. П.
кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри хімії, екології і загальнобіологічних дисциплін,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: *Loringswoe@gmail.com*
ORCID: *0000-0002-2014-9748*

Мартинюк С. В.
здобувач вищої освіти ОС «магістр»
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»,
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: *hmelya1975@gmail.com*
ORCID: *0009-0000-2454-5185*

ВПЛИВ АЗОТНО-МІКРОЕЛЕМЕНТНОГО ЖИВЛЕННЯ НА ФОРМУВАННЯ МОРФОЛОГІЧНИХ ОЗНАК ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ РІЗНИХ ГРУП СТИГЛОСТІ

Анотація

Сучасні технології вирощування кукурудзи передбачають оптимізацію систем мінерального живлення, що забезпечує ефективну реалізацію генетичного потенціалу гібридів різних груп стиглості. Особливого значення набуває поєднання азотних добрив із мікроелементами, зокрема цинком, який відіграє важливу роль у фізіолого-біохімічних процесах рослин та сприяє формуванню високопродуктивних агроценозів.

У статті наведено результати польових досліджень щодо впливу азотно-мікроелементного живлення на формування морфологічних ознак гібридів кукурудзи різних груп стиглості в умовах західного Лісостепу України. Дослідження

© Мулярчук О. І., Дудка С. Д., Бялковська О. А., Плахтій Д. П., Мартинюк С. В., 2026 pISSN 2706-9052, eISSN 2706-851X

проводили у 2022–2024 рр. на чорноземі опідзоленому за двофакторною схемою із використанням гібридів Фернандо (ФАО 260), Лауро (ФАО 300) та Акустика (ФАО 350). Вивчали ефективність застосування карбамідно-аміачної суміші (КАС-30), КАС-30 у поєднанні з хелатним цинковмісним мікродобривом та КАС-30 із комплексним мікродобривом «Авангард Кукурудза».

Встановлено, що застосування азотно-мікроелементного живлення позитивно впливало на формування висоти рослин, висоти прикріплення качана, довжини ніжки качана та індексу співвідношення висоти прикріплення качана до висоти рослини. Найвищі показники морфологічного розвитку незалежно від групи стиглості забезпечило поєднання КАС-30 із цинковмісним мікродобривом. Найбільшу висоту рослин сформував гібрид Акустика (ФАО 350) – 305,3 см, висоту прикріплення качана – 138,1 см, довжину ніжки качана – 11,3 см. Для гібридів Лауро та Фернандо також встановлено достовірне покращення морфологічних показників за використання КАС-30 + Zn порівняно з іншими варіантами удобрення. Застосування комплексу КАС-30 + «Авангард Кукурудза» також забезпечувало підвищення морфометричних показників, однак його ефективність була дещо нижчою порівняно з використанням цинку.

Отримані результати свідчать про доцільність комплексного застосування азотного та мікроелементного живлення для реалізації потенціалу сучасних гібридів кукурудзи різних груп стиглості та можуть бути використані при вдосконаленні технології вирощування культури в умовах західного Лісостепу України.

Ключові слова: *кукурудза, КАС-30, цинк, мікродобрива, позакореневе підживлення, висота рослин, висота прикріплення качана, західний Лісостеп.*

Вступ. Кукурудза *(Zea mays L.)* є однією з провідних зернових культур світу, продуктивність якої значною мірою визначається рівнем забезпечення рослин елементами мінерального живлення та біологічними особливостями гібридів. В умовах сучасного землеробства одним із найважливіших завдань є вдосконалення систем удобрення, спрямованих на максимальну реалізацію генетичного потенціалу гібридів різних груп стиглості за одночасного підвищення ефективності використання поживних речовин [12; 16].

За результатами досліджень І. І. Сеника, В. І. Оничка та Є. О. Наумова встановлено, що форми і норми внесення азотних добрив істотно впливають на інтенсивність росту рослин кукурудзи, формування їх висоти та, відповідно, продуктивності посівів [7]. Оптимізація азотного живлення забезпечує активний розвиток вегетативної маси, покращує фотосинтетичну діяльність рослин і створює передумови для формування високого врожаю. Водночас ефективність азотних добрив значною мірою залежить від забезпеченості рослин мікроелементами, серед яких особливу роль відіграє цинк, що бере участь у ферментативних процесах, синтезі ауксинів та регулюванні азотного обміну [1; 14].

Важливість позакореневого підживлення у технології вирощування кукурудзи підтверджено у роботах В. Д. Паламарчука, який встановив позитивний вплив мікродобрив на формування елементів продуктивності рослин та реалізацію потенціалу сучасних гібридів [5]. Аналогічних висновків дійшли Ж. А. Молдован і С. І. Собчук, які зазначають, що застосування позакореневих підживлень є ефективним елементом сучасних технологій вирощування зернової кукурудзи, особливо за інтенсивних систем удобрення [4]. Хмелюк О. зазначає, поєднання передпосівної підготовки насіння з позакореневим підживленням сприяє покращенню індивідуальної продуктивності рослин та підвищенню їх продуктивного потенціалу [8].

Морфологічні показники рослин є важливими критеріями оцінки особливостей росту та розвитку кукурудзи. Зокрема, висота рослин, висота прикріплення качана та співвідношення між цими показниками характеризують архітектоніку рослини, її адаптивність до механізованого збирання та потенціал продуктивності. Черчель В. Ю., Марочко В.А. та Таганцова М. М. провели доцільність використання індексу співвідношення висоти прикріплення верхнього качана до висоти рослини як додаткового селекційного та виробничого критерію оцінки гібридів кукурудзи [9].

Результати досліджень С. О. Юрченка, С. М. Шакалій та А. В. Багана свідчать, що рівень мінерального живлення є одним із визначальних чинників формування індивідуальної продуктивності та врожайності різностиглих гібридів кукурудзи [10]. Подібні закономірності встановили О. І. Лень, В. М. Тоцький, В. В., Гангур та Л. С. Єремко, які відзначають істотний вплив системи удобрення на продуктивність сучасних гібридів кукурудзи [3]. Крім того, В. Д. Паламарчук, Б. С. Демчук наголошують, що особливості реалізації продуктивного потенціалу значною мірою залежать від групи стиглості гібрида та його реакції на технологічні елементи вирощування [6].

Попри значну кількість досліджень, питання комплексного застосування карбамідно-аміачної суміші у поєднанні з цинковмісними та комплексними мікродобривами для гібридів кукурудзи різних груп стиглості в умовах західного Лісостепу України залишається недостатньо вивченим. Це зумовлює необхідність подальших досліджень, спрямованих на встановлення впливу азотно-мікроелементного живлення на формування морфологічних ознак рослин кукурудзи [2; 15].

Практичне значення таких досліджень полягає у визначенні найбільш ефективних елементів технології удобрення, які забезпечують оптимальний ріст і розвиток рослин кукурудзи, підвищують ефективність використання азоту та сприяють реалізації продуктивного потенціалу сучасних гібридів [11]. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення технології вирощування кукурудзи в умовах західного Лісостепу України та обґрунтування рекомендацій щодо застосування азотно-мікроелементного живлення.

Метою досліджень було встановити особливості впливу азотно-мікроелементного живлення на формування морфологічних ознак гібридів кукурудзи різних груп стиглості та оцінити їх реакцію на застосування різних систем удобрення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Формування морфологічних показників кукурудзи є результатом взаємодії генетичних особливостей гібридів і технологічних елементів вирощування, серед яких система удобрення належить до визначальних чинників. Тому в дослідженні проаналізовано вплив різних варіантів

азотно-мікроелементного живлення на висоту рослин, висоту прикріплення верхнього качана та інші морфометричні показники, що характеризують особливості росту і розвитку рослин та можуть слугувати індикаторами ефективності застосованих агротехнологічних заходів [2; 13].

Польові дослідження для реалізації поставленої мети проводили протягом 2022–2024 рр. на базі ТзОВ «Емберіка», що розташоване в с. Серафинці Коломийського району Івано-Франківської області. Ґрунтовий покрив дослідної ділянки представлений чорноземом опідзоленим, характерним для умов Лісостепу, який відзначається високою природною родючістю та є придатним для вирощування кукурудзи на зерно.

Польовий дослід був закладений за двофакторною схемою. До фактора А увійшли три гібриди кукурудзи різних груп стиглості: Фернандо (ФАО 260), Лауро (ФАО 300) та Акустика (ФАО 350). Фактор В охоплював різні варіанти азотного та мікроелементного живлення: застосування КАС-30, КАС-30 у поєднанні з цинковмісним мікродобривом, а також КАС-30 у комплексі з мікродобривом «Авангард Кукурудза».

Основне азотне живлення забезпечували шляхом внесення карбамідно-аміачної суміші (КАС-30) під передпосівну культивацію в нормі 200 л/га. Добриво обов'язково загортали в ґрунт для зменшення втрат азоту та підвищення ефективності його використання рослинами. Обрана норма азотного живлення відповідала потребам гібридів різних груп стиглості та забезпечувала оптимальні умови для їх росту і розвитку.

У варіанті із застосуванням цинку позакореневе підживлення проводили у фазі 5–7 листків кукурудзи, використовуючи хелатне цинковмісне мікродобриво в нормі 0,5 л/га.

Комплексне мікродобриво «Авангард Кукурудза» застосовували дворазово методом позакореневого підживлення: першу обробку здійснювали у фазі 3–4 листків, другу – у фазі 6–8 листків. Норма внесення препарату становила 1,5 л/га за витрати робочого розчину 250 л/га під час кожної обробки (табл. 1).

Таблиця 1. Схема досліду

Фактор А	Фактор В
ФЕРНАНДО (ФАО 260)	КАС 30
Лауро (ФАО 300)	КАС 30 + Zn
Акустика (ФАО 350)	КАС + Авангард Кукурудза

Аналіз морфологічних показників рослин кукурудзи показав, що як біологічні особливості гібридів, так і застосування позакореневого підживлення істотно впливали на формування висоти рослин, висоти прикріплення качана та довжини ніжки качана.

Найменші значення всіх досліджуваних показників були отримані на контрольному варіанті незалежно від гібрида. Застосування КАС-30 сприяло покращенню ростових процесів, а використання КАС-30 у поєднанні з цинком забезпечило максимальний розвиток рослин. Варіант із застосуванням КАС разом із препаратом «Авангард Кукурудза» також позитивно вплинув на морфологічні показники, однак його ефективність була дещо нижчою порівняно з варіантом КАС-30 + Zn.

У гібриду ФЕРНАНДО (ФАО 260) висота рослин на контрольному варіанті становила 270,3 см. За внесення КАС-30 вона збільшилася до 275,9 см, або на 5,6 см (2,1 %) порівняно з контролем. Найвищий показник відзначено за застосування КАС-30 + Zn – 282,6 см, що перевищувало контроль на 12,3 см (4,6 %). Використання КАС разом із препаратом «Авангард Кукурудза» забезпечило висоту рослин 278,4 см, що було на 8,1 см (3,0 %) більше, ніж на контролі. Аналогічна закономірність спостерігалася щодо висоти прикріплення качана, яка збільшилася з 121,2 см на контролі до 128,6 см за внесення КАС-30 + Zn. Довжина ніжки качана також зростала від 9,6 до 11,1 см, що свідчить про позитивний вплив позакореневого підживлення на розвиток генеративних органів (табл. 2).

Таблиця 2. Висота рослин, кріплення качанів та довжина ніжки качана у ранньостиглих гібридів кукурудзи залежно від позакореневих підживлень, см (середнє 2022–2024 рр.)

Фактор А	Фактор В	Висота рослин	Висота кріплення качанів	Індекс співвідношення	Довжина ніжки качана
ФЕРНАНДО ФАО 260	контроль	270,3	121,2	0,448	9,6
	КАС 30	275,9	124,9	0,453	10,2
	КАС 30 + Zn	282,6	128,6	0,455	11,1
	КАС + Авангард Кукурудза	278,4	126,7	0,455	10,7
Лауро ФАО 300	контроль	283,4	124,3	0,439	10,9
	КАС 30	287,1	128,5	0,448	11,8
	КАС 30 + Zn	294,6	132,6	0,450	12,5
	КАС + Авангард Кукурудза	291,0	130,2	0,447	12,0
АКУСТИКА ФАО 350	контроль	292,1	129,1	0,442	9,7
	КАС 30	298,4	133,6	0,448	10,4
	КАС 30 + Zn	305,3	138,1	0,452	11,3
	КАС + Авангард Кукурудза	302,3	136,4	0,451	10,9

Для гібриду Лауро (ФАО 300) характерними були вищі морфологічні показники порівняно з ФЕРНАНДО. Висота рослин на контрольному варіанті становила 283,4 см, а за використання КАС-30 + Zn досягала 294,6 см, що на 11,2 см (4,0 %) перевищувало контроль. За внесення КАС-30 висота рослин збільшилася до 287,1 см, тоді як застосування КАС із препаратом «Авангард Кукурудза» забезпечило 291,0 см. Висота прикріплення качана відповідно зросла з 124,3 до 132,6 см, а довжина ніжки качана – з 10,9 до 12,5 см. Отримані результати свідчать про високу чутливість цього гібриду до позакореневого підживлення.

Найвищими морфологічними показниками характеризувався гібрид АКУСТИКА (ФАО 350). На контрольному варіанті висота рослин становила 292,1 см, тоді як за внесення КАС-30 + Zn вона досягла 305,3 см, що перевищувало контроль на 13,2 см (4,5 %). Застосування КАС-30 забезпечило збільшення висоти рослин до 298,4 см, а використання КАС разом із препаратом «Авангард Кукурудза» – до 302,3 см. Висота прикріплення качана змінювалася від 129,1 до 138,1 см, а довжина ніжки качана – від 9,7 до 11,3 см. Це свідчить про інтенсивний ріст рослин та активний розвиток генеративних органів за умов оптимізованого мінерального живлення.

Порівняння досліджуваних гібридів показало, що зі збільшенням групи стиглості закономірно підвищувалися висота рослин і висота прикріплення качана. Найвищі рослини формував гібрид АКУСТИКА (ФАО 350), середні показники були характерні для Лауро (ФАО 300), тоді як найнижчі – для ФЕРНАНДО (ФАО 260). Найбільшу ефективність серед досліджуваних варіантів підживлення незалежно від гібрида забезпечило застосування КАС-30 у поєднанні з цинком, що сприяло максимальному збільшенню всіх морфологічних показників. Варіант із застосуванням КАС разом із препаратом «Авангард Кукурудза» також позитивно впливав на ріст і розвиток рослин, проте за ефективністю дещо поступався варіанту КАС-30 + Zn.

Індекс співвідношення коливається в межах 0,439–0,455, що є типовим для сучасних гібридів кукурудзи. Найвищі значення отримано за внесення КАС-30 + Zn, що свідчить про більш інтенсивний розвиток рослин і оптимальне розміщення качана на стеблі. Це вважається сприятливим для механізованого збирання та реалізації високого потенціалу продуктивності.

Висновки. Формування морфологічних ознак рослин кукурудзи істотно залежало від біологічних особливостей гібридів та системи азотно-мікроелементного живлення. Із підвищенням групи стиглості закономірно збільшувалися висота рослин, висота прикріплення качана та довжина ніжки качана. Найефективнішим варіантом удобрення виявилося поєднання КАС-30 із цинковмісним мікродобривом, яке забезпечило найвищі значення всіх досліджуваних морфологічних показників незалежно від гібрида. Застосування КАС-30 у комплексі з мікродобривом «Авангард Кукурудза» також позитивно впливало на ріст і розвиток рослин, однак поступалося за ефективністю варіанту КАС-30 + Zn. Найвищі морфологічні показники сформував гібрид Акустика (ФАО 350), у якого за внесення КАС-30 + Zn висота рослин досягла 305,3 см, висота прикріплення качана – 138,1 см. Отримані результати підтверджують доцільність використання КАС-30 у поєднанні з цинковмісними мікродобривами як ефективного елемента технології вирощування кукурудзи в умовах західного Лісостепу України.

Перспективи подальших досліджень доцільно спрямувати на визначення впливу різних доз і строків застосування азотно-мікроелементного живлення, зокрема цинку, на продуктивність та якість зерна гібридів кукурудзи різних груп стиглості. Важливим напрямом також є оцінювання економічної та енергетичної ефективності використання мікродобрив у поєднанні з КАС-30 за різних погодних умов західного Лісостепу України.

Список використаних джерел

1. Забарна Т. А., Броннікова Л. Ф., Остапчук Р. В. Вплив рівнів мінерального живлення на індивідуальну продуктивність та урожайність різностиглих гібридів кукурудзи. Таврійський науковий вісник. 2025. № 142(1). С. 49–59. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.142.1.8

2. Іващук В. П., Небаба К. С. Вплив регуляторів росту й мінерального живлення на формування структурних елементів урожаю кукурудзи на зерно. *Український журнал природничих наук.* 2025. Вип. 14. С. 202–209. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.14.2025.19

3. Лень О. І., Тоцький В. М., Гангур В. В., Єремко, Л. С. Вплив системи удобрення та основного обробітку ґрунту на продуктивність гібридів кукурудзи. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2021. № 2. С. 52–58. https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.06

4. Молдован Ж. А., Собчук С. І. Оцінка показників індивідуальної продуктивності рослин кукурудзи за допосівної обробки насіння та позакореневого підживлення. Зернові культури. 2018. № 2*(1).* С. 101–108. https://doi.org/10.31867/2523-4544/0014

5. М'ялковський Р. О., Хмелянчишин Ю. В., Плахтій Д. П., Лапчинський В. В. Агроекологічно обґрунтоване азотно-мікроелементне живлення кукурудзи в умовах західного лісостепу україни. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка.* 2026. № 50. С. 145–150. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-1-18

6. Паламарчук В.Д., Демчук Б.С. Роль позакореневих підживлень у сучасних технологіях вирощування зернової кукурудзи. Сільське господарство та лісівництво. 2021. № 20. С. 60–76. https://doi.org/10.37128/2707-5826-2021-5

7. Сеник І. І., Оничко В. І., Наумов Є. О. Динаміка висоти рослин кукурудзи залежно від форм і норм внесення азотних добрив в умовах Північного Сходу України. *Аграрні інновації.* 2023. № 20. С. 69–75. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.20.11

8. Хмелюк О. Система удобрення кукурудзи. LNZ Group. URL: https://www.lnz.com.ua/news/sistema-udobrenna-kukurudzi (дата звернення 20.06.2026 р.)

9. Черчель В. Ю., Марочко В. А., Таганцова М. М. Обґрунтування індексу співвідношення висоти прикріплення верхнього качана до висоти рослини гібридів кукурудзи *(Zea mays L.)*. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин.* 2014. № 2*(23)*. С. 37–39. https://doi.org/10.21498/2518-1017.2(23).2014.56127

10. Юрченко С. О., Шакалій С. М., Баган А. В. Формування продуктивного потенціалу гібридів кукурудзи за групами стиглості. Аграрні інновації. 2022. № 13. С. 7–11. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.13.1

11. Khomina V., Lapchynskyi V., Nebaba K., Pustova Z., Plahtiy D. Microbial inoculants as a means of improving soil and crop yields. *Scientific Horizons.* 2024. Vol. 27, No. 10. P. 79–90. https://doi.org.10.48077/scihor10.2024.79

12. Rasheed A., Jie H., Ali B., He R., Zhao L., Ma Y., Xing H., Qari S.H., Hassan M.U., Hamid M.R., Jie Y. Breeding drought-tolerant maize (Zea mays) using molecular breeding tools: Recent advancements and future prospective. Agronomy. 2023. Vol. 13(6). P. 1459. https://doi.org/10.3390/agronomy13061459

13. Shahini E., Myalkovsky R., Nebaba K., Ivanyshyn O., Liubytska D. Economic and biological characteristics and productivity analysis of sunflower hybrids. *Scientific Horizons*. 2023. Vol. 26, No. 8. P. 83–95. https://doi.org/10.48077/scihor8.2023.83

14. Sheoran S., Kaur Y., Kumar S., Shukla S., Rakshit S., Kumar R.Recent Advances for Drought Stress Tolerance in Maize *(Zea mays L.)*: Present Status and Future Prospects. *Frontiers in Plant Science.* 2022. Vol. 13. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.872566

15. Shkatula Yu., Matsera O., Zabarna T. The application of different fertilizer system for the formation of corn (Zea mays) hybrids grain productivity. *Ukrainian Journal of Natural Sciences.* 2022. Vol. 4(27). P. 25–40. https://doi.org/10.37128/2707-5826-2022-4-3

Muliarchuk O. I.
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Horticulture and Viticulture,
Higher Educational Institution «Podillia State University»
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *muliarchukoi@pdatu.edu.ua*
ORCID: *0000-0003-2072-8536*

Dudka S. D.
Senior Lecturer at the Department of Machinery Use, Agronomy, and Agrotechnologies,
Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
«Berezhany Agrotechnical Institute»
Berezhany, Ukraine
E-mail: *skepechshuk@gmail.com*
ORCID: *0009-0008-7012-3790*

Bialkovska O. A.
Doctor of Economic Sciences,
Professor at the Department of Energy Saving Technologies and Biomedical Engineering,
Higher Educational Institution «Podillia State University»
Kamianets-Podilskyi, Ukraine;
Head of the International Scientific Cooperation Department
National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
E-mail: *Ksenish05@gmail.com*
ORCID: *0000-0002-8239-2700*

Plahtiy D. P.
Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor at the Department of Chemistry, Ecology and General Biological Subjects,
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *Loringswoe@gmail.com*
ORCID: *0000-0002-2014-9748*

Martyniuk S. V.
Master's degree Student,
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *hmelya1975@gmail.com*
ORCID: *0009-0000-2454-5185*

EFFECT OF NITROGEN AND MICRONUTRIENT NUTRITION ON THE FORMATION OF MORPHOLOGICAL TRAITS IN MAIZE HYBRIDS OF DIFFERENT MATURITY GROUPS

Abstract

Modern maize cultivation technologies require the optimization of mineral nutrition systems to ensure the effective realization of the genetic potential of hybrids belonging to different maturity groups. Particular attention is paid to the combined application of nitrogen fertilizers and micronutrients, especially zinc, which plays an important role in physiological and biochemical processes and contributes to the formation of highly productive agrocenoses.

The article presents the results of field experiments aimed at determining the influence of nitrogen and micronutrient nutrition on the formation of morphological traits of maize hybrids of different maturity groups under the conditions of the Western Forest-

Steppe of Ukraine. The experiments were carried out during 2022–2024 on podzolized chernozem soil using a two-factor experimental design with the maize hybrids Fernando (FAO 260), Lauro (FAO 300), and Akustyka (FAO 350). The effectiveness of urea-ammonium nitrate solution (UAN-30), UAN-30 combined with a chelated zinc fertilizer, and UAN-30 combined with the complex micronutrient fertilizer "Avangard Kukurudza" was evaluated.

The results demonstrated that nitrogen and micronutrient nutrition positively affected plant height, ear attachment height, ear shank length, and the ratio index of ear attachment height to plant height. The highest values of all studied morphological traits, regardless of hybrid maturity group, were obtained with the combined application of UAN-30 and the zinc-containing micronutrient fertilizer. The Akustyka hybrid (FAO 350) produced the highest plant height (305.3 cm), ear attachment height (138.1 cm), and ear shank length (11.3 cm). The Fernando and Lauro hybrids also showed significant improvements in morphological characteristics under the UAN-30 + Zn treatment compared with the other fertilization variants. The application of UAN-30 together with the "Avangard Kukurudza" micronutrient fertilizer also improved plant growth, although its effectiveness was slightly lower than that of the zinc treatment.

The obtained results confirm the feasibility of combining nitrogen fertilization with zinc-containing micronutrient fertilizers to improve maize growth and development and to enhance the productive potential of modern hybrids under the conditions of the Western Forest-Steppe of Ukraine.

Key words: *maize, UAN-30, zinc, micronutrient fertilizers, foliar fertilization, plant height, ear attachment height, Western Forest-Steppe of Ukraine.*

References

1. Zabarna, T.A., Bronnikova, L.F., & Ostapchuk, R.V. (2025). Vplyv rivniv mineralnoho zhyvlennia na indyvidualnu produktyvnist ta urozhainist riznostyhlykh hibrydiv kukurudzy [Influence of mineral nutrition levels on individual productivity and yield of maize hybrids of different maturity]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*, 142(1), 49–59. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.142.1.8 [in Ukrainian].

2. Ivashchuk, V. P., & Nebaba, K. S. (2025). Vplyv rehuliatoriv rostu y mineralnoho zhyvlennia na formuvannia strukturnykh elementiv urozhaiu kukurudzy na zerno [The influence of plant growth regulators and mineral nutrition on the formation of maize grain yield structural components]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychykh nauk,* 14, 202–209. https://doi.org/10.32782/naturaljournal.14.2025.19 [in Ukrainian].

3. Len, O.I., Totskyi, V.M., Hanhur, V.V., & Yeremko, L.S. (2021). Vplyv systemy udobrennia ta osnovnoho obrobitku gruntu na produktyvnist hibrydiv kukurudzy [Influence of fertilization system and primary tillage on maize hybrid productivity]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 2, 52–58. https://doi.org/10.31210/visnyk2021.02.06 [in Ukrainian].

4. Moldovan, Zh.A., & Sobchuk, S.I. (2018). Otsinka pokaznykiv indyvidualnoi produktyvnosti roslyn kukurudzy za doposivnoi obrobky nasinnia ta pozakorenevoho pidzhyvlennia [Assessment of individual productivity indicators of maize plants under pre-sowing seed treatment and foliar fertilization]. *Zernovi kultury*, 2(1), 101–108. https://doi.org/10.31867/2523-4544/0014 [in Ukrainian].

5. Mialkovskyi, R. O., Khmelianchyshyn, Yu. V., Plakhtii, D. P., & Lapchynskyi, V. V. (2026). Ahroekolohichno obgruntovane azotno-mikroelementne zhyvlennia kukurudzy v umovakh zakhidnoho Lisostepu Ukrainy [Agroecologically substantiated nitrogen and micronutrient nutrition of maize under the conditions of the Western Forest-Steppe of Ukraine]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika*, 50, 145–150. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-1-18 [in Ukrainian]

6. Palamarchuk, V.D., & Demchuk, B.S. (2021). Rol pozakorenevykh pidzhyvlen u suchasnykh tekhnolohiiakh vyroshchuvannia zernovoi kukurudzy [The role of foliar fertilization in modern grain maize cultivation technologies]. *Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo*, 20, 60–76. https://doi.org/10.37128/2707-5826-2021-5 [in Ukrainian].

7. Senyk I. I., Onychko V. I., Naumov Ye. O. Dynamika vysoty roslyn kukurudzy zalezhno vid form i norm vnesennia azotnykh dobryv v umovakh Pivnichnoho Skhodu Ukrainy. [Dynamics of maize plant height depending on the forms and application rates of nitrogen fertilizers under the conditions of North-Eastern Ukraine]. *Ahrarni innovatsii*. 2023. No. 20. P. 69–75. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.20.11

8. Khmeluk, O. (n.d.). Systema udobrennia kukurudzy [Maize fertilization system]. LNZ Group. Retrieved from: https://www.lnz.com.ua/news/sistema-udobrenna-kukurudzi [in Ukrainian].

9. Cherchel, V. Yu., Marochko, V. A., & Tahantsova, M. M. (2014). Obgruntuvannia indeksu spivvidnoshennia vysoty prykriplennia verkhnoho kachana do vysoty roslyny hibrydiv kukurudzy *(Zea mays L.)* [Substantiation of the index of the ratio of upper ear attachment height to plant height in maize hybrids *(Zea mays L.)*]. *Plant Varieties Studying and Protection*, 2(23), 37–39. https://doi.org/10.21498/2518-1017.2(23).2014.56127 [in Ukrainian].

10. Yurchenko, S.O., Shakalii, S.M., & Bahan, A.V. (2022). Formuvannia produktyvnoho potentsialu hibrydiv kukurudzy za hrupamy styhlosti [Formation of productive potential of maize hybrids by maturity groups]. *Ahrarni innovatsii*, 13, 7–11. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.13.1 [in Ukrainian].

11. Khomina V., Lapchynskyi V., Nebaba K., Pustova Z., & Plahtiy D. (2024). Microbial inoculants as a means of improving soil and crop yields. *Scientific Horizons,* Vol. 27, No. 10. P. 79–90. https://doi.org.10.48077/scihor10.2024.79 [in English].

12. Rasheed, A., Jie, H., Ali, B., He, R., Zhao, L., Ma, Y., Xing, H., Qari, S. H., Hassan, M. U., Hamid, M. R., & Jie, Y. (2023). Breeding drought-tolerant maize *(Zea mays)* using molecular breeding tools: Recent advancements and future prospective. *Agronomy*, 13(6), 1459. https://doi.org/10.3390/agronomy13061459 [in English].

13. Shahini E., Myalkovsky R., Nebaba K., Ivanyshyn O., & Liubytska D. (2023). Economic and biological characteristics and productivity analysis of sunflower hybrids. *Scientific Horizons*, Vol. 26, No. 8. P. 83–95. https://doi.org/10.48077/scihor8.2023.83 [in English].

14. Sheoran, S., Kaur, Y., Kumar, S., Shukla, S., Rakshit, S., & Kumar, R. (2022). Recent advances for drought stress tolerance in maize *(Zea mays L.)*: Present status and future prospects. *Frontiers in Plant Science*, 13, 872566. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.872566 [in English].

15. Shkatula, Yu., Matsera, O., & Zabarna, T. (2022). The application of different fertilizer systems for the formation of corn *(Zea mays)* hybrids grain productivity. *Agriculture and Forestry*, 4(27), 25–40. https://doi.org/10.37128/2707-5826-2022-4-3 [in English].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 31.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 04.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026

УДК 635.042
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-13

Овчарук В. І.
доктор сільськогосподарських наук,
професор кафедри садівництва і виноградарства,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: *ovcharukvi@pdatu.edu.ua*
ORCID: *0009-0008-9270-561X*

Сенченко Є. О.
аспірант кафедри садівництва і виноградарства,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: *yevhenii.senchenko@gmail.com*
ORCID: *0009-0000-4483-1023*

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКТИВНОСТІ СОРТІВ ОЗИМОГО ЧАСНИКУ ЛЮБАША ТА ІРЕН

Анотація

Збільшення продуктивності озимого часнику залишається одним із пріоритетних напрямів розвитку вітчизняного овочівництва, адже ця культура відзначається високою продовольчою цінністю, а попит на якісну товарну продукцію на внутрішньому та зовнішньому ринках щороку стабільно зростає. В умовах змін погодних факторів, в тому числі глобальних, особливої актуальності набуває науково обґрунтований добір сортів, здатних поєднувати високу потенційну врожайність із стабільністю формування якісної продукції за різних ґрунтово-кліматичних умов вирощування, зокрема за коливань температурного режиму та вологозабезпеченості в осінньо-зимовий та ранньовесняний періоди. Водночас недостатня вивченість реакції окремих сортів озимого часнику на конкретні агроекологічні умови вирощування суттєво ускладнює обґрунтований вибір сорту для товарного виробництва, що зумовлює необхідність поглибленої порівняльної оцінки продуктивності та господарсько-цінних ознак найбільш поширених у виробництві сортів озимого часнику.

Дослідження проведено впродовж 2025–2026 рр. методом польового порівняльного досліду, в межах якого за однакових агротехнічних умов вивчали два сорти озимого часнику, а саме: Любаша та Ірен. Дослід закладали за загальноприйнятими методиками овочівництва, з дотриманням принципів повторності та випадковості розміщення варіантів. Садіння зубків проводили наприкінці жовтня-початку листопада 2025 року. Упродовж вегетації фіксували ключові фенологічні фази, зокрема: укорінення, появу сходів, припинення осінньої вегетації, відновлення весняного росту, стрілкування, формування суцвіть та дозрівання. Також визначали біометричні показники рослин, ступінь перезимівлі й інтенсивність росту. Збирання врожаю завершено на початку липня 2026 року. Після збирання здійснювали структурний аналіз урожаю: врожайність, середню масу цибулини та її діаметр, кількість і масу зубків, а також частку товарної продукції для кожного сорту. Статистичну обробку результатів проведено методом дисперсійного аналізу з визначенням достовірності відмінностей між сортами.

За результатами дослідження встановлено чіткі сортові відмінності за врожайністю та комплексом господарсько-цінних ознак. Сорт Любаша забезпечив вищу врожайність, що зумовлено, серед іншого, переважно більшою середньою масою цибулини та її діаметром. Сорт Любаша має перевагу за показниками крупноплідності. За часткою товарної продукції обидва сорти показали високий рівень, що свідчить про добру виповненість цибулин і придатність обох сортів до товарного виробництва.

За результатами дослідження науково обґрунтовано доцільність вирощування сорту озимого часнику Любаша для товарного виробництва з орієнтацією на максимальну врожайність та крупноплідність продукції, тоді як сорт озимого часнику Ірен, попри дещо нижчу врожайність, доцільно рекомендувати виробникам, для яких пріоритетними є стабільність формування врожаю у відносно менші часові проміжки та висока товарність продукції. Отримані дані дозволяють диференційовано підходити до вибору сорту озимого часнику залежно від виробничих цілей господарства: сорт Любаша – для максимізації обсягів виробництва, сорт Ірен – для стабільного формування якісної товарної продукції у відносно менші часові проміжки.

Ключові слова: *озимий часник, сорт Любаша, сорт Ірен, урожайність, товарність продукції, удобрення, порівняльна оцінка, маса цибулини.*

Вступ. Озимий часник (Allium sativum L.) – одна з найцінніших продовольчих і лікувально-профілактичних овочевих культур, яку вирощують вже понад п'ять тисячоліть, а продукція якої є джерелом білків, вуглеводів та вітамінів. Зважаючи на виражені бактерицидні властивості, озимий часник широко використовують у консервній, м'ясо-молочній та фармацевтичній промисловості, а також для подовження термінів зберігання іншої овочевої продукції [1; 5].

© Овчарук В. І., Сенченко Є. О., 2026 pISSN 2706-9052, eISSN 2706-851X

За енергетичною цінністю часник наближається до зернових культур і за цим показником перевершує більшість овочевих рослин [5].

За даними Державної служби статистики України, зібрана площа часнику в Україні протягом 2015–2025 рр. пройшла через виразний цикл: від 20,8 тис. га у 2015 р. вона зросла до пікових значень 23,6–23,8 тис. га у 2019–2020 рр., після чого скоротилася й стабілізувалася на рівні 20,3–20,6 тис. га у 2022–2025 рр. –тобто фактично повернулася до показників десятирічної давнини [2]. Аналогічну динаміку демонструє й валовий обсяг виробництва: після піку у 2019 та 2021 рр. (215,1 тис. т) він знизився до 186–188 тис. т у 2023–2025 рр., що становить скорочення близько 13% від максимального рівня [2]. Показовою є і динаміка врожайності: зростання з 8,47 т/га у 2015 році до максимуму 9,29 т/га у 2021 році змінилося поступовим, але стійким зниженням – до 8,96 т/га у 2025 році [2]. Така тенденція вказує на вичерпання резервів зростання продуктивності в межах чинних технологій вирощування та сортового складу і підтверджує необхідність їх удосконалення, зокрема через науково обґрунтований добір високопродуктивних сортів.

Аналіз даних зовнішньої торгівлі за 9 місяців 2025 року свідчить, що Україна є практично самозабезпеченою часником: обсяг експорту становив 340,5 т з середньою ціною 2,38 дол. США/кг, тоді як імпорт – 4 718,3 т з середньою ціною 1,82 дол. США/кг [2]. Помітно нижча середня ціна імпортної продукції (1,82 дол. США/кг) порівняно з експортною (2,38 дол. США/кг) свідчить про цінову конкуренцію з боку більш дешевого імпортного часнику, що посилює значення підвищення економічної ефективності та якості вітчизняного виробництва за рахунок оптимізації сортового складу.

Важливим чинником, що визначає можливості добору сортів для товарного виробництва, є обмежена кількість сортів озимого часнику, офіційно допущених до вирощування в Україні. Відповідно до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні, станом на сьогодні зареєстровано лише 7 сортів озимого часнику: Амулет, Дюшес, Ірен, Любаша, Мереф'янський білий, Супер Любаша та Титан [3]. Порівняно невелика кількість зареєстрованих сортів обмежує можливості виробників щодо диференційованого підбору сорту відповідно до конкретних ґрунтово-кліматичних умов та виробничих цілей господарства, що додатково підкреслює значення порівняльного вивчення продуктивності найпоширеніших з них, зокрема, сортів Любаша та Ірен, які набули широкого практичного застосування у виробництві.

В умовах змін клімату особливої актуальності набуває науково обґрунтований добір сортів, здатних поєднувати високу потенційну врожайність зі стабільністю формування якісної продукції за різних агроекологічних умов вирощування, зокрема за коливань температурного режиму та вологозабезпеченості в осінньо-зимовий та ранньовесняний періоди. Дослідження сортового різноманіття часнику озимого в умовах Правобережного Лісостепу України підтверджують істотну диференціацію генотипів за комплексом господарсько цінних ознак, зокрема врожайністю, масою та діаметром цибулини, товарністю і стабільністю їх прояву. Одним з важливих заходів підвищення врожайності часнику озимого, значне поліпшення його якості, є впровадження у виробництво кращих, високоврожайних, стійких до хвороб і придатних до механізованого збирання та тривалого зберігання сортів. Водночас недостатня вивченість реакції окремих сортів озимого часнику на конкретні умови господарства суттєво ускладнює обґрунтований вибір сорту для товарного виробництва, що зумовлює необхідність поглибленої порівняльної оцінки продуктивності та господарсько-цінних ознак найбільш поширених у виробництві сортів. Дослідження сортового різноманіття часнику озимого в умовах Правобережного Лісостепу України підтверджують істотну диференціацію генотипів за комплексом господарсько цінних ознак, зокрема врожайністю, масою та діаметром цибулини, товарністю і стабільністю їх прояву [4]. Зокрема, за результатами оцінювання 65 сортів і місцевих форм часнику озимого в умовах Правобережного Лісостепу України сорт Любаша характеризувався високим біологічним потенціалом [10].

Метою дослідження є порівняльна оцінка продуктивності та якісних показників сортів озимого часнику Любаша та Ірен за однакових агротехнічних умов вирощування в Південно-Західному Лісостепі України.

Дослідження спрямоване на з'ясування закономірностей формування продуктивності та якості продукції рослинами часнику озимого залежно від сортових особливостей, а також на обґрунтування доцільності практичного застосування досліджуваних сортів у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах господарства.

Для реалізації сформульованої мети було поставлено такі завдання:

– з'ясувати особливості проходження основних фенологічних фаз розвитку рослин (укорінення, сходи, перезимівля, стрілкування, дозрівання) у сортів Любаша та Ірен за однакових умов вирощування;

– встановити рівень перезимівлі та інтенсивність весняного відростання рослин досліджуваних сортів;

– дослідити вплив сортових особливостей на формування елементів структури врожаю: масу цибулини, її діаметр, кількість і масу зубків;

– порівняти показники врожайності досліджуваних сортів озимого часнику та визначити чинники, що зумовлюють виявлені відмінності;

– оцінити якісні показники отриманої продукції, зокрема частку товарної продукції, для кожного із сортів;

– обґрунтувати практичні рекомендації щодо доцільності вирощування сортів Любаша та Ірен залежно від виробничих цілей господарства.

Виклад основного матеріалу дослідження. Польовий дослід було закладено на сільськогосподарських угіддях Хмельницької області, яка належить до зони Південно-Західного Лісостепу України. Ділянки є типовими за ґрунтово-кліматичними умовами для даної зони вирощування овочевих культур. Ґрунт дослідної ділянки характеризується достатнім рівнем природної родючості та сприятливими агрофізичними властивостями, а реакція ґрунтового розчину близька до нейтральної, що повністю відповідає біологічним вимогам озимого часнику. Попередником у сівозміні була соя, що узгоджується з принципами науково обґрунтованого чергування культур і сприяє зниженню фітосанітарного навантаження на посіви часнику. Одразу після збирання попередника проводили лущення стерні для знищення падалиці та проростаючих бур'янів. Основний обробіток ґрунту включав оранку з наступним вирівнюванням поверхні поля та передпосадкову культивацію, а для остаточного розпушування верхнього шару та знищення проростків бур'янів застосовували штригель-борону.

Погодні умови періоду вегетації 2025–2026 рр. на науково-дослідній ділянці загалом відповідали нормі, характерній для зони Південно-Західного Лісостепу, і сприяли нормальному проходженню основних фенологічних фаз розвитку рослин обох сортів. Осінній період (жовтень–листопад 2025 року) характеризувався помірно теплою погодою з поступовим зниженням середньодобової температури повітря від +10…+12 °С на початку жовтня до 0…+3 °С у листопаді, що забезпечило своєчасне укорінення зубків і появу сходів до настання стійких морозів. Зимовий період відзначався типовим для регіону чергуванням короткочасних похолодань (до –8…–10 °С) та відлиг за наявності нестійкого сніжного покриву, що в цілому створювало задовільні умови для перезимівлі рослин озимого часнику. Період інтенсивного росту та формування цибулини (квітень–червень 2026 року) супроводжувався характерною для регіону кількістю опадів (50–70 мм на місяць) та помірними температурами (+15…+22 °С), що позитивно позначилося на формуванні листкового апарату та наливанні цибулин.

Садіння озимого часнику обох сортів здійснювали у період з 26 жовтня 2025 року по 1 листопада 2025 р., що відповідає оптимальним строкам для формування достатньо розвиненої кореневої системи до настання стійких морозів [8]. Норма висіву посадкового матеріалу становила 9 кг на 0,01 га. Використовували вирівняний за фракцією посадковий матеріал сортів Любаша та Ірен: зубки відокремлювали вручну, калібрували та проводили візуальний відбір здорового матеріалу без механічних пошкоджень і ознак ураження хворобами. З метою профілактики грибкових інфекцій зубки перед садінням обробляли фунгіцидним протруйником згідно з регламентом застосування.

Садіння виконували вручну рядковим способом за схемою 40 × 10 см (міжряддя × відстань між рослинами в рядку) і глибиною загортання зубків 10 см.

Система удобрення враховувала біологічні особливості культури: восени під основний обробіток ґрунту вносили нітроамофоску в нормі 3 кг на 0,01 га для стартового забезпечення рослин фосфором і калієм та стимулювання розвитку кореневої системи, а навесні, у фазі активного відростання листків, проводили підживлення карбамідом у нормі 2 кг на 0,01 га для інтенсифікації наростання вегетативної маси та формування повноцінних цибулин [7].

Догляд за посівами передбачав комплекс агротехнічних і хімічних заходів. Ранньою весною 2026 року проводили боронування легкими боронами для руйнування ґрунтової кірки та поліпшення повітряного режиму ґрунту, а впродовж вегетації – міжрядні розпушування для знищення бур'янів і підтримання оптимальної структури ґрунту. Також застосовували систему захисту рослин: гербіциди, фунгіциди та інсектициди. Окремою важливою технологічною операцією було видалення квітконосних стрілок (стрілкування) з метою на перерозподіл пластичних речовин з генеративних органів на формування цибулини та здатна підвищувати врожайність часнику на 15–20% [1]. У міру необхідності також здійснювали поливи в критичні для вологозабезпечення фази – інтенсивного наростання листкового апарату та активного формування цибулини, оскільки нестача вологи в ці періоди спричиняє передчасне пожовтіння й відмирання листків знизу вгору та погіршує якість продукції [1].

Протягом вегетаційного періоду здійснювали регулярні фенологічні спостереження за рослинами обох сортів, фіксуючи строки появи сходів, інтенсивність наростання листків, початок стрілкування та дозрівання, а також здійснювали морфометричні вимірювання. Стан перезимівлі оцінювався шляхом підрахунку кількості збережених рослин навесні відносно кількості висаджених зубків.

Упродовж вегетації також проводили візуальні обстеження дослідних ділянок на ураженість рослин основними хворобами часнику, а саме: фузаріозом та пероноспорозом. За результатами обліку було виявлено ознаки ураження цими хворобами у 6,7% рослин сорту Любаша та 11,2% рослин сорту Ірен. Отримані результати свідчать про дещо вищу польову стійкість сорту Любаша до фузаріозу та пероноспорозу порівняно із сортом Ірен за умов проведення досліду, хоча рівень ураженості обох сортів загалом залишався невисоким і не мав істотного впливу на формування товарного врожаю.

Збирання врожаю проводили у фазі технічної стиглості, орієнтуючись на типові ознаки дозрівання часнику: пожовтіння та вилягання нижніх листків при збереженні 3-4 зелених листків у верхній частині рослини, що свідчить про завершення формування цибулини та достатню щільність покривних лусок. Облік урожаю здійснювали методом суцільного збирання з облікової площі кожної ділянки з наступним зважуванням продукції. Після викопування цибулини попередньо просушували в польових умовах для дозрівання покривних лусок, після чого очищали від ґрунту та залишків кореневої системи. За результатами обліку визначали загальну врожайність

сортів Любаша та Ірен, середню масу цибулини та її діаметр, кількість і масу зубків у цибулині, а також частку товарної продукції. До товарної відносили здорові, добре сформовані цибулини без механічних пошкоджень і ознак ураження хворобами [9].

Комплексна оцінка біометричних параметрів, фенологічних особливостей та показників індивідуальної продуктивності досліджуваних генотипів дозволила встановити чітку залежність формування врожаю від сортових характеристик часнику озимого за єдиної схеми вирощування. Узагальнені результати досліджень, що відображають календарні строки проходження основних етапів вегетації, параметри закладання експерименту, а також фінальний облік кількісних і якісних ознак досліджуваної культури, детально наведено у зведеній таблиці основних показників досліду (табл. 1).

Таблиця 1. Основні показники досліду

Етап / Показник досліду	Озимий часник (сорт Любаша)	Озимий часник (сорт Ірен)
Параметри та схема досліду		
Загальний розмір дослідного поля	0,4 га	0,4 га
Розмір однієї дослідної ділянки	10 м × 10 м = 100 м²	10 м × 10 м = 100 м²
Кількість дослідних ділянок	4 ділянки	4 ділянки
Схема садіння (міжряддя × в рядку)	40 см × 10 см	40 см × 10 см
Глибина загортання зубків	10 см	10 см
Календар фенологічних фаз		
Садіння зубків	26.10.2025–01.11.2025	26.10.2025–01.11.2025
Укорінення зубків	07.11.2025	05.11.2025
Поява сходів	23.11.2025	18.11.2025
Припинення вегетації (зимовий спокій)	07.12.2025	01.12.2025
Відновлення весняної вегетації	19.03.2026	11.03.2026
Початок стрілкування	15.05.2026	04.05.2026
Повне формування суцвіття	26.05.2026	18.05.2026
Початок дозрівання	20.06.2026	15.06.2026
Повне збирання врожаю	05.07.2026	01.07.2026
Облік урожайності та якості		
Врожайність, т/га	13,8	11,2
Середня маса цибулини, г	75,8	55,3
Діаметр цибулини, мм	52	45
Середня кількість зубків у цибулині, шт.	6	5
Середня маса одного зубка, г	12,6	11,1
Товарність продукції, %	94,4%	90,3%

Отримані експериментальні дані піддавали статистичній обробці методами варіаційної статистики за загальноприйнятою методикою польового досліду. Оцінку достовірності відмінностей між сортами за врожайністю проведено методом дисперсійного аналізу з розрахунком найменшої істотної різниці ($НІР_{05}$). Розрахункове значення $НІР_{05}$ для показника врожайності становило 1,1 т/га.

За результатами проведеного польового досліду встановлено, що застосована технологія вирощування дозволила зафіксувати високий рівень реалізації біологічного потенціалу рослин обох сортів озимого часнику та отримати високий рівень врожайності [6].

Висновки. За результатами проведеного польового досліду встановлено чіткі сортові відмінності в продуктивності та якісних показниках озимого часнику сортів Любаша та Ірен за однакових агротехнічних умов вирощування в Південно-Західному Лісостепі України.

Сорт Любаша забезпечив вищу врожайність – на рівні 13,8 т/га проти 11,2 т/га у сорту Ірен, що на 2,6 т/га, або на 23,2%, більше. Перевага сорту Любаша за врожайністю зумовлена комплексом елементів структури врожаю: більшою масою цибулини (75,8 г проти 55,3 г), її діаметром (52 мм проти 45 мм), а також дещо більшою кількістю (6 проти 5 шт.) і масою зубків у цибулині (12,6 г проти 11,1 г).

Обидва сорти продемонстрували високий рівень товарності продукції: 94,4% у сорту Любаша та 90,3% у сорту Ірен. Це узгоджується з рівнем фітосанітарного стану посівів: ураженість рослин фузаріозом і пероноспорозом становила 6,7% у Любаша проти 11,2% у Ірен, що свідчить про дещо вищу польову стійкість сорту Любаша до зазначених патогенів за умов проведення досліду.

В частині фенологічних спостережень сорт Ірен послідовно випереджав Любаша на всіх етапах розвитку – від укорінення (на 2 дні раніше) і появи сходів (на 5 днів раніше) до початку стрілкування (на 11 днів раніше) і збирання врожаю (на 4 дні раніше).

Отримані результати дають підстави для диференційованого підходу до вибору сорту залежно від виробничих цілей господарства: сорт Любаша доцільно рекомендувати для товарного виробництва, орієнтованого на максимізацію врожайності та крупноплідність продукції, тоді як сорт Ірен – для виробників, які надають перевагу

ранішньому дозріванню й скороченню тривалості польового періоду вирощування, попри дещо нижчі показники врожайності та товарності.

В контексті подальших досліджень слід врахувати, що оскільки наведені результати отримано за один вегетаційний сезон, доцільним є продовження досліду впродовж щонайменше трьох років для підтвердження стабільності виявлених сортових відмінностей за різних погодних умов і виключення впливу окремих аномалій конкретного року. Порівняльне вивчення динаміки природних втрат маси, розвитку хвороб та збереження товарних якостей обох сортів протягом тривалого чи короткочасного зберігання дозволить доповнити агрономічну характеристику економічною складовою. Перевірка отриманих закономірностей в інших ґрунтово-кліматичних зонах України (Степ, Полісся) дасть змогу встановити ступінь стабільності сортової реакції та обґрунтувати зональні рекомендації щодо вибору сорту.

Список використаних джерел

1. Барабаш О. Ю. Овочівництво: Підручник. К. : Вища шк., 1994. 374 с. : іл. ISBN 5-11-003617-9.
2. Державна служба статистики України. Офіційний сайт. URL: https://stat.gov.ua
3. Державний реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні / Міністерство економіки та довкілля України. Офіційний сайт. URL: https://me.gov.ua/view/942c9b12-4b75-4c0d-9c43-f088624ebb40
4. Кубрак С. М., Гуменюк Ю. В., Ус О. І., Волошина О. І. Класифікація сортів часнику озимого методом кластерного аналізу в умовах Правобережного Лісостепу України. *Збірник наукових праць «Агробіологія»*. 2021. № 1. С. 68–74. DOI: 10.33245/2310-9270-2021-163-1-68-74
5. Мельник О. В., Митенко І. М. Вирощування часнику озимого: рекомендації. Київ : Аграрна наука, 2020. 52 с.
6. Овчарук В. І., Сенченко Є. О. Вплив агротехнічних прийомів на врожайність озимого часнику. Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. 2026. № 1(50). С. 151–155. DOI: 10.37406/2706-9052-2026-1-19
7. Піддубна А. М. Вплив мінерального удобрення ґрунтів на накопичення важких металів та мікроелементів озимим часником. *Таврійський науковий вісник. Серія : Сільськогосподарські науки*. 2024. № 136, ч. 2. С. 98–104. DOI: https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.136.2.13
8. Пузік Л. М., Пузік В. К., Артьомов М. П., Гайова Л. О., Філімонова О. І. Вплив погодних умов вегетаційного періоду, строків посадки та особливостей сорту на ріст і розвиток рослин часнику озимого. *Інженерія природокористування.* 2020. № 2 (16). С. 19–24. DOI: https://doi.org/10.37700/enm.2020.2(16).19-24
9. Сич З. Д., Кубрак С. М. Оцінювання сортів і місцевих форм часнику озимого за господарсько цінними ознаками в умовах Правобережного Лісостепу України. *Збірник наукових праць «Агробіологія»*. 2020. № 1. С. 169–174. DOI: https://doi.org/10.33245/2310-9270-2020-157-1-169-174
10. Сич З.Д., Кубрак С.М., Мереженюк В.А. Біологічний потенціал сортів і місцевих форм часнику озимого в умовах Правобережного Лісостепу України. *Збірник наукових праць «Агробіологія»*. 2022. № 1. С. 114–121. DOI: 10.33245/2310-9270-2022-171-1-114-121

Ovcharuk V. I.
Doctor of Agricultural Sciences,
Professor at the Department of Horticulture and Viticulture,
Higher Educational Institution «Podillia State University»
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *ovcharukvi@pdatu.edu.ua*
ORCID: *0009-0008-9270-561X*

Senchenko Ye. O.
Postgraduate Student at the Department of Horticulture and Viticulture,
Higher Educational Institution «Podillia State University»
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *yevhenii.senchenko@gmail.com*
ORCID: *0009-0000-4483-1023*

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE YIELD CHARACTERISTICS OF THE WINTER GARLIC VARIETIES LIUBASHA AND IREN

Abstract

Increasing the yield of winter garlic remains one of the top priorities for the development of domestic vegetable production, as this crop has high nutritional value and the demand for high-quality commercial produce in both domestic and foreign markets is growing steadily every year. Given the growing instability of weather conditions and global climate change, the scientifically based selection of varieties capable of combining high potential yield with consistent production of high-quality under various soil and climatic growing conditions is becoming particularly important, particularly in the face of fluctuations in temperature and moisture availability during the fall, winter, and early spring periods. At the same time, the lack of research on how individual winter garlic varieties respond to specific agroecological growing conditions significantly complicates the grounded selection of varieties for commercial production, necessitating an in-depth comparative assessment of the productivity and economically valuable traits of the most widely cultivated winter garlic varieties.

The study was conducted during 2025-2026 using a comparative field experiment, during which two varieties of winter garlic – Liubasha and Iren – were studied under identical agronomic conditions. The experiment was set up according to generally accepted vegetable-growing methods, adhering to the principles of replication and random placement of treatments. Cloves were planted in late October-early November 2025. Throughout the growing season, key phenological phases were recorded, including rooting, emergence, cessation of fall growth, resumption of spring growth, bolting, inflorescence formation, and maturation. Biometric plant parameters, overwintering survival rate, and growth intensity were also determined. Harvesting was completed in early July 2026. After harvesting, a structural analysis of the crop was conducted, including yield, average bulb weight and diameter, number and weight of cloves, as well as the proportion of marketable produce for each variety. Statistical analysis of the results was performed using analysis of variance to determine the significance of differences between varieties.

The study results revealed clear varietal differences in yield and a range of economically valuable traits. The Liubasha variety yielded the highest harvest, primarily due to the higher average bulb weight and diameter. The Liubasha variety has superiority in terms of large-bulb characteristics. Percentage of marketable product was at high level for both varieties, indicating well-filled bulbs and the suitability of both varieties for commercial production.

The study's findings provide scientific evidence supporting the advisability of growing the Liubasha winter garlic variety for commercial production, with a focus on maximum yield and large-clove production, whereas the Iren winter garlic variety, despite its slightly lower yield, is recommended for growers who prioritize stable yield formation in relatively shorter time frames and high marketability of the product. The data obtained allow for a differentiated approach to selecting a winter garlic variety depending on the farm's production goals: the Liubasha variety for maximizing production volumes, and the Iren variety for consistently producing high-quality marketable products in relatively shorter time frames.

Key words: *winter garlic, Liubasha variety, Iren variety, yield, marketability, fertilization, comparative evaluation, bulb weight.*

References

1. Barabash, O. Y. (1994). Ovochivnytstvo [Vegetable growing]. Kyiv : Vyshcha shkola [in Ukrainian].
2. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy [State Statistics Service of Ukraine]. (n.d.). Ofitsiinyi sait [Official website]. Retrieved from https://stat.gov.ua [in Ukrainian].
3. Derzhavnyi reiestr sortiv roslyn, prydatnykh dlia poshyrennia v Ukraini [State Register of Plant Varieties Suitable for Dissemination in Ukraine]. (n.d.). Ministerstvo ekonomiky ta dovkillia Ukrainy [Ministry of Economy and Environment of Ukraine]. Retrieved from https://me.gov.ua/view/942c9b12-4b75-4c0d-9c43-f088624ebb40 [in Ukrainian].
4. Kubrak, S. M., Gumenjuk, Ju. V., Us, O. I., & Voloshyna, O. I. (2021). Klasyfikacija sortiv chasnyku ozymogo metodom klasternogo analizu v umovah Pravoberezhnogo Lisostepu Ukrai'ny [Winter garlic variety cluster analysis under conditions of Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Ahrobiolohiia – Agrobiology*, (1), 68–74. DOI: 10.33245/2310-9270-2021-163-1-68-74 [in Ukrainian]
5. Melnyk, O. V., & Mytenko, I. M. (2020). Vyroshchuvannia chasnyku ozymoho: rekomendatsii [Cultivation of winter garlic: Recommendations]. Kyiv : Ahrarna Nauka [in Ukrainian].
6. Ovcharuk, V. I., & Senchenko, Y. O. (2026). Vplyv ahrotekhnichnykh pryiomiv na vrozhainist ozymoho chasnyku [The influence of agrotechnical methods on the productivity of winter garlic]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika* – Podilian Bulletin: agriculture, engineering, economics, 1(50), 151–155. DOI: https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-1-19 [in Ukrainian].
7. Piddubna, A. M. (2024). Vplyv mineralnoho udobrennia gruntiv na nakopychennia vazhkykh metaliv ta mikroelementiv ozymym chasnykom [The influence of mineral soil fertilizer on the accumulation of heavy metals and micro element by winter garlic]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk – Tavria Scientific Bulletin*, (136, Pt. 2), 98–104. DOI: https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.136.2.13 [in Ukrainian].
8. Pusik, L. M., Pusik, V. K., Artiomov, N. P., Gaevaya, L. A., & Filimonova, E. I. (2020). Vplyv pohodnykh umov vehetatsiinoho periodu, strokiv posadky ta osoblyvostei sortu na rist i rozvytok roslyn chasnyku ozymoho [Influence of weather conditions of the vegetation period, terms of planting and features of a grade on growth, development of plants of winter garlic]. *Inzheneriia pryrodokorystuvannia – Engineering of Nature Management*, 2(16), 19–24. DOI: https://doi.org/10.37700/enm.2020.2(16).19-24 [in Ukrainian].
9. Sych, Z. D., & Kubrak, S. M. (2020). Otsiniuvannia sortiv i mistsevykh form chasnyku ozymoho za hospodarsko tsinnymy oznakamy v umovakh Pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Evaluation of varieties and local forms of winter garlic for their economic characteristics in the conditions of right bank Forest Steppe of Ukraine]. *Ahrobiolohiia – Agrobiology*, (1), 169–174. DOI: https://doi.org/10.33245/2310-9270-2020-157-1-169-174 [in Ukrainian].
10. Sych, Z. D., Kubrak, S. M., & Merezheniuk, V. A. (2022). Biolohichnyi potentsial sortiv i mistsevykh form chasnyku ozymoho v umovakh Pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [The biological potential of winter garlic varieties and local forms under conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Ahrobiolohiia – Agrobiology*, (1), 114–121. DOI: https://doi.org/10.33245/2310-9270-2022-171-1-114-121 [in Ukrainian].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 04.08.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 08.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026

УДК 633.34:631.811.98: 581.132:631.526.3(292.485-15)
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-14

Ороховський А. О.
аспірант кафедри рослинництва, селекції та насінництва
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: *orokhovskyi.a2142@gmail.com*
ORCID: *0009-0000-9059-8285*

ПРОДУКТИВНІСТЬ РОСЛИН ТА УРОЖАЙНІСТЬ СОРТІВ СОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД СТРОКІВ І НОРМ ЗАСТОСУВАННЯ БІОСТИМУЛЯТОРІВ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ ЗАХІДНОГО

Анотація

У структурі сучасного виробництва зернобобових культур соя посідає домінантні позиції, виступаючи головним чинником формування фонду рослинного білка в Україні та світі. На нинішньому етапі розвитку агропромислового комплексу сою класифікують як стратегічну культуру з високим рівнем затребуваності для забезпечення людства білками рослинного походження та олією.

У статті висвітлено результати досліджень, за якими було встановлено основні аспекти, що впливають на формування врожайності сортів сої залежно від застосування біостимуляторів антистресантів.

За результатами польових досліджень, проведених впродовж 2023–2025 років, найвищі показники продуктивності сої сорту Ментор були за умов двократного застосування біостимуляторів Вуксал БІО Аскофол (WUXAL) та АЛЬГУМ ПЛЮС / ALHUM PLUS (Smart Grow). Зазначена схема обробки забезпечила оптимальний прояв адаптивного та продуктивного потенціалу культури порівняно з іншими варіантами досліду.

Найвищі показники кількості зерен у бобі у сорту Ментор відмічені на варіанті Вуксал БІО Аскофол, застосованого в 2 міжвузля (ВВСН 14) та бутонізацію (ВВСН 55) в кількості 1,0 л/га, які складали 2,7 шт., переважаючи контрольний варіант – без застосування біостимуляторів на 0,9 шт., та 0,1–0,5 шт. – інші варіанти досліду. У сорту Сірелія кількість зерен в бобі від застосування біостимуляторів-антистресантів становила 2,2–2,4 шт., що переважало контроль на 0,2–0,4 шт, але в цілому поступалась сорту Ментор.

Біологічна урожайність сої залежно від застосування біостимуляторів-антистресантів Вуксал БІО Аскофол та Альгум Плюс суттєво переважала контрольний варіант у сорту Ментор і знаходилась в межах 4,24–4,68 т/га, що на 0,41–0,85 т/га, порівняно з контролем – 3,83 т/га.

У сорту Сірелія показники були меншими і знаходилися на рівні 3,43 т/га на контролі, від застосування Вуксал БІО Аскофол – 3,72–4,50 т/га, та Альгум плюс – 3,58–4,02 т/га, тощо.

Застосування біостимулятора Вуксал БІО Аскофол в період ВВСН 14 та ВВСН 55 в кількості 1,0 л/га на варіанті сорту Ментор забезпечило найвищу врожайність 4,37 т/га. За роками досліджень відмічено, що найвищу урожайність отримали в 2025 році – від застосування Вуксал БІО Аскофол – 4,47–4,83 т/га, Альгум плюс – 4,25–4,51 т/га, на контролі – 4,08 т/га.

У сорту Сірелія урожайність була меншою за сорт Ментор. В середньому за 2023–2025 рр. на варіанті без застосування біостимуляторів урожайність становила 3,27 т/га, що на 0,38 т/га менше. Показники за роками становили в 2025 р. – 3,71 т/га, в 2024 р. – 3,21, в 2023 р. – 2,89 т/га. Найвищу врожайність встановлено також від дворазового внесення Вуксал БІО Аскофол в період ВВСН 14 та ВВСН 55 в кількості 1,0 л/га з показником 4,21 т/га.

Таким чином. застосування біостимуляторів-антистресантів сприяли підвищенню продуктивності рослин та врожайності зерна у сортів Ментор та Сірелія.

Ключові слова: *соя, агроценоз, сорт, біостимулятори-антистресанти, мікроелементи, зерно, маса 1000 насінин, живлення рослин, елементи технології вирощування.*

Вступ. Однією з нагальних потреб аграрної галузі України в умовах сучасних економічних та екологічних викликів є забезпечення сталого збільшення виробництва продукції рослинництва, у тому числі зерна високобілкових культур, а саме сої (*Glycine max* (L.) Merr.), як невичерпного джерела білка та цінної олії [1; 6]. Високий попит на сою на внутрішньому та світовому ринках зумовлює необхідність постійного пошуку технологічних рішень для підвищення її врожайності та якості насіння. Проте реалізація генетичного потенціалу сучасних сортів сої вітчизняної та зарубіжної селекції суттєво обмежується абіотичними стресами, зумовленими глобальними змінами клімату (посухи, екстремальні температурні коливання, пестицидний стрес) [9; 10; 15].

У контексті екологізації та біологізації сучасного землеробства традиційне інтенсивне застосування лише мінеральних добрив і хімічних засобів захисту рослин часто є економічно обтяжливим та екологічно небезпечним. Ефективним та інноваційним шляхом вирішення цієї проблеми є інтеграція в технологію вирощування сої ендогенних та екзогенних біостимуляторів рослинного, мікробного або синтетичного походження (на основі

© *Ороховський О. А., 2026*

амінокислот, фітогормонів, гумінових речовин та екстрактів водоростей). Застосування біостимуляторів на початкових етапах та під час критичних фаз вегетації активізує фізіолого-біохімічні процеси, стимулює розвиток кореневої системи та симбіотичного апарату рослин, підвищує їхню адаптивність до несприятливих умов довкілля та синергічно посилює засвоєння поживних речовин з ґрунту й добрив. У зв'язку з цим, комплексне наукове обґрунтування застосування сучасних біостимуляторів у технології вирощування сої є актуальним науково-практичним завданням [6].

Україна має всі необхідні передумови для успішного та високорентабельного вирощування сої (*Glycine max (L.) Merr.*) – наявність адаптованих високоврожайних сортів, сприятливі ґрунтово-кліматичні умови, а також всебічне використання розроблених новітніх вітчизняних технологій виробництва та переробки на кормові й харчові цілі [2; 9; 11; 12].

Соя здавна забезпечує людство високоякісним рослинним білком та олією, що робить її критично важливою для підтримки глобальної продовольчої безпеки [2; 4; 7; 14]. Проте, попри постійні досягнення в селекції та методах вирощування, поточні обсяги виробництва залишаються недостатніми для задоволення потреб зростаючого населення планети [4]. У порівняльній характеристиці глобальних сільськогосподарських культур біологічний потенціал урожайності сої є апріорі нижчим порівняно з провідними зерновими злаками, такими як кукурудза (*Zea mays L.*) та пшениця (*Triticum aestivum L.*). Цей диспаритет продуктивності зумовлює необхідність пошуку додаткових фізіологічних та агротехнічних важелів для інтенсифікації вирощування даної олійно-білкової культури. Середній коефіцієнт реалізації світового потенціалу врожайності сої становить лише 45%, що суттєво поступається аналогічним показникам кукурудзи (60%) та пшениці (68%). Цей розрив та низька ефективність використання генетичного потенціалу підкреслюють нагальну потребу в розробці інноваційних стратегій підвищення продуктивності сої [14], особливо під час її вегетації у складних екологічних умовах.

Головним абіотичним чинником, який обмежує продуктивність сільськогосподарських культур у всьому світі, є посуховий стрес [15]. Глобальні зміни клімату суттєво посилили парниковий ефект, що збільшило дефіцит вологи в атмосфері та призвело до частих і тривалих метеорологічних посух у більшості аграрних регіонів України [5; 8; 9; 11]. Посуха чинить деструктивний вплив на всі етапи онтогенезу сої – від проростання насіння до цвітіння та наливу зерна. Вона знижує польову схожість, погіршує приживлюваність рослин та викликає глибокі фізіологічні дисфункції, зокрема перекисне окислення ліпідів клітинних мембран, пригнічення антиоксидантних систем, осмотичний дисбаланс та різке зниження інтенсивності фотосинтезу [5].

У генеративний період дефіцит вологи супроводжується значним зниженням життєздатності пилку та абортацією бобів, що спричиняє критичні втрати кількості та маси насіння [11]. Додатково ситуація ускладнюється тим, що посуха часто супроводжується іншими стресорами навколишнього середовища, насамперед високими температурами та засоленістю ґрунтів [4; 5; 8; 15]. За умов комбінованого гідротермічного стресу в рослинному організмі різко активізуються гени, пов'язані з клітинним окисно-відновним балансом, диханням, позаклітинним метаболізмом полісахаридів, захисними реакціями та біосинтезом стероїдів [10; 14].

У зв'язку з цим виникає потреба в пошуку технологічних рішень, здатних екзогенно підтримати захисні системи рослини. Перспективним інноваційним напрямом є інтеграція в технологію вирощування сої поліфункціональних біостимуляторів. Застосування біостимуляторів антистресової та регуляторної дії дозволяє активізувати ендогенні адаптаційні механізми, нівелювати наслідки окисного стресу та оптимізувати водний баланс клітин, що є ключовим інструментом для подолання розриву між потенційною та фактичною врожайністю культури в умовах змін клімату.

Мета досліджень: дослідити вплив застосування біостимуляторів-антистресантів, періодів та норм їх внесення на формування продуктивності та урожайність сортів сої Ментор і Сірелія в умовах Лісостепу західного.

Виклад основного матеріалу дослідження. Експериментальну роботу проводили впродовж 2023–2025 рр. відповідно до «Методики державного сортовипробування сільськогосподарських культур» та «Методи аналізу в агрономії та агроекології» [8] згідно плану науково-дослідної роботи кафедри рослинництва, селекції та насінництва Закладу вищої освіти «Подільський державний університет» (державний реєстраційний номер 0126U00171) в умовах дослідної ділянки ТОВ «Козацька долина 2006», що розташована в с. Вихрівка, Кам'янець-Подільського району, Хмельницької області.

Аналіз метеорологічних умов у періоди вегетації (2023–2025 рр.) у зіставленні з багаторічними трендами свідчить, що гідротермічні показники коливалися в межах кліматичної норми, типової для зони Правобережного Лісостепу України. Польові досліди закладали за триразової повторності із систематичним розміщенням ділянок. Загальна площа дослідної ділянки становила 45 м², облікова – 25,2 м². Ґрунтовий покрив дослідного поля представлений чорноземом опідзоленим середньосуглинковим із такими агрохімічними характеристиками: вміст загального азоту – 0,158–0,167 %, концентрація рухомих сполук фосфору та калію (за модифікацією Чирікова) – 16,7 та 11,6 мг/100 г ґрунту відповідно. Фізико-хімічні властивості ґрунту характеризувалися сумою вбирних основ у діапазоні 158–209 мг-екв./кг, гідролітичною кислотністю на рівні 17–23 мг-екв./кг та високим ступенем насиченості основами (92 %).

Погодно-кліматичні умови регіону характеризуються достатнім забезпеченням тепла з недостанім рівнем зволоження. Підвищення температури відзначається у ранньовесняний період. У літній період спостерігається

підвищення температур. Тривалість теплого періоду становить 230–265 днів, а період активної вегетації – у межах 155–170 діб. Показники суми активних температур становлять 2300–2750°С, ГТК – на рівні 1,4–2,1, кількість опадів за рік знаходиться у межах 498–675 мм, середня температура повітря – 7,8°С.

Схема досліду була трифакторна в чотириразовому повторенні. У досліді вивчали сорти сої: Ментор і Сірелія. Сівбу проводили 25 квітня на глибину загортання насіння 3–4 см. Попередник – ярий ячмінь. Ширина міжрядь 45 см, норма висіву 450 тис. нас./га. Застосування біостимуляторів антистресантів проводили з препаратами Вуксал БІО Аскофол (WUXAL) та АЛЬГУМ ПЛЮС / ALHUM PLUS (Smart Grow) з внесенням в період розвитку сої: 2 міжвузля (ВВСН 14) Бутонізація (ВВСН 55) та 2 міжвузля (ВВСН 14)+ бутонізація (ВВСН 55), з нормою препарату – 0,5, 0,7, та 1,0 л/га з витратою робочого розчину 100 л/га, відповідно.

В процесі росту і розвитку посіву особливе місце займає динаміка та формування показників фотосинтетичної продуктивності агроценозу, оскільки це є основа урожайності сільськогосподарських культур [2; 5]. Проте тут варто відзначити, що домінуючу роль у фотосинтетичній продуктивності посіву відіграє темп і розміри формування листкової поверхні посіву так, як з цим показником пов'язані всі інші, що забезпечують продукування урожайності. Так, зокрема, темп і розміри асиміляційної поверхні посіву визначають інтенсивність поглинання вологи, елементів живлення та фотосинтетично активної радіації сонця. Внаслідок такого поєднання посівом нагромаджується суха речовина, що є основою вегетативної маси і накопичення продуктів асиміляції, які в подальшому забезпечують кількісне формування врожаю та повноцінність його якісних показників [2; 6].

На основі проведених експериментальних досліджень встановлено, що кількість бобів, маса зерен з рослини та біологічна врожайність залежно від застосування біостимуляторів-антистресантів на досліджуваних сортах сої у середньому за роки була різною і варіювала залежно від варіантів досліду.

Показники кількості зерен в бобі у Сорту Ментор від застосування Вуксал БІО Аскофол в період 2 міжвузля (ВВСН 14) та бутонізація (ВВСН 55) з нормою 1,0 л/га, становили 2,7 шт., що на 0,9 шт. переважало контрольний варіант – без внесення біостимуляторів, та 0,1–0,5 шт. інші варіанти досліду (табл. 1).

Таблиця 1. Динаміка продуктивності рослин сорту Ментор залежно від періоду та норми внесення біостимуляторів, середнє 2023–2025 рр.

Біостимулятор (фактор В)	Період та норми внесення, л/га (фактор С)		Кількість бобів, шт.	Кількість зерен в бобі, шт.	Кількість зерен на 1 рослині, шт.	Маса зерен з 1 рослини, г	Біологічна врожайність, т/га
Без застосування			23,7	1,8	42,7	9,32	3,83
Вуксал БІО Аскофол	ВВСН 14	0,5	20,6	2,2	45,3	10,81	4,24
		0,7	20,0	2,3	43,0	10,39	4,34
		1,0	17,9	2,6	46,7	10,65	4,46
	ВВСН 14 + ВВСН 55	0,5	19,3	2,4	46.3	10,63	4,47
		0,7	19,1	2,5	47,7	11,03	4,64
		1,0	17,7	2,7	47,9	11,12	4,68
	ВВСН 55	0,5	19,9	2,3	45,7	10,33	4,30
		0,7	19,1	2,4	45,8	10,78	4,52
		1,0	18,4	2,6	47,9	10,94	4,59
Альгум плюс	ВВСН 14	0,5	22,6	1,9	43,0	9,54	3,99
		0,7	21,5	2,0	43,1	9,68	4,05
		1,0	19,8	2,2	43,6	9,86	4,13
	ВВСН 14 + ВВСН 55	0,5	21,3	2,1	44,7	10,16	4,26
		0,7	19,6	2,3	45,2	10,35	4,34
		1,0	18,2	2,5	45,4	10,44	4,38
	ВВСН 55	0,5	22,3	2,0	44,6	10,02	4,12
		0,7	21,5	2,1	45,2	10,24	4,21
		1,0	20,1	2,3	46,3	10,51	4,32

Маса зерен з рослини від застосування біостимуляторів-антистресантів зростала і різнилася залежно від препарату та способів його застосування. При внесенні БІО Аскофол в період 2 міжвузля (ВВСН 14) з нормами 0,5, 0,7, та 1,0 л/га показник становив 10,81, 10.39 та ,10,65 г, що переважали контроль 9,32 г. При внесення і в період бутонізації (ВВСН 55) показники становили 10,33. 10,78 та 10,94 г, відповідно. Застосування Вуксал БІО Аскофол в період 2 міжвузля (ВВСН 14) та бутонізація (ВВСН 55) з нормою 1,0 л/га, становили 11,12 г, що на 1,8 г нереважпало контроль. Відповідно з нормами внесення 0,5, та 0,7 л/га показник становив 10,63 та 11,03 г з рослини.

Внесення Альгум Плюс переважали контроль, але були нижчими від застосування Вуксал БІО Аскофол.

Показники біологічної врожайності від застосування біостимуляторів-антистресантів Вуксал БІО Аскофол та Альгум Плюс суттєво переважали контрольний варіант без застосування, на якому встановлено показник 3,83 т/га.

Від застосування Вуксал БІО Аскофол біологічна врожайність була в межах 4,24–4,68 т/га, що на 0,41–0,85 т/га, більше.

У сорту Сірелія спостерігалась подібна тенденція формування продуктивності рослин, проте показники були меншими в порівнянні з сортом Ментор.

Кількість зерен в бобі на контролі становила 2,0 шт., а від застосування біостимуляторів-антистресантів –2,2–2,4 шт., відповідно (табл. 2).

Таблиця 2. Динаміка продуктивності рослин сорту Сірелія залежно від періоду та норми внесення біостимуляторів, середнє 2023–2025 рр.

Біостимулятор (фактор В)	Період та норми внесення, л/га (фактор С)		Кількість бобів, шт.	Кількість зерен в бобі, шт.	Кількість зерен на 1 рослині, шт.	Маса зерен з 1 рослини, г	Біологічна врожайність, т/га
Без застосування			17,5	2,0	35,0	8,36	3,43
Вуксал БІО Аскофол	ВВСН 14	0,5	17,7	2,2	36,6	8,91	3,72
		0,7	17,6	2,3	40,5	9,94	4,15
		1,0	17,7	2,3	40,7	10,11	4,22
	ВВСН 14 + ВВСН 55	0,5	17,9	2,3	41,3	9,47	3,97
		0,7	19,1	2,4	46,0	10,63	4,46
		1,0	19,2	2,4	46,2	10,72	4,50
	ВВСН 55	0,5	18,9	2,2	41,5	9,42	3,94
		0,7	19,9	2,3	45,7	10,42	4,37
		1,0	19,2	2,4	46,0	10,55	4,12
Альгум плюс	ВВСН 14	0,5	16,2	2,2	35,6	8,59	3,58
		0,7	16,5	2,2	36,2	8,84	3,69
		1,0	15,9	2,3	36,5	9,01	3,76
	ВВСН 14 + ВВСН 55	0,5	18,0	2,2	39,7	9,01	3,37
		0,7	17,8	2,3	40,9	9,38	3,93
		1,0	18,2	2,3	41,8	9,59	4,02
	ВВСН 55	0,5	17,9	2,2	39,3	8,83	3,69
		0,7	17,8	2,3	40,9	9,25	3,87
		1,0	18,3	2,3	42,1	9,56	4,00

Маса зерен з рослини на контролі становила 8,36 г, і зростала від застосування біостимуляторів: Вуксал БІО Аскофол – 8,91–10,72 г, Альгум плюс 8,59–9,59 г, тощо.

Біологічна урожайність сорту Сірелія була нижчою в порівнянні з сортом Ментор і знаходилась на рівні 3,43 т/га на контролі, від застосування Вуксал БІО Аскофол – 3,72–4,50 т/га, дещо менше на варіантах Альгум плюс – 3,58–4,02 т/га.

Формування продуктивності сої є інтегральним показником, який відображає ступінь адаптації сорту до конкретних гідротермічних умов та ефективність застосованих агротехнічних заходів. Проведені дослідження показали, що рівень урожайності сортів Ментор і Сірелія суттєво варіював залежно від періоду та норми внесення біостимуляторів, а також кліматичних особливостей років проведення досліджень.

Так, показники врожайності сорту Ментор підтверджують. що найвищу урожайність отримали в 2025 році – 4,08 т/га на контролі, від застосування Вуксал БІО Аскофол – 4,47–4,83 т/га, Альгум плюс – 4,25–4,51 т/га (табл. 3).

Найменш сприятливим серед років проведення досліджень встановлено 2023 рік з рівнем урожайності на контролі 3,16 т/га. Залежно від застосування біопрепаратів урожайність підвищувалась і знаходилась на рівні Вуксал БІО Аскофол – 3,48–3,95 т/га, Альгум плюс – 3,34–3,89 т/га.

Приріст врожаю від застосування біопрепаратів становив: Вуксал БІО Аскофол – 0,31–0,81 т/га (8,5–19,7%); Альгум плюс – 0,15–0,52 т/га (4,3–14,2%), відповідно.

Урожайність сорту Сірелія була меншою за сорт Ментор. В середньому за 2023–2025 рр на варіанті без застосування біостимуляторів урожайність становила 3,27 т/га, тоді як в 2025 р. – 3,71 т/га, в 2024 р. – 3,21, в 2023 р. – 2,89 т/га (табл. 4).

Таблиця 3. Урожайність сорту Ментор залежно від періоду та норми внесення біостимуляторів

Біостимулятор (фактор В)	Період та норми внесення, л/га (фактор С)		Урожайність зерна, т/га				Приріст врожаю	
			Роки досліджень			Середнє	т/га	%
			2023	2024	2025			
Без застосування			3,16	3,71	4,08	3,65	–	
Вуксал БІО Аскофол	ВВСН 14	0,5	3,48	3,93	4,47	3,96	0,31	8,5
		0,7	3,72	3,95	4,51	4,06	0,41	9,8
		1,0	3,73	4,15	4,63	4,17	0,52	14,2
	ВВСН 14 + ВВСН 55	0,5	3,82	3,99	4,73	4,18	0,53	14,5
		0,7	3,92	4,29	4,81	4,34	0,69	16,5
		1,0	3,95	4,33	4,83	4,37	0,72	19,7
	ВВСН 55	0,5	3,62	3,93	4,51	4,02	0,37	10,1
		0,7	3,81	4,12	4,73	4,22	0,81	13,6
		1,0	3,86	4,26	4,75	4,29	0,64	17,5
Альгум плюс	ВВСН 14	0,5	3,34	3,81	4,25	3,8	0,15	4,3
		0,7	3,46	3,84	4,28	3,86	0,21	5,8
		1,0	3,55	3,86	4,38	3,93	0,28	7,7
	ВВСН 14 + ВВСН 55	0,5	3,77	3,93	4,48	4,06	0,41	11,2
		0,7	3,86	4,07	4,46	4,13	0,48	13,2
		1,0	3,89	4,11	4,51	4,17	0,52	14,2
	ВВСН 55	0,5	3,62	3,85	4,29	3,92	0,27	7,4
		0,7	3,74	3,96	4,33	4,01	0,36	9,9
		1,0	3,81	4,06	4,46	4,11	0,46	12,6

Таблиця 4. Урожайність сорту Сірелія залежно від періоду та норми внесення біостимуляторів

Біо-стимулятор (фактор В)	Період та норми внесення, л/га (фактор С)		Урожайність зерна, т/га				Приріст врожаю	
			Роки досліджень			Середнє		
			2023	2024	2025		т/га	%
Без застосування			2,89	3,21	3,71	3,27	–	
Вуксал БІО Аскофол	ВВСН 14	0,5	3,08	3,34	4,02	3,48	0,21	6,4
		0,7	3,67	3,84	4,13	3,88	0,61	18,7
		1,0	3,69	3,92	4,21	3,94	0,67	20,5
	ВВСН 14 + ВВСН 55	0,5	3,17	3,75	4,21	3,71	0,44	13,5
		0,7	3,89	4,08	4,54	4,17	0,90	27,5
		1,0	3,92	4,14	4,57	4,21	0,94	28,7
	ВВСН 55	0,5	3,12	3,75	4,17	3,68	0,41	10,1
		0,7	3,81	4,02	4,41	4,08	0,81	24,8
		1,0	3,84	4,03	4,52	4,13	0,86	26,3
Альгум плюс	ВВСН 14	0,5	3,02	3,32	3,89	3,41	0,14	4,3
		0,7	3,11	3,35	4,07	3,51	0,24	7,3
		1,0	3,16	3,53	4,05	3,58	0,31	9,5
	ВВСН 14 + ВВСН 55	0,5	3,14	3,62	4,01	3,59	0,32	9,8
		0,7	3,42	3,65	4,15	3,74	0,47	14,4
		1,0	3,53	3,77	4,19	3,83	0,56	17,1
	ВВСН 55	0,5	3,11	3,48	3,94	3,51	0,24	7,3
		0,7	3,37	3,61	4,09	3,69	0,42	12,8
		1,0	3,58	3,72	4,13	3,81	0,54	16,5

Найвищу урожайність отримали в 2025 році від застосування Вуксал БІО Аскофол – 4,02–4,57 т/га. В середньому за роками прибавка становила 0,21–0,94 т/га, що на 6,4–28,7% більше контролю, відповідно. Застосування біостимулятора Альгум плюс забезпечило урожайність на рівні 3,89–4,19 т/га. Приріст до врожаю склав 0,14–0,56 т/га (4,3–17,1%), відповідно.

Порівняння урожайності сортів Ментор і Сірелія показано на рис. 1.

На варіанті без застосування біопрепаратів у сорту Ментор урожайність становила 3,65 т/га, а у сорту Сірелія – 3,27 т/га, що на 0,38 т/га менше. Найвищу врожайність 4,37 т/га одержано на варіанті сорту Ментор з дворазовим внесенням Вуксал БІО Аскофол в період ВВСН 14 та ВВСН 55 в кількості 1,0 л/га. На варіантах сорту Сірелія найвищу врожайність відмічено також від дворазового внесення Вуксал БІО Аскофол в період ВВСН 14 та ВВСН 55 в кількості 1,0 л/га з показником 4,21 т/га.

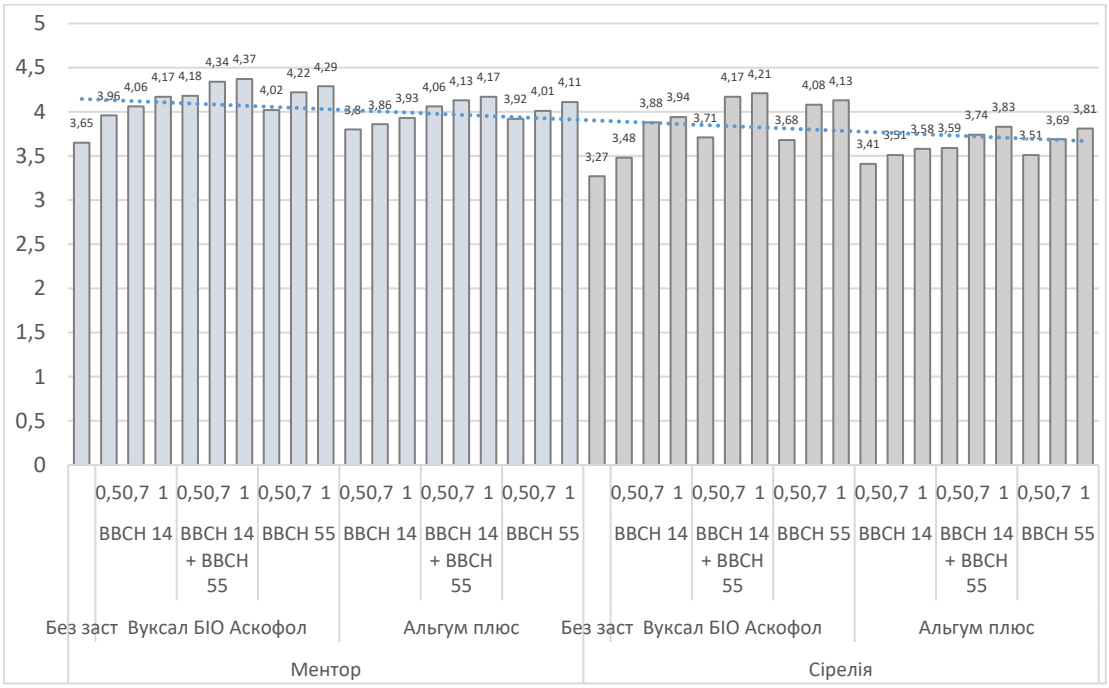


Рис. 1. Динаміка урожайності (т/га) сортів сої Ментор і Сірелія залежно від застосування біостимуляторів-антистресантів, середнє за 2023–2025 рр.

Таким чином застосування біостимуляторів-антистресантів забезпечило позитивний приріст урожайності досліджуваних сортів сої.

Висновки. Отже, результатами наших досліджень було встановлено вагомий вплив внесення біостимуляторів Вуксал БІО Аскофол та Альгум плюс на продуктивність рослин та врожайність сої сортів Ментор та Сірелія.

Найвищі показники біологічної врожайності від застосування Вуксал БІО Аскофол сорту Ментор була в межах 4,24–4,68 т/га, що на 0,41–0,85 т/га, більше контрольного варіанту без застосування, на якому встановлено показник 3,83 т/га. Біологічна урожайність сорту Сірелія від застосування Вуксал БІО Аскофол – 3,72–4,50 т/га, дещо менше на варіантах Альгум плюс – 3,58–4,02 т/га.

Внесенням біостимулятора Вуксал БІО Аскофол в період ВВСН 14 та ВВСН 55 в кількості 1,0 л/га на варіанті сорту Ментор забезпечило найвищу врожайність 4,37 т/га.

В умовах зміни клімату дослідження біостимуляторів-антистресантів залишається актуальним, а періоди їх внесення на сої мають суттєве практичне значення. Досвід вирощування сої в умовах кліматичного стресу, що часто спостерігається високими температурами повітря та ґрунту, а також зниженням запасів продуктивної вологи та відсутністю опадів підтверджує ефективність застосування таких речовин, зберігаючи екологічну рівновагу агроценозів.

Список використаних джерел

1. Дем'янюк О.С., Полтава О.П. Позакореневе підживлення як ефективний спосіб підвищення продуктивності сільськогосподарських культур. *Агроекологічний журнал*. 2025. № 4, С. 143–149. DOI: https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2025.345451.

2. Мазур, В. А., Ткачук, О. П., Дідур, І. М., Панцирева, Г. В. Технологічність та агроекологічна стійкість скоростиглих сортів сої. *Сільське господарство та лісівництво*. 2021. № 4 (23). С. 96–111. DOI: https://doi.org/10.37128/2707-5826-2021-4

3. Методи аналізу в агрономії та агроекології за ред. Овчарука В. І. Кам'янець-Подільський, Харків : Мачулин, 2019. 364 с.

4. Овчарук О. В., Овчарук О. В., Хоміна В. Я., Каленська С. М. Агроекологічні особливості вирощування сої. *Інноваційні технології в рослинництві:* матеріали наукової інтернет-конф., м. Кам'янець-Подільський, 15 травня 2018 р., Кам'янець-Подільський, 2018. С. 134–136.

5. Овчарук О. В., Рахметов Д. Б., Єременко О. А., Федорчук М. І. Вплив абіотичних і біотичних факторів на сільськогосподарські рослини. *Тенденції та виклики сучасної аграрної науки: теорія і практика*: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 20-22 жовтня 2021 р. Київ: НУБіП України, 2021, С. 215–217.

6. Овчарук О.В., Ороховський А.О., Овчарук К.О., Секрієру С., Скриник О.А. Вплив строків та норм внесення біостимуляторів-антистресантів на фотосинтетичну продуктивність сої в умовах Лісостепу західного. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка,* 2026. № 1 (50). С. 156–163. DOI: https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-1-20 .

7. Присяжнюк, О. І., Григоренко, С. В., Половинчук, О. Ю. Особливості реалізації біологічного потенціалу сортів сої залежно від технологічних прийомів вирощування в умовах Лісостепу України. *Plant Var. Stud. Prot*. 2018 Т. 14, № 2. С. 215–223. DOI: https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.2.2018.134773 .

8. Ревтьо О.Я., Золін О.О. Особливості вирощування сої за умов зміни клімату (оглядова). *Таврійський науковий вісник.* 2023. № 133. С. 105–112. DOI: https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.15 .

9. Рябуха С.С., Чернишенко П.В., Святченко С.І., Садовой О.О., Тесля Т.О. (2019) Вплив гідротермічних чинників довкілля на врожайність та біохімічний склад насіння сої. *Селекція і насінництво.* 2019. № 115. С. 93–102. DOI: https://doi.org/10.30835/2413-7510.2019.172785.

10. Цицюра Т.В., Темченко І.В., Барвінченко С.В. Оцінка пластичності та стабільності показників якості насіння сортів сої різного еколого-географічного походження. *Корми і кормовиробництво*. 2021. № 92. С. 104–115. DOI: https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202192-10.

11. Шовкова О.В., Шевніков М.Я., Міленко О.Г. Особливості формування насіннєвої продуктивності рослинами сої залежно від елементів технології вирощування. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України.* 2020. № 2 (84). С. 167–175. DOI: https://doi.org/10.31548/dopovidi2020.02.015.

12. Ямковий, В. Особливості сучасної системи удобрення сої. *Пропозиція.* 2013. № 3. С. 66–70.

13. Bondarenko V., Havrylianchik R., Ovcharuk O., Pantsyreva H., Krusheknyckiy V., Tkach O., Niemec M. Features of the soybean photosynthetic productivity indicators formation depending on the foliar nutrition. *Ecology, Environment and Conservation.* 2022. Vol. 28. P. 20–26. DOI: http://doi.org/10.53550/EEC.2022.v28i04s.004.

14. Guo B., Sun L., Jiang S. Soybean genetic resources contributing to sustainable protein production. *Theoretical and Applied Genetics.* 2022. Vol. 135. № 11. P. 4095–4121. DOI: https://doi.org/10.1007/s00122-022-04222-9.

15. Prysiazhniuk O., Kononiuk N., Zatserkovna N.,Chynchyk O., Hryhoriev V., Zhemoyda V., Ovcharuk O., Zinchenko O., Morhun O., Svystunova I. The study of drought stress in sugar beet and the ways of its minimization. *Ecol. Eng. Environ. Tech.* 2023. 24(1). P. 256–263. DOI: https://doi.org/10.12912/27197050/154924.

Orokhovskyi A. O.
Postgraduate Student of the Department of Plant Breeding, Selection and Seed Production,
Higher Educational Institution «Podillia State University»
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *orokhovskyi.a2142@gmail.com*
ORCID: *0009-0000-9059-8285*

PLANT PRODUCTIVITY AND YIELD OF SOYBEAN VARIETIES DEPENDING ON THE TIMING AND RATES OF BIOSTIMULANTS APPLICATION IN THE CONDITIONS OF THE WESTERN FOREST-STEPPE

Abstract

In the structure of modern production of leguminous crops, soybean occupies a dominant position, acting as the main factor in the formation of the vegetable protein fund in Ukraine and the world. At the current stage of development of the agro-industrial complex, soybean is classified as a strategic crop with a high level of demand for providing humanity with proteins of vegetable origin and oil.

The article highlights the results of research, which established the main aspects that affect the formation of the yield of soybean varieties depending on the use of anti-stress biostimulants.

It is noted that higher plant productivity indicators were formed in soybean of the Mentor variety under the condition of double treatment with the biostimulant VUXAL BIO Askofol (WUXAL) and ALHUM PLUS / ALHUM PLUS (Smart Grow) during the research period 2023-2025.

The highest indicators of the number of grains in the bean in the Mentor variety were noted in the variant of applying the biostimulant Vuksal BIO Askofol in the period of 2 internode (BBCH 14) and budding (BBCH 55) with a rate of 1,0 l/ha, which amounted to 2,7 pcs., surpassing the control variant – without the application of biostimulants by 0,9 pcs., and 0,1-0,5 pcs. other variants of the experiment. In the Sirelia variety, the number of grains in the bean from the application of biostimulants-antistressants was 2,2-2,4 pcs., which surpassed the control by 0,2-0,4 pcs., but overall was inferior to the Mentor variety.

The biological yield of soybean varieties, depending on the use of biostimulants-antistressors Vuksal BIO Askofol and Algum Plus, significantly exceeded the control variant without use, in the Mentor variety it was within 4,24-4,68 t/ha, which is 0,41-0,85 t/ha compared to the control – 3,83 t/ha.

In the Sirelia variety, the indicators were lower and were at the level of 3,43 t/ha in the control, from the use of Vuksal BIO Askofol – 3,72-4,50 t/ha, and Algum Plus – 3,58-4,02 t/ha, etc.

The use of the biostimulant Vuksal BIO Askofol during the period of BBCH 14 and BBCH 55 in an amount of 1,0 l/ha on the Mentor variety provided the highest yield of 4,37 t/ha. Over the years of research, it was noted that the highest yield was obtained in 2025 – from the use of Vuksal BIO Askofol – 4,47-4,83 t/ha, Algum plus – 4,25-4,51 t/ha, on the control – 4,08 t/ha.

In the Sirelia variety, the yield was lower than the Mentor variety. On average, in 2023-2025, the yield on the variant without the use of biostimulants was 3,27 t/ha, which is 0,38 t/ha less. The indicators by year were in 2025 – 3,71 t/ha, in 2024 – 3,21, in 2023 – 2,89 t/ha. The highest yield was also established from the double application of Vuksal BIO Askofol during the period of BBCH 14 and BBCH 55 in the amount of 1,0 l/ha with an indicator of 4,21 t/ha.

Thus, the use of anti-stress biostimulants contributed to an increase in plant productivity and grain yield of the studied varieties Mentor and Sirelia.

Key words: *soybean, agrocenosis, variety, biostimulants-antistressors, trace elements, grain, weight of 1000 seeds, plant nutrition, elements of cultivation technology.*

References

1. Demianiuk, O.S., & Poltava, O.P. (2025). Pozakoreneve pidzhyvlennia yak efektyvnyi sposib pidvyshchennia produktyvnosti silskohospodarskykh kultur [Foliar fertilization as an effective way to increase crop productivity]. *Ahroekolohichnyi zhurnal – Agroecological Journal,* 4, 143–149. DOI: https://do i.org/10.33730/2077-4893.4.2025.345451 [in Ukrainian].
2. Mazur, V.A., Tkachuk, O.P., Didur, I.M., & Pantsyreva, H.V. (2021). Tekhnolohichnist ta ahroekolohichna stiikist skorostyhlykh sortiv soi [Technological feasibility and agroecological sustainability of early-maturing soybean varieties]. *Silske hospodarstvo ta lisivnytstvo – Agriculture and forestry*, 4 (23), 96–111. https://doi.org/ 10.37128/2707-5826-2021-4 [in Ukrainian].
3. Ovcharuk, V.I. (2019). Metody analizu v ahronomii ta ahroekolohii. – Analysis methods in agronomy and agroecology. Kamianets-Podilskyi, Kharkiv : Machulyn. 364 p. [in Ukrainian].
4. Ovcharuk, O.V., Ovcharuk, O.V., Khomina, V.Ya., & Kalenska, S.M. (2018). Ahroekolohichni osoblyvosti vyroshchuvannia soi [Agroecological features of soybean cultivation]: *materialy naukovoi internet-konferentsii – materials of the scientific online conference*, P. 134–136. [in Ukrainian].
5. Ovcharuk, O. V., Rakhmetov, D. B., Eremenko, O. A., & Fedorchuk, M. I. (2021). Vplyv abiotychnykh i biotychnykh faktoriv na silskohospodarski roslyny [The influence of abiotic and biotic factors on agricultural plants]. *Tendentsii ta vyklyky suchasnoi ahrarnoi nauky: teoriia i praktyka: zbirnyk nauk* – prats Mizhn. nauk.- prakt. konf.*Trends and challenges of modern agricultural science: theory and practice:* collection of scientific. proceedings of the International Scientific-practical Conference. Kyiv, October 20–22, 2021. Kyiv: NUBIP of Ukraine. P. 215–217. [in Ukrainian].
6. Ovcharuk, O.V., Orokhovskyi, A.O., Ovcharuk, K.O., & Sekriieru, S., Skrynyk, O.A. (2026). Vplyv strokiv ta norm vnesennia biostymuliatoriv-antystresantiv na fotosyntetychnu produktyvnist soi v umovakh Lisostepu zakhidnoho [The influence of timing and rates of application of biostimulants-antistressants on the photosynthetic productivity of soybeans in the conditions of the Western Forest-Steppe]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika – Podolsky Visnyk: Economics Agriculture, Technology,* 1(50), 156–163. DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-1-20. [in Ukrainian]
7. Prysiazhniuk, O. I., Hryhorenko, S. V., & Polovynchuk, O. Yu. (2018). Osoblyvosti realizatsii biolohichnoho potentsialu sortiv soi zalezhno vid tekhnolohichnykh pryiomiv vyroshchuvannia v umovakh Lisostepu Ukrainy [Features of the realization of the biological potential of soybean varieties depending on the technological methods of cultivation in the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine]. *Plant Var. Stud. Prot.* T. 14, №2. P. 215–223. https://doi.org/10.21498/2518-1017.14.2.2018.134773 [in Ukrainian].
8. Revto, O.Ia., & Zolin, O.O. (2023). Osoblyvosti vyroshchuvannia soi za umov zminy klimatu (ohliadova) [Features of soybean cultivation in the context of climate change (review)]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk – Scientific Bulletin of the Tavria State Agrotechnological University,* 133, 105–112. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.15 [in Ukrainian].
9. Riabukha, S.S., Chernyshenko, P.V., Sviatchenko, S.I., Sadovoi, O.O., & Teslia, T.O. (2019). Vplyv hidrotermichnykh chynykiv dovkillia na vrozhainist ta biokhimichnyi sklad nasinnia soi [Influence of hydrothermal environmental factors on yield and biochemical composition of soybean seeds]. *Selektsiia i nasinnytstvo – Breeding and seed production*, 115, 93–102. https://doi.org/10.30835/2413-7510.2019.172785 [in Ukrainian].
10. Tsytsiura, T.V., Temchenko, I.V., & Barvinchenko, S.V. (2021). Otsinka plastychnosti ta stabilnosti pokaznykiv yakosti nasinnia sortiv soi riznoho ekoloho-heohrafichnoho pokhodzhennia [Evaluation of the plasticity and stability of seed quality indicators of soybean varieties of different ecological and geographical origin]. *Kormy i kormovyrobnytstvo – Feed and feed production*, 92, 104–115. DOI: https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202192-10. [in Ukrainian].
11. Shovkova, O.V., Shevnikov, M.Ia., & Milenko, O.H. (2020). Osoblyvosti formuvannia nasinnievoi produktyvnosti roslynamy soi zalezhno vid elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia [Features of seed productivity formation by soybean plants depending on the elements of cultivation technology]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy– Scientific reports of NUBiP of Ukraine – Scientific reports of the National University of Life Resources and Environmental Management of Ukraine*, 2 (84), P. 167–175. https://doi.org/10.31548/dopovidi2020.02.015 [in Ukrainian].
12. Yamkovyi, V. (2013). Osoblyvosti suchasnoi systemy udobrennia soi. [Features of the modern soybean fertilization system] *Propozytsiia – Proposal*, 3, 66–70. [in Ukrainian].
13. Bondarenko, V., Havrylianchik, R., Ovcharuk, O., Pantsyreva, H., Krusheknyckiy, V., & Tkach, O. et al. (2022). Features of the soybean photosynthetic productivity indicators formation depending on the foliar nutrition. *Ecology, Environment and Conservation*., 28, 20–26. DOI: 10.53550/eec.2022.v28i04s.004 [in English].
14. Guo, B., Sun, L., & Jiang, S. et al. (2022). Soybean genetic resources contributing to sustainable protein production. *Theoretical and Applied Genetics*, 135(11), 4095–4121. https://doi.org/10.1007/s00122-022-04222-9 [in English].
15. Prysiazhniuk, O., Kononiuk, N., Zatserkovna, N., Chynchyk, O., Hryhoriev, V., & Zhemoyda, V., et al. (2023). The study of drought stress in sugar beet and the ways of its minimization. *Ecol. Eng. Environ. Tech.,* 24 (1), 256–263. [in English].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 28.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 09.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026

УДК 633.2:631.445.124
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-15

Поліщук О. С.
здобувач освітньо-наукового ступеня доктора філософії
Інститут водних проблем і меліорації НААН
Київ, Україна
E-mail: *oleksii.polishchuk.mail@gmail.com*
ORCID: *0009-0002-8831-0662*

ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ ОЗИМИХ ЗЕРНОВИХ ТА ЯРИХ ЗЕРНОБОБОВИХ КУЛЬТУР В СУЧАСНИХ ГІДРОТЕРМІЧНИХ УМОВАХ ЗОНИ ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ

Анотація

Мета роботи полягала в проведенні оцінки придатності сортів озимих зернових і ярих зернобобових культур, а також обґрунтуванні доцільності їхнього вирощування на різних типах ґрунтів зони Західного Полісся.

Результати проведених експериментальних досліджень дають підставу стверджувати, що за умови підбору найбільш адаптованих сортів урожайність зерна озимої пшениці на дерново-підзолистих легкосуглинкових ґрунтах зони Західного Полісся за сприятливих погодних умов може становити близько 5,5–6,0 т/га. Найвищу урожайність за 3-річний цикл досліджень (2022–2024 рр.) забезпечили такі сорти озимої пшениці, як Богемія селекції Seglen (Чехія) – 5,96 т/га, Самурай селекції DSV (Німеччина) – 5,72 т/га та Турандот (Oseva) Чехія – 5,54 т/га.

Дослідження з підбору видового та сортового складу озимих зернових культур на осушуваних торфових ґрунтах показали, що в середньому за 3-річний цикл досліджень урожайність озимого жита, залежно від сорту становила – 2,30–3,96 т/га, та озимого тритікале – 3,94–4,82 т/га. Найвищу урожайність озимого жита забезпечив сорт Естерно, а озимого тритікале – сорти Скарб Харківський та Ротондо.

Проведені експериментальні дослідження показали, що для вирощування сої в зоні Західного Полісся найбільш придатними є дерново-підзолисті легкосуглинкові ґрунти. Для вирощування в умовах зони Західного Полісся слід обирати ультра ранні сорти сої, які забезпечують гарантоване одержання фізіологічно-стиглого зерна до настання перших осінніх заморозків. Встановлено перспективність вирощування сої сорту Юнка селекції Sevita Genetiks (Канада) в умовах зони Західного Полісся сої, його урожайність за належної агротехніки та якісної інокуляції може становити близько 4,0–4,5 т/га. За вирощування на дерново-підзолистих супіщаних та торфових ґрунтах урожайність сої є нестабільною і не перевищує 2,0–2,6 т/га.

Встановлено, що урожайність гороху за вирощування на дерново-підзолистих легкосуглинкових ґрунтах за 3-річний цикл досліджень становила 3,16–3,24 т/га, та на дерново-підзолистих супіщаних та торфових ґрунтах відповідно – 1,62–2,04 т/га та 1,41–1,59 т/га.

Ключові слова: *дерново-підзолисті ґрунти, торфові ґрунти, режим випадання опадів, озимі зернові культури, ярі зернобобові культури.*

Вступ. Озимі зернові культури є важливою складовою продовольчої безпеки України. Провідне місце серед озимих зернових культур належить озимій пшениці посівні площі якої становлять понад 5 млн. га [1]. В останні роки істотне розширення посівних площ озимої пшениці відмічено у Хмельницькій, Тернопільській, Львівській та Волинських областях [4]. У зоні Полісся озима пшениця до останнього часу займала незначні посівні площі, однак спираючись на сучасні тенденції в сільському господарстві та результати останніх наукових досліджень можна стверджувати, що її посівні площі тут мають усі перспективи до зростання [2; 3; 12; 15].

Традиційною озимою зерновою культурою для зони Полісся є озиме жито, однак в даний час його посівні площі в Україні сумарно не перевищують 100 тис. га [3; 4; 17]. З інших озимих зернових культур, які можуть бути перспективними для вирощування через в зоні Полісся є озиме тритікале та озимий ячмінь [2; 9; 13]. Однак до останнього часу вони ще не набули істотного поширення в Поліській зоні. Їх в основному рекомендується розміщувати на дерново-підзолистих суглинкових і супіщаних ґрунтах з вмістом гумусу не менше 2% та забезпеченістю фосфором не нижче 150 мг/кг ґрунту [2; 4].

Виробничою практикою встановлено, що озиме тритікале у багатьох випадках на Поліссі забезпечує вищу урожайність порівняно з озимою пшеницею. Вказується також, що тритікале є більш придатним для вирощування на торфових ґрунтах, де за даними наукових досліджень воно більш урожайним порівняно з озимим житом [2; 9; 11]. Що до вирощування озимої пшениці на торфових ґрунтах, то дослідженнями Сарненської дослідної стації встановлено, що її урожайність на цих ґрунтах є нестабільною, а одержане з торфових ґрунтів зерно може бути використано переважно на фуражні цілі [6; 13].

Озимим житом, як найменш вибагливою культурою, рекомендується засівати решту площ за виключенням тих, де можливий застій води. Серед озимих зернових культур озиме жито вважається добре пристосованим для

© Поліщук О. С., 2026 pISSN 2706-9052, eISSN 2706-851X

вирощування на торфових ґрунтах. Воно також добре вдається на мілких торфовищах та органо-мінеральних ґрунтах [2; 4; 6; 13].

Сучасні кліматичні зміни як у Світі так і в Україні, а саме істотне потепління клімату призводить до зміни структури посівних площ і географії посівів [1; 3; 5; 16]. Зокрема, в зоні Полісся в останні десятиліття клімат змінився від прохолодного з підвищеною кількістю опадів на більш теплий і посушливий [1; 7; 8; 10]. Це сприяє поширенню в даному регіоні нових економічно-привабливих сільськогосподарських культур, таких як кукурудза на зерно, соняшник, соя [1; 12; 13]. Однак їхнє вирощування в зоні Полісся є не завжди рентабельним через потребу у високих нормах внесення мінеральних добрив. Їх урожайність у цій зоні є нижчою ніж в зоні Лісостепу оскільки в умовах обмежених теплових ресурсів зони Полісся не завжди вдається в повній мірі реалізувати потенціал їхньої продуктивності [5]. Тому, на думку окремих дослідників, більш доцільним вирощувати озимі зернові культури, які вважаються менш залежними від кліматичних чинників [18].

Істотні зміни також відбулись і в зимовий період, які полягають у суттєвому підвищенні середньодобової температури, чергування від'ємних та позитивних температур протягом доби, що викликає замерзання і розмерзання ґрунту протягом доби. Також плюсові температури повітря протягом тривалого часу взимку провокують рослини озимих зернових до відновлення вегетації. Все це негативно впливає на стан озимих зернових культур протягом зимового періоду і їхню продуктивність [11; 13].

Однією із істотних проблем в зоні Західного Полісся є вкрай обмежені площі посівів зернобобових бобових культур, що негативно впливає на азотний режим ґрунту. Серед зернобобових культур, які набувають поширення в останні роки в зоні Західного Полісся можна виділити сою [12]. Також вважається, що перспективною зернобобовою культурою для північних регіонів України може бути горох, зважаючи на його високу холодостійкість [4]. В свою чергу кліматичні зміни, що відбулись в зоні Полісся вимагають перегляду та удосконалення окремих елементів технології вирощування озимих зернових культур, а також встановлення найбільш урожайних та адаптованих до нових умов сортів і гібридів [1; 10; 12].

Мета роботи полягала в проведенні оцінки придатності сортів озимих зернових і ярих зернобобових культур, а також обґрунтуванні доцільності їхнього вирощування на різних типах ґрунтів зони Західного Полісся.

Виклад основного матеріалу дослідження. На Сарненській дослідній станції ІВПіМ НААН у 2021–2024 рр. проведено дослідження з встановлення доцільності вирощування озимих зернових культур, а також ярих зернобобових культур (сої та гороху) в агрокліматичних умовах зони Західного Полісся на найбільш поширених типах ґрунтів.

Агрохімічні показники ґрунту:

– дерново-підзолистий легкосуглинковий: вміст гумусу – 2.34 %, вміст легко гідролізованого азоту (по Корнфілду) – 147 мг/кг ґрунту, рухомих форм фосфору і калію (по Кірсанову) – 144 і 156 мг/кг ґрунту відповідно, $pH_{сол}$ – 5.4.

– дерново-підзолистий супіщаний: вміст гумусу – 1.12 %, вміст легко гідролізованого азоту (по Корнфілду) – 102 мг/кг ґрунту, рухомих форм фосфору і калію (по Кірсанову) – 95 і 116 мг/кг ґрунту відповідно, $pH_{сол}$ – 4.5.

– торфовий: вміст легко гідролізованого азоту (по Корнфілду) – 750.0 мг/кг ґрунту, рухомих форм фосфору і калію (по Кірсанову) – 239 і 150 мг/кг відповідно, $pH_{сол}$ – 5.2.

Аналіз погодних умов виконували за результатами досліджень метеопосту Сарненської дослідної станції ІВПіМ НААН (рис. 1, 2).

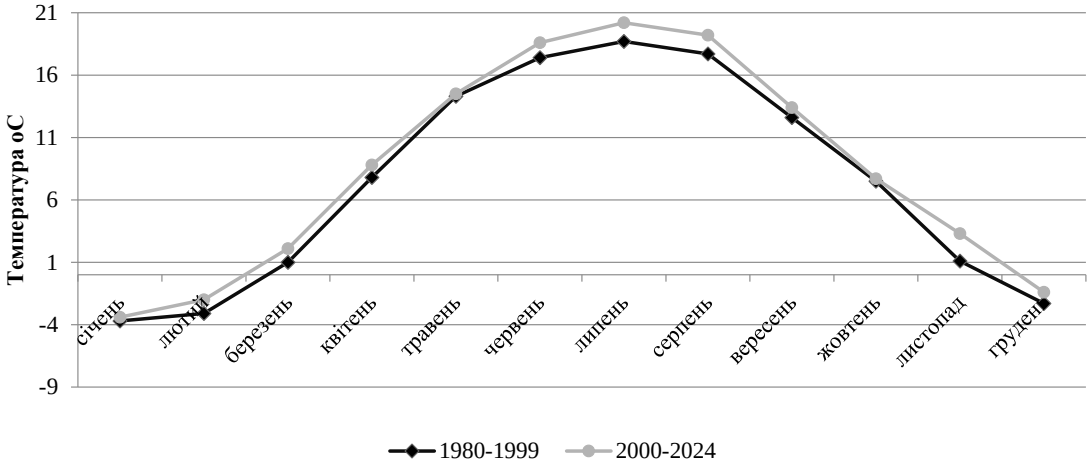


Рис. 1. Динаміка середньомісячної температури повітря період 1980–2024 рр.

В цілому аналіз динаміки температурного режиму за період вересень-червень показує, що протягом останнього десятиліття відбулись доволі істотні зміни саме в зимовий період. Так в цілому відмічено значне потепління протягом усіх зимових місяців, що знижує ризики вимерзання озимих зернових культур в зоні Західного Полісся.

Разом з тим потепління в зимовий період не завжди має не лише позитивний, а й за певних обставин може мати і негативний вплив на посіви озимих зернових культур. Зокрема потепління в зимові місяці призводить до частих відлиг і відсутності стійкого снігового покриву, багаторазового замерзання і розмерзання ґрунту під посівами озимих зернових культур.

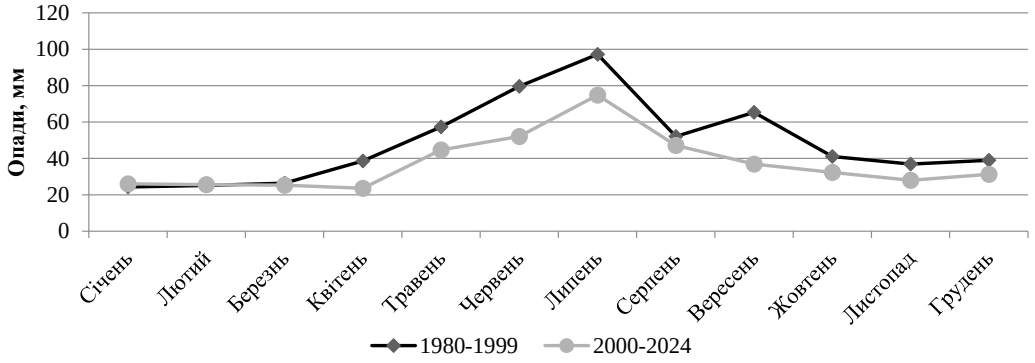


Рис. 2. Динаміка кількості опадів за період 1980–2024 рр.

Аналіз динаміки опадів у зимовий період показує, що їхня кількість з 2000 року і по даний час суттєво не змінилась, але разом з тим спостерігається тенденція до зниження кількості опадів у весняний, літній та осінній періоди. Також спостерігається чітка тенденція до підвищення значень середньодобових температур повітря у зимовий період (рис. 3).

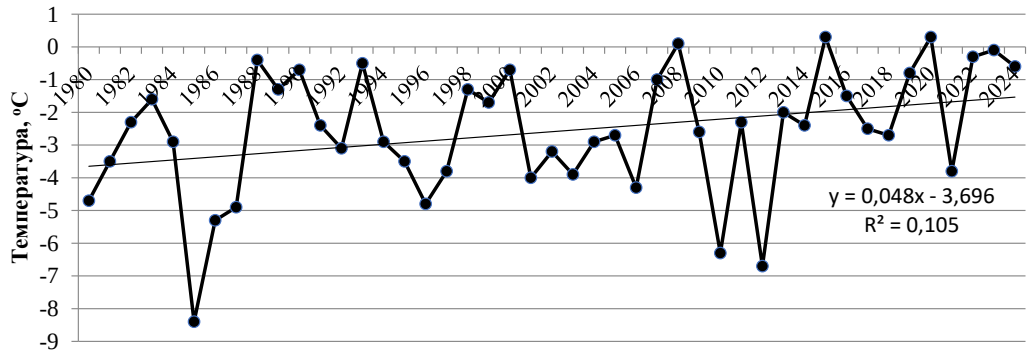


Рис. 3. Динаміка середньомісячної температури повітря за грудень-лютий за 1980–2024 рр.

Внаслідок потепління в зимові місяці значна частина опадів в зимовий період випадає у вигляді дощу, що призводить до відсутності стійкого снігового покриву в зоні Західного Полісся протягом останніх років (рис. 4).



Рис. 4. Динаміка атмосферних опадів за зимовий період, метеопост Сарненська дослідна станція, 1980–2024 рр.

Випадання опадів протягом зимового періоду у вигляді дощу, та відсутність стійкого снігового покриву несе в собі досить серйозні загрози для ведення сільськогосподарського виробництва в зоні Полісся, оскільки значна частина меліоративних систем через в даний час працює в промивному режимі і забезпечує лише скид надлишкової вологи без можливості її затримання. Опади, що випали протягом зимового періоду у вигляді дощу, поступово скидаються з меліоративних систем у водоприймач, а їхнє накопичення у вигляді снігового покриву в останні десятиліття майже відсутнє. Тому в сучасних умовах, вкрай важливим є забезпечення можливості накопичення та акумуляції зимових волого запасів шляхом шлюзування з метою попередження нераціонального скиду вологи протягом зимового та ранньовесняного періоду.

В сільському господарстві особливо важливе значення має кількість опадів за весняні місяці, особливо за березень-квітень. Вони відіграють важливу роль у формуванні необхідних запасів вологи в ґрунті. Зважаючи на це, значний інтерес представляє динаміка кількості атмосферних опадів за березень-квітень (рис. 5).



Рис. 5. Динаміка атмосферних опадів за березень-квітень по метеопосту Сарненської дослідної станції

Аналіз даних рис. 5 показує що характер випадання опадів за березень-квітень в останні десятиріччя характеризується наступними особливостями: виражений тренд до їхнього суттєвого зменшення; висока амплітуда коливань в багаторічному розрізі, до 60 мм. Роки з дуже низькими сумами опадів за березень співпадають з роками, коли сніговий покрив не зберігається до весни. Такі роки вкрай несприятливі для живлення підземних вод, створення необхідних запасів вологи в ґрунтах, не формується весняне повіддя, що необхідно для оптимального екологічного стану. В окремі роки дефіцит атмосферних опадів за березень може частково компенсуватись за рахунок квітня, що може сприяти створенню необхідних запасів вологи в ґрунтах.

В цілому одержаний тренд показує, що загальна сума опадів за березень-квітень має тенденцію до істотного її зменшення в багаторічному розрізі, в середньому від 80-90 мм, на початку періоду спостережень, до 40–45 мм, в кінці. При цьому зберігаються досить високі амплітуди коливання, які на початку періоду спостережень досягають 110 мм, в кінці – 80 мм. Характерно, що кількість років із сумами значно меншими за норму складають більше 50%, а основна їх кількість приходиться на останнє десятиліття. Тобто відмічається тенденція до збільшення їхньої кількості із зменшенням місячних сум, що слід віднести до негативного впливу глобального потепління на внутрішньорічний розподіл атмосферних опадів. В цілому в останні десятиліття спостерігається тенденція зменшення опадів у посівний період (березень–квітень), що в свою чергу призводить до нестачі вологи у період відновлення вегетації озимих зернових та посіву ранніх ярих зернових і зернобобових культур.

Загалом зменшення суми опадів у ранньовесняний період, високі температури повітря у денну пору, сильні вітри та низька відносна вологість повітря сприяють появі суховійних явищ, внаслідок яких спостерігається швидке випаровування вологи з верхніх шарів ґрунту. В зоні Полісся ці фактори мають особливо негативний вплив, оскільки переважна більшість ґрунтів є легкого механічного складу, тому вони швидко втрачають вологу і пересихають. Вище вказані фактори вказують на необхідність коригування строків посіву озимих зернових з розрахунку, щоб рослини увійшли в зиму з добре розвиненою кореневою системою і максимально нівелювати можливу нестачу вологи у ранньовесняний період. І навпаки слабо розвинені озимі зернові за умови нестачі вологи у ранньовесняний період можуть істотно знизити продуктивність, а в окремі роки це може призвести навіть до їхньої загибелі. Також посів ранніх ярих зернових і зернобобових культур доцільно змістити до більш ранніх з метою максимального використання зимових запасів вологи.

Озима пшениця належить до провідних зернових культур, а її посівні площі в Україні стабільно сягають понад 4 млн. га. Для зони Полісся вона не є абсолютно новою культурою адже вирощувалась і раніше на відносно невеликих площах, однак в останні роки вона набуває поширення в даній ґрунтово-кліматичній зоні [1; 4]. Сприяє цьому те, що в останні роки на ринку з'явились нові перспективні сорти озимої пшениці, які відзначаються високою урожайністю і пластичністю до умов вирощування.

Дослідженнями проведеними в 2022–2024 рр. встановлено, що урожайність озимої пшениці на дерново-підзолистих легкосуглинкових ґрунтах зони Західного Полісся істотно варіювала в розрізі досліджуваних сортів (табл. 1).

Таблиця 1. Урожайність сортів озимої пшениці на дерново-підзолистих легкосуглинкових ґрунтах Сарненської дослідної станції, т/га

Сорт	Оригінатор	Урожайність, т/га			Середнє за 2022–2024 рр.
		роки			
		2022	2023	2024	
Богемія	Seglen Чехія	6,96	5,64	5,27	5,96
Турандот	Oseva Чехія	6,59	5,83	5,25	5,89
Самурай	DSV Німеччина	6,85	5,13	5,19	5,72
Сейлор	Syngenta Швейцарія	6,37	5,05	5,04	5,49
Реформ	RAGT Франція	4,88	4,55	4,87	4,77
Опал	SW Seed Швеція	4,73	4,27	4,20	4,40
Ванеса	Seglen Чехія	4,42	3,93	3,94	4,10
Кубус	KWS Німеччина	4,36	3,88	3,89	4,04
Патрас	DSV Німеччина	4,66	3,87	3,85	4,13
Краєвид	НААН Україна	4,17	3,80	3,82	3,93
Юлія	Seglen Чехія	4,03	3,76	3,78	3,86
Матрікс	DSV Німеччина	3,76	3,45	3,35	3,52
Балатон	Saatbay Німеччина	4,60	3,25	3,20	3,68
$НІР_{0,005\ т/га}$					0,26

Встановлено, що найвищу урожайність за 3-річний цикл досліджень забезпечили такі сорти озимої пшениці, як Богемія селекції Seglen (Чехія) – 5,96 т/га, Самурай селекції DSV (Німеччина) – 5,72 т/га та Турандот (Oseva) Чехія – 5,54 т/га.

В цілому, за результатами проведених досліджень встановлено, що озима пшениця є перспективною культурою для вирощування на дерново-підзолистих легкосуглинкових ґрунтах зони Західного Полісся. За умови підбору найбільш адаптованих сортів урожайність зерна озимої пшениці на дерново-підзолистих легкосуглинкових ґрунтах зони Західного Полісся з регульованим водним режимом сприятливих умовах може становити близько 6 т/га. Істотною перевагою озимих зернових перед ярими є менша залежність від вологозабезпечення, оскільки значну частину вологи для свого росту і розвитку вони використовують із зимових запасів.

Дослідження з підбору видового та сортового складу озимих зернових культур на осушуваних торфових ґрунтах показали, що на даному типі ґрунту найбільш доцільно вирощувати озиме жито та озиме тритікале. Показники урожайності сортів озимого жита та тритікале на осушуваних торфових ґрунтах Сарненської дослідної станції ІВПіМ НААН наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Урожайність сортів озимого жита та тритікале на осушуваних низинних торфових ґрунтах Сарненської дослідної станції ІВПіМ НААН

Культура	Назва сорту	Оригінатор	Урожайність, т/га			
			роки			середнє
			2021	2022	2023	
Озиме жито	Кобза	Носівська СДС НААН	2,98	2,45	2,15	2,30
	Жатва	Носівська СДС НААН	3,25	2,62	2,54	2,58
	Аскарі	Zaten union Німеччина	4,11	3,31	3,00	3,16
	Естерно	KWS Німеччина	4,88	4,24	3,68	3,96
$НІР_{0,005\ т/га}$						0,19
Озиме тритікале	Паво	Hodowla Roslin Strzelce Sp. z o.o.» (Польща)	4,92	4,36	3,52	3,94
	Ротондо	Hodowla Roslin Strzelce Sp. z o.o.» (Польща)	6,17	5,84	4,67	4,67
	Папсуєвсь ке	ТОВ «Степова» Україна	4,66	4,47	3,64	3,64
	Скарб Харківський	Інститут рослинництва ім.. Юр'єва, НААН Україна	5,31	5,27	4,37	4,82
$НІР_{0,005\ т/га}$						0,31

Встановлено, що в середньому за 3-х річний цикл досліджень на торфових ґрунтах урожайність озимого жита в розрізі сортів становила 2,30–3,96 т/га, а озимого тритікале – 3,94–4,82 т/га. Серед досліджуваних сортів озимого жита найвищу урожайність забезпечив сорт Естерно селекції KWS (Німеччина) – 3,96 т/га, а серед озимого тритікале – сорт Скарб Харківський селекції Інституту рослинництва ім.. Юр'єва, НААН Україна – 4,82 т/га. Отже, в результаті проведених досліджень встановлено, що на торфових ґрунтах найбільш доцільним є вирощування озимого тритікале.

В зоні Західного Полісся значну частину ґрунтового покриву становлять малородючі дерново-підзолисті супіщані ґрунти, які відзначаються легким механічним складом та низькою забезпеченістю основними елементами живлення, що обмежує вирощування багатьох вимогливих до родючості ґрунту сільськогосподарських культур.

Проведені дослідження показали, що на дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах урожайність озимих зернових є доволі низькою, особливо озимого ячменю та озимої пшениці (табл. 3).

Таблиця 3. Урожайність озимих зернових культур на осушуваних дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах, Сарненської дослідної станція

Культура	Назва сорту	Оригінатор	Урожайність, т/га			Середнє, т/га
			роки			
			2021	2022	2023	
Озиме жито	Аскарі	Zaten union Німеччина	2,75	3,11	3,88	3,25
	Естерно	KWS Німеччина	3,04	3,37	4,12	3,51
НІР $_{0,005\ т/га}$						0,27
Озимий ячмінь	KW 6-1545	KWS Німеччина	2,31	2,18	2,45	2,31
	KW 6-1541	KWS Німеччина	2,49	2,77	2,65	2,64
НІР $_{0,005\ т/га}$						0,21
Озима пшениця	Краєвид	НААН Україна	1,92	2,19	2,44	2,18
	Патрас	DSV Німеччина	1,86	1,98	2,16	2,00
НІР $_{0,005\ т/га}$						0,14

На дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах урожайність озимого жита по роках досліджень коливалась у межах 2,75–3,88 т/га, озимого ячменю – 2,18–2,77 т/га, та озимої пшениці – 1,86–2,44 т/га. Результати досліджень показали, що на дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах найбільш доцільним є вирощування озимого жита, яке за мінімальних затрат може забезпечити одержання 3,0–3,5 т/га зерна. Вирощування озимої пшениці та озимого ячменю на даному типі ґрунту економічно недоцільне через їхню низьку продуктивність, що не покриває затрат на їх вирощування.

Із ярих зернобобових культур в зоні Західного Полісся у зв'язку із суттєвим потеплінням клімату в останні роки виробничники почали вирощувати сою. Однак в багатьох випадках технології її вирощування автоматично переносяться із зони Степу та Лісостепу, що призводить до суттєвих втрат урожаю. В північних регіонах існує низка обмежуючих ґрунтово-кліматичних чинників без врахування яких її вирощування може бути проблематичним. Також в багатьох випадках посів проводиться середньоранніми сортами сої, які не завжди встигають сформувати фізіологічно-стигле зерно в умовах короткого вегетаційного періоду та обмежених теплових ресурсів в зоні Західного Полісся [13].

Дослідження з встановлення можливості та доцільності вирощування сої в умовах зони Західного Полісся показали, що її урожайність істотно залежала від типу ґрунту, а також групи стиглості сорту (табл. 4).

Таблиця 4. Урожайність сої та гороху на різних типах ґрунтів, Сарненська дослідна станція, середнє за 2021–2023 рр.

Культура	Назва сорту	Група стиглості	Урожайність, т/га		
			дерново-підзолисті легко суглинкові	дерново-підзолисті супіщані	торфові
Соя	Юнка	ультраранній	4,55	2,41	2,64
	Астор	ранньостиглий	3,85	2,03	2,39
	Ніагара	середньоранньостиглий	3,23	1,89	2,33
	Нептун	середньостиглий	3,12	1,83	1,97
	Sb_{142}	середньостиглий	2,77	1,72	1,73
НІР $_{0,005\ т/га}$			0,27	0,22	0,12
Горох	Оплот	ранньостиглий	3,24	1,92	1,41
	Люмп	середньоранній	3,67	2,04	1,35
	Імпульс	середньоранній	3,16	1,62	1,59
НІР $_{0,005\ т/га}$			0,22	0,16	0,14

В цілому проведені дослідження показали, що в умовах зони Західного Полісся найбільш доцільним є вирощування ультра ранніх сортів сої. Найвищу урожайність сої за 3-х річний було одержано на дерново-підзолистих легкосуглинкових ґрунтах. Урожайність сої на дерново-підзолистих супіщаних та торфових ґрунтах була істотно нижчою ніж на дерново-підзолистих легкосуглинкових ґрунтах. Найвищу урожайність на усіх типах ґрунтів забезпечив сорт Юнка – 4,55 т/га на дерново-підзолистих легкосуглинкових, 2,41 т/га на дерново-підзолистих супіщаних та 2,64 т/га на торфових ґрунтах.

Урожайність гороху, на відміну від сої в цілому була більш стабільною в розрізі досліджуваних сортів на усіх типах ґрунтів і мало залежала від групи стиглості сорту. Вищі показники урожайності гороху – 3,16–3,67 т/га було одержано на дерново-підзолистих легкосуглинкових ґрунтах, значно нижчою вона була за вирощування на дерново-підзолистих супіщаних та торфових ґрунтах.

Висновки. На дерново-підзолистих середньо суглинкових ґрунтах найвищу урожайність за 3-х річний цикл досліджень (2022–2024 рр.) забезпечили такі сорти озимої пшениці, як Богемія селекції Seglen (Чехія) – 5,96 т/га, Самурай селекції DSV (Німеччина) – 5,72 т/га та Турандот (Oseva) Чехія – 5,54 т/га. Для вирощування на торфових ґрунтах перспективним є озиме тритікале урожайність якого за сприятливих умов може становити близько 5 т/га. На малородючих дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах зони Західного Полісся серед озимих зернових культур найбільш доцільним є вирощування озимого жита урожайність якого в середньому становить близько 3,5–4,0 т/га.

Серед досліджуваних сортів сої найвищу урожайність на усіх типах ґрунтів забезпечував ультра ранній сорт Юнка. Найвищу його урожайність – 4,55 т/га було одержано за вирощування на дерново-підзолистих легкосуглинкових ґрунтах. На дерново-підзолистих супіщаних та торфових ґрунтах урожайність сої була значно нижчою – 2,41 та 2,64 т/га, тому питання їхнього вирощування на даних ґрунтах потребує проведення подальших наукових досліджень. Урожайність гороху за вирощування на дерново-підзолистих легкосуглинкових ґрунтах за 3-х річний цикл досліджень становила 3,16–3,24 т/га, та на дерново-підзолистих супіщаних та торфових ґрунтах відповідно – 1,62–2,04 т/га та 1,41–1,59 т/га.

В цілому проведені дослідження показали, що урожайність як озимих зернових та ярих зернобобових культур істотно варіювала в розрізі досліджуваних сортів. У зв'язку з тим, що на ринку щороку з'являється багато нових сортів озимих зернових культур, як іноземної, так і вітчизняної селекції виникає необхідність проведення подальших наукових досліджень в напрямку встановлення найбільш урожайних та адаптованих сортів до специфічних ґрунтово-кліматичних умов зони Західного Полісся. Потребують проведення подальших досліджень питання удосконалення та адаптації існуючих технологій вирощування вище вказаних озимих та ярих зернових культур до специфічних ґрунтово-кліматичних умов Західного Полісся.

Список використаних джерел

1. Воропай Г.В. Сільськогосподарське використання осушуваних земель гумідної зони України в умовах реформування аграрного сектору та змін клімату. *Вісник аграрної науки.* 2020. № 11. С. 62–73. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202011-08

2. Гадзало Я. М., Сташук В. А., Рокочинський А. М. Меліорація та облаштування Українського Полісся : монографія. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. Т. 2. 854 с.

3. Ничипоренко О.А., Пономаренко О.В., Грищенко О.М. Диспропорція галузевої структури сільськогосподарського виробництва Полісся та внутрішні чинники її формування: *Вісник Чернівецького торговельно-економічного інституту.* 2025. Вип. II (98). С. 60–79. http://doi.org/10.34025/2310-8185-2025-2.98.04

4. Петриченко В. Ф., Лихочвор В. В. Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур : підручник. 5-те вид., випр., допов. Львів : НВФ «Українські технології», 2020. 806 с.

5. Рижук С.М., Савчук О.І., Мельничук А.О., Приймачук Т.Ю. Ефективність короткоротаційних сівозмін з економічно привабливими культурами на осушуваних дерново-підзолистих ґрунтах. *Вісник аграрної науки.* 2022. № 2. С. 11–18. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202202-02

6. Рижук С.М., Савчук О.І., Кочик Г.М., Приймачук Т.Ю Ефективність вирощування озимого жита на осушуваних ґрунтах Полісся в умовах кліматичних змін. *Вісник аграрної науки* 2021. № 8. С. 73–78. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202108-09

7. Ромащенко М.І., Балюк С.А., Вергунов В.А. та ін. Сталий розвиток меліорації земель в Україні в умовах змін клімату. *Аграрні інновації*. 2020. № 3. С. 59–64. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.3.10

8. Рокочинський А.М., Волк П.П., Приходько Н.В., Деревягіна Н.І. Оцінка сучасного стану кліматичних умов, їх змін та вплив на загальний природно-меліоративний режим осушуваних земель зони Полісся України. Вісник НУВГП. Технічні науки: збірник наукових праць. Рівне : НУВГП. 2021. Вип. №1 (93). С. 48–64.

9. Савчук О.І., Мельничук А.О., Дребот А.В. Вплив системи удобрення на продуктивність тритікале озимого (triticosecale witt) в умовах осушуваного дерново-підзолистого ґрунту Полісся. *Зернові культури*. 2022. № 1. Том 6. С. 116–123. https://doi.org/10.31867/2523-4544/0214

10. Савчук О.І., Приймачук Т.Ю., Штанько Т.А., Меша К.В., Дребот О.В., Кудрик А.П., Цуман Н.В. Агроекологічний стан ґрунтового покриву Житомирської області в умовах змін кліматичних чинників. *Вісник аграрної науки*. 2025. № 4. С. 66–74. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202504-07

11. Сторожук В. В., Сторожук Т. С. Особливості формування продуктивності тритікале озимого в регіоні Полісся. *Агропромислове виробництво Полісся*. 2015. Вип. 8. С. 42–47.

12. Тараріко Ю.О, Писаренко П.В, Зосимчук М.Д, Сайдак Р.В, Сорока Ю.В, Лелявська Л.В. Культури лісостепової зони на осушуваних ґрунтах Західного Полісся. *Вісник аграрної науки.* 2025. №4. С. 15–24. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202504-02

13. Тараріко Ю.О., Зосимчук М.Д., Личук Г.І., Величко В.А. Потенціал продуктивності органогенних і мінеральних ґрунтів Західного Полісся. *Вісник аграрної науки*. 2024. № 9. С. 45–56. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202409

14. Шевченко О.В., Балабух В.О. Вплив зміни клімату на природно-сільськогосподарське районування території України. *Науково-практичний журнал. Екологічні науки.* 2024. № 5 (56). С. 222–231. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.34

15. Ювчик Н.О. Фотосинтетична діяльність озимої пшениці залежно від удобрення та вапнування на дерново-підзолистому ґрунті в умовах Західного Полісся. *Зернові культури*. 2023. № 1. Т. 7. С. 184–189. https://doi.org/10.31867/2523-4544/0275

16. Christidis N., Stott P.A. The influence of anthropogenic climate change on wet and dry summers in Europe. Science Bulletin. 2021. 66 (8). p. 813–823. https://doi.org/10.1016/j.scib.2021.01.020

17. Grycenko O. Yield of the sorts of winter rye in organic production in Polissya of Ukraine. *Scientific Horizons*. 2020. 2 (87). P. 38–42. https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-87-02-38-42

18. Vozniuk N., Skyba V., Likho O., Sobko Z., Klymenko T. Forecasting the adaptability of heat-loving crops to climate change in Ukraine. *Scientific Horizons.* 2023. 26 (2). P. 87–102. https://doi.org/10.48077/scihor.26(2).2023.87-102

Polischyk O. S.
Postgraduate Student
Institute of Water Problems and Land Reclamation of NAAS
Kyiv, Ukraine
E-mail: *oleksii.polishchuk.mail@gmail.com*
ORCID: *0009-0002-8831-0662*

THE APPROPRIATENESS OF GROWING WINTER CEREALS AND SPRING CULTURES IN THE MODERN HYDROTHERMAL CONDITIONS OF THE WESTERN POLISSIA ZONE

Abstract

The purpose of the work was to assess the suitability of varieties of winter cereals and spring legumes, as well as to substantiate the feasibility of their cultivation on different types of soils of the Western Polissya zone.

The results of experimental studies give reason to assert that, subject to the selection of the most adapted varieties, the yield of winter wheat grain on sod–podzolic light loam soils of the Western Polissya zone under favorable weather conditions can be about 5.5–6.0 t/ha. The highest yield over the 3–year research cycle (2022–2024) was provided by such winter wheat varieties as Bohemia of Seglen selection (Czech Republic) – 5.96 t/ha, Samurai of DSV selection (Germany) – 5.72 t/ha and Turandot (Oseva) Czech Republic – 5.54 t/ha.

Studies on the selection of species and varietal composition of winter grain crops on drained peat soils showed that on average over a 3–year research cycle, the yield of winter rye, depending on the variety, was 2.30–3.96 t/ha, and winter triticale – 3.94–4.82 t/ha. The highest yield of winter rye was produced by the Esterno variety, while the highest yields of winter triticale were achieved by the Skarb Kharkivskyi and Rotondo varieties.

The conducted experimental studies showed that sod–podzolic light loamy soils are most suitable for growing soybeans in the Western Polissya zone. For growing in the conditions of the Western Polissya zone, ultra–early soybean varieties should be selected, which ensure guaranteed production of physiologically ripe grain before the onset of the first autumn frosts. The prospects of growing soybeans of the Yunka variety of Sevita Genetiks (Canada) selection in the conditions of the Western Polissya soybean zone have been established, its yield with proper agricultural technology and high–quality inoculation can be about 4.0–4.5 t/ha. When grown on sod–podzolic sandy loam and peat soils, soybean yield is unstable and does not exceed 2.0–2.6 t/ha.

It has been established that the yield of peas when grown on sod–podzolic light loam soils over a 3-year research cycle was 3.16–3.24 t/ha, and on sod–podzolic sandy loam and peat soils, respectively – 1.62–2.04 t/ha and 1.41–1.59 t/ha.

Key words: *sod-podzolic soils, peat soils, precipitation regime, winter grain crops, spring grain legumes.*

References

1. Voropay, G.V. (2020). Sil′s′kohospodars′ke vykorystannya osushuvanykh zemel′ humidnoyi zony Ukrayiny v umovakh reformuvannya ahrarnoho sektoru ta zmin klimatu. [Agricultural use of drained lands of the humid zone of Ukraine in the context of agricultural sector reform and climate change]. *Visnyk ahrarnoyi nauky. Bulletin of Agrarian Science,* 11, 62–73. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202011-08 [in Ukrainian].

2. Hadzalo, Ya.M., Stashuk, V.A., & Rokochinsky, A.M (2017). Melioratsiya ta oblashtuvannya Ukrayins′koho Polissya [Reclamation and development of Ukrainian Polissya]: edited by Ya.M. Hadzalo.Kherson: OLDI-PLUS. T. 2. 854 p [in Ukrainian].

3. Nychyporenko, O.A., Ponomarenko, O.V., & Hryshchenko, O.M. (2025). Dysproportsiya haluzevoyi struktury sil′s′kohospodars′koho vyrobnytstva Polissya ta vnutrishni chynnyky yiyi formuvannya: [Disproportion of the sectoral structure of agricultural production in Polissya and internal factors of its formation]. *Visnyk Chernivets'koho torhovel'no-ekonomichnoho instytutu – Bulletin of the Chernivtsi Trade and Economic Institute,* Issue II (98), 60–79. http://doi.org/10.34025/2310-8185-2025-2.98.04 [in Ukrainian].

4. Petrychenko, V.F., Lykhochvor, V.V. (2020). Roslynytstvo. Novi tekhnolohiyi vyroshchuvannya pol′ovykh kul′tur [Crop production. New technologies for growing field crops]: textbook. 5th ed., revised and supplemented. Lviv.: NVF: Ukrainian Technologies. 806 p. [in Ukrainian].

5. Ryzhuk, S.M., Savchuk, O.I., Mel′nychuk, A.O., & Pryymachuk, T.YU. (2022). Efektyvnist′ korotkorotatsiynykh sivozmin z ekonomichno pryvablyvymy kul′turamy na osushuvanykh dernovo-pidzolystykh gruntakh. [The effectiveness of short-rotation crop rotations with economically attractive crops on drained sod-podzolic soils] *Visnyk ahrarnoyi nauky – Bulletin of Agricultural Science,* 2, 11–18. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202202-02 [in Ukrainian].

6. Ryzhuk, S.M., Savchuk, O.I., Kochyk, H.M., & Pryymachuk, T.YU. (2021). Efektyvnist′ vyroshchuvannya ozymoho zhyta na osushuvanykh gruntakh Polissya v umovakh klimatychnykh zmin. [Efficiency of growing winter rye on drained soils of Polissya under conditions of climate change]. *Visnyk ahrarnoyi nauky. Bulletin of Agricultural Science*, 8, 73–78. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202108-09 [in Ukrainian].

7. Romashchenko, M.I., Balyuk, S.A., & Verhunov, V.A. et al. (2020). Stalyy rozvytok melioratsiyi zemel′ v Ukrayini v umovakh zmin klimatu. [Sustainable development of land reclamation in Ukraine under climate change] *Ahrarni innovatsiyi. – Agrarian Innovations,* 3, 59–64. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.3.10 [in Ukrainian].

8. Rokochyns′kyy, A.M., Volk, P.P., Prychodko, N.V., & Deviaghina, N.I. (2021). Otsinka suchasnoho stanu klimatychnykh umov, yikh zmin ta vplyv na zahal′nyy pryrodno-melioratyvnyy rezhym osushuvanykh zemel′ zony Polissya Ukrayiny. [Assessment of the current state of climatic conditions, their changes and impact on the general natural and melioration regime of drained lands of the Polissya zone of Ukraine] *Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky: zbirnyk naukovykh prats – Bulletin of the National University of Science and Technology. Technical Sciences: Collection of Scientific Works*. *Rivne: National University of Science and Technology*, 1 (93), 48–64. [in Ukrainian].

9. Savchuk, O.I., Mel′nychuk, A.O., & Drebot, A.V. (2022). Vplyv systemy udobrennya na produktyvnist′ trytikale ozymoho (triticosecale witt.) v umovakh osushuvanoho dernovo-pidzolystoho gruntu Polissya. [The influence of the fertilization system on the productivity of winter triticale (triticosecale witt.) in conditions of drained sod-podzolic soil of Polissya.] *Zernovi kul'tury – Cereal crops*, Vol. 6, No. 1, P. 116–123. https://doi.org/10.31867/2523-4544/0214 [in Ukrainian].

10. Savchuk, O.I., Pryymachuk, T.YU., Shtan′ko, T.A., Mesha, K.V., Drebot, O.V., Kudryk, A.P., & Tsuman, N.V. (2025). Ahroekolohichnyy stan gruntovoho pokryvu Zhytomyrs′koyi oblasti v umovakh zmin klimatychnykh chynnykiv [Agroecological state of soil cover of Zhytomyr region under conditions of changing climatic factors]. *Visnyk ahrarnoyi nauky. Bulletin of Agricultural Science,* 4, 66–74. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202504-07 [in Ukrainian].

11. Storozhuk, V. V., & Storozhuk, T. S. (2015). Osoblyvosti formuvannya produktyvnosti trytykale ozymoho v rehioni Polissya. [Peculiarities of formation of productivity of winter triticale in the region of Polissya] *Ahropromyslove vyrobnytstvo Polissya – Agroindustrial production of Polissya,* 8, 42–47. [in Ukrainian].

12. Tarariko, YU.O., Saydak, R.V., & Soroka, YU.V. (2016). Perspektyvy vykorystannya meliorovanykh zemel′ humidnoyi zony Ukrayiny v umovakh zminy klimatu.. [Prospects for the use of reclaimed lands of the humid zone of Ukraine under climate change] *Visnyk ahrarnoyi nauky – Bulletin of Agricultural Science,* 7, 55–59. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201607-10 [in Ukrainian].

13. Tarariko, YU.O., Zosymchuk, M.D., Lychuk, H.I., & Velychko, V.A. (2024). Potentsial produktyvnosti orhanohennykh i mineral′nykh hruntiv Zakhidnoho Polissya. [Productivity potential of organic and mineral soils of Western Polissya.] *Visnyk ahrarnoyi nauky – Bulletin of Agricultural Science*, 9, 45–56. https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202409 [in Ukrainian].

14. Shevchenko, O.V., & Balabukh, V.O. (2024). Vplyv zminy klimatu na pryrodno-sil′s′kohospodars′ke rayonuvannya terytoriyi Ukrayiny. [The impact of climate change on the natural and agricultural zoning of the territory of Ukraine] *Naukovo-praktychnyy zhurnal. Ekolohichni nauky – Scientific and Practical Journal. Ecological Sciences,* 5(56), 222–231. https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.34 [in Ukrainian].

15. Yuvchyk, N.O. (2023). Fotosyntetychna diyal′nist′ ozymoyi pshenytsi zalezhno vid udobrennya ta vapnuvannya na dernovo-pidzolystomu hrunti v umovakh Zakhidnoho Polissya. [Photosynthetic activity of winter wheat depending on fertilization and liming on sod-podzolic soil in the conditions of Western Polissya]. *Zernovi kul'tury. –Cereal crops*, Vol. 7 (1), 184–189. https://doi.org/10.31867/2523-4544/0275 [in Ukrainian].

16. Christidis, N., & Stott, P.A. (2021). The influence of anthropogenic climate change on wet and dry summers in Europe. Science Bulletin, 66 (8), 813-823. https://doi.org/10.1016/j.scib.2021.01.020 [in English].

17. Grycenko, O. (2020). Yield of the sorts of winter rye in organic production in Polissya of Ukraine. *Scientific Horizons*. 02 (87), 38–42. https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-87-02-38-42 [in English].

18. Vozniuk, N., Skyba, V., Likho, O., Sobko, Z., & Klymenko, T. (2023). Forecasting the adaptability of heat-loving crops to climate change in Ukraine. *Scientific Horizons,* 26 (2), 87–102. https://doi.org/10.48077/scihor.26(2).2023.87-102 [in English].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 05.08.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 17.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026

УДК 631.147:631.8:633.15
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-16

Пустова З. В.
кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри хімії, екології і загальнобіологічних дисциплін,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
***E-mail:** zoyapustova@gmail.com*
***ORCID:** 0000-0003-3511-5054*

Пустова Н. В.
кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри технології виробництва продукції тваринництва та кінології,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
***E-mail:** pustova.n.v@gmail.com*
***ORCID:** 0000-0003-3184-6378*

Заходим М. В.
доктор економічних наук,
доцент кафедри економіки, підприємництва, торгівлі та біржової діяльності,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
***E-mail:** mzahodym@pdatu.edu.ua*
***ORCID:** 0000-0003-0010-8006*

Кучер О. В.
кандидат економічних наук,
доцент кафедри енергозберігаючих технологій та енергетичного менеджменту,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
***E-mail:** kucheroleg68@gmail.com*
***ORCID:** 0000-0002-2086-5971*

Петращук Д. В.
студент 2 курсу ОС «Магістр» спеціальності Н1 «Агрономія»,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
***E-mail:** denispetrasuk2@gmail.com*
***ORCID:** 0009-0006-0690-8265*

АГРОЕКОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ РОСТУ, РОЗВИТКУ, ПРОДУКТИВНОСТІ ОРГАНІЧНОЇ КУКУРУДЗИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ МІКОРИЗОУТВОРЮЮЧОГО БІОПРЕПАРАТУ В УМОВАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Анотація

Концепція сталого розвитку в екологічному землеробстві ґрунтується на інтеграції економічних, природоохоронних та соціальних аспектів, що сприяють тривалому функціонуванню агроекосистем без деградації довкілля. Вона орієнтована на раціональне використання ґрунтових і водних ресурсів, збереження біологічного різноманіття та підтримання екологічної стабільності, що гарантує продовольчу безпеку нинішніх і прийдешніх поколінь.

Стаття присвячена органічному вирощуванню продукції, що є ключовим напрямом екологізації агровиробництва, яке передбачає зниження хімічного навантаження на довкілля та збереження природних ресурсів. Перехід до сталих методів ведення сільського господарства сприяє підвищенню якості продукції, зменшенню забруднення і забезпеченню гармонії між економічними та екологічними чинниками.

© Пустова З. В., Пустова Н. В., Заходим М. В., Кучер О. В., Петращук Д. В., 2026
pISSN 2706-9052, eISSN 2706-851X

Вирощування кукурудзи як стратегічної культури потребує поглибленого аналізу процесів росту, розвитку та формування продуктивності залежно від застосування біологічних добрив і мікоризоутворюючих біопрепаратів. Проведене дослідження, що вперше здійснене у даному регіоні, відзначається високою науковою новизною, актуальністю та виробничою значущістю. Практичне значення результатів полягає у визначенні оптимальних параметрів росту та розвитку кукурудзи, встановленні закономірностей їх взаємозв'язку та окресленні шляхів регулювання продуктивності за допомогою агротехнічних прийомів.

Охарактеризовано екологічну збалансованість технологічних прийомів вирощування органічної кукурудзи та збереження ґрунтових ресурсів. Для одержання високої і сталої урожайності (11 т/га) при застосуванні екологічно збалансованих прийомів вирощування гібриду кукурудзи ДС0479Б (Dow Seeds) ФАО 250 з високими економічними показниками в умовах фермерського господарства «Ясенівка-2005» Хмельницького району Хмельницької області на ґрунтах чорноземах типових необхідно застосовувати обробку насіння мікоризоутворюючим біопрепаратом Mycofriend на фоні добрив NPK 20:10:20.

Ключові слова: *органічна продукція, мікроорганізми, агроекологія, сталий розвиток.*

Вступ. Сталий розвиток у сфері екологічного землеробства ґрунтується на інтеграції економічних, екологічних та соціальних чинників, які забезпечують довготривалу продуктивність агросистем без виснаження природних ресурсів. Його концепція передбачає раціональне використання ґрунтів, води та біорізноманіття, збереження екологічної рівноваги та формування безпечного продовольчого середовища для нинішніх і майбутніх поколінь.

У практичному вимірі сталий розвиток означає впровадження технологій, які мінімізують застосування хімічних засобів, сприяють відновленню природної родючості ґрунтів, підтримують баланс між виробничими потребами та екологічними вимогами. Важливим аспектом є також соціальна складова – забезпечення добробуту сільських громад, розвиток локальних ринків та підвищення рівня продовольчої безпеки.

Сталий розвиток у сільському господарстві є комплексною концепцією, що поєднує екологічні, економічні та соціальні аспекти. Його головна мета полягає у забезпеченні довготривалої продуктивності агросистем без виснаження природних ресурсів та порушення екологічної рівноваги. Для аграрного сектору це означає раціональне використання ґрунтів, води, біорізноманіття та впровадження технологій, які сприяють збереженню довкілля.

Екологічний вимір сталого розвитку передбачає мінімізацію негативного антропогенного впливу на навколишнє середовище. Зменшення використання хімічних добрив і пестицидів, скорочення викидів парникових газів та впровадження біологічних засобів захисту рослин сприяють відновленню природної родючості ґрунтів і підвищенню стійкості агроекосистем. Це створює умови для виробництва екологічно безпечної продукції, що відповідає сучасним вимогам споживачів.

Економічний аспект сталого розвитку полягає у формуванні довгострокової ефективності аграрного виробництва. Використання біопрепаратів та органічних технологій дозволяє знизити витрати на хімічні ресурси, а виробництво органічної продукції відкриває нові можливості для експорту. Таким чином, сталий розвиток зміцнює економічну безпеку країни та підвищує конкурентоспроможність аграрного сектору на світовому ринку.

Соціальний вимір включає підтримку добробуту сільських громад, розвиток локальних ринків та створення нових робочих місць у сфері органічного виробництва. Це сприяє підвищенню рівня продовольчої безпеки та формуванню культури відповідального споживання.

Інноваційний вимір сталого розвитку проявляється у впровадженні сучасних технологій – біопрепаратів, систем точного землеробства, цифрового моніторингу. Вони дозволяють ефективно управляти ресурсами, прогнозувати врожайність та адаптуватися до кліматичних змін.

У глобальному контексті сталий розвиток аграрної сфери відповідає Цілям сталого розвитку ООН (SDGs) та інтегрує країну у світові процеси екологізації. Це формує позитивний імідж держави як постачальника безпечної продукції та відкриває нові можливості для міжнародної співпраці й інвестицій (рис. 1).

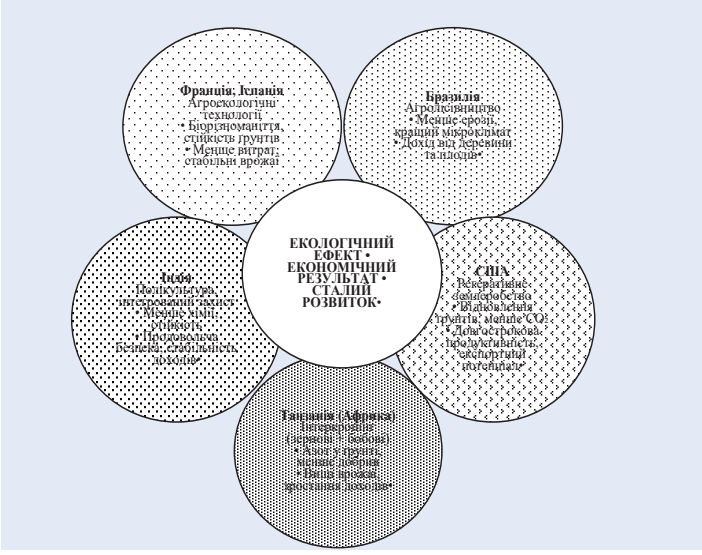


Рис. 1. Приклади практик сталого розвитку в екологічному землеробстві у різних країнах

Одним із ключових напрямів розвитку екологічного землеробства є його біологізація. Вона передбачає застосування біологічних методів, що сприяють відновленню ґрунтової родючості, виробництву якісної продукції, підвищенню економічної ефективності та зменшенню шкідливого впливу людини на навколишнє середовище. (зокрема забруднення ґрунтів, води та продукції залишками хімічних речовин і нітратами) [1].

Активне використання біологічних факторів у виробництві має не лише екологічне, а й у більшості випадків економічне значення. Причому зі зростанням складності ґрунтово-кліматичних та погодних умов роль біологізації у технологіях вирощування культур стає ще більш вагомою [2; 3].

У сучасних умовах розвитку агропромислового комплексу ринок кукурудзи посідає провідне місце в системі продовольчої безпеки, утримуючи ключові позиції поряд із пшеницею, соєю, соняшником, ріпаком та іншими культурами. На сьогодні кукурудза є другою за площею посівів серед зернових після пшениці, формуючи експортний потенціал аграрної галузі та забезпечуючи економічну й продовольчу стабільність країни.

Біологізація розглядається як один із ключових напрямів розвитку екологічного землеробства, що передбачає застосування біологічних засобів для відновлення природної родючості ґрунтів, одержання високоякісної продукції рослинництва, підвищення економічної ефективності виробництва та мінімізації негативного антропогенного впливу на довкілля, зокрема забруднення ґрунтів, води та продукції залишками хімічних речовин і нітратами [4].

Використання біологічних факторів у виробничих процесах має не лише екологічну, а й значну економічну цінність. Причому зі зростанням складності ґрунтово-кліматичних і погодних умов значення біологізації у технологіях вирощування культур істотно посилюється [5; 6; 10; 11; 12].

Органічне землеробство, орієнтоване на принципи сталого розвитку, передбачає використання біологічних засобів, що сприяють відновленню природної родючості ґрунтів та формуванню високої продуктивності культур. Одним із ключових напрямів є застосування мікоризоутворюючих біопрепаратів, які забезпечують симбіотичні взаємозв'язки між рослиною та ґрунтовими мікроорганізмами. Це дозволяє підвищити ефективність засвоєння поживних речовин, зміцнити стійкість кукурудзи до стресових факторів та зменшити потребу у хімічних добривах.

У контексті агроекологічних підходів мікориза виступає важливим інструментом оптимізації технологій вирощування органічної кукурудзи, сприяючи не лише підвищенню врожайності, але й збереженню екологічної рівноваги агросистем. Таким чином, інтеграція біопрепаратів у систему органічного землеробства відповідає стратегічним завданням сталого розвитку – поєднання економічної ефективності з екологічною безпекою та соціальною відповідальністю [7; 8].

Мікоризні препарати, що застосовуються у вирощуванні кукурудзи, ґрунтуються на симбіотичній взаємодії грибів із кореневою системою рослини. Гіфи грибів проникають у ґрунт і значно збільшують площу поглинання коренів, забезпечуючи доступ до важкодоступних форм фосфору, калію та мікроелементів. Такий механізм живлення сприяє інтенсивнішому росту кукурудзи, формуванню потужної кореневої системи та підвищенню стійкості до несприятливих умов середовища.

Крім живлення, мікоризні препарати позитивно впливають на ґрунтовий мікробіом. Вони стимулюють розвиток корисних бактерій, таких як азотфіксатори та мобілізатори органічних фосфатів, одночасно пригнічуючи патогенні мікроорганізми. Це створює більш збалансоване середовище для росту кукурудзи, активізує процеси утворення гумусу та покращує структуру ґрунту. Завдяки цьому рослини отримують стабільне й ефективне живлення протягом усього періоду вегетації.

Практичні результати застосування мікоризних препаратів демонструють зростання врожайності кукурудзи на 15–20% залежно від способу внесення. Найбільш ефективними вважаються обробка насіння та внесення препарату у рядок під час сівби. Окрім підвищення продуктивності, кукурудза стає більш стійкою до посухи, хвороб і стресових факторів, що робить мікоризні біопрепарати перспективним інструментом у системах екологічно збалансованого та органічного землеробства.

Метою наших досліджень було вивчення вирощування кукурудзи як однієї з провідних продовольчих і технічних культур потребує поглибленого аналізу механізмів росту та розвитку, а також чинників, що визначають її продуктивність.

Особливу увагу приділено впливу біологічних добрив і мікоризоутворюючих біопрепаратів, застосування яких в умовах західного Лісостепу здійснено вперше, що надає дослідженню наукової новизни та практичної ваги.

Практичне значення отриманих результатів полягає у встановленні закономірностей ростових процесів, визначенні оптимальних параметрів продуктивності та розробці шляхів їх регулювання через удосконалення агротехнічних заходів. Переваги гібриду кукурудзи ДС0479Б (Dow Seeds) ФАО 250. Тип гібрида: трьохлінійний, тип зерна: кременистоподібний. Переваги – раннє цвітіння та достигання, придатний до загущення і ранніх строків посіву – раннє цвітіння та достигання, придатний до загущення і ранніх строків посіву. Один з найкращих гібридів для посушливих умов.

Mycofriend є мікоризоутворюючим біопрепаратом, розробленим на основі грибів *Glomus* VS та *Trichoderma harzianum.* Для активного формування мікоризи він містить комплекс мікроорганізмів: *Streptomyces sp., Pseudomonas fluorescens,* а також фосфатмобілізуючі бактерії *(Bacillus megaterium var. phosphaticum, Bacillus subtilis, Bacillus mucilaginosus, Enterobacter sp.).* Загальна кількість життєздатних клітин становить (1,0–1,5)×108 КУО/мл. Крім того, препарат збагачений біологічно активними речовинами – фітогормонами, вітамінами, амінокислотами та фунгіцидними компонентами.

Застосування мікоризоутворюючого препарату Mycofriend сприяє інтенсивному заселенню кореневої та прикореневої зон мікоризоутворюючими грибами й сапрофітними ризосферними бактеріями. Це забезпечує синтез природних антибіотичних речовин, стимулює утворення та розвиток здорової кореневої системи, підвищує її стійкість до збудників кореневих гнилей. Розвинена мікориза збільшує площу поглинання елементів живлення та вологи з ґрунту, а також забезпечує рослини вітамінами, фітогормонами, амінокислотами й збалансованим мінеральним живленням (азот, фосфор, калій, кальцій тощо).

Підготовка та обробіток ґрунту під кукурудзу здійснювалися відповідно до загальноприйнятих технологій Лісостепової зони України, що передбачають ефективне знищення бур'янів, накопичення вологи та створення оптимальних умов для росту й розвитку рослин.

Виклад основного матеріалу дослідження. Кукурудза *(Zea mays L.)* належить до родини Злакових *(Poaceae)* і є однорічною, однодомною, роздільностатевою культурою. Вона вважається однією з найдавніших рослин світового землеробства, проте за своїми біологічними характеристиками істотно відрізняється від інших зернових культур [1].

Коренева система кукурудзи має мичкувату будову, добре розвинена, окремі корені здатні проникати в ґрунт на глибину 2–3 м.

Коренева система кукурудзи складається з кількох ярусів: зародкових, гіпокотильних, епікотильних, підземних вузлових та надземних стеблових коренів, які також називають повітряними або опірними.

Основну частину кореневої системи кукурудзи формують підземні вузлові корені, які заглиблюються у ґрунт на понад 2,5 м та розгалужуються в боки на відстань більше 1 м.

Ярусне розташування коренів у ґрунті, з концентрацією їх основної маси в гумусовому шарі, забезпечує більш повне постачання рослини елементами живлення та вологою, особливо завдяки літнім опадам.

За вимогами до водного режиму кукурудза належить до мезофітів. Для формування 1 ц сухої речовини вона витрачає 174–406 ц води, що менше порівняно з вівсом та ячменем. Водночас за високої продуктивності рослини споживають значні обсяги вологи. Культура ефективно використовує опади другої половини літа й частково осені, формуючи значну органічну масу навіть у посушливих районах завдяки добре розвиненій кореневій системі.

У початкові фази розвитку середньодобове водоспоживання кукурудзи становить 30–40 м³/га, тоді як у період від викидання волоті до молочної стиглості зерна воно зростає до 80–100 м³/га. За умов богарного землеробства в посушливих районах культура формує добрий урожай у роки, коли протягом червня–серпня випадає не менше 200 мм опадів, або за наявності весняних запасів вологи понад 100 мм, особливо з їхнім переважанням у липні, коли відбувається цвітіння [1].

До фази виходу в трубку кукурудза досить стійка до нестачі вологи. Однак критичний період – за 10 днів до викидання волоті й протягом 20 днів після – є вирішальним для урожаю, адже саме тоді формується пилок і насіння. Якщо на цьому етапі рослини не отримують достатнього зволоження, урожайність різко падає. Навіть за доброго водопостачання на початку вегетації, подальші нерегулярні або слабкі поливи не компенсують зростаючої потреби у волозі й призводять до значних втрат урожаю.

Рослини кукурудзи здатні переносити тимчасовий дефіцит ґрунтової вологи та знижену відносну вологість повітря. Однак тривале в'янення листків пригнічує ростові процеси й порушує формування репродуктивних органів. Оптимальні умови зволоження забезпечуються підтриманням вологості кореневого шару ґрунту на рівні не нижче 75–80% найменшої вологоємності. Зрошення сприяє збільшенню активної поглинаючої поверхні коренів, інтенсивності засвоєння води й поживних речовин, продуктивності фотосинтезу, зниженню непродуктивного дихання, а також підвищує оводненість і водоутримуючу здатність листків. Водночас надмірне перезволоження ґрунту різко знижує урожайність зерна через дефіцит кисню, що уповільнює надходження фосфору в корені, знижує його загальний, органічний і нуклеїновий вміст та порушує процеси фосфатування й білковий обмін.

Живлення кукурудзи має свої особливості: потреба в поживних речовинах змінюється залежно від етапів розвитку. Поглинання основних елементів відбувається нерівномірно, за одновершинною кривою, яка збігається з процесом накопичення сухої маси.

Азот має вирішальне значення на ранніх етапах росту кукурудзи, і його нестача призводить до затримки росту та розвитку рослин. Максимальне засвоєння азоту відбувається протягом 2–3 тижнів перед фазою викидання волотей. Поглинання цього елемента припиняється після настання молочної стиглості зерна.

Фосфор має особливе значення на початку росту кукурудзи, зокрема у фазі 4–6 листків, коли закладаються майбутні суцвіття. Його дефіцит призводить до недорозвинення качанів та формування неправильних рядів зерен. Достатнє забезпечення рослин фосфором стимулює розвиток кореневої системи, підвищує посухостійкість, прискорює утворення качанів і дозрівання врожаю. Засвоєння фосфору відбувається повільніше й рівномірніше, ніж азоту та калію, а максимальне його споживання припадає на період формування зерна й триває майже до його дозрівання.

За нестачі калію у кукурудзи сповільнюється транспортування вуглеводів, знижується синтетична активність листків, ослаблюється коренева система та зменшується стійкість рослин до вилягання. Інтенсивне надходження калію розпочинається з моменту появи сходів, і до фази викидання волотей рослини засвоюють до 90% його загальної кількості. Після завершення цвітіння надходження елементу стабілізується, а з настанням молочної стиглості зерна його вміст у тканинах зменшується внаслідок вимивання опадами та екзоосмосу через корені у ґрунт.

З початком формування зерна накопичення сухої речовини у стеблах, а у фазі молочно-воскової стиглості – й у листках, припиняється. Відбувається інтенсивне переміщення поживних речовин із вегетативних органів у репродуктивні. На наливання зерна використовується до 59% азоту, 36% фосфору та 82% калію, мобілізованих із інших органів рослини. Решта елементів надходить із ґрунту. На дерново-підзолистих і сірих лісових ґрунтах кукурудза найбільш чутлива до азотних добрив; фосфорні – ефективні на типових і звичайних чорноземах; калійні – особливо важливі на супіщаних, торф'яних і заплавних ґрунтах, а також після культур, що інтенсивно виносять калій (буряк, картопля, трави).

Високі врожаї кукурудза забезпечує на чистих, пухких, добре аерованих ґрунтах із глибоким гумусовим шаром, достатнім вмістом поживних речовин і вологи, при pH 5,5–7. Найбільш придатними є чорноземи, темно-каштанові, темно-сірі суглинисті та супіщані, а також заплавні ґрунти. За належної агротехніки високі врожаї силосної кукурудзи можливі й на дерново-підзолистих та осушених торф'яно-болотяних ґрунтах зони. Ґрунти з тенденцією до заболочування, сильним засоленням або підвищеною кислотністю (pH < 5) непридатні для вирощування цієї культури.

Під час проростання насіння кукурудза потребує інтенсивної аерації, оскільки великі зародки споживають значну кількість кисню. Високі врожаї забезпечуються за вмісту кисню в ґрунтовому повітрі не менше 18–20%. При зниженні його концентрації до 10% ріст коренів сповільнюється, а за 5% – повністю припиняється, що призводить до порушення поглинання води й поживних речовин та до розладу обмінних процесів у коренях і надземних органах.

Критичними для формування високої урожайності є фаза 2–3 листків, коли відбувається диференціація зачаткового стебла, та фаза 6–7 листків, у якій визначається розмір качана. Засуха, перезволоження ґрунту та дефіцит мінерального живлення в період цвітіння й запліднення погіршують процеси запліднення та знижують зернистість качанів.

На сучасному етапі, у зв'язку з високою вартістю мінеральних добрив та зростанням попиту на органічну продукцію, дедалі більшої актуальності набуває використання добрив нового типу – мікробіологічних препаратів і біодобрив. Вони сприяють трансформації важкодоступних сполук ґрунту у форми, доступні для рослин, активізують ростові процеси, підвищують продуктивність і якість рослинницької продукції. Сучасний мікоризоутворюючий біопрепарат Mycofriend характеризується формуванням ендо- та ектомікоризи з високою адсорбційною здатністю, вираженою бактерицидною та фунгіцидною дією. До його складу входять мікроорганізми: *Glomus, Bacillus subtilis, Pseudomonas fluorescens, Bacillus megaterium, Bacillus muciloginosus, Enterobacter, Trichoderma harzianum, Streptomyces sp.* [7; 8].

Виробництво зерна кукурудзи є однією з ключових та економічно вигідних складових діяльності аграрних підприємств України. У сучасних екологічних технологіях вирощування культур важливу роль відіграє застосування регуляторів росту рослин, зокрема новітніх мікоризоутворюючих біопрепаратів [9]. В умовах органічного землеробства використання рістрегулюючих препаратів стає необхідним елементом підвищення врожайності та покращення якості продукції. У цьому контексті актуальним є удосконалення агротехнічних прийомів вирощування кукурудзи на зерно шляхом застосування біопрепарату Mycofriend.

Виробництво зерна кукурудзи є однією з ключових та економічно вигідних складових діяльності аграрних підприємств України. У сучасних екологічних технологіях вирощування культур важливу роль відіграє застосування регуляторів росту рослин, зокрема новітніх мікоризоутворюючих біопрепаратів [9]. В умовах органічного землеробства використання рістрегулюючих препаратів стає необхідним елементом підвищення врожайності та покращення якості продукції. У цьому контексті актуальним є удосконалення агротехнічних прийомів вирощування кукурудзи на зерно шляхом застосування біопрепарату Mycofriend (табл. 1).

Таблиця 1. Тривалість міжфазних періодів розвитку кукурудзи залежно від застосування біопрепарату Mycofriend, середнє за 2022–2024 рр., діб

Варіант досліду	Міжфазний період					
	сівба – повні сходи	8 листків	11 листків	викидання волоті	молочно-воскової стиглості	повної стиглості
Контроль (без обробки)	12	37	42	64	94	111
Внесення у рядок Mycofriend 100 мл/га	12	37	41	62	95	113
Обробка насіння Mycofriend 2 л/т	12	37	39	61	96	117
Обробка насіння Mycofriend 4 л/т	11	32	37	60	98	117

Період розвитку кукурудзи до утворення 8-го листка проходив за умов помірних нічних температур та високих денних показників, що у поєднанні з достатнім рівнем ґрунтової вологи забезпечувало інтенсивний ріст культури. У цей час листки формувалися швидко: кожен наступний з'являвся через 3–5 діб після попереднього.

У варіанті з нормою внесення біопрепарату Mycofriend 4 л/т тривалість періоду «повні сходи – 8-й листок» становила 21 добу, що на 4 доби менше порівняно з контролем.

Фаза від 9-го до 11-го листка (7-й етап онтогенезу) була відносно короткою й тривала в середньому 5 діб у всіх варіантах досліду. Період виходу у трубку характеризувався оптимальними температурними умовами та достатнім рівнем вологозабезпечення. Викидання волоті відбувалося на 60–64-й день після сходів, причому застосування біопрепарату Mycofriend сприяло прискоренню цього процесу: у контролі – на 64-й день, при нормі 2 л/т – на 61-й день, при нормі 4 л/т – на 60-й день, а при внесенні препарату у рядок – на 62-й день.

Вплив біопрепарату проявлявся також у генеративних фазах розвитку кукурудзи. На відміну від вегетативного періоду, застосування Mycofriend сприяло подовженню тривалості генеративного росту. Так, у контрольному варіанті фаза молочно-воскової стиглості наставала на 94-ту добу вегетації, тоді як у дослідних варіантах – на 1–4 доби пізніше залежно від способу внесення та норми препарату.

Повна стиглість посівів кукурудзи у контрольному варіанті наставала на 111-ту добу після сівби. При застосуванні біопрепарату Mycofriend у нормі 2 та 4 л/т цей показник становив 117 діб, а при внесенні препарату у рядок – 113 діб. Таким чином, встановлено, що використання препарату подовжувало період онтогенезу кукурудзи, забезпечуючи більш повне формування врожаю.

Площа листкової поверхні є одним із ключових показників продуктивності кукурудзи, оскільки визначає інтенсивність фотосинтезу та процес накопичення органічної речовини. Саме фотосинтетична активність листя забезпечує утворення складних органічних сполук, що формують якісні та кількісні параметри врожаю [12]. Потужність асиміляційного апарату та тривалість його функціонування виступають вирішальними чинниками продуктивності культури.

Застосування біологічних препаратів та стимуляторів росту сприяло істотному збільшенню площі листкової поверхні у гібридів різних груп стиглості. Водночас на початку фази молочної стиглості спостерігалося закономірне її зниження [11; 12], що відповідає природним процесам старіння та відмирання листків.

Отримані результати підтверджують позитивний вплив біопрепарату Mycofriend на формування листкової поверхні кукурудзи. У фазі 11 листків площа листкової поверхні у контрольному варіанті становила 17,1 тис. м²/га. Внесення препарату в рядок у нормі 100 мл/га забезпечило приріст на 2,2 тис. м²/га. Обробка насіння нормою 2,0 л/т сприяла збільшенню показника на 3,3 тис. м²/га, до рівня 20,5 тис. м²/га. Найбільший ефект відзначено при застосуванні препарату у дозі 4,0 л/т, де приріст становив 5,8 тис. м²/га порівняно з контролем. (табл. 2).

Таблиця 2. Динаміка формування площі листкової поверхні кукурудзи залежно від застосування біопрепарату Mycofriend, середнє за 2022–2024 рр., тис. м²/га

Варіант досліду	Фаза росту і розвитку кукурудзи			
	11 листків	викидання волоті	молочно-воскової стиглості	воскова стиглість
Контроль (без обробки)	17,1	23,5	37,1	35,6
Внесення у рядок Mycofriend 100 мл/га	19,4	26,7	40,5	38,3
Обробка насіння Mycofriend 2 л/т	20,5	29,3	44,2	41,9
Обробка насіння Mycofriend 4 л/т	23,0	36,8	49,1	47,2

Аналогічна тенденція простежувалася й під час наступних обліків – у фазах викидання волоті та молочно-воскової стиглості. З настанням воскової стиглості площа листкової поверхні почала зменшуватися внаслідок пожовтіння листків нижнього ярусу. Найвищі показники зафіксовано у фазі молочно-воскової стиглості: у контрольному варіанті площа листків становила 37,1 тис. м²/га. Внесення біопрепарату Mycofriend у рядок під час сівби (100 мл/га) забезпечило приріст на 3,3 тис. м²/га. Найбільш результативним виявився прийом передпосівної обробки насіння: при нормі 2 л/т площа листкової поверхні досягла 44,2 тис. м²/га (+7,0 тис. м²/га до контролю), а при нормі 4 л/т – 49,1 тис. м²/га (+11 тис. м²/га).

Таким чином, дослідження показало, що максимальні показники фотосинтетичної активності та продуктивності посівів кукурудзи досягалися саме за умови передпосівної обробки насіння біопрепаратом Mycofriend у нормі 4 л/т. Це свідчить про те, що даний спосіб застосування препарату є найбільш ефективним для забезпечення інтенсивного росту, формування потужного асиміляційного апарату та підвищення врожайності культури.

Збирання врожаю зерна кукурудзи дало змогу більш детально оцінити ефективність застосування біопрепарату Mycofriend (табл. 3). У контрольному варіанті врожайність становила 8,36 т/га, що відповідає середньому рівню продуктивності культури за умов даного року. Передпосівна обробка насіння препаратом у нормі 2,0 л/т забезпечила приріст урожаю на 0,53 т/га, що свідчить про позитивний вплив біопрепарату на початкові етапи росту та розвитку рослин. Збільшення норми витрати препарату до 4,0 л/т сприяло ще більш відчутному підвищенню врожайності – на 0,87 т/га порівняно з контролем.

Таблиця 3. Урожайність зерна кукурудзи залежно від комплексу досліджуваних факторів, т/га

Варіант досліду	2022 р.	2023 р.	2024 р.	Середнє	± до контролю
Контроль (без обробки)	7,24	9,48	8,34	8,36	
Внесення у рядок Mycofriend 100 мл/га	7,58	9,95	8,67	8,77	0,39
Обробка насіння Mycofriend 2 л/т	7,75	9,05	7,87	8,91	0,53
Обробка насіння Mycofriend 4 л/т	8,06	9,40	10,2	9,98	0,87
$НІР_{0,5\ т/га}$	0,25	0,38	0,29	–	

Отримані результати підтверджують, що ефективність Mycofriend проявляється не лише у прямій дії як мікоризоутворюючого біопрепарату, який покращує живлення рослин за рахунок симбіотичних зв'язків, але й у комплексному впливі на ґрунтове середовище. Формування сприятливого мікробного оточення сприяє зниженню рівня ґрунтової інфекції, поліпшенню фітосанітарного стану та активізації процесів мінералізації органічних речовин. У результаті підвищується доступність елементів живлення, що забезпечує більш повну реалізацію потенціалу родючості ґрунту.

Висновки. Таким чином, застосування Mycofriend у технології вирощування кукурудзи, особливо за передпосівної обробки насіння нормою 4,0 л/т, є ефективним агротехнічним прийомом, який забезпечує стабільне підвищення врожайності та сприяє формуванню екологічно збалансованого агроценозу. Це підтверджує доцільність використання біопрепаратів у сучасному землеробстві як альтернативи або доповнення до традиційних хімічних засобів, що відповідає принципам сталого розвитку та екологізації аграрного виробництва.

Досвід різних країн показує, що сталий розвиток в екологічному землеробстві має універсальні принципи – збереження ґрунтів, мінімізація хімічного навантаження, підтримка біорізноманіття. Водночас кожна країна адаптує ці практики до власних кліматичних та економічних умов, що робить їх прикладними для порівняння й впровадження в Україні.

Перспективи подальших досліджень передбачають вивчення тривалої післядії біопрепарату Mycofriend на мікробіоту ґрунту та його ефективності у різних кліматичних зонах України. Актуальним напрямом є розширення експериментів із застосуванням синергетичного ефекту від поєднання біопрепаратів із системами мінімального обробітку ґрунту. Також важливим є оцінка адаптивного потенціалу кукурудзи до посухи та детальний розрахунок економічної ефективності технології.

Таким чином, екологічне землеробство у контексті сталого розвитку виступає не лише як система виробництва, але й як стратегія збереження природних ресурсів, підвищення економічної ефективності та формування екологічно відповідальної моделі аграрного господарювання.

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

Список використаних джерел

1. Пустова З. В., Кобернюк О. Т. Ключові засади органічного вирощування кукурудзи. *Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва* : матеріали IX Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 28 листоп. 2025 р.) / Держ. біотехнологічний ун-т. Харків : ДБТУ, 2025. С. 304–305. URL: https://biotechuniv.edu.ua/wp-content/uploads/2026/01/conf-28-11-25-mater.pdf

2. Пустова Н. В., Пустова З. В., Колінчук Р. В. Біохімічний склад крові курей-несучок у продуктивний період. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2024. Вип. 2(43). С. 93–100. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-2.14

3. Пустова Н. В., Пустова З. В., Ружальська С. Органічне кролівництво в умовах приватних господарств. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2023. Вип. 2(39). С. 27–34. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-2.4

4. Пустова Н., Пустова З., Баліцький Д. Вирощування органічної риби в природній водоймі. *Науково-технічний бюлетень Державного науково-дослідного контрольного інституту ветеринарних препаратів та кормових добавок і Інституту біології тварин*. 2023. Т. 24, № 1. С. 143–156. https://doi.org/10.36359/scivp.2023-24-1.20

5. Пустова Н., Пустова З. Виробництво органічної продукції кролівництва за різних технологій утримання кролів. *Науково-технічний бюлетень Державного науково-дослідного контрольного інституту ветеринарних препаратів та кормових добавок і Інституту біології тварин*. 2023. Т. 24, № 2. С. 182–192. https://doi.org/10.36359/scivp.2023-24-2.20

6. Błaszczyk L., Nowak C., Pustova Z.V., Pustova N.V., Yasinetska I. A., Bialkovska O. A., Koberniuk O. T. Using of millet straw for energy purposes. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2022. Вип. 1(36). С. 60–66. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2022-18

7. Hutsol T., Glowacki S., Tryhuba A., Kovalenko N., Pustova Z., Rozkosz A., Sukmaniuk O. *Current trends of biohydrogen production from biomass – green hydrogen* : monograph. Warsaw, 2021. 102 p. https://doi.org/10.22630/sggw.iim.9788382370218

8. Kucher O., Butorina V., Pustova N., Pustova Z., Tkach O. The role of biomass in the bioeconomic policy of Ukraine and its legal regulation. *Proceedings of the International Scientific Conference «Economic Sciences for Agribusiness and Rural Economy»*. Warsaw, 2020. No. 4. P. 84–91. https://doi.org/10.22630/ESARE.2020.4.11

9. Kucher O., Pokotylska N., Pustova Z., Pustova N. Organic market formation in Ukraine. *Journal of Tourism & Regional Development / Turystyka i Rozwój Regionalny*. Warsaw, 2021. No. 16. P. 55–66. https://doi.org/10.22630/TIRR.2021.16.19

10. Kucher O., Prokopchuk L., Pustova Z., Pustova N., Yermakov S. Current status and prospects for biogas development in Ukraine. *Engineering for Rural Development*. Jelgava, 2025. P. 724–730. DOI: https://doi.org/10.22616/ERDev.2025.24.TF150

11. Pustova Z., Koberniuk O., Pustova N., Kucher O. Compost as an alternative to mineral fertilizers in organic farming. *Євроінтеграція екологічної політики України* : матеріали Сьомої Всеукр. наук.-практ. конф. (Одеса, 4–5 листоп. 2025 р.) / Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова. Одеса : ОНУ, 2025. С. 37. URL: btsau.edu.ua https://www.researchgate.net/profile/Alona-Varukha/publication/398499539_SWOT-ANALIZ_VPROVADZENNA_EVROPEJSKIH_PIDHODIV_OCINUVANNA_EFEKTIVNOSTI_DIALNOSTI_ZAPOVIDNIH_USTANOV_V_POLITIKU_TA_PRAKTIKU_V_UKRAINI/links/6938722b27359023a00a5e44/SWOT-ANALIZ-VPROVADZENNA-EVROPEJSKIH-PIDHODIV-OCINUVANNA-EFEKTIVNOSTI-DIALNOSTI-ZAPOVIDNIH-USTANOV-V-POLITIKU-TA-PRAKTIKU-V-UKRAINI.pdf#page=37

12. Pustova Z., Pustova N., Komarnitskyi S., Tkach O., Zamoiskyi S., Olenyuk A. Influence of biopreparations on biomass yield and grain efficiency of energy corn. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 154. Art. no. 01008. DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015401008.

Pustova Z. V.
Candidate of Agricultural Sciences
Associate Professor at the Department of Chemistry, Ecology, and General Biological Disciplines,
Higher Educational Institution «Podillia State University»
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *zoyapustova@gmail.com*
ORCID: *0000-0003-3511-5054*

Pustova N. V.
Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor at the Department of Technologies of Livestock Production and Cynology,
Higher Educational Institution «Podillia State University»
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *pustova.n.v@gmail.com*
ORCID: *0000-0003-3184-6378*

Zakhodym M. V.
Doctor of Economic Sciences,
Associate Professor at the Department of Economy, Entrepreneurship, Trade and Exchange Activities,
Higher Educational Institution «Podillia State University»
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *mzahodym@pdatu.edu.ua*
ORCID: *0000-0003-0010-8006*

Kucher O. V.
Candidate of Economic Sciences,
Associate Professor at the Department of Energy Saving Technologies and Energy Management,
Higher Educational Institution «Podillia State University»
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *kucheroleg68@gmail.com*
ORCID: *0000-0002-2086-5971*

Petrashchuk D. V.
Second-year student pursuing a Master's degree in Agronomy (H1)
Higher Educational Institution «Podillia State University»
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *denispetrasuk2@gmail.com*
ORCID: *0009-0006-0690-8265*

AGROECOLOGICAL FOUNDATIONS OF THE FORMATION OF GROWTH, DEVELOPMENT, AND PRODUCTIVITY OF ORGANIC MAIZE USING A MYCORRHIZA-FORMING BIOPREPARATION UNDER SUSTAINABLE DEVELOPMENT CONDITIONS

Abstract

The concept of sustainable development in ecological agriculture is based on the integration of economic, environmental and social aspects that contribute to the long-term functioning of agro-ecosystems without environmental degradation. It is focused on the rational use of soil and water resources, the preservation of biological diversity and the maintenance of ecological stability, which guarantees food security for current and future generations.

The article is devoted to organic production, which is a key direction of the greening of agricultural production, which involves reducing the chemical load on the environment and preserving natural resources. The transition to sustainable agricultural methods contributes to improving the quality of products, reducing pollution and ensuring harmony between economic and environmental factors.

In our opinion, an important issue in growing such a strategic crop as corn is a broader study of the characteristics of plant growth and development, as well as the formation of their productivity depending on biological fertilizers and mycorrhizal-forming biological product, which is being studied for the first time in this region, has high scientific value, relevance and production feasibility.

Practical significance of the results obtained: optimal parameters and patterns of growth, development and formation of corn productivity under the influence of agrotechnical measures have been identified. The relationship between them and ways to regulate their parameters using cultivation methods have been established. The ecological balance of technological methods for growing organic corn and the preservation of soil resources has been characterized. To obtain high and stable yields (11 t/ha) when using environmentally balanced methods of growing the DS0479B (Dow Seeds) FAO 250 corn hybrid with high economic indicators in the conditions of the Yasenivka-2005 farm in the Khmelnytskyi district of the Khmelnytskyi region on typical chernozem soils, it is necessary to apply seed treatment with the mycorrhizal-forming biological preparation Mycofriend on the background of NPK 20:10:20 fertilizers.

Key words: *organic products, microorganisms, agroecology, sustainable development.*

References

1. Pustova, Z. V., Koberniuk, O. T. (2025). *Kliuchovi zasady orhanichnoho vyroshchuvannia kukurudzy* [Key principles of organic maize cultivation]. In Naukovi zasady pidvyshchennia efektyvnosti silskohospodarskoho vyrobnytstva [Scientific principles of increasing agricultural production efficiency]: Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference. November 28, 2025. Kharkiv: State Biotechnological University, p. 387. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/V-Tsygankova/publication/399064869_Influence_of_biofertilizers_and_synthetic_plant_growth_regulators_on_increasing_photosynthesis_in_wheat/links/694d19c306a9ab54f84aa1b7/Influence-of-biofertilizers-and-synthetic-plant-growth-regulators-on-increasing-photosynthesis-in-wheat.pdf#page=305 [in Ukrainian]

2. Pustova, N. V., Pustova, Z. V., & Kolinchuk, R. V. (2024). Biokhimichnyi sklad krovi kurei-nesuchok u produktyvnyi period [Biochemical composition of blood in laying hens during the productive period]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika*, 2(43), 93–100. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-43-12 [in Ukrainian]

3. Pustova, N. V., Pustova, Z. V., Ruzhalska, S. (2023). Orhanichne krolivnytstvo v umovakh pryvatnykh hospodarstv [Organic rabbit breeding in private households]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika*, 2(39), 27–34. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-2.4 [in Ukrainian]

4. Pustova, N., Pustova, Z., & Balitskyi, D. (2023). Vyroshchuvannia orhanichnoi ryby v pryrodnii vodoimi [Organic fish farming in a natural reservoir]. *Naukovo-tekhnichnyi biuleten Derzhavnoho naukovo-doslidnoho kontrolnoho instytutu veterynarnykh preparativ ta kormovykh dobavok i Instytutu biolohii tvaryn*, 24(1), 143–156. https://doi.org/10.36359/scivp.2023-24-1.20 [in Ukrainian]

5. Pustova, N., & Pustova, Z. (2023). Vyrobnytstvo orhanichnoi produktsii krolivnytstva za riznykh tekhnolohii utrymannia kroliv [Production of organic rabbit products under different rabbit housing technologies]. *Naukovo-tekhnichnyi biuleten Derzhavnoho naukovo-doslidnoho kontrolnoho instytutu veterynarnykh preparativ ta kormovykh dobavok i Instytutu biolohii tvaryn,* 24(2), 182–192. https://doi.org/ 10.36359/scivp.2023-24-2.20 [in Ukrainian]

6. Błaszczyk, L., Nowak, C., & Pustova, Z. V., et al. (2022). Using of millet straw for energy purposes. *Podilian Bulletin: Agriculture, Engineering, Economics*, 1(36). C. 60–66. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2022-18 [in English]

7. Hutsol, T., Glowacki, S., Tryhuba, A., Kovalenko, N., Pustova, Z., Rozkosz, A., & Sukmaniuk, O. (2021). Current trends of biohydrogen production from biomass – green hydrogen. Monograph. Warsaw: 102 p. https://doi.org/10.22630/sggw.iim.9788382370218 [in English]

8. Kucher, O., Butorina, V., Pustova, N., Pustova, Z., & Tkach, O. (2020). The role of biomass in the bioeconomic policy of Ukraine and its legal regulation. *Proceedings of the International Scientific Conference "Economic Sciences for Agribusiness and Rural Economy".* Warsaw. No. 4. P. 84–91. https://doi.org/10.2230/ESARE.2020.4.11 [in English]

9. Kucher, O., Pokotylska, N., N., Pustova, N., & Pustova, Z. (2021). Organic market formation in Ukraine. *Journal of Tourism & Regional Development*. Warsaw, No. 16. P. 55–66. https://doi.org/10.22630/TIRR.2021.16.19 [in English]

10. Kucher, O., Prokopchuk, L., & Pustova, Z. et al. (2025). Current status and prospects for biogas development in Ukraine. Engineering for Rural Development, 24. Jelgava. P. 724–730. https://doi.org/10.22616/ERDev.2025.24.TF150 [in English]

11. Pustova, Z., & Koberniuk, O. et al. (2025). Compost as an alternative to mineral fertilizers in organic farming. In Ievrointehratsiia ekolohichnoi polityky Ukrainy. European integration of Ukraine's environmental policy: Proceedings of the Seventh All-Ukrainian Scientific and Practical Conference (Odesa, November 4–5, 2025). Odesa: Odesa National University named after I. I. Mechnikov, p. 37. Research Gate. https://www.researchgate.net/profile/Alona-Varukha/publication/398499539_SWOT-ANALIZ_VPROVADZENNA_EVROPEJSKIH_PIDHODIV_OCINUVANNA_EFEKTIVNOSTI_DIALNOSTI_ZAPOVIDNIH_USTANOV_V_POLITIKU_TA_PRAKTIKU_V_UKRAINI/links/6938722b27359023a00a5e44/SWOT-ANALIZ-VPROVADZENNA-EVROPEJSKIH-PIDHODIV-OCINUVANNA-EFEKTIVNOSTI-DIALNOSTI-ZAPOVIDNIH-USTANOV-V-POLITIKU-TA-PRAKTIKU-V-UKRAINI.pdf#page=37 [in English]

12. Pustova, Z., Pustova, N., & Komarnitskyi, S. et al. (2020). Influence of biopreparations on biomass yield and grain efficiency of energy corn. E3S Web of Conferences. Vol. 154. Art. no. 01008. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015401008 [in English].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 25.06.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 05.08.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026

УДК 633.34:631.847.211:631.559
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-17

Угрін О. М.
здобувач наукового ступеня доктора філософії,
Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України
смт Хліборобське, Україна
E-mail: *aleksandr.ugrin@gmail.com*
ORCID: *0009-0002-0710-5852*

Біднина І. О.
кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник,
Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України
Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України
смт Хліборобське, Україна
E-mail: *irinabidnina@ukr.net*
ORCID: *0000-0001-8351-2519*

ЕФЕКТИВНІСТЬ ДІЯЛЬНОСТІ СИМБІОТИЧНОГО АПАРАТУ ТА АКТИВНІСТЬ ЦЕЛЮЛОЗОРУЙНІВНОЇ МІКРОБІОТИ СОРТІВ СОЇ ЗА ЕНДОФІТНО-РИЗОБІАЛЬНОЇ ІНОКУЛЯЦІЇ НАСІННЯ

Анотація

В Україні питання біологізації азотного живлення сої та скорочення витрат мінеральних добрив є предметом тривалих досліджень. Проте для умов Причорномор'я України недостатньо з'ясовано комплексний вплив поєднань РизобінуК із B. velezensis IMB B-8134, Pseudomonas sp. 6 і B. megaterium УКМ B-5724 на формування бульбочкового апарату сортів різної скоростиглості та сезонну динаміку целюлозоруйнівної мікробіоти в різних шарах ґрунту. Метою дослідження було встановити особливості формування симбіотичного апарату та зміни чисельності целюлозоруйнівної мікробіоти ризосфери сортів сої Софія і Монарх залежно від передпосівної інокуляції насіння ризобіальним препаратом та його композиціями з ендофітними бактеріями. Польові дослідження проведено в Херсонській області впродовж 2023–2025 рр. Досліджували контроль без обробки, РизобінК та його композиції з Bacillus velezensis IMB B-8134, Pseudomonas sp. 6 і Bacillus megaterium УКМ B-5724. Визначали кількість і масу бульбочок у фазах гілкування та утворення бобів сої, а також чисельність целюлозоруйнівних мікроорганізмів у шарах ґрунту 0–20 і 20–40 см упродовж трьох міжфазних періодів. Найвищу біологічну ефективність забезпечила композиція РизобінК + B. velezensis IMB B-8134. У фазу гілкування вона забезпечувала формування 26–27 бульбочок масою 0,34–0,39 г на рослину, а у фазу утворення бобів – 41–49 бульбочок масою 1,21–1,45 г. Середня чисельність целюлозоруйнівних мікроорганізмів за цього варіанта становила 2,93 млн КУО/г у сорту Софія та 2,94 млн КУО/г у сорту Монарх, що перевищувало контроль відповідно на 6,1 і 11,6 %. Композиція з B. megaterium була особливо ефективною у сорту Монарх і забезпечувала 47 бульбочок загальною масою 1,43 г. Коінокуляція ризобіальними та ендофітними бактеріями сприяє оптимізації симбіотичного апарату й біологічної активності ризосфери сої. Найбільш оптимальною для обох досліджуваних сортів сої визначено композицію РизобінК + B. velezensis IMB B-8134.

Ключові слова: *сорти сої, передпосівна інокуляція, ендофітні бактерії, бульбочки, целюлозоруйнівні мікроорганізми.*

Вступ. Стабілізація виробництва сої в посушливих умовах півдня України потребує впровадження біологізованих технологічних рішень, здатних одночасно оптимізувати азотне живлення рослин, активізувати мікробіологічні процеси в ризосфері та зменшити залежність агроценозу від мінеральних азотних добрив. Визначальною ланкою такого підходу є формування ефективного бобово-ризобіального симбіозу. Кількість, маса та функціональний стан бульбочок відображають потенціал симбіотичної фіксації молекулярного азоту, однак їх формування залежить від генотипу сої, конкурентоспроможності ризобій, ґрунтово-кліматичних умов і взаємодії з іншими представниками ризосферної мікробіоти [4; 7; 10].

Передпосівна інокуляція насіння препаратами на основі *Bradyrhizobium* є базовим біологічним прийомом у технології вирощування сої. Водночас результати сучасних досліджень свідчать, що поєднання ризобій із бактеріями родів *Bacillus* і *Pseudomonas* може забезпечувати додатковий стимулювальний ефект завдяки синтезу фітогормонів, мобілізації фосфатів, продукуванню сидерофорів і антимікробних метаболітів, формуванню біоплівок та підвищенню стійкості рослин до абіотичних стресів [5; 9; 11; 12]. Реалізація переваг коінокуляції, під якою розуміють поєднане застосування ризобіальних бактерій із функціонально доповнювальними ендофітними або

© Угрін О. М., Біднина І. О., 2026 pISSN 2706-9052, eISSN 2706-851X

ризосферними штамами, значною мірою залежить від властивостей мікробних компонентів і генотипу рослин, тому потребує експериментальної перевірки в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах.

Важливою складовою оцінювання біологізованої технології є визначення реакції ґрунтової мікробіоти. Целюлозоруйнівні мікроорганізми беруть участь у деструкції рослинних решток, трансформації органічного вуглецю та утворенні доступних для рослин сполук. Динаміка їх чисельності відображає інтенсивність мінералізаційних процесів і реакцію мікробного угруповання на кореневі виділення, умови зволоження та склад інокуляційного комплексу. Поєднане оцінювання бульбочкового апарату й целюлозоруйнівної мікробіоти дає змогу системно, об'єктивно охарактеризувати біологічну ефективність інокуляції, ніж аналіз лише врожайності або окремих морфометричних показників.

У сучасній науковій літературі коінокуляцію розглядають як спосіб формування функціонально комплементарних мікробно-рослинних систем. Ризобіальний компонент забезпечує специфічне інфікування коренів і утворення азотфіксувальних бульбочок, тоді як супутні бактерії можуть стимулювати розвиток кореневої системи, посилювати надходження фосфору й мікроелементів, впливати на гормональний баланс і знижувати негативну дію стресових чинників [9; 11]. Метааналіз результатів численних польових досліджень і масштабна виробнича валідація коінокуляції сої підтвердили, що її результативність визначається генотипом культури, властивостями ґрунту, погодними умовами, системою удобрення та способом внесення мікроорганізмів [3; 8].

Для представників роду *Bacillus* важливими є здатність утворювати стійкі спори, синтезувати широкий спектр біологічно активних речовин і здатні колонізувати ризосферу. Доведено, що сумісне застосування *B. velezensis* із *Bradyrhizobium* може збільшувати розміри бульбочок і посилювати азотфіксацію; цей ефект пов'язують із продукуванням індоліл-3-оцтової кислоти та стимулюванням розвитку кореневих тканин [9]. *Bacillus megaterium* (за сучасною номенклатурою окремі штами відносять до *Priestia megaterium*) характеризується фосфатмобілізувальною та рістрегулювальною активністю, що є важливим для енергомісткого процесу біологічної фіксації азоту. Позитивний вплив бактерій груп *Bacillus*/*Priestia* на елементи структури врожаю та продуктивність сої підтверджено також у новітніх дослідженнях [6].

Бактерії роду *Pseudomonas* здатні продукувати ауксини, сидерофори, антибіотичні сполуки та ферменти, що сприяють поліпшенню фосфорного живлення й адаптації рослин. За коінокуляції *Bradyrhizobium* і *Pseudomonas* у сої встановлено збільшення кількості й маси бульбочок, поліпшення засвоєння елементів живлення та підвищення врожайності [5; 11]. Водночас різні штами *Pseudomonas* неоднаково взаємодіють із ризобіями, що підтверджує необхідність польового випробування кожної конкретної бактеріальної композиції.

В Україні питання біологізації азотного живлення сої та скорочення витрат мінеральних добрив є предметом тривалих досліджень [1; 2]. Проте для умов Причорномор'я України недостатньо з'ясовано комплексний вплив поєднань РизобінуК із *B. velezensis* ІМВ В-8134, *Pseudomonas sp. 6* і *B. megaterium* УКМ В-5724 на формування бульбочкового апарату сортів різної скоростиглості та сезонну динаміку целюлозоруйнівної мікробіоти в різних шарах ґрунту. Це визначило наукову спрямованість і актуальність проведеного дослідження.

Мета роботи – встановити закономірності формування кількості й маси бульбочок на коренях сортів сої Софія і Монарх та зміни чисельності целюлозоруйнівних мікроорганізмів у шарах ґрунту 0–20 і 20–40 см залежно від передпосівної інокуляції насіння РизобіномК і його композиціями з ендофітними бактеріями в умовах Причорномор'я України.

Матеріал і методи. Польові дослідження проводили впродовж 2023–2025 рр. у Херсонській області на дослідних полях Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН на темно-каштановому ґрунті. Схема двофакторного досліду передбачала: фактор А – сорт сої (Софія, Монарх); фактор В – передпосівна інокуляція (контроль без обробки; РизобінК; РизобінК + *Bacillus velezensis* ІМВ В-8134; РизобінК + *Pseudomonas sp. 6*; РизобінК + *Bacillus megaterium* УКМ В-5724). Кількість і масу бульбочок визначали в розрахунку на одну рослину у фазах гілкування та утворення бобів. Для мікробіологічного аналізу зразки ґрунту відбирали з шарів 0–20 і 20–40 см у три міжфазні періоди: гілкування – цвітіння; цвітіння – утворення бобів; утворення бобів – дозрівання бобів. Чисельність целюлозоруйнівних мікроорганізмів виражали в млн КУО/г абсолютно сухого ґрунту. Польові обліки, відбір зразків і статистичне опрацювання результатів здійснювали за загальноприйнятими методиками польового досліду та агрономічних досліджень [12]. Істотність відмінностей оцінювали за $НІР_{0,05}$.

Виклад основного матеріалу дослідження. У результаті досліджень встановлено, що у фазу гілкування сорти сої Софія і Монарх на контролі формували по 12 бульбочок на рослину, однак їх маса у сорту Монарх була дещо вищою – 0,21 проти 0,20 г у (табл. 1).

Застосування препарату РизобінуК збільшило кількість бульбочок до 16 шт. у та 17 шт. у сорту сої Монарх, а їх масу – до 0,29 і 0,30 г відповідно. Отже, вже на початковому етапі симбіогенезу специфічна ризобіальна інокуляція забезпечила приріст кількості бульбочок на 33,3–41,7% а їх маси на 42,9–45,0% порівняно з контролем (без обробки насіння).

Найвиразніший ранній ефект забезпечила композиція РизобінК + *B. velezensis* ІМВ В-8134. Кількість бульбочок у сорту сої Софія становила 26 шт., у сорту Монарх – 27 шт., що перевищувало контроль відповідно у 2,17 та 2,25 рази. Маса бульбочок зросла до 0,34 і 0,39 г, або на 70,0 та 85,7%. Перевищення $НІР_{0,05}$ підтверджує істотність відмінностей за обома показниками. Композиція РизобінК + *B. megaterium* УКМ В-5724 також

забезпечила значне збільшення кількості бульбочок – до 25 і 26 шт., проте за масою дещо поступалася варіанту з *B. velezensis*. Варіант із обробкою насіння сої препаратом *Pseudomonas sp. 6* займав проміжне положення: 21–22 бульбочки масою 0,30–0,31 г.

Таблиця 1. Формування бульбочок на кореневій системі сортів сої залежно від передпосівної інокуляції насіння (середнє за 2023–2025 рр.)

Сорт	Варіант інокуляції	Гілкування–цвітіння		Утворення–дозрівання бобів	
		кількість, шт.	маса, г	кількість, шт.	маса, г
Софія	Контроль (без обробки насіння)	12	0,20	22	0,45
	РизобінК	16	0,29	31	1,06
	РизобінК + *B. velezensis* ІМВ В-8134	26	0,34	41	1,21
	РизобінК + *Pseudomonas sp.* 6	21	0,30	36	1,10
	РизобінК + *B. megaterium* УКМ В-5724	25	0,31	34	1,08
	$НІР_{0,05}$	5,07	0,04	6,49	0,29
Монарх	Контроль (без обробки насіння)	12	0,21	31	1,03
	РизобінК	17	0,30	41	1,32
	РизобінК + *B. velezensis* ІМВ В-8134	27	0,39	49	1,45
	РизобінК + *Pseudomonas sp.* 6	22	0,31	42	1,36
	РизобінК + *B. megaterium* УКМ В-5724	26	0,36	47	1,43
	$НІР_{0,05}$	5,38	0,06	6,03	0,15

До фази утворення бобів відмінності між варіантами посилилися. На контролі сорт сої Софія формувала 22 бульбочки масою 0,45 г, Монарх – 31 бульбочку масою 1,03 г. Застосування РизобінК збільшувало відповідні показники до 31 шт. і 1,06 г у та 41 шт. і 1,32 г у сорту Монарх. Найбільшу кількість бульбочок було встановлено за застосування РизобінуК + *B. velezensis* ІМВ В-8134 – 41 шт. у сорту Софія та 49 шт. – у сорту Монарх; маса становила 1,21 і 1,45 г. Порівняно з контролем кількість бульбочок зросла на 86,4% у та на 58,1% у сорту Монарх, маса – відповідно у 2,69 рази та на 40,8%.

Високою ефективністю характеризувалася також композиція з *B. megaterium* УКМ В-5724, особливо у сорту сої Монарх, де встановлено 47 бульбочок масою 1,43 г, тобто за масою лише на 0,02 г менше від максимального варіанта. У сорту Софія цей варіант забезпечував формування 34 бульбочок масою 1,08 г. Застосування композиції з *Pseudomonas sp. 6* формувало 36 і 42 бульбочки масою 1,10 і 1,36 г відповідно у сортів Софія та Монарх. Таким чином, застосування *B. velezensis IMB B-8134* виявило найбільш універсальну сумісність з обома сортами, тоді як *B. megaterium УКМ В-5724* мав особливо виражений ефект саме у сорту Монарх.

У фазу гілкування абсолютні значення кількості бульбочок у досліджуваних сортів сої були близькими. У фазу утворення бобів сорт Монарх переважав дані сорту Софія за кількістю і масою бульбочок у всіх варіантах. Водночас відносна реакція на інокуляцію за масою бульбочок була сильнішою у сорту сої Софія, що пояснюється нижчим контрольним рівнем цього показника. Це свідчить, що абсолютні та відносні ефекти інокуляції слід інтерпретувати спільно, не ототожнюючи більший приріст із вищою загальною потужністю симбіотичного апарату.

Виявлені закономірності узгоджуються з даними про здатність препарату *B. velezensis* стимулювати ріст бульбочок і підвищувати ефективність симбіотичної азотфіксації [4]. Висока результативність композиції з *B. megaterium* може бути пов'язана з покращенням фосфорного живлення, оскільки редукція молекулярного азоту є енергомістким процесом і потребує достатнього забезпечення рослин фосфором. Ефект *Pseudomonas sp. 6* відповідає результатам досліджень, у яких подвійна інокуляція *Bradyrhizobium* і *Pseudomonas* посилювала симбіотичну ефективність, живлення та продуктивність сої [5, 6].

Чисельність целюлозоруйнівних мікроорганізмів змінювалася залежно від сорту, складу інокуляційного комплексу, шару ґрунту та міжфазного періоду (табл. 2).

У сорту сої Софія в шарі ґрунту 0–20 см на контролі (без обробки насіння) показник чисельності целюлозоруйнівних мікроорганізмів становив 2,57–3,03 млн КУО/г. Максимальне значення чисельності в цьому шарі – 3,83 млн КУО/г – встановлено за обробки насіння сої препаратом РизобінуК у міжфазний період цвітіння–утворення бобів. Наприкінці досліджуваної сезонної динаміки найвищу чисельність – 3,46 млн КУО/г – забезпечила композиція РизобінК + *B. megaterium УКМ В-5724*. Це перевищувало контроль на 0,43 млн КУО/г і $НІР_{0,05}$ для відповідного періоду.

У шарі 20–40 см у найбільш стабільною була дія композиції РизобінК + *B. velezensis IMB B-8134*: 2,99; 2,49 і 3,13 млн КУО/г у трьох міжфазних періодах. Наприкінці вегетації цей варіант перевищував контроль на 0,25 млн КУО/г, або на 8,7%. Для *B. megaterium* у глибшому шарі на ранніх етапах відзначено нижчі значення – 2,21 і 2,16 млн КУО/г, проте у третьому періоді чисельність зростала до 3,02 млн КУО/г. Отже, стимулювальний ефект цього штаму був локалізований переважно у верхньому шарі та пізнішому періоді розвитку рослин.

У сорту сої Монарх найбільша рання чисельність целюлозоруйнівних мікроорганізмів у верхньому шарі ґрунту – 3,25 млн КУО/г – сформувалася за обробки РизобіномК; варіант із додатковим використанням *Pseudomonas sp.* 6 забезпечував 3,11 млн КУО/г. У шарі ґрунту 20–40 см найстабільнішою та найвищою була

чисельність за обробки насіння сої РизобіномК + *B. velezensis IMB B-8134*: 3,13; 2,93 і 3,15 млн КУО/г. Ці значення перевищували контроль відповідно на 0,14; 0,76 та 0,49 млн КУО/г, а у другому і третьому періодах визначення різниця була істотною. Таким чином, композиція з *B. velezensis* не завжди забезпечувала абсолютний максимум у поверхневому шарі, проте формувала найбільш вирівняний і стійкий мікробіологічний ефект у шарі ґрунту 20–40 см, особливо у сорту Монарх.

Таблиця 2. Чисельність целюлозоруйнівних мікроорганізмів у ризосфері сортів сої залежно від інокуляції, млн КУО/г абсолютно сухого ґрунту (середнє за 2023–2025 рр.)

Сорт	Варіант інокуляції	Шар ґрунту, см	Гілкування–цвітіння	Цвітіння–утворення бобів	Утворення–дозрівання бобів
Софія	Контроль (без обробки насіння)	0–20	2,57	2,45	3,03
		20–40	2,68	2,94	2,88
	РизобінК	0–20	2,80	3,83	2,94
		20–40	2,54	2,53	2,70
	РизобінК + *B. velezensis* ІМВ В-8134	0–20	2,98	3,00	2,97
		20–40	2,99	2,49	3,13
	РизобінК + *Pseudomonas sp.* 6	0–20	2,81	2,80	2,78
		20–40	2,56	2,69	2,72
	РизобінК + *B. megaterium* УКМ В-5724	0–20	2,97	2,89	3,46
		20–40	2,21	2,16	3,02
Монарх	Контроль (без обробки насіння)	0–20	2,74	2,49	2,74
		20–40	2,99	2,17	2,66
	РизобінК	0–20	3,25	2,83	2,66
		20–40	2,87	2,65	2,41
	РизобінК + *B. velezensis* ІМВ В-8134	0–20	2,85	2,85	2,72
		20–40	3,13	2,93	3,15
	РизобінК + *Pseudomonas sp.* 6	0–20	3,11	2,61	2,99
		20–40	2,24	2,44	2,74
	РизобінК + *B. megaterium* УКМ В-5724	0–20	2,87	2,82	2,68
		20–40	2,21	2,82	2,72
	$НІР_{0,05}$	0–20	0,21	0,19	0,14
	$НІР_{0,05}$	20–40	0,17	0,19	0,13

Усереднення спостережень для кожної комбінації сорту й інокулянта показало, що найвищий загальний рівень чисельності целюлозоруйнівної мікробіоти сформувався за використання композиції РизобінК + *B. velezensis IMB B-8134*: 2,93 млн КУО/г у та 2,94 млн КУО/г у сорту сої Монарх. Порівняно з контролем приріст становив відповідно 6,1 та 11,6%. При застосуванні РизобінуК середні значення становили 2,89 і 2,78 млн КУО/г, для *Pseudomonas sp. 6* – 2,73 і 2,69, для *B. megaterium* – відповідно 2,79 і 2,69 млн КУО/г. Отже, загальний ефект композицій визначався не тільки максимальним разовим значенням, а й рівномірністю реакції за профілем ґрунту та фазами розвитку сої.

Комплексний аналіз морфометричних і мікробіологічних показників засвідчив, що використання композиції РизобінК + *B. velezensis* ІМВ В-8134, яка була найефективнішою за бульбочкоутворенням, одночасно забезпечувала найвищу середню чисельність целюлозоруйнівних мікроорганізмів. Це дає підстави припускати формування більш функціонально узгодженої системи «рослина – бульбочкові бактерії – ризосферна мікробіота». Водночас окремі максимальні значення при застосуванні РизобінуК або композиції разом з *B. megaterium* у певних шарах і фазах свідчать, що реакція мікробіоценозу є складнішою, ніж реакція бульбочкового апарату, і залежить від локалізації кореневих виділень, запасів органічного субстрату та сезонної динаміки гідротермічних умов.

Морфометричні показники бульбочок не є прямим відображенням нітрогеназної активності, однак більша кількість і маса функціонально активних бульбочок створюють передумови для підвищення азотфіксувального потенціалу. За п'ятьма варіантами інокуляції в межах кожного сорту встановлено тісний позитивний кореляційний зв'язок між кількістю бульбочок у фазу утворення бобів і врожайністю: r = 0,97 у та r = 0,87 у сорту сої Монарх; для маси бульбочок відповідні коефіцієнти становили r = 0, 95 і r = 0,82. Цей розрахунок має аналітичний характер і базується на середніх значеннях п'яти варіантів, проте підтверджує практичну значущість оптимізації діяльності симбіотичного апарату.

Висновки. Передпосівна інокуляція насіння сої за результатами трирічних даних істотно впливала на ефективність формування симбіотичного апарату та чисельність целюлозоруйнівної мікробіоти ризосфери сортів сої Софія і Монарх. Найбільш універсальною та стабільною є композиція РизобінК + *Bacillus velezensis* ІМВ В-8134. У фазу гілкування її застування забезпечувало формування 26–27 бульбочок масою 0,34–0,39 г, а у фазу утворення бобів – 41–49 бульбочок масою 1,21–1,45 г на рослину. За цього ж варіанту встановлено найвищу середню чисельність целюлозоруйнівних мікроорганізмів – 2,93–2,94 млн КУО/г абсолютно сухого ґрунту.

Композиція РизобінК + *Bacillus megaterium* УКМ В-5724 характеризувалася вираженою сортоспецифічною ефективністю у сорту сої Монарх, забезпечивши формування 47 бульбочок загальною масою 1,43 г, а у сорту

Софія – максимальну чисельність целюлозоруйнівних мікроорганізмів у шарі ґрунту 0–20 см наприкінці досліджуваного періоду (3,46 млн КУО/г). Поєднання обробки насіння сої РизобіномК із *Pseudomonas sp.* 6 стабільно перевищувало контроль (без обробки насіння) за показниками бульбочкоутворення, однак поступалося композиціям із *Bacillus* за сукупністю досліджених ознак.

Встановлено сортову специфічність реакції на інокуляцію: сорт сої Монарх формував більші показники кількості і маси бульбочок у фазу утворення бобів, тоді як сорт Софія характеризувався вищим відносним приростом маси бульбочок порівняно з контролем. Для умов Півдня України доцільним є використання композиції РизобінК + *B. velezensis* IMB B-8134 як найбільш перспективного елемента біологізованої технології вирощування обох сортів сої.

Список використаних джерел

1. Вожегова Р. А., Боровик В. О., Рубцов Д. К., Біднина І. О., Клубук В. В. Сучасні аспекти вирішення проблеми економії азотних добрив під час вирощування сої в умовах зрошення. *Аграрні інновації*. 2020. № 1. С. 11–16. DOI: 10.32848/agrar.innov.2020.1.2
2. Ушкаренко В. О., Вожегова Р. А., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Методика польового досліду (зрошуване землеробство) : навчальний посібник. Херсон : Грінь Д. С., 2014. 445 с.
3. Barbosa J. Z., Hungria M., Sena J. V. S., Poggere G. C., Reis A. R. dos, Corrêa R. S. Meta-analysis reveals benefits of co-inoculation of soybean with Azospirillum brasilense and Bradyrhizobium spp. in Brazil. *Applied Soil Ecology*. 2021. Vol. 163. Art. 103913. DOI: 10.1016/j.apsoil.2021.103913.
4. Hnini M., Aurag J. Prevalence, diversity and applications potential of nodules endophytic bacteria: a systematic review. *Frontiers in Microbiology.* 2024. Vol. 15. Art. 1386742. DOI: 10.3389/fmicb.2024.1386742.
5. Kumawat K. C., Singh I., Nagpal S., Sharma P., Gupta R. K., Sirari A. Co-inoculation of indigenous Pseudomonas oryzihabitans and Bradyrhizobium sp. modulates the growth, symbiotic efficacy, nutrient acquisition, and grain yield of soybean. Pedosphere. 2022. Vol. 32, No. 3. P. 438–451. DOI: 10.1016/S1002-0160(21)60085-1.
6. Marchão R. L., Silva G. C. da, Andrade S. R. M. de, Reis Junior F. B. dos, Barros Júnior M. P. de, Haphonsso R. H., Carvalho A. M. de. Improving Soybean Development and Grain Yield by Complementary Inoculation with Growth-Promoting Bacteria Azospirillum, Pseudomonas, Priestia, and Bacillus. *Plants.* 2025. Vol. 14, No. 3. Art. 402. DOI: 10.3390/plants14030402.
7. Nakei M. D., Venkataramana P. B., Ndakidemi P. A. Soybean-Nodulating Rhizobia: Ecology, Characterization, Diversity, and Growth Promoting Functions. *Frontiers in Sustainable Food Systems.* 2022. Vol. 6. Art. 824444. DOI: 10.3389/fsufs.2022.824444.
8. Prando A. M., Barbosa J. Z., Oliveira A. B. de, Nogueira M. A., Possamai E. J., Hungria M. Benefits of soybean co-inoculation with Bradyrhizobium spp. and Azospirillum brasilense: Large-scale validation with farmers in Brazil. *European Journal of Agronomy*. 2024. Vol. 155. Art. 127112. DOI: 10.1016/j.eja.2024.127112.
9. Sibponkrung S., Kondo T., Tanaka K., Tittabutr P., Boonkerd N., Yoshida K., Teaumroong N. Co-Inoculation of Bacillus velezensis Strain S141 and Bradyrhizobium Strains Promotes Nodule Growth and Nitrogen Fixation. *Microorganisms*. 2020. Vol. 8, No. 5. Art. 678. DOI: 10.3390/microorganisms8050678.
10. Szczerba A., Płażek A., Kopeć P., Wójcik-Jagła M., Dubert F. Effect of different Bradyrhizobium japonicum inoculants on physiological and agronomic traits of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) associated with different expression of nodulation genes. *BMC Plant Biology.* 2024. Vol. 24. Art. 1201. DOI: 10.1186/s12870-024-05911-x.
11. Tu T.-C., Lin S.-H., Shen F.-T. Enhancing Symbiotic Nitrogen Fixation and Soybean Growth through Co-Inoculation with Bradyrhizobium and Pseudomonas Isolates. *Sustainability.* 2021. Vol. 13, No. 20. Art. 11539. DOI: 10.3390/su132011539.
12. Xing P., Zhao Y., Guan D., Li L., Zhao B., Ma M., Jiang X., Tian C., Cao F., Li J. Effects of Bradyrhizobium Co-Inoculated with Bacillus and Paenibacillus on the Structure and Functional Genes of Soybean Rhizobacteria Community. *Genes.* 2022. Vol. 13, No. 11. Art. 1922. DOI: 10.3390/genes13111922.

Uhrin O. M.
Postgraduate Student,
Institute of Climate-Smart Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
Khlibodarske, Ukraine
E-mail: *aleksandr.ugrin@gmail.com*
ORCID: *0009-0002-0710-5852*

Bidnyna I. O.
Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher,
Institute of Water Problems and Land Reclamation of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
Institute of Climate-Smart Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
Khlibodarske, Ukraine
E-mail: *irinabidnina@ukr.net*
ORCID: *0000-0001-8351-2519*

EFFICIENCY OF SYMBIOTIC APPARATUS FUNCTIONING AND CELLULOLYTIC MICROBIOTA ACTIVITY IN SOYBEAN CULTIVARS FOLLOWING ENDOPHYTIC–RHIZOBIAL SEED INOCULATION

Abstract

In Ukraine, the issue of biologization of nitrogen nutrition of soybeans and reduction of mineral fertilizer consumption is the subject of long-term research. However, for the conditions of the Black Sea region of Ukraine, the complex effect of combinations of RhizobinK with B. velezensis IMV B-8134, Pseudomonas sp. 6 and B. megaterium UKM B-5724 on the formation of the nodule

apparatus of varieties of different early maturity and the seasonal dynamics of cellulose-destructive microbiota in different soil layers has not been sufficiently clarified. The aim: to determine the effects of pre-sowing seed inoculation with a rhizobial preparation and its combinations with endophytic bacteria on the formation of the symbiotic apparatus and the abundance of cellulolytic microorganisms in the rhizosphere of soybean cultivars Sofiia and Monarkh. Field experiments were conducted in Kherson Oblast, Ukraine, during 2023–2025. The treatments included an uninoculated control, RhizobinK, and its combinations with Bacillus velezensis IMV B-8134, Pseudomonas sp. 6, and Bacillus megaterium UCM B-5724. The number and fresh weight of nodules were determined at the branching and pod formation stages of soybean development. The abundance of cellulolytic microorganisms was assessed in the 0–20 and 20–40 cm soil layers during three interphase periods. The highest biological efficiency was achieved with the RhizobinK + B. velezensis IMV B-8134 treatment. At the branching stage, this combination promoted the formation of 26–27 nodules with a fresh weight of 0.34–0.39 g per plant, while at the pod formation stage it produced 41–49 nodules with a fresh weight of 1.21–1.45 g per plant. The average abundance of cellulolytic microorganisms under this treatment reached 2.93 million CFU g^{-1} in the rhizosphere of cultivar Sofiia and 2.94 million CFU g^{-1} in cultivar Monarkh, exceeding the control by 6.1% and 11.6%, respectively. The combination with B. megaterium was particularly effective for cultivar Monarkh, resulting in 47 nodules with a total fresh weight of 1.43 g per plant. Co-inoculation with rhizobial and endophytic bacteria enhanced the development of the soybean symbiotic apparatus and increased the biological activity of the rhizosphere. The RhizobinK + B. velezensis IMV B-8134 combination was identified as the most effective treatment for both soybean cultivars studied.

Key words: *soybean cultivars, pre-sowing inoculation, endophytic bacteria, root nodules, cellulose-degrading microorganisms.*

References

1. Vozhehova, R. A., Borovyk, V. O., Rubtsov, D. K., Bidnyna, I. O., & Klubuk, V. V. (2020). Suchasni aspekty vyrishennia problemy ekonomii azotnykh dobryv pid chas vyroshchuvannia soi v umovakh zroshennia [Modern aspects of solving the problem of nitrogen fertilizer saving in irrigated soybean cultivation]. *Agrarian Innovations,* 1, 11–16. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.1.2 [in Ukrainian].

2. Ushkarenko, V. O., Vozhehova, R. A., Holoborodko, S. P., & Kokovikhin, S. V. (2014). *Metodyka polovoho doslidu (zroshuvane zemlerobstvo) [Methods of field experiment (irrigated agriculture)].* Kherson: Hrin D. S., 445 [in Ukrainian].

3. Barbosa, J. Z., Hungria, M., Sena, J. V. S., Poggere, G. C., dos Reis, A. R., & Corrêa, R. S. (2021). Meta-analysis reveals benefits of co-inoculation of soybean with Azospirillum brasilense and Bradyrhizobium spp. in Brazil. *Applied Soil Ecology,* 163, 103913. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103913 [in English].

4. Hnini, M., & Aurag, J. (2024). Prevalence, diversity and applications potential of nodules endophytic bacteria: A systematic review. *Frontiers in Microbiology, 15,* 1386742. https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1386742 [in English].

5. Kumawat, K. C., Singh, I., Nagpal, S., Sharma, P., Gupta, R. K., & Sirari, A. (2022). Co-inoculation of indigenous Pseudomonas oryzihabitans and Bradyrhizobium sp. modulates the growth, symbiotic efficacy, nutrient acquisition, and grain yield of soybean. *Pedosphere,* 32(3), 438–451. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(21)60085-1 [in English].

6. Marchão, R. L., da Silva, G. C., de Andrade, S. R. M., dos Reis Junior, F. B., de Barros Júnior, M. P., Haphonsso, R. H., & de Carvalho, A. M. (2025). Improving soybean development and grain yield by complementary inoculation with growth-promoting bacteria Azospirillum, Pseudomonas, Priestia, and Bacillus. *Plants,* 14(3), 402. https://doi.org/10.3390/plants14030402 [in English].

7. Nakei, M. D., Venkataramana, P. B., & Ndakidemi, P. A. (2022). Soybean-nodulating rhizobia: Ecology, characterization, diversity, and growth promoting functions. *Frontiers in Sustainable Food Systems,* 6, 824444. https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.824444 [in English].

8. Prando, A. M., Barbosa, J. Z., de Oliveira, A. B., Nogueira, M. A., Possamai, E. J., & Hungria, M. (2024). Benefits of soybean co-inoculation with Bradyrhizobium spp. and Azospirillum brasilense: Large-scale validation with farmers in Brazil. *European Journal of Agronomy,* 155, 127112. https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127112 [in English].

9. Sibponkrung, S., Kondo, T., Tanaka, K., Tittabutr, P., Boonkerd, N., Yoshida, K., & Teaumroong, N. (2020). Co-inoculation of Bacillus velezensis strain S141 and Bradyrhizobium strains promotes nodule growth and nitrogen fixation. *Microorganisms,* 8(5), 678. https://doi.org/10.3390/microorganisms8050678 [in English].

10. Szczerba, A., Płażek, A., Kopeć, P., Wójcik-Jagła, M., & Dubert, F. (2024). Effect of different Bradyrhizobium japonicum inoculants on physiological and agronomic traits of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) associated with different expression of nodulation genes. *BMC Plant Biology,* 24, 1201. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05911-x [in English].

11. Tu, T.-C., Lin, S.-H., & Shen, F.-T. (2021). Enhancing symbiotic nitrogen fixation and soybean growth through co-inoculation with Bradyrhizobium and Pseudomonas isolates. *Sustainability,* 13(20), 11539. https://doi.org/10.3390/su132011539 [in English].

12. Xing, P., Zhao, Y., Guan, D., Li, L., Zhao, B., Ma, M., Jiang, X., Tian, C., Cao, F., & Li, J. (2022). Effects of Bradyrhizobium co-inoculated with Bacillus and Paenibacillus on the structure and functional genes of soybean rhizobacteria community. *Genes,* 13(11), 1922. https://doi.org/10.3390/genes13111922 [in English].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 04.08.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 10.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026

УДК 614.9:636.2
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-18

Цуп В. І.
кандидат сільськогосподарських наук,
молодший науковий співробітник,
Науково-дослідна установа «Тернопільська дослідна станція Інституту ветеринарної медицини НААН»
Тернопіль, Україна
E-mail: *cyp1954ter@ukr.net*
ORCID: *0009-0000-7327-5310*

Климик В. Т.
кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник,
завідувачка лабораторії тваринництва, ветеринарного акушерства та санітарії,
Науково-дослідна установа «Тернопільська дослідна станція Інституту ветеринарної медицини НААН»
Тернопіль, Україна
E-mail: *viraklymyk@gmail.com*
ORCID: *0000-0002-0197-4988*

Рущинська Т. М.
молодший науковий співробітник,
Науково-дослідна установа «Тернопільська дослідна станція Інституту ветеринарної медицини НААН»
Тернопіль, Україна
E-mail: *tanja_rushch@ukr.net*
ORCID: *0000-0001-6835-0064*

Тихонова Б. Є.
молодший науковий співробітник,
Науково-дослідна установа «Тернопільська дослідна станція Інституту ветеринарної медицини НААН»
Тернопіль, Україна
E-mail: *danatux52@ukr.net*
ORCID: *0000-0002-3446-3180*

ВПЛИВ УМОВ УТРИМАННЯ КОРІВ АБЕРДИН-АНГУСЬКОЇ ПОРОДИ НА ПЕРЕБІГ ОТЕЛЕНЬ ТА ЕТОЛОГІЮ НОВОНАРОДЖЕНИХ ТЕЛЯТ

Анотація

Абердин-ангуська порода корів відзначається високим відсотком виходу м'яса (до 70%), при тому, що саме м'ясо відрізняється тонковолокнистістю, ніжністю та високою мармуровістю, а самі тварини є досить скоростиглими, через що перспективи використання їх в Україні є досить хорошими. Мета дослідження полягала у обґрунтуванні оптимальних параметрів утримання корів і їх приплоду в період проведення отелів. Дослідження проведено на чотирьох групах корів абердин-ангуської породи по 10 голів у кожній у зимовий та літній періоди. Результати етологічних досліджень при отеленні корів показали, що у зимовий період умови утримання корів зумовили різницю перебігу родового процесу і поведінку тварин. Так, тривалість самих родів у І дослідній групі були на 70 хвилин коротшими, ніж у І контрольній, і відділення посліду тривало практично на 4 години швидше. При цьому у тварин І контрольної групи затримка посліду спостерігалася у 20% корів. У ІІ контрольній групі корів значно зменшився час відділення посліду, хоча особливості поведінки корів суттєво не змінилися. Час настання першої охоти у корів ІІ контрольної групи склав 34 дні, у корів ІІ дослідної – 28 днів, сервіс-період відповідно 60 і 68 днів, тобто різниця між групами практично відсутня. Вивчення етології та фізіологічних показників телят у підсисний період показали, що у зимовий період у телят І контрольної групи відмічалося швидше вставання на ноги, приблизно на 23% , ніж у телят І дослідної, які народжені у денниках. Тривалість лежання телят першої дослідної групи була на 3,3 години більшою, а тривалість підсису – на 1,1 хвилини довшою. Кількість вставань у них була в 1,5 рази меншою та завершувалось підсисом, тоді, як у телят І контрольної групи результативність цього показника складала лише 70 відсотків. У телят, народжених у літній період, час від народження до першого вставання, першої годівлі і лежання були дещо довшими.

Отримані результати дали змогу встановити, що зимовий період отелення корів абердин-ангуської породи доцільно проводити у приміщенні у спеціально обладнаних денниках, що позитивно впливає на перебіг родового процесу, відтворну здатність тварин, стан здоров'я та інтенсивність росту телят в підсисний період.

Ключові слова: *м'ясне скотарство, абердин-ангуська порода, умови отелення, здоров'я телят.*

© Цуп В. І., Климик В. Т., Рущинська Т. М., Тихонова Б. Є., 2026
pISSN 2706-9052, eISSN 2706-851X

Вступ. М’ясне скотарство в Україні, як самостійна галузь тваринництва, перебуває на етапі структурного реформування й адаптації до ринкових умов та до військового стану. Підхід до її інтенсифікації включає такі елементи як вдосконалення селекційної роботи та модернізацію технологій утримання тварин [1]. Особливе значення у цьому контексті має регіональна адаптація м’ясного скотарства з урахуванням ґрунтово-кліматичних і екологічних чинників [2].

Споживання м'яса в Україні на душу населення при річній потребі має становити 36 кг яловичини, але в реальності є в рази менше, зокрема 43–45%. Одним з ключових факторів тут є ціна, тому споживач замінює яловичину і телятину на свинину і м’ясо птиці, що є більш доступними у продажу. На даний час спостерігається зменшення чисельності великої рогатої худоби, особливо м’ясного напряму продуктивності, що негативно впливає на загальні обсяги виробництва яловичини. Значна частина тварин утримується в умовах дрібнотоварних господарств, де відсутні належні технології вирощування й відгодівлі, що призводить до низької продуктивності та погіршення якісних характеристик м’ясної продукції. З початку війни відбувається активне переміщення виробництва – релокація підприємств, концентрація інвестицій на територію Західної України, зокрема на Тернопільщину. На даний час тут перебуває 28 потужних промислових об'єктів, переважно тваринницьких, на стадії будівництва. Привабливість бізнесу для розвитку молочного скотарства Тернопільщини зумовлене перш за все сприятливими кліматичними умовами в зоні відносно стабільного і достатнього зволоження. Це дозволяє одержувати високі урожаї сільськогосподарських культур, на рівні передових аграрних країн, але при менших затратах, що зумовлює здешевлення виробництва кормів, які складають 60 і більше відсотків у структурі собівартості молочної продукції. Навіть у 2025 році, попри несприятливі погодні умови, середній по області урожай зернових склав 73,4 ц з га, кукурудзи – 100, зеленої маси на силос – 700, цукрового буряка – 703 центнерів з гектара (з відкритих джерел). В умовах сучасного ринку питання підвищення ефективності м’ясного виробництва, забезпечення стабільного приросту живої маси тварин і покращення якісних характеристик м’яса набувають особливої актуальності. Це обумовлено як зростанням попиту на тваринницьку продукцію, так і потребою у зміцненні продовольчої безпеки держави.

На ріст і розвиток м’ясного молодняка в значній мірі впливає сезон його народження, а також сезонні умови годівлі та утримання матерів, від яких залежить їх молочність [3]. Тому актуальним є вивчення взаємодії між змінами сезонних і технологічних умов утримання тварин та ефективністю їх використання [4]. Основними факторами, які впливають на рентабельність ведення м’ясного скотарства є плодючість корів, збереженість телят та інтенсивність вирощування молодняка, при цьому проблема підвищення життєздатності, збереження телят у ранньому віці відноситься до однієї з найбільш актуальних.

Стан новонароджених телят, їх життєздатність та фізіологічна зрілість, ріст і розвиток, реалізація генетичних можливостей організму безпосередньо залежить від умов, у яких проходив їх ранній постнатальний період, оскільки загальна резистентність організму формується у перші дні життя [5–7]. Це вказує на важливість створення оптимальних умов при отеленні корів і утриманні новонароджених телят та питання впливу таких технологічних факторів, як місце проведення отелів, утримання телят у перші дні після народження на перебіг родового процесу, життєздатність приплоду, його подальше здоров’я та продуктивність потребують детального вивчення як у породному, так і зонально-кліматичному аспекті [8–10].

Мета роботи полягала у обґрунтуванні оптимальних параметрів утримання корів і їх приплоду в період проведення отелів.

Виклад основного матеріалу. Дослід проводився в ПАП «Дзвін» Чортківського району Тернопільської області на чотирьох групах корів абердин-ангуської породи по 10 голів у кожній. У зимовий період стадо утримувалось безприв’язно на вигульному майданчику. У літній на пасовищі. З корів, отелення яких проходили у лютому місяці, сформовано І дослідну групу – корови, які отелювалися у спеціально обладнаних денниках (1,8 м * 3,0 м), на дерев’яній підлозі з солом’яною підстилкою. Корів переводили у денник при появах ознак наближення отелення. Утримання безприв’язне. На третій день після отелення корову з телям переводили у стадо. Тварини І контрольної групи отелювалися безпосередньо у стаді, яке утримувалось безприв’язно на вигульній площадці, обладнаній дерев’яним навісом. З тварин, отелення яких проходили у травні місяці, було сформовано ІІ контрольну групу, корови цієї групи телилися безпосередньо на пасовищі, та ІІ дослідну групу – отелення корів проводили аналогічно І дослідній.

В ході досліджень фіксували: у корів – важкість отелення, час протікання родів, час відділення посліду, час наближення до теляти, тривалість облизування телят; у телят – час від народження до першого вставання, час від народження до 1-ої годівлі, тривалість однієї годівлі, тривалість лежання, число вставань, кратність підсису, час від народження до виділення меконію, захворюваність телят. Інтенсивність росту телят визначали після закінчення підсисного періоду.

У зимовий період отелення корів І контрольної групи проходили безпосередньо у стаді. Середня температура повітря на оборі становила -4^0 С, при коливаннях від -10 вночі до $+5^0$ С вдень. З наближенням отелення корови відокремлювалися від стада у пошуках місця захищеного від вітру, з достатньою кількістю підстилки, не підпускаючи до себе інших корів та людей.

Середня температура повітря у денниках при проведені отелів корів І дослідної групи була $+12^0$ С. Коровам цієї групи через годину після отелення давали по 10 л теплої води з висівками. Умови утримання корів зумовили різницю перебігу родового процесу і поведінку тварин (табл. 1).

Таблиця 1. Характеристика родового процесу та поведінки корів

Показники	Групи			
	І контрольна	**І дослідна**	**ІІ контрольна**	**ІІ дослідна**
Тривалість родів, хв.	285	215	305	270
Допомога при родах, %	-	10	-	-
Час першого наближення до телят, хв.	15	3	18	2,5
Час першого облизування телят, хв.	20	35	25	30
Час відділення посліду, год.	16,3	12,5	14,5	13,5
Затримка відділення посліду, %	20	-	-	-

Корови І контрольної групи на 3,5 години більше часу затрачали на пошуки і підготовку місця для отелення, що, очевидно, вплинуло на тривалість родів. Час отелення корів І дослідної групи більш як на четверть коротший. У певній мірі зменшення тривалості родів зумовлено і вчасно наданою допомогою при родах. Час першого наближення до телят корів, які отелилися у денниках, був мінімальний, тоді, як на оборі – значно більший. Увага корів відволікалася від новонароджених телят на контакти з іншими тваринами та пошук води. З цієї ж причини тривалість першого облизування телят була на 57 % меншою.

У корів, отелення яких проходили на відкритому повітрі, час відділення посліду був майже на 4 години довший, причому в 20 % корів спостерігалася затримка посліду більше, як на 4 години.

Місце проведення отелів вплинуло на відтворні якості корів. Перша охота у корів І контрольної групи спостерігалася на 18 днів пізніше, ніж у І дослідній, сервіс-період, відповідно складав 79 і 48.

У літній період різниця між групами при різних способах проведення отелення була не такою контрастною, порівнюючи із зимовими отеленнями. В обох групах збільшилася тривалість родів. У контрольній групі корів значно зменшився час відділення посліду, хоча особливості поведінки корів суттєво не змінилися. Час настання першої охоти у корів ІІ контрольної групи склав 34 дні, у корів ІІ дослідної – 28 днів, сервіс-період відповідно 60 і 68 днів, тобто різниця між групами практично відсутня.

Поведінкові реакції новонароджених телят були різними і залежали як від місця проведення отелення, так і від сезону (табл. 2).

Таблиця 2. Характеристики поведінки новонароджених телят

Показники	Групи			
	І контрольна	**І дослідна**	**ІІ контрольна**	**ІІ дослідна**
Час від народження до 1-го вставання, хв.	28,4	36,7	38,5	40,2
Час від народження до 1-ї годівлі, хв.	73,5	52,0	76,5	65,4
Тривалість однієї годівлі, хв.	4,5	5,6	5,8	6,2
Тривалість лежання, год.	16,2	19,5	18,5	20,6
Кількість вставань, разів	18,7	12,3	15,0	13,6
Кратність підсосу, разів	13,2	12,3	12,9	13,6
Час від народження до виділення мезонію, год.	8,3	6,1	7,2	7,0

Телята І контрольної групи, які народженні на холоді, швидше пробували встати на ноги, час від народження до першого вставання у них був на 23% коротший, ніж у телят І дослідної, що народжені у денниках. Але час від народження до першої годівлі в останніх був на 21,5 хв коротший, оскільки вони менше часу затрачали на пошуки матері. У зв'язку з меншою кількістю зовнішніх подразників телята більше часу проводили у стані спокою.

Тривалість лежання телят першої дослідної групи була на 3,3 години більшою, а тривалість підсису – на 1,1 хвилини довшою. Кількість вставань у них була в 1,5 рази меншою, причому кожне вставання завершувалось підсисом, тоді, як у телят І контрольної групи результативність цього показника складала лише 70 відсотків. Відділення меконію у телят І дослідної групи відбулося на 2,2 години швидше, ніж у їх ровесників.

У телят, народжених у літній період, час від народження до першого вставання, першої годівлі і лежання були дещо довшими. Телята, народженні у денниках, на 2 години більше перебували в стані спокою. Кількість вставань у них була на 9,3 відсотка меншою, ніж у телят, народжених на пасовищі. За іншими показниками суттєвої різниці між групами не встановлено.

Протягом першого місяця підсисного періоду у телят І контрольної групи на 30 % частіше спостерігалися шлунково-кишкові розлади, інтенсивність росту була на 7,9 % нижчою, порівнюючи з телятами І дослідної групи. Різниця у інтенсивності росту між групами телят, народжених у літній період, незначна. Нижча інтенсивність росту телят, народжених зимою на оборі, очевидно, пояснюється меншою тривалістю контакту з матерями, більш пізнім споживанням перших порцій молозива та більш тривалим часом від народження до виділення меконію.

За результатами обговорення наукових робіт з дослідження впливу сезону отелення на перебіг родів, активність новонароджених телят та продуктивність корів автори сходяться на думці що подальше впровадження прогресивних технологічних рішень та створення загального комфорту і благополуччя тварин сприятиме мінімізації сезонного чинника на рівень їх продуктивності [8; 10; 11].

Висновки. Встановлено, що в умовах Західного Лісостепу України у зимовий період отелення корів абердин-ангуської породи доцільно проводити у приміщенні у спеціально обладнаних денниках, що позитивно впливає на перебіг родового процесу, відтворну здатність тварин, стан здоров'я та інтенсивність росту телят в підсисний період. Отелення корів безпосередньо у стаді, на холоді збільшує тривалість родів, час відділення посліду та зменшує інтенсивність прояву материнського інстинкту, особливо у первісток.

Перспектива подальших досліджень має бути спрямована на покращення господарського використання корів шляхом підбору найоптимальніших параметрів утримання і годівлі. А, оскільки, відтворна здатність тварин тісно пов'язана саме з фізіологічними показниками здоров'я корів то подальше вивчення проблеми має орієнтуватися на створення умов для максимального розкриття генотипу породи.

Список використаних джерел

1. Гусєва І.В. Стратегія розвитку м'ясного скотарства в Україні у контексті національної продовольчої безпеки. / Укр. акад. аграр. наук, Ін-т розведення і генетики тварин / за ред. М.В. Зубця. Київ: Аграрна наука, 2005. 176 с.
2. Кірович Н.О., Дідур Л.І. Сучасний стан галузі м'ясного скотарства в Україні. *Таврійський науковий вісник.* 2025. № 143, ч. 1. С. 241–245. DOI https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.143.1.29
3. Жукорський О., Гець Н., Демянчук Л. Вплив тривалості підсисного періоду на м'ясну продуктивність і якість м'яса помісних бугайців ангуської породи. *Аграрна наука – селу*. 1999. №7. 175 с
4. Міненко К.В. Економічна ефективність вирощування спеціалізованої м'ясної худоби,залежно від сезону отелень. *Бізнесінформ*. 2012. №1. С. 90–92.
5. Міненко В.П., Гриненнко Т.О. Вплив технології утримання і місця проведення отелень м'ясних корів на їх відтворні властивості і якість приплоду. Збірник наукових праць Національного наукового центру інституту тваринництва НААН / Інституту тваринництва. 2023. №25. С. 69–73.
6. Ю. П. Полупан, І. В. Базишина, А. Є. Почукалін, С. В. Прийма, Н. Л. Полупан. Вплив року і сезону на молочну продуктивність корів *Розведення і генетика тварин*. 2022. Вип. 63. С. 71–90.
7. Поліщук Т. В. Вплив сезону отелення на характер лактаційної кривої корів молочних порід. *Аграрна наука та харчові технології*. 2019. № 3 (106). С. 114–127. http://repository.vsau.org/repository/getfile.php/20729.pdf
8. Угнівенко А. М., Коропець Л. А., Демчук С. Ю., Носевич Д. К. Наукові засади відтворювання поголів'я великої рогатої худоби м'ясних порід – Київ : ЦП Компринт, 2017. 400 с
9. Угнівенко А. М., Колісник О. І., Антонюк Т. А., Прудніков В. Г., Носевич Д. К. Біологія великої рогатої худоби м'ясних порід. Київ : ФОП Ямчинський О. В., 2020. 608 с.
10. Кочук-Ященко О.А., Кучер Д.М., Леонець С.О., Гладищук І.В., Мариненко Д.Ю. Формування живої маси корів різних сезонів отелення в органічних та конвенційних стадах. *Таврійський науковий вісник.* 2023. Вип. 133. С. 238–244. DOI https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.32
11. Кругляк О. В. Інноваційні чинники забезпечення ефективного використання тварин молочних та молочно-м'ясних порід великої рогатої худоби України: *рекомендації*. Чубинське, 2023. 47 с.

Tsup V. I.
Candidate of Agricultural Sciences,
Junior Research Associate,
Ternopil Experimental Station of the Institute of Veterinary Medicine NAAS
Ternopil, Ukraine
E-mail: *cyp1954ter@ukr.net*
ORCID: *0009-0000-7327-5310*

Klymyk V. T.
Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher,
Head of the Laboratory of Animal Husbandry, Veterinary Obstetrics and Sanitation,
Ternopil Experimental Station of the Institute of Veterinary Medicine NAAS
Ternopil, Ukraine
E-mail: *viraklymyk@gmail.com*
ORCID: *0000-0002-0197-4988*

Rushchynska T. M.
Junior Research Associate,
Ternopil Experimental Station of the Institute of Veterinary Medicine NAAS
Ternopil, Ukraine
E-mail: *tanja_rushch@ukr.net*
ORCID: *0000-0001-6835-0064*

Tykhonova B. Ye.
Junior Research Associate,
Ternopil Experimental Station of the Institute of Veterinary Medicine NAAS
Ternopil, Ukraine
E-mail: *danatux52@ukr.net*
ORCID: *0000-0002-3446-3180*

THE INFLUENCE OF HOUSING CONDITIONS OF ABERDEEN-ANGUS COWS ON THE COURSE OF CALVING AND THE ETHOLOGY OF NEWBORN CALVES

Abstract

The Aberdeen-Angus breed of cows is characterized by a high percentage of meat yield (up to 70%), while the meat itself is distinguished by fine-fiberedness, tenderness and high marbling, and the animals themselves are quite early maturing, which is why the prospects for their use in Ukraine are quite good. The purpose of the study was to substantiate the optimal parameters of keeping cows

and their offspring during the calving period. The study was conducted on four groups of Aberdeen-Angus cows, 10 heads each, in the winter and summer periods. The results of ethological studies during calving of cows showed that in the winter period, the conditions of keeping cows caused a difference in the course of the labor process and the behavior of the animals. Thus, the duration of labor in the first experimental group was 70 minutes shorter than in the first control group, and the separation of the afterbirth lasted almost 4 hours faster. At the same time, in animals of the first control group, the delay of the afterbirth was observed in 20% of the cows. In the second control group, the time of separation of the afterbirth was significantly reduced, although the characteristics of the behavior of the cows did not change significantly.

The time of the first heat in cows of the control group II was 34 days, in cows of the experimental group II - 28 days, the service period was 60 and 68 days, respectively, that is, the difference between the groups is practically absent. The study of ethology and physiological indicators of calves during the suckling period showed that in the winter period, calves of the control group I got up on their feet faster, approximately 23%, than calves of the experimental group I, which were born in day stalls. The duration of lying in calves of the first experimental group was 3.3 hours longer, and the duration of suckling was 1.1 minutes longer.

The number of times they stood up was 1.5 times less and ended with a suckling, while in calves of the control group the efficiency of this indicator was only 70 percent. In calves born in the summer, the time from birth to the first standing up, first feeding and lying down was slightly longer.

The results obtained made it possible to establish that the winter calving period of Aberdeen-Angus cows should be carried out indoors in specially equipped day stalls, which has a positive effect on the course of the labor process, the reproductive ability of animals, the health status and growth rate of calves during the suckling period.

Key words: *meat cattle breeding, Aberdeen Angus breed, calving conditions, calf health.*

References

1. Husieva, I.V. *(*2005). *Stratehiia rozvytku miasnoho skotarstva v Ukraini u konteksti natsionalnoi prodovolchoi bezpeky* [Strategy for the development of meat cattle breeding in Ukraine in the context of national food security]/ Ukr. akad. ahrar. nauk, In-t rozvedennia i henetyky tvaryn; za red. M.V. Zubtsia, I.V. Husieva. Kiyv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].

2. Kirovych, N.O., & Didur, L.I. (2025). Suchasnyi stan haluzi miasnoho skotarstva v Ukraini. [Current state of the beef cattle industry in Ukraine]. *Tavria Scientific Bulletin.* 143, 241–245. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.143.1.29 [in Ukrainian].

3. Kochuk-Yashchenko, O.A., Kucher, D.M., Leonets, S.O., Hladyshchuk, I.V., & Marynenko, D.Yu. (2023). Formuvannia zhyvoi masy koriv riznykh sezoniv otelennia v orhanichnykh ta konventsiinykh stadakh. [Formation of live weight of cows of different calving seasons in organic and conventional herds]. *Tavria Scientific Bulletin,* 133, 238–244. https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.32 [in Ukrainian].

4. Kruhliak, O. V. (2023). Innovatsiini chynnyky zabezpechennia efektyvnoho vykorystannia tvaryn molochnykh ta molochno-miasnykh porid velykoi rohatoi khudoby Ukrainy [Innovative factors for ensuring the effective use of dairy and dairy-meat cattle breeds in Ukraine. Recommendations. Chubynske [in Ukrainian].

5. Minenko, K.V. (2012). Ekonomichna efektyvnist vyroshchuvannia spetsializovanoi miasnoi khudoby,zalezhno vid sezonu otelen [Economic efficiency of raising specialized beef cattle, depending on the calving season]. *Kharkiv Business information,* 1, 90–92 [in Ukrainian].

6. Minenko, V.P., & Hrynennko, T.O. (2023). Vplyv tekhnolohii utrymannia i mistsia provedennia otelen miasnykh koriv na yikh vidtvorni vlastyvosti i yakist pryplodu [The influence of the technology of keeping and the place of calving of beef cows on their reproductive properties and the quality of the offspring]. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho naukovoho tsentru instytutu tvarynnytstva NAAN / Instytutu tvarynnytstva* Kharkiv. 25, 69–73 [in Ukrainian].

7. Polishchuk, T. V. (2019). Vplyv sezonu otelennia na kharakter laktatsiinoi kryvoi koriv molochnykh porid [The influence of the calving season on the nature of the lactation curve of dairy cows]. *Agricultural Science and Food Technology*, 3 (106)*,* 114–127. http://repository.vsau.org/repository/getfile.php/20729.pdf [in Ukrainian].

8. Polupan, Yu.P., Bazyshyna, I.V., Pochukalin, A. Ye., Pryima, S. V., & Polupan, N. L. (2022). Vplyv roku i sezonu na molochnu produktyvnist koriv. [The influence of the year and season on the milk production of cows]. *Animal breeding and genetics,* Vol. 63, P. 71–90 [in Ukrainian].

9. Uhnivenko, A. M., Kolisnyk, O. I., Antoniuk, T. A., Prudnikov, V. H., & Nosevych, D. K. (2020). *Biolohiia velykoi rohatoi khudoby miasnykh porid.* [Biology of beef cattle]. Kyiv: [in Ukrainian].

10. Uhnivenko, A. M., Koropets, L. A., Demchuk, S. Yu., & Nosevych, D. K. (2017). *Naukovi zasady vidtvoriuvannia poholivia velykoi rohatoi khudoby miasnykh porid.* [Scientific principles of reproduction of beef cattle]. *Kyiv* [in Ukrainian].

11. Zhukorskyi, O., Hets, N., & Demianchuk, L. (1999). *Vplyv tryvalosti pidsysnoho periodu na miasnu produktyvnist i yakist miasa pomisnykh buhaitsiv anhuskoi porody.* [The influence of the duration of the suckling period on the meat productivity and meat quality of crossbred Angus bulls]. *Agrarian science – village,* 7, 175 [in Ukrainian].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 02.06.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 14.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026

УДК 633.854.78:631.527.5:631.5(292.485)(1-15)
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-19

Шейко І. М.
аспірант кафедри рослинництва, селекції та насінництва
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: *irina_shejko@ukr.net*
ORCID: *0009-0007-3085-4997*

УРОЖАЙНІСТЬ ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ РІЗНОСТИГЛИХ ГІБРИДІВ СОНЯШНИКУ ЗАЛЕЖНО ВІД ПІДЖИВЛЕННЯ МІКРОДОБРИВАМИ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ ЗАХІДНОГО

Анотація

У статті розглянуто питання впливу агротехнічних чинників на урожайність соняшнику в ґрунтово-кліматичних умовах Лісостепу західного. Наведено аналіз досліджень наукової спільноти щодо актуальності досліджень, спрямованих на вплив окремих агротехнічних факторів на формування урожайності насіння соняшнику в різних зонах України. Також проведено розрахунки економічної ефективності вирощування різностиглих гібридів соняшнику за проведення фоліарних підживлено у різні фази росту і розвитку рослин.

Мета досліджень полягала у встановленні впливу фоліарного застосування мікродобрив на урожайність різностиглих гібридів соняшнику за вирощування в умовах Лісостепу західного та обґрунтуванні економічної доцільності застосування цих агрозаходів. Дослід супроводжувався спостереженнями, обліками та аналізами відповідно до наявних методик закладання польового досліду та виконання аналізів. Досліджувались фактори: А – гібрид соняшнику (Феном (середньоранній), НК БРІО (середньоранній), Валенсія (середньостиглий), НК КОНДІ (середньостиглий)); В – мікродобриво (Мультикомплекс СтимОрганік, СтимОрганік АміноМакс, Авангард Комплекс Соняшник); С – строк внесення (фаза 2–4 листків, фаза 2–4 листків+фаза 6–8 листків), за контроль взято варіант без фоліарного внесення мікродобрива.

Обґрунтовано вплив мікродобрив на урожайність різних гібридів соняшнику за одно- та дворазового застосування. Максимальний ефект забезпечило мікродобриво Мультикомплекс СтимОрганік, дворазове внесення якого сприяло отриманню урожайності соняшнику у розрізі гібридів: Валенсія – 2,82 т/га, НК КОНДІ – 2,79 т/га, Феном – 2,69 т/га та НК БРІО – 2,57 т/га. Оптимальну урожайність 2,82 т/га отримано у середньостиглого сорту Валенсія за дворазового фоліарного внесення вказаного мікродобрива (фаза 2–4 листків+фаза 6–8 листків). У результаті проведених досліджень встановлено тенденцію до підвищення урожайності усіх досліджуваних гібридів за дворазового застосування у фазу 2–4 листків та у фазу 6–8 листків.

Обґрунтовано економічну доцільність застосування мікродобрив при вирощуванні соняшнику у вигляді одно- та дворазових фоліарних внесень у різні фази розвитку рослин. Розрахунки свідчать, що оптимальний умовно-чистий прибуток 46370 грн/га та рівень рентабельності 142% забезпечив варіант дворазового підживлення мікродобривом Мультикомплекс СтимОрганік гібриду Валенсія.

Ключові слова: *соняшник, гібрид, мікродобриво, фоліарне внесення, строк внесення, урожайність, вартість валової продукції, умовно-чистий прибуток, рівень рентабельності.*

Вступ. Однією з головних проблем, що стримує широке впровадження високопродуктивних простих гібридів соняшнику, є низька власна насіннєва продуктивність їхніх інбредних батьківських компонентів (ліній-закріплювачів стерильності та відновників фертильності). Обмежений вихід насіння з гектара на ділянках гібридизації суттєво знижує рентабельність виробництва та погіршує фінансовий стан установ-оригінаторів. У зв'язку з цим актуальним науково-практичним завданням є розробка та впровадження елементів ресурсозберігаючих технологій, зокрема схем комплексного застосування сучасних регуляторів росту рослин (РРР) та мікродобрив для стимуляції ростових та репродуктивних процесів у самозапильних ліній [1]. Отже, у сучасних умовах вирощування олійних культур, зокрема соняшнику, значним викликом для агропромислового комплексу є адаптація технологій до абіотичних стресів та змін клімату. Тому, одним із перспективних напрямів оптимізації продуктивного потенціалу соняшнику є застосування сучасних мікродобрив та регуляторів росту шляхом позакореневого підживлення в критичні фази розвитку рослин в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах вирощування культури.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У напрямку вивчення впливу підживлень при вирощуванні різностиглих гібридів соняшнику виконується ряд досліджень в різних зонах України.

Дослідники Інституту кліматично орієнтованого сільського господарства НААН довели високу агрономічну ефективність дворазового позакореневого підживлення соняшнику мікродобривом «LF-соняшник» (у фази 2–3 пар листків та бутонізації) для стимуляції ростових процесів та підвищення фінальної врожайності. Доведено, що комбіноване застосування регуляторів росту та мікродобрив є високоефективним агротехнічним заходом у насінництві соняшнику. Воно оптимізує біометричні параметри рослин, покращує посівні якості зібраного насіння материнських ліній (на 3,4–5,4%) та гарантує суттєве підвищення врожайності батьківських компонентів із високим рівнем економічної рентабельності.

© Шейко І. М., 2026

Оптимізація мінерального живлення соняшнику в умовах кліматичних змін та нестабільного зволоження є одним із ключових чинників стабілізації його врожайності. Оскільки макродобрива не завжди здатні повною мірою забезпечити реалізацію біологічного потенціалу сучасних гібридів, зростає роль мікроелементів, таких як бор, молібден, марганець, мідь та цинк. Вони виступають безпосередніми регуляторами фізіолого-біохімічних процесів, зокрема фотосинтезу, водного обміну та пилкоутворення. Встановлено, що позакореневе застосування мікродобрив забезпечило позитивний вплив на весь комплекс біометричних та якісних показників культури [10].

Ефективна технологія вирощування олійних культур, зокрема соняшнику, в умовах Лісостепу України вимагає впровадження дієвих заходів регулювання мінерального живлення. Одним із таких підходів є застосування цільових мікродобрив у критичні фази онтогенезу рослин. Позакореневе підживлення дозволяє оперативно компенсувати дефіцит мезо- та мікроелементів, стимулюючи ростові процеси та безпосередньо впливаючи на структуру врожаю. Авторами пропонується застосування для формування насіннєвої продуктивності сучасних гібридів соняшнику обробіток рослин препаратом «Бофос» [6].

Реалізація генетичного потенціалу сучасних гібридів соняшнику безпосередньо залежить від збалансованості мінерального живлення в критичні фази онтогенезу. З огляду на високий біологічний винос поживних речовин цією культурою, використання виключно макродобрив часто виявляється недостатнім для забезпечення прогнозованої продуктивності, особливо в мінливих гідротермічних умовах Лісостепу західного. Ефективним інструментом оптимізації фізіологічних процесів та нівелювання абіотичних стресів є фоліарне (позакореневе) введення хелатних мікродобрив, які швидко засвоюються листковою поверхнею та активують фотосинтетичний апарат.

Проведені дослідження доводять доцільність інтеграції комплексних мікродобрив у технологічні схеми вирощування соняшнику в Лісостепу західному [2]. Важливими чинниками стабілізації врожайності виступають обґрунтований підбір гібридного складу за групами стиглості та забезпечення посівів мезо- й мікроелементами. З огляду на високу біологічну потребу дводольних культур у борі, науковий та практичний інтерес становить вивчення фоліарного підживлення вегетуючих рослин сполуками цього елемента на тлі основного мінерального добрива. Представлена стаття М.Ю. Білюка та В.Я. Хоміної присвячена оцінці біометричного потенціалу та продуктивності різностиглих гібридів соняшнику за використання сучасних борних мікродобрив [3].

В умовах Західного Лісостепу доведена висока господарська доцільність вирощування гібридів соняшнику середньоранньої групи стиглості (зокрема Алькантара та Асер КЛ). Для оптимізації архітектоніки посіву та досягнення максимальних параметрів урожайності на рівні 3,9–4,3 т/га обґрунтовано проведення позакореневого підживлення рослин у фазі 3–6 справжніх листків борним мікродобривом «Еколист моно бор» [4].

Інтенсифікація виробництва соняшнику в Україні, що супроводжується розширенням його посівних площ і частим порушенням сівозмін, призводить до суттєвого погіршення фітосанітарного стану агроценозів. Забур'яненість полів та накопичення інфекційного початку викликають географічне поширення патогенів і призводять до втрат урожаю, які за умов високого розвитку хвороб можуть сягати 50%. У зв'язку з цим актуальним завданням є комплексний підбір високоврожайних адаптованих генотипів та оптимізація технологій їхнього гербіцидного захисту. Представлена праця Т.П. Костини, Ю.О. Куманської та ін. присвячена оцінці впливу різних систем захисту на біометричні показники, урожайність, якість насіння та стійкість до фітопатогенів дванадцяти гібридів соняшнику [7].

На сучасному етапі розвитку агропромислового комплексу України соняшник залишається однією з найбільш високорентабельних, але водночас вразливих культур. Перенасичення сівозмін, недотримання науково обґрунтованих технологій та глобальні гідротермічні зміни за останні 20 років призвели до істотного погіршення фітосанітарного стану посівів. За цих умов класична селекція, орієнтована лише на потенціал урожайності, втрачає свою ефективність. Пріоритетним науково-практичним завданням стає створення конкурентоспроможних генотипів, що поєднують високу продуктивність із комплексним генетичним імунітетом до біотичних та абіотичних стресорів. Сучасна селекція соняшнику доводить, що стабільне виробництво насіння в умовах біотичного та кліматичного пресингу можливе лише за індивідуального підбору генотипів під конкретні умови мікрозони [5].

Важливим резервом стабілізації галузі є використання вітчизняних сортів-популяцій, які мають високий ступінь адаптованості до регіональних кліматичних ризиків і здатні формувати конкурентний урожай за дії стресогенних факторів. Проте повна реалізація їхнього генетичного потенціалу можлива лише за умови точного встановлення строків сівби, що визначають температурний та вологий режими у критичні періоди онтогенезу рослин, своєчасне і збалансоване внесення мікродобрив [8; 9].

Таким чином, підбір адаптованих до ґрунтово-кліматичної зони вирощування сортів і гібриді соняшнику та режиму живлення є актуальними питаннями, які потребують удосконалення в умовах Лісостепу західного, тому ці питання поставлено в основу наших досліджень.

Мета роботи полягала у встановленні впливу фоліарного застосування мікродобрив на урожайність різностиглих гібридів соняшнику за вирощування в умовах Лісостепу західного та обґрунтуванні економічної доцільності застосування цих агрозаходів.

Дослід супроводжувався спостереженнями, обліками та аналізами відповідно до наявних методик закладання польового досліду та виконання аналізів. Досліджувались фактори: А – гібрид соняшнику (Феном (середньоранній), НК БРІО (середньоранній), Валенсія (середньостиглий), НК КОНДІ (середньостиглий)); В – мікродобриво (Мультикомплекс СтимОрганік, СтимОрганік АміноМакс, Авангард Комплекс Соняшник); С – строк

внесення (фаза 2–4 листків, фаза 2–4 листків+фаза 6–8 листків), за контроль взято варіант без фоліарного внесення мікродобрива.

Загальний фон макродобрив для всіх варіантів досліду був однаковий: $N_{60-90}P_{50-60}K_{50-60}$ кг д. р. /га. Фосфорні і калійні добрива вносили під зяблевий обробіток ґрунту, азотні – під передпосівну культивацію.

Виклад основного матеріалу. Порівняно з іншими польовими культурами, соняшник висуває надзвичайно високі вимоги до родючості та поживного режиму ґрунту. Для формування 1 тонни насіння рослинам необхідний значний обсяг макро- та мезоелементів: 40–55 кг азоту, 15–25 кг фосфору, 100–150 кг калію, а також 5 кг сірки та 6,6 кг магнію. Крім того, з кожним урожаєм культура активно виносить з ґрунту мікроелементи, зокрема бор (23 г), цинк (42 г), марганець (12 г) та мідь (7 г).

Грамотне інтегрування мікродобрив у систему живлення є критично важливим для здорового розвитку, високої продуктивності та якості насіння. Особливе місце тут посідає позакореневе (фоліарне) підживлення. Воно оптимізує водний баланс рослин, забезпечує швидке засвоєння незамінних мікроелементів, активізує внутрішні біологічні процеси та стимулює розвиток потужної кореневої системи і стеблостою.

Для визначення найефективніших складів мікродобрив, а також доцільності їхнього одно- чи дворазового фоліарного внесення було проведено спеціальне дослідження. Найвищу результативність продемонстрував препарат «Мультикомплекс СтимОрганік». Його дворазове застосування дозволило отримати максимальні показники врожайності в розрізі досліджуваних гібридів: Валенсія – 2,82 т/га, НК КОНДІ – 2,79 т/га, Феном – 2,69 т/га та НК БРІО – 2,57 т/га (табл. 1).

Таблиця 1. Урожайність різностиглих гібридів соняшнику залежно від внесення мікродобрив (середнє за 2023–2025 рр.), т/га

Гібрид	Мікродобриво	Строк внесення		
		без внесення (контроль)	фаза 2–4 листків	фаза 2–4 листків+фаза 6–8 листків
Феном (середньоранній)	Мультикомплекс СтимОрганік	2,20	2,32	2,69
	СтимОрганік АміноМакс		2,46	2,49
	Авангард Комплекс Соняшник		2,43	2,61
НК БРІО (середньоранній)	Мультикомплекс СтимОрганік	2,09	2,22	2,57
	СтимОрганік АміноМакс		2,36	2,38
	Авангард Комплекс Соняшник		2,31	2,46
Валенсія (середньостиглий)	Мультикомплекс СтимОрганік	2,31	2,44	2,82
	СтимОрганік АміноМакс		2,56	2,57
	Авангард Комплекс Соняшник		2,50	2,66
НК КОНДІ (середньостиглий)	Мультикомплекс СтимОрганік	2,26	2,39	2,79
	СтимОрганік АміноМакс		2,49	2,54
	Авангард Комплекс Соняшник		2,46	2,60
$НІР_{05}$	A – 0,04; B – 0,08; C – 0,08			

Базовими компонентами цього добрива є азот 80 г/л, бор 40 г/л, калій 25 г/л та гумінові кислоти 65 г/л, які доповнені комплексом мезо- й мікроелементів (цинком, міддю, залізом, магнієм тощо). Особливе значення у складі має бор – критично важливий елемент для якісного запилення та запліднення квіток. Крім цього, він бере безпосередню участь у регуляції вуглеводного й білкового метаболізму та суттєво впливає на ключові біохімічні реакції в рослинному організмі.

Аналіз продуктивності досліджуваних гібридів показав перевагу середньостиглої групи над середньораннею. Найвищі результати продемонстрував гібрид Валенсія, який за умов фоліарного внесення мікродобрив забезпечив оптимальний збір насіння в межах від 2,44 до 2,82 т/га.

Важливими показниками доцільності проведених агрозаходів є розрахунки економічної ефективності. При економічній оцінці вирощування соняшнику нами встановлена істотна різниця між варіантами досліду за показниками: вартість валової продукції, умовно-чистий прибуток і рівень рентабельності. Різниця в затратах між вартістю препаратів була незначна, оскільки розрахункова ціна на 1 га посіву соняшнику за одноразового застосування складала в межах 195–210 грн. Вартість зерна соняшнику 28000 грн/т взято для розрахунку станом на 1 грудня 2025 року.

Розрахунки свідчать, що рівень рентабельності без застосування підживлень на загальному фоні макродобрив $N_{60-90}P_{50-60}K_{50-60}$ кг д. р. /га. становив 82–101%, максимальний – відмічено у гібриду Валенсія (табл. 2).

Досліджувані гібриди соняшнику по різному реагували на кількість підживлень та мікродобриво. Так, за одноразового підживлення у фазу 2–4 листків найкращий ефект забезпечило мікродобриво СтимОрганік АміноМакс, застосування якого сприяло отриманню умовно-чистого прибутку в межах 29765–39270 грн/га, а рівня рентабельності на 10–20% більше, ніж на контролях (табл. 3).

Таблиця 2. Економічна оцінка вирощування різностиглих гібридів соняшнику без внесення мікродобрив (середнє за 2023–2025 рр.)

Гібрид (А)	Урожайність, т/га	Вартість валової продукції, грн/га	Виробничі витрати, грн/га	Умовно-чистий прибуток, грн/га	Рівень рентабельності, %
Феном	2,20	61600	32200	29400	91
НК БРІО	2,09	58520	32200	26320	82
Валенсія	2,31	64680	32200	32480	101
НК КОНДІ	2,26	63280	32200	31080	96

Таблиця 3. Економічна оцінка вирощування різностиглих гібридів соняшнику із застосуванням мікродобрив у фазі 2-4 листків (середнє за 2023-2025 рр.)

Гібрид (А)	Мікродобриво, (В)	Урожайність, т/га	Вартість валової продукції, грн/га	Виробничі витрати, грн/га	Умовно-чистий прибуток, грн/га	Рівень рентабельності, %
Феном	Мультикомплекс СтимОрганік	2,32	64960	32395	32565	101
	СтимОрганік АміноМакс	2,46	68880	32410	36470	113
	Авангард Комплекс Соняшник	2,43	68040	32405	35635	110
НК БРІО	Мультикомплекс СтимОрганік	2,22	62160	32395	29765	92
	СтимОрганік АміноМакс	2,36	66080	32410	33670	104
	Авангард Комплекс Соняшник	2,31	64680	32405	32275	100
Валенсія	Мультикомплекс СтимОрганік	2,44	68320	32395	35925	111
	СтимОрганік АміноМакс	2,56	71680	32410	39270	121
	Авангард Комплекс Соняшник	2,50	70000	32405	37595	116
НК КОНДІ	Мультикомплекс СтимОрганік	2,39	66920	32395	34525	107
	СтимОрганік АміноМакс	2,49	69720	32410	37310	115
	Авангард Комплекс Соняшник	2,46	68820	32405	36415	112

Найвищі показники економічної ефективності вирощування різностиглих гібридів соняшнику були за дворазового фоліарного підживлення (фаза 2–4 листків+фаза 6–8 листків), що забезпечило отримання умовно-чистого прибутку в межах 37100–46370 грн/га та рівня рентабельності – в межах 114–142% (табл. 4).

Таблиця 4. Економічна оцінка вирощування різностиглих гібридів соняшнику із дворазовим застосуванням мікродобрив (фаза 2–4 листків+фаза 6–8 листків) (середнє за 2023–2025 рр.)

Гібрид (А)	Мікродобриво, (В)	Урожайність, т/га	Вартість валової продукції, грн/га	Виробничі витрати, грн/га	Умовно-чистий прибуток, грн/га	Рівень рентабельності, %
Феном	Мультикомплекс СтимОрганік	2,69	75320	32590	42730	131
	СтимОрганік АміноМакс	2,49	69720	32620	37100	114
	Авангард Комплекс Соняшник	2,61	73080	32610	40470	124
НК БРІО	Мультикомплекс СтимОрганік	2,57	71960	32590	39370	121
	СтимОрганік АміноМакс	2,38	66640	32620	34020	104
	Авангард Комплекс Соняшник	2,46	68820	32610	36210	111
Валенсія	Мультикомплекс СтимОрганік	2,82	78960	32590	46370	142
	СтимОрганік АміноМакс	2,57	71960	32620	39340	120
	Авангард Комплекс Соняшник	2,66	74480	32610	41870	128

Продовження таблиці 4

Гібрид (А)	Мікродобриво, (В)	Урожайність, т/га	Вартість валової продукції, грн/га	Виробничі витрати, грн/га	Умовно-чистий прибуток, грн/га	Рівень рентабельності, %
НК КОНДІ	Мультикомплекс СтимОрганік	2,79	78120	32590	45530	140
	СтимОрганік АміноМакс	2,54	71120	32620	38500	118
	Авангард Комплекс Соняшник	2,60	72800	32610	40190	123

Висновки. В результаті проведених обліків та розрахунків економічної ефективності вирощування різностиглих гібридів соняшнику встановлено істотне підвищення урожайності за рахунок проведення фоліарних підживлень мікродобривами. Оптимальну урожайність серед досліджуваних гібридів соняшнику забезпечив середньостиглий гібрид Валенсія, показник становив від 2,44 до 2,82 т/га, тобто з перевищенням контрольного варіанту (без підживлень) на 0,13–0,51 т/га.

Оптимальний умовно-чистий прибуток 46370 грн/га та рівень рентабельності 142% забезпечив варіант дворазового підживлення мікродобривом Мультикомплекс СтимОрганік гібриду Валенсія.

Перспективи подальших досліджень полягають у детальнішому вивченні сумісного застосування оптимізованих доз мікродобрив разом із сучасними регуляторами росту рослин та системами гербіцидного захисту для досліджуваних гібридів соняшнику. Крім того, доцільним є розширення схеми досліду через вивчення ефективності позакореневих підживлень у пізніші критичні фази онтогенезу культури, зокрема у фазу бутонізації.

Список використаних джерел

1. Баган А.В., Шакалій С.М., Головаш Л.М., Голуб-Маковецька І.А., Малов П.О. Вплив мікродобрива LF-соняшник на продуктивність гібридів соняшнику. *Аграрні інновації.* 2024. № 28. С. 114–119. https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.28.2

2. Баган А. В., Головаш Л. М. Вплив мікродобрив на урожайність соняшнику. *Сучасні аспекти і технології у захисті рослин : матеріали V міжнар. наук.-практ. інтернет-конф.* (м. Полтава, 21 черв. 2024 р.). Полтава : ПДАУ, 2024. С. 94–96. https://surl.li/haqrtu

3. Білюк М.Ю., Хоміна В.Я. Біометричні показники та урожайність різностиглих гібридів соняшнику залежно від підживлення мікродобривами. *Таврійський науковий вісник.* 2022. № 128. С. 17–22. DOI https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.128.3

4. Жатов О.Г., Троценко В.І., Жатова Г.О., Масюченко О.М. Агроекологічні особливості виро щування сортів-популяцій в умовах північно-східного Лісостепу України. *Вісник Сумського НАУ.* 2015. Вип. 3. С. 149–152. https://surl.li/lusbeu

5. Несмачна М. (2026, 3 квітня). *Імунітет урожаю: сучасні підходи до створення конкурентних гібридів соняшника*. SuperAgronom.com. https://surl.li/ahhcyi

6. Козечко В.І., Іванченко О.М. Ефективність застосування мікродобрив в посівах соняшнику. *Таврійський науковий вісник.* 2024. № 136. Част. 1. С. 192–201. DOI https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.136.1.23

7. Костина Т. П., Куманська Ю. О. , Дубовик Н. С., Сабадин В. Я.. Оцінка технологій гербіцидного захисту та моніторинг фітопатогенного стану гібридів соняшнику в центральному Лісостепу України. *Український журнал природничих наук.* 2024. № 9. С. 261–270. DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.27

8. Мазур С.О., Матусевич Г. Д. Вплив ґрунтових гербіцидів на біометричні показники та врожайність соняшнику. *Збалансоване природокористування.* 2023. № 1. С. 90–96. DOI: https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2023.278544

9. Огурцов Ю.Є., Буряк Ю.І., Чернобаб О.В., Махнова Л.М., Волошина С.М.. Підвищення урожайності батьківських компонентів простих гібридів соняшнику. *Селекція і насінництво.* 2025. № 127. С. 80–94. DOI: https://doi.org/10.30835/2413-7510.2025.333770

10. Шейко І.М., Хоміна В.Я. Показники структури врожаю різностиглих гібридів соняшнику залежно від впливу мікродобрив в умовах Лісостепу західного. *Аграрні інновації*, 2025. (33). С. 368–373. DOI: https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.33.59

Sheiko I. M.
Postgraduate Student at the Department of Crop Production, Breeding and Seed Science,
Higher Education Institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *irina_shejko@ukr.net*
ORCID: *0009-0007-3085-4997*

YIELD AND ECONOMIC EFFICIENCY OF GROWING SUNFLOWER HYBRIDS OF DIFFERENT MATURITY GROUPS DEPENDING ON MICROFERTILIZER APPLICATION UNDER THE CONDITIONS OF THE WESTERN FOREST-STEPPE

Abstract

The article examines the impact of agrotechnical factors on sunflower yield under the soil and climatic conditions of the Western Forest-Steppe. An analysis of scientific research on the relevance of studying the impact of individual agrotechnical factors on sunflower seed yield formation in different zones of Ukraine is presented. Additionally, economic efficiency calculations were performed for cultivating sunflower hybrids of different maturity groups with foliar feeding applied at various stages of plant growth and development.

The research aimed to determine the effect of foliar microfertilizer application on the yield of sunflower hybrids of different maturity groups under the conditions of the Western Forest-Steppe and to substantiate the economic viability of these agrotechnical practices.

The experiment was accompanied by observations, measurements, and analyses in compliance with existing methodologies for establishing field trials and conducting analytical procedures. The following factors were investigated: Factor A – sunflower hybrid (Phenom (medium-early), NK Brio (medium-early), Valencia (medium-ripening), NK Kondi (medium-ripening)); Factor B – microfertilizer (Multicomplex StimOrganic, StimOrganic AminoMax, Avangard Complex Sunflower); Factor C – application timing (2-4 leaves stage, 2-4 leaves stage + 6-8 leaves stage), with a variant without foliar microfertilizer application used as a control.

The effect of microfertilizers on the yield of various sunflower hybrids under single and double applications was substantiated. The maximum effect was achieved with the Multicomplex StimOrganic microfertilizer, the double application of which ensured the following sunflower yields across the hybrids: Valencia – 2.82 t/ha, NK Kondi – 2.79 t/ha, Phenom – 2.69 t/ha, and NK Brio – 2.57 t/ha. The optimal yield of 2.82 t/ha was recorded for the medium-ripening hybrid Valencia under double foliar application of the specified microfertilizer (2-4 leaves stage + 6-8 leaves stage). As a result of the research, a tendency toward an increase in the yield of all studied hybrids was established under double application at the 2-4 leaves stage and the 6-8 leaves stage.

The economic viability of microfertilizer application in sunflower cultivation through single and double foliar applications at different stages of plant development was substantiated. The calculations indicate that the optimal conditional net profit of UAH 46,370/ha and a profitability level of 142% were provided by the variant with double feeding of the Valencia hybrid using the Multicomplex StimOrganic microfertilizer.

Key words: *sunflower, hybrid, microfertilizer, foliar application, application timing, yield, gross output value, conditional net profit, profitability level.*

References

1. Bahan, A. V., Shakalii, S. M., Holovash, L. M., Holub-Makovetska, I. A., & Malov, P. O. (2024). Vplyv mikrodobryva LF-soniashnyk na produktyvnist hibrydiv soniashnyku [The influence of microfertilizer LF-sunflower on the productivity of sunflower hybrids]. *Ahrarni innovatsii [Agrarian Innovations]*, (28), 114–119. DOI https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.28.2

2. Bahan, A. V., & Holovash, L. M. (2024). Vplyv mikrodobryv na urozhainist soniashnyku [The influence of microfertilizers on sunflower yield]. In *Suchasni aspekty i tekhnolohii u zakhysti roslyn [Modern aspects and technologies in plant protection]*: Materialy V mizhnar. nauk.-prakt. internet-konf. (pp. 94–96). PDAU. https://surl.li/haqrtu

3. Biliuk, M. Yu., & Khomina, V. Ya. (2022). Biometrychni pokaznyky ta urozhainist riznostyhlykh hibrydiv soniashnyku zalezhno vid pidzhyvlenia mikrodobryvamy [Biometric indicators and yield of sunflower hybrids of different maturity depending on fertilization with microfertilizers]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk [Tavria Scientific Bulletin]*, (128), 17–22. DOI https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.128.3

4. Zhatov, O. H., Trotsenko, V. I., Zhatova, H. O., & Masiuchenko, O. M. (2015). Ahroekolohichni osoblyvosti vyroshchuvannia sortiv-populiatsii soniashnyku v umovakh pivnichno-skhidnoho Lisostepu Ukrainy [Agroecological features of cultivation of sunflower varieties-populations in the conditions of the north-eastern Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk Sumskoho NAU [Bulletin of Sumy National Agrarian University]*, (3), 149–152. https://surl.li/lusbeu

5. Nesmachna, M. (2026, April 3). Imunitet urozhaiu: suchasni pidkhody do stvorennia konkurentnykh hibrydiv soniashnyka [Crop immunity: modern approaches to creating competitive sunflower hybrids]. SuperAgronom.com. surl.li

6. Kozechko, V. I., & Ivanchenko, O. M. (2024). Efektyvnist zastosuvannia mikrodobryv v posivakh soniashnyku [Efficiency of microfertilizers application in sunflower crops]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk [Tavria Scientific Bulletin]*, (136), Part 1, 192–201. DOI https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.136.1.23

7. Kostyna, T. P., Kumanska, Yu. O., Dubovyk, N. S., & Sabadyn, V. Ya. (2024). Otsinka tekhnolohii herbytsydnoho zakhystu ta monitorynh fitopatohiennoho stanu hibrydiv soniashnyku v tsentralnomu Lisostepu Ukrainy [Evaluation of herbicide protection technologies and monitoring of phytopathogenic state of sunflower hybrids in the Central Forest-Steppe of Ukraine]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychykh nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, (9), 261–270. DOI https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.27

8. Mazur, S. O., & Matusevych, H. D. (2023). Vplyv hruntovykh herbytsydiv na biometrychni pokaznyky ta vrozhainist soniashnyku [The effect of soil herbicides on biometric parameters and sunflower yield]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia [Balanced Nature Using]*, (1), 90–96. DOI: https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2023.278544

9. Ohurtsov, Yu. Ye., Buriak, Yu. I., Chernobab, O. V., Makhnova, L. M., & Voloshyna, S. M. (2025). Pidvyshchennia urozhainosti batkivskykh komponentiv prostykh hibrydiv soniashnyku [Increasing the yield of parental components of simple sunflower hybrids]. *Selektsiia i nasinnytstvo [Plant Breeding and Seed Production]*, (127), 80–94. DOI: https://doi.org/10.30835/2413-7510.2025.333770

10. Sheiko, I. M., & Khomina, V. Ya. (2025). Pokaznyky struktury vrozhaiu riznostyhlykh hibrydiv soniashnyku zalezhno vid vplyvu mikrodobryv v umovakh Lisostepu zakhidnoho [Indicators of yield structure of different maturity sunflower hybrids depending on the influence of microfertilizers in the conditions of the western Forest-Steppe]. *Ahrarni innovatsii [Agrarian Innovations]*, (33), 368–373. DOI: https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.33.59

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 30.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 14.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

UDC 621.182:697.1
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-20

Fedirko P. P.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Technical Service and General Technical Subjects,
Higher Educational Institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *pavlo.fedirko@pdatu.edu.ua*
ORCID: *0000-0002-3724-8937*

Yermakov S. V.
Head of the Educational and Scientific Laboratory "DAK GPS",
Higher Educational Institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *dakgps@pdatu.edu.ua*
ORCID: *0000-0002-6840-5309*

Olenyuk O. A.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Technical Service and General Technical Subjects,
Higher Educational Institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *alexander.olenyuk@gmail.com*
ORCID: *0000-0003-1463-076X*

Bonchik V. S.
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Technical Service and General Technical Subjects,
Higher Educational Institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *vitaliy-bonchik@ukr.net*
ORCID: *0000-0001-9155-2465*

CONSTRUCTIVE AND ENGINEERING SOLUTIONS FOR A TOP-COMBUSTION SOLID-FUEL BOILER FOR LOCAL HEATING SYSTEMS

Abstract

The paper considers constructive and engineering solutions for a top-combustion solid-fuel boiler intended for use in local heating systems. The operating principle of long-burning candle-type boilers is analysed, and their main structural features are generalised. Based on this analysis, a solid-fuel boiler design is proposed that is focused on simplified manufacturing, the use of readily available materials, and minimisation of the number of structural elements and welded joints.

A schematic representation of the boiler operating principle is presented, the main structural components are described, and the principal stages of manufacturing are outlined. The proposed design incorporates an upper air supply system with a movable distributor positioned above the fuel layer. This arrangement is intended to provide controlled air supply to the active combustion

© Fedirko P. P., Yermakov S. V., Olenyuk O. A., Bonchik V. S., 2026
pISSN 2706-9052, eISSN 2706-851X

zone as the fuel charge is gradually consumed. An internal screen separates the zone of gaseous product formation from the main heat-exchange volume and creates conditions for combustion of gaseous products of thermal decomposition. Tubular heat-exchange elements are arranged in the flow path of hot combustion products to facilitate heat transfer to the heat carrier.

A preliminary assessment of the energy potential of the proposed boiler is performed based on the lower heating value and mass of the firewood charge. The obtained relationships connect the fuel load, its energy potential, and the expected operating duration at a single fuel load. The calculated estimates are considered preliminary, since the actual useful heat output, thermal efficiency, fuel consumption rate, flue gas temperature, and other heat-balance parameters require experimental determination. The proposed design may represent a technically feasible alternative to commercially manufactured long-burning boilers for local heating systems, subject to further experimental validation of its thermal performance and operating characteristics.

Key words: *solid fuel boiler, top combustion, biomass, firewood fuel, local heating systems, simplified manufacturing.*

Introduction. In the current context of rising energy costs, decentralization of heat supply systems, and increasing risks of disruption to centralized energy infrastructure, the use of local solid-fuel-based heat sources is becoming particularly relevant. For Ukraine, this issue has gained additional importance due to damage to energy infrastructure facilities and the need to ensure reliable heat supply to consumers under crisis and emergency conditions [4].

Solid-fuel boilers remain among the most versatile and accessible means of heat generation, as they allow the use of a wide range of fuels, including firewood, wood waste, and other types of biomass [1; 5; 13]. At the same time, a significant proportion of modern heat-generating units are characterized by complex designs, automated combustion control systems, and increased requirements for fuel quality, which complicates their manufacturing, operation, and maintenance under conditions of limited resources [7].

One promising direction for improving solid-fuel boilers is the implementation of the top-combustion principle, in which the combustion process is localized in the upper fuel layer, and air is supplied directly to the active combustion zone. This approach is expected to provide a more uniform combustion process, reduce heat losses with flue gases, and enable long-term operation of the boiler on a single fuel load [6; 9; 17].

Top-combustion design solutions have been practically implemented in shaft-type boilers, including well-known long-burning designs that have demonstrated acceptable operational performance with relative structural simplicity [12]. However, further reduction of material consumption, the number of structural elements, and manufacturing time of such boilers remains a relevant scientific and practical task.

A significant contribution to the study of biomass energy utilization, including its thermal pre-treatment, torrefaction, and combustion processes, has been made in the authors' previous works [2; 14–16; 18]. The obtained results confirm the feasibility of using plant biomass and its thermally treated products in local heat supply systems and provide a scientific and practical basis for improving solid-fuel thermal installations.

In this context, the development of structural and engineering solutions for a top-combustion solid-fuel boiler designed for stable operation on firewood, reduced structural complexity, and the possibility of manufacturing from readily available materials for use in local heat supply systems is of particular relevance.

The aim of this study is to develop and substantiate the design of a top-combustion solid-fuel boiler that is intended to provide long-term operation on a single fuel load, stable formation and combustion of gaseous products of thermal decomposition, and simplified manufacturing and operation under the conditions of local heat supply systems.

To achieve this purpose, the following objectives were defined:

– to analyze the structural features of top-combustion and fuel-gasification solid-fuel boilers;
– to substantiate the conceptual design of a boiler with separation of producer gas formation and combustion zones;
– to develop an air supply system design with an upper distributor and a two-section structure;
– to determine the main geometric parameters of the boiler and the relative arrangement of its elements;
– to assess the feasibility of applying the proposed design for firewood fuel in local heat supply systems.

Presentation of the main research material. The research was conducted at the Educational and Research Laboratory "DAK GPS" of Higher Educational Institution "Podillia State University", whose scientific activities are focused on the study of biomass thermal processing and energy utilization processes, as well as the improvement of solid-fuel thermal installations [3; 10; 19].

The object of the study is a shaft-type top-combustion solid-fuel boiler designed to operate on firewood. The subject of the study is the boiler's structural solutions that determine air supply conditions, combustion zone formation, and the duration of operation on a single fuel load.

An analysis of modern long-burning solid-fuel boilers shows that the most widespread designs implement the top-combustion principle with air supplied to the upper zone of the fuel shaft. Such boilers are characterized by fuel placement beneath the air distributor and the formation of a stable combustion front that gradually moves downward along the height of the fuel charge.

During operation of boilers of this type, two functional zones are distinguished: the zone of gaseous product formation in the upper fuel layer and the zone of their combustion located directly above the fuel conversion zone. This configuration is expected to support long-term boiler operation on a single fuel load and contribute to more uniform heat release.

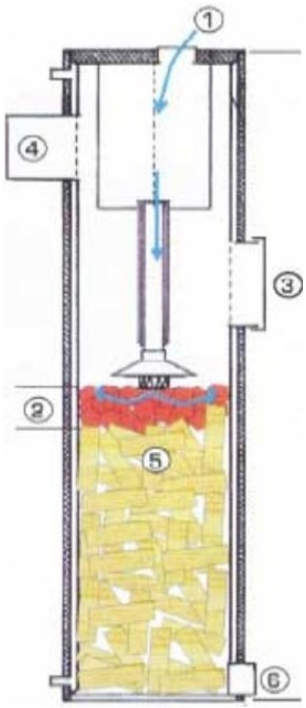


Fig. 1. Generalized schematic diagram of the operating principle of a top-combustion solid-fuel boiler [9]: 1 – air circulation; 2 – combustion zone; 3 – loading door; 4 – chimney; 5 – furnace chamber; 6 – ash-cleaning opening

Based on the analysis of existing technical solutions, a design of a top-combustion solid-fuel boiler adapted to the conditions of local heat supply systems and simplified manufacturing has been developed. The conceptual diagram of the proposed boiler is shown in Fig. 2.

The boiler design (Fig. 2) incorporates a cylindrical shell with a sealed bottom and an upper cover, ensuring convenient fuel loading. Air is supplied to the combustion zone through a telescopic distributor located directly above the fuel layer and moving downward as the fuel burns out. The fuel is placed below the active combustion and thermal conversion zone, which corresponds to the operating principle of top-combustion boilers.

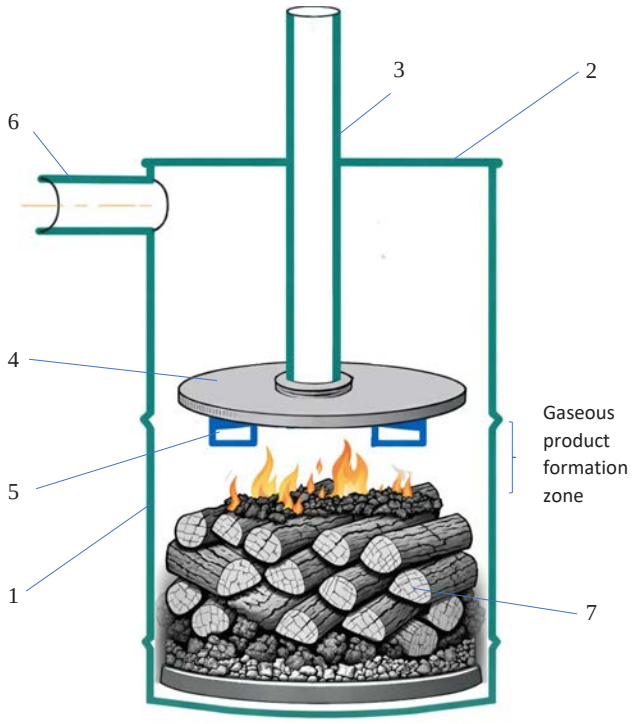


Fig. 2. Schematic diagram of the top-combustion solid-fuel boiler: 1 – body; 2 – cover; 3 – air supply nozzle; 4 – internal screen; 5 – screen support elements; 6 – flue gas outlet nozzle; 7 – fuel

The removal of combustion products is carried out through a flue gas outlet nozzle located in the upper part of the boiler. Heat exchange between hot gases and the heat carrier is implemented through a system of tubular elements integrated into the boiler shell. This design solution is intended to reduce the number of welded joints and simplify the boiler manufacturing technology.

The manufacturing technology of the proposed solid-fuel boiler is characterized by a minimal number of production operations and does not require complex specialized equipment. The main stages of boiler fabrication are shown in Fig. 3.

The manufacturing process of the solid-fuel boiler is based on a standard cylindrical steel blank used as the body of the product. At the initial stage, the welded seam is removed from the end part of the blank, resulting in the formation of a cylindrical boiler body with a sealed bottom without through gaps (Fig. 3a).

In the upper part of the body, an opening is made for connecting the flue gas outlet nozzle. A steel nozzle with a diameter of 150 mm is welded to the prepared opening, ensuring the removal of combustion products from the boiler chamber (Fig. 3b).



Fig. 3. Main stages of manufacturing the solid-fuel boiler:
a – formation of the body with a sealed bottom; b – installation of the flue gas outlet nozzle;
c, d – installation of air supply and heat exchange elements; e, f – final assembly of the boiler

The internal screen is manufactured in the form of a steel disk whose diameter is several centimeters smaller than the internal diameter of the body. In the central part of the screen, an opening is formed, to which a tubular element with a diameter of 100 mm is welded, designed for supplying air to the combustion zone (Fig. 3c). Such a design is intended to provide more uniform air distribution above the fuel surface.

A supporting element in the form of a steel profile with a height of 50–60 mm is installed on the lower side of the internal screen, ensuring stable positioning of the screen and formation of the required gap for the passage of producer gas (Fig. 3d).

At the final stage, the upper cover of the boiler is mounted, after which the structure is considered assembled and ready for operation. The proposed technological process is relatively simple to implement and involves a limited number of production operations, which may contribute to reduced manufacturing time and production costs.



Fig. 4. General view of the manufactured top-combustion boiler

For a preliminary quantitative assessment of the energy potential of the proposed design, the thermal transformations occurring during the sequential formation and combustion of gaseous products of fuel thermal conversion were considered. Unlike direct fuel combustion, in the proposed scheme, part of the heat is consumed for heating the fuel, evaporating moisture, and proceeding with endothermic gasification reactions. Therefore, the assessment of thermal efficiency should be performed taking into account the overall heat balance.

The total energy potential of the loaded batch of firewood is determined by the following relationship:

$$Q_{\text{p}} = m_p \, Q_{\text{n}}$$

where Q_p – the heat contained in the loaded fuel, MJ;
m_p – the mass of the loaded firewood, kg;
Q_n – the lower heating value of firewood, MJ/kg.

The actual value of Q_n depends on the fuel moisture content; therefore, this parameter should be taken into account when assessing the energy characteristics of the boiler.

For assessing the energy potential of firewood fuel, its heating value is an important parameter. For dry wood, the literature reports values in the range of 17–21 MJ/kg, while the actual value depends on the wood species, moisture content, and fuel composition [11]. For wood pellets with a moisture content of approximately 10%, an experimentally determined higher heating value of 19.53 MJ/kg has been reported [8]. This value can be used as a reference value for a preliminary assessment of the energy potential of solid woody biomass in the proposed boiler.

For the proposed design, these considerations are of particular importance because the internal screen forms a separate zone for the passage and combustion of producer gas, while the heat-exchange surfaces are located along the path of hot combustion products. Thus, the design creates conditions for utilizing heat not only from the direct combustion of wood but also from the gaseous products of its thermal conversion.

The operating duration of the boiler on a single fuel load can be estimated using the following relationship:

$$\tau = \frac{m_p}{B}$$

where τ – the operating duration on a single fuel load, h;
m_p – the mass of the loaded fuel, kg;
B – the average fuel consumption rate, kg/h.

An increase in the fuel load, combined with limiting the fuel burnout rate, directly affects the operating duration of the boiler.

The above relationships make it possible to relate the mass of the fuel load to its energy potential and the operating duration of the boiler. At the same time, the obtained relationships are of a calculated nature, while the final determination of the useful heat output and thermal efficiency requires experimental determination of the fuel consumption rate, inlet and outlet heat-carrier temperatures, flue gas temperature, and other heat-balance parameters.

The proposed design of the top-combustion solid-fuel boiler creates preconditions for stable and controllable operation in a long-duration combustion mode. Placement of the fuel under the air distributor and top air supply ensures the

formation of a localized gasification zone that gradually moves downward as the fuel burns out. This operating principle contributes to the reduction of peak thermal loads and more uniform heat release over time.

The use of an internal screen makes it possible to separate the producer gas formation zone from the main heat exchange volume, creating conditions for more complete combustion of volatile fuel components. The presence of tubular elements in the hot gas flow zone is expected to enhance heat transfer to the heat carrier without significantly complicating the overall design.

From an engineering perspective, an important feature of the boiler is the minimization of structural elements and welded joints, which may reduce the probability of loss of tightness and contribute to improved operational reliability. The simplicity of the geometry of the main units is expected to facilitate design reproducibility during manufacturing and reduce dependence on specialized production equipment.

The scientific contribution of the authors lies in the comprehensive integration of the top-combustion principle with structural solutions aimed at simplified manufacturing and adaptation of the boiler to the conditions of local heat supply systems. The proposed approach suggests that the developed design may represent a technically feasible alternative to commercially manufactured long-burning boilers, subject to further experimental validation of its thermal performance.

Conclusions.

1. A design of a top-combustion solid-fuel boiler intended for use in local heat supply systems and adapted for simplified manufacturing has been developed.
2. It has been shown that the application of top air supply and placement of fuel beneath the active thermal conversion zone create conditions for stable long-duration combustion and uniform heat release over time.
3. The proposed design solution with an internal screen and tubular heat exchange elements is expected to enhance heat transfer without significantly complicating the overall boiler design.
4. The developed manufacturing technology is characterized by a minimal number of operations and does not require specialized equipment, which may contribute to reducing production time and material costs.
5. The engineering novelty of the work lies in combining the top-combustion principle with structural solutions aimed at increasing manufacturability and reproducibility of the boiler design.
6. The obtained results indicate the feasibility of further experimental studies of the thermal performance of the proposed design and its potential practical application as an alternative to commercially manufactured long-burning boilers.

Bibliography

1. Basu P. *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory*. London: Academic Press, 2010. 376 p. https://doi.org/10.1016/C2009-0-20099-7.
2. Bialkovska O., Huk Ya. Economic mechanisms for stimulating the use of alternative energy sources. *Scientific Research: Modern Challenges and Future Prospects*. Munich: MDPC Publishing, 2024. P. 309–315.
3. Hutsol T., Glowacki S., Mudryk K. *Agrobiomass of Ukraine – Energy Potential of Central and Eastern Europe (Engineering, Technology, Innovation, Economics)*. Monograph. Warsaw, 2021. 136 p. https://doi.org/10.22630/SGGW.IIM.9788382370201.
4. International Energy Agency. Unlocking the Potential of Distributed Energy Resources: Power System Opportunities and Best Practices. Paris: OECD Publishing, 2022. 116 p. https://doi.org/10.1787/a2ed7a25-en.
5. Knoef H. *Handbook Biomass Gasification*. 2nd ed. Enschede: BTG Biomass Technology Group, 2012. 509 p. ISBN 978-90-819385-0-1.
6. McKendry P. Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource Technology*. 2002. Vol. 83, No. 1. P. 47–54. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00119-5.
7. Munir A., Alvi J. Z., Ashfaq S., Ghafoor A. Performance evaluation of a biomass boiler on the basis of heat loss method and total heat values of steam. *Pakistan Journal of Agricultural Research*. 2014. Vol. 51, No. 1. P. 209–215.
8. Nunes L. J. R., Matias J. C. O., Catalão J. P. S. Wood pellets as a sustainable energy alternative in Portugal. *Renewable Energy*. 2016. Vol. 85. P. 1011–1016. https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.065.
9. Obernberger I., Thek G. Combustion and Gasification of Solid Biomass for Heat and Power Production in Europe – State-of-the-Art and Relevant Future Developments. *Proceedings of the 8th European Conference on Industrial Furnaces and Boilers (INFUB 8)*. Vilamoura, Portugal, 2008. ISBN 978-972-99309-3-5.
10. Rozkosz A., Yermakov S. Torrefaction laboratory in Kamianets-Podilskyi as a key place on the map of decarbonisation in Europe. *Alternative Energy Sources in the Context of Green Economy Development*. Kamianets-Podilskyi: PDATU, 2025. P. 8–11.
11. Saidur R., Abdelaziz E. A., Demirbas A., Hossain M. S., Mekhilef S. A review on biomass as a fuel for boilers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Vol. 15, No. 5. P. 2262–2289. https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.015.
12. Stropuva. Solid Fuel Boiler for Central Heating STROPUVA: Technical Passport, Installation and Maintenance Instructions. Lithuania: Stropuva. [Online]. URL: https://stropuva.lt/wp-content/uploads/2017/12/Instrukcija-angliska.pdf.
13. Van Loo S., Koppejan J. *The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing*. London: Earthscan, 2008. 464 p. https://doi.org/10.4324/9781849773041.
14. Гук Я. В., Бялковська О. А. Можливості та виклики для зеленої енергетики в Україні на прикладі енергії біомаси. *Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК*. Харків : Державний біотехнологічний університет, 2024. С. 70–71.
15. Гуцол Т., Єрмаков С., Rozkosz A. Торефікація як спосіб покращення споживацьких характеристик біомаси. *Аграрна наука та освіта в умовах євроінтеграції*. 2019. С. 21–23.
16. Єрмаков С. В., Кучер О. В., Пустова З. В. Огляд найкращих доступних технологій спалювання твердих палив. *Молодь і індустрія 4.0 в XXI столітті*. Харків: ДБТУ, 2023. С. 165.

17. Єрмаков С. Особливості спалювання торефікованої біомаси. *Альтернативні джерела енергії в контексті розвитку «зеленої» економіки*, 23 трав. 2024 р. Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2024. С. 37–39.

18. Єрмаков С., Lada A. Торефікація як інструмент покращення енергетичних властивостей рослинної біомаси. *Modern Technologies and Technical Service: Challenges and Opportunities*. Кам'янець-Подільський, 2025. С. 244–248.

19. Кучер О. В., Єрмаков С. В. Методологія маркетингових досліджень біоекономічних процесів. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2023. Вип. 1 (38). С. 132–139. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-1.19.

Федірко П. П.
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: *pavlo.fedirko@pdatu.edu.ua*
ORCID: *0000-0002-3724-8937*

Єрмаков С. В.
завідувач навчально-наукової лабораторії «DAK GPS»,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: *dakgps@pdatu.edu.ua*
ORCID: *0000-0002-6840-5309*

Оленюк О. А.
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: *alexander.olenyuk@gmail.com*
ORCID: *0000-0003-1463-076X*

Бончик В. С.
кандидат технічних наук,
доцент кафедри технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: *vitaliy-bonchik@ukr.net*
ORCID: *0000-0001-9155-2465*

КОНСТРУКТИВНІ ТА ІНЖЕНЕРНІ РІШЕННЯ ТВЕРДОПАЛИВНОГО КОТЛА З ВЕРХНІМ ГОРІННЯМ ДЛЯ ЛОКАЛЬНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Анотація

У статті розглянуто конструктивні та інженерні рішення твердопаливного котла з верхнім горінням, призначеного для використання в локальних системах теплопостачання. Проаналізовано принцип роботи котлів тривалого горіння свічкового типу та узагальнено їх основні конструктивні особливості. На основі проведеного аналізу запропоновано конструкцію твердопаливного котла, орієнтовану на спрощення виготовлення, використання доступних матеріалів та мінімізацію кількості конструктивних елементів і зварних з'єднань.

Наведено схематичне представлення принципу роботи котла, описано основні конструктивні компоненти та окреслено основні етапи його виготовлення. Запропонована конструкція передбачає систему верхньої подачі повітря з рухомим розподільником, розташованим над шаром палива. Таке рішення призначене для забезпечення контрольованої подачі повітря до активної зони горіння в міру поступового вигоряння паливної закладки. Внутрішній екран відокремлює зону утворення газоподібних продуктів від основного теплообмінного об'єму та створює умови для спалювання газоподібних продуктів термічного розкладання. Трубчасті теплообмінні елементи розташовані на шляху руху гарячих продуктів згоряння для сприяння передачі теплоти теплоносію.

Проведено попередню оцінку енергетичного потенціалу запропонованого котла на основі нижчої теплоти згоряння та маси завантажених дров. Отримані залежності пов'язують масу паливної закладки, її енергетичний потенціал та очікувану тривалість роботи котла на одній закладці палива. Розрахункові оцінки розглядаються як попередні, оскільки фактична корисна теплова потужність, коефіцієнт корисної дії, витрата палива, температура відхідних газів та інші параметри теплового балансу потребують експериментального визначення. Запропонована конструкція може розглядатися як технічно доцільна альтернатива серійним котлам тривалого горіння для локальних систем теплопостачання за умови подальшої експериментальної перевірки її теплотехнічних характеристик та експлуатаційних параметрів.

Ключові слова: *твердопаливний котел, верхнє горіння, біомаса, дров'яне паливо, локальні системи теплопостачання, спрощене виготовлення.*

References

1. Basu, P. (2010). Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory. London: Academic Press, 376 p. https://doi.org/10.1016/C2009-0-20099-7 [in English].

2. Bialkovska, O., & Huk, Ya. (2024). Economic mechanisms for stimulating the use of alternative energy sources. *Scientific Research:* Modern Challenges and Future Prospects, Munich: MDPC Publishing, pp. 309–315 [in English].

3. Hutsol, T., Glowacki, S., & Mudryk, K. (2021). Agrobiomass of Ukraine – Energy Potential of Central and Eastern Europe (Engineering, Technology, Innovation, Economics): monograph. Warsaw, 136 p. https://doi.org/10.22630/SGGW.IIM.9788382370201 [in English].

4. International Energy Agency (2022). Unlocking the Potential of Distributed Energy Resources: Power System Opportunities and Best Practices. Paris: OECD Publishing, 116 p. https://doi.org/10.1787/a2ed7a25-en [in English].

5. Knoef, H. (2012). Handbook Biomass Gasification. 2nd ed. Enschede: BTG Biomass Technology Group, 509 p. ISBN 978-90-819385-0-1 [in English].

6. McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource Technology,* Vol. 83, No. 1, pp. 47–54. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00119-5 [in English].

7. Munir, A., Alvi, J.Z., Ashfaq, S., & Ghafoor, A. (2014). Performance evaluation of a biomass boiler on the basis of heat loss method and total heat values of steam. *Pakistan Journal of Agricultural Research,* Vol. 51, No. 1, pp. 209–215 [in English].

8. Nunes, L.J.R., Matias, J.C.O., & Catalão, J.P.S. (2016). Wood pellets as a sustainable energy alternative in Portugal. *Renewable Energy*, Vol. 85, pp. 1011–1016. https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.065 [in English].

9. Obernberger, I., & Thek, G. (2008). Combustion and Gasification of Solid Biomass for Heat and Power Production in Europe – State-of-the-Art and Relevant Future Developments. Proceedings of the 8th European Conference on Industrial Furnaces and Boilers (INFUB 8), Vilamoura, Portugal. ISBN 978-972-99309-3-5 [in English].

10. Rozkosz, A., & Yermakov, S. (2025). Torrefaction laboratory in Kamianets-Podilskyi as a key place on the map of decarbonisation in Europe. Alternative Energy Sources in the Context of Green Economy Development, Kamianets-Podilskyi: PDATU, pp. 8–11 [in English].

11. Saidur, R., Abdelaziz, E.A., Demirbas, A., Hossain, M.S., & Mekhilef, S. (2011). A review on biomass as a fuel for boilers. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 15, No. 5, pp. 2262–2289. https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.015 [in English].

12. Stropuva (n.d.). Solid Fuel Boiler for Central Heating STROPUVA: Technical Passport, Installation and Maintenance Instructions. Lithuania: Stropuva. Retrieved from: https://stropuva.lt/wp-content/uploads/2017/12/Instrukcija-angliska.pdf [in English].

13. Van Loo, S., & Koppejan, J. (2008). The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing. London: Earthscan, 464 p. https://doi.org/10.4324/9781849773041 [in English].

14. Huk, Ya.V., & Bialkovska, O.A. (2024). Mozhlyvosti ta vyklyky dlia zelenoi enerhetyky v Ukraini na prykladi enerhii biomasy [Opportunities and challenges for green energy in Ukraine using biomass energy as an example]. Elektroenerhetyka, elektromekhanika ta tekhnolohii v APK, Kharkiv: Derzhavnyi biotekhnolohichnyi universytet, pp. 70–71 [in Ukrainian].

15. Hutsol, T., Yermakov, S., & Rozkosz, A. (2019). Torefikatsiia yak sposib pokrashchennia spozhyvatskykh kharakterystyk biomasy [Torrefaction as a way to improve the consumer properties of biomass]. Ahrarna nauka ta osvita v umovakh yevrointehratsii, pp. 21–23 [in Ukrainian].

16. Yermakov, S.V., Kucher, O.V., & Pustova, Z.V. (2023). Ohliad naikrashchykh dostupnykh tekhnolohii spaliuvannia tverdykh palyv [Review of the best available technologies for solid fuel combustion]. Molod i industriia 4.0 v XXI stolitti [Youth and Industry 4.0 in the XXI Century], Kharkiv: DBTU, p. 165 [in Ukrainian].

17. Yermakov, S. (2024). Osoblyvosti spaliuvannia torefikovanoi biomasy [Features of combustion of torrefied biomass]. Alternatyvni dzherela enerhii v konteksti rozvytku "zelenoi" ekonomiky. Kamianets-Podilskyi: ZVO "PDU", pp. 37–39 [in Ukrainian].

18. Yermakov, S., & Lada, A. (2025). Torefikatsiia yak instrument pokrashchennia enerhetychnykh vlastyvostei roslynnoi biomasy [Torrefaction as a tool for improving the energy properties of plant biomass]. Modern Technologies and Technical Service: Challenges and Opportunities, Kamianets-Podilskyi, pp. 244–248 [in Ukrainian].

19. Kucher, O.V., & Yermakov, S.V. (2023). Metodolohiia marketynhovykh doslidzhen bioekonomichnykh protsesiv [Methodology of marketing research of bioeconomic processes]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika,* 1(38), 132–139. https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-1.19 [in Ukrainian].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 06.08.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 15.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026

УДК 631.363:631.862:662.767
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-21

Грушецький С. М.
кандидат технічних наук,
доцент кафедри агроінженерії та точного землеробства імені Михайла Самокиша,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: *g.sergiy.1969@gmail.com*
ORCID: *0000-0002-0487-6152*

Дубчак Н. А.
кандидат технічних наук,
доцент кафедри машиновикористання та технологій в сільському господарстві,
Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України
«Бережанський агротехнічний інститут»
Бережани, Україна
E-mail: *dybchak1010@ukr.net*
ORCID: *0000-0003-3279-7897*

Фльонц О. В.
кандидат технічних наук,
доцент кафедри машиновикористання та технологій в сільському господарстві,
Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України
«Бережанський агротехнічний інститут»
Бережани, Україна
E-mail: *flonts79@gmail.com*
ORCID: *0009-0004-5885-3708*

Лавріненко О. Т.
кандидат технічних наук,
доцент кафедри сільськогосподарських машин
та системотехніки ім. акад. П. М. Василенка,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
Київ, Україна
E-mail: *lavrinenko@nubip.edu.ua*
ORCID: *0000-0003-1347-6668*

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАШИН ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ТВАРИННИЦТВА НА БІОГАЗ ТА ОРГАНІЧНІ ДОБРИВА

Анотація

У роботі розглянуто актуальне науково-практичне завдання обґрунтування параметрів та оцінки ефективності використання машин для переробки відходів тваринництва на біогаз і органічні добрива. В умовах зростання енергетичних потреб аграрного сектору та посилення екологічних вимог особливого значення набуває впровадження ресурсозберігаючих технологій, що забезпечують утилізацію органічних відходів із одночасним отриманням енергії та цінних побічних продуктів.

У дослідженні проаналізовано технологічні процеси анаеробного зброджування та визначено основні параметри, що впливають на ефективність роботи машин і обладнання, зокрема об'єм біореактора, температурний режим, тривалість перебування субстрату, ступінь його підготовки та інтенсивність перемішування. Встановлено, що найбільш раціональним є використання мезофільного режиму ферментації (30–38°C) із часом утримання 20–30 діб, що забезпечує стабільний вихід біогазу та оптимальні енергетичні витрати.

Особливу увагу приділено техніко-технологічному обґрунтуванню машин для підготовки сировини, зокрема подрібнювачів, гомогенізаторів та шнекових сепараторів, які дозволяють підвищити однорідність субстрату та знизити навантаження на біореактор. Досліджено вплив конструкції мішалок на інтенсивність біохімічних процесів і доведено, що ефективне перемішування сприяє збільшенню виходу метану та стабілізації процесу зброджування.

© Грушецький С. М., Дубчак Н. А., Фльонц О. В., Лавріненко О. Т., 2026
pISSN 2706-9052, eISSN 2706-851X

Отримані результати свідчать, що застосування сучасних машин і технологій дозволяє підвищити вихід біогазу на 15–25% та отримати високоякісний дигестат із покращеними агрохімічними властивостями порівняно з традиційним гноєм. Встановлено, що дигестат містить більшу кількість доступних форм азоту, фосфору і калію, що підвищує ефективність його використання як органічного добрива.

Обґрунтовано економічну та екологічну доцільність впровадження біогазових установок у сільськогосподарських підприємствах. Використання таких систем сприяє зниженню витрат на енергоносії, мінімізації негативного впливу відходів на довкілля та формуванню замкненого циклу виробництва.

Ключові слова: *відходи тваринництва, біогаз, гомогенізація, сепарація, органічні добрива.*

Вступ. На сучасному етапі розвитку агропромислового виробництва України інтенсифікація тваринництва призводить до критичного накопичення органічних відходів. Традиційні методи їх зберігання у відкритих лагунах спричиняють значне екологічне навантаження: забруднення підземних вод нітратами, деградацію прилеглих ґрунтів та викиди парникових газів (метану та аміаку), що загострює проблему глобального потепління.

У контексті Цілей сталого розвитку до 2030 року, зокрема подолання голоду та розвитку сталого сільського господарства (ЦСР № 2), питання раціонального поводження з відходами стає стратегічним та (ЦСР №12) «Відповідальне споживання та виробництво», оскільки саме вона містить завдання щодо скорочення утворення відходів, їх повторного використання та переробки [21]. Впровадження інноваційних машин та технологічних комплексів для анаеробного зброджування дозволяє трансформувати екологічну проблему в енергетичний та агрохімічний ресурс.

На рисунку 1 показано схему біогазового реактора [20], який виробляє біогаз як джерело відновлюваної енергії.

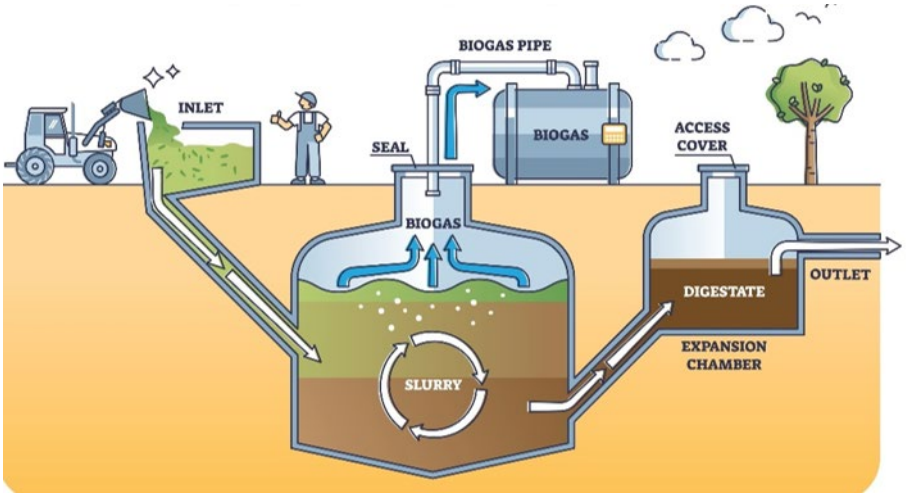


Рис. 1. Схема біогазового реактора [20]

Схема ілюструє, як працює реактор, від моменту додавання біомаси до моменту збору газу та дигестату. Біогазовий реактор – це замкнена система, яка виробляє біогаз шляхом анаеробного розкладання органічної речовини, такої як відходи тваринного та рослинного життєдіяльності. На схемі показано основні компоненти біогазового реактора та процес виробництва біогазу, а також продукти цього процесу.

Необхідність переходу до циркулярної економіки. Перехід від лінійної моделі виробництва («ресурс – продукція – відходи») до ***циркулярної (замкненої)*** моделі є ключовим пріоритетом. У такій системі відходи тваринництва розглядаються не як баласт, а як цінна сировина для двох паралельних процесів:

– *енергетична безпека* – отримання біогазу (метану), який може бути конвертований у теплову чи електричну енергію для потреб ферми;

– *відновлення родючості* – виробництво дигестату – високоякісного рідкого органічного добрива, у якому поживні елементи (N, P, K) знаходяться у легкодоступній для рослин формі, на відміну від сирого гною [12; 13].

Можна виділити декілька аспектів:

– *екологічний аспект* – переробка відходів тваринництва в біогазових установках сприяє зменшенню неконтрольованих викидів метану, заміщенню викопного палива біогазом та виконанню Україною міжнародних кліматичних зобов'язань за Паризькою угодою [8; 22];

– *економічний аспект* – заміна дороговартісних мінеральних добрив (ціни на які корелюють з цінами на природний газ) на власний дигестат знижує собівартість рослинницької продукції [4; 5];

– *технологічний аспект* – потреба в автоматизації процесів переробки для стабільної роботи бактерій у біореакторі (вимоги до подрібнення та термічного режиму) [6].

За даними Міжнародного агентства з відновлюваної енергетики (IRENA), одна молочна корова здатна забезпечити близько 500 нм³ метану на рік із гною, тоді як для м'ясної худоби потенціал становить 240–880 нм³

CH_4 на рік залежно від умов утримання та типу гною. За вмісту метану в біогазі 55–65 % це відповідає приблизно 400–900 м³ біогазу на рік [17; 18].

Обґрунтування параметрів роботи машин (об'ємів реакторів, потужності насосних установок, систем перемішування та сепарації) є необхідною умовою для забезпечення максимального виходу біогазу та мінімізації енерговитрат на власні потреби установки.

Агроінженерія в цьому контексті у процесі біоконверсії виступає фундаментом, що перетворює біологічну теорію на промислову реальність. Її ключова роль полягає у:

– *синтезі технічних систем* – створення комплексних ліній, що забезпечують безперервність циклу переробки;
– *оптимізації енергоспоживання* – мінімізація «власних потреб» установки для підвищення загального ККД;
– *керуванні фізико-механічними процесами* – забезпечення ідеального гомогенного стану субстрату для максимального виходу метану.

Ключові аспекти обґрунтування параметрів

Для досягнення високої ефективності машин необхідно чітко розрахувати їхні конструктивні та технологічні характеристики:

– *гідродинамічні параметри* – геометрія лопатей перемішувачів та частота їх обертання безпосередньо впливають на інтенсивність газовиділення;
– *теплотехнічні показники* – розрахунок систем підігріву реактора для підтримки мезофільного або термофільного режимів з мінімальними втратами тепла;
– *матеріалознавчий аспект* – використання корозійностійких матеріалів, здатних витримувати агресивне середовище біосубстрату.

Реалізація принципів циркулярної економіки неможлива без високоефективних машин та обладнання. Існуючі технологічні лінії часто потребують значних енерговитрат на перекачування та перемішування субстрату. Це створює «технологічний бар'єр», коли енергія, витрачена на процес, стає занадто високою відносно отриманої користі.

Тому розробка та обґрунтування параметрів нових енергоефективних агрегатів для переробки відходів є критично важливим завданням для сучасної аграрної науки.

Саме на вирішення цих суперечностей – між високим потенціалом біоенергетики та високою енергоємністю наявних засобів механізації – і спрямована дана робота. Ми фокусуємося на створенні технічних рішень, які дозволять зробити процес переробки не просто екологічно доцільним, а економічно вигідним за рахунок оптимізації конструктивних параметрів обладнання.

Загальна характеристика та обґрунтування параметрів машин

Машини для переробки відходів тваринництва на біогаз і органічні добрива базуються на процесі ***анаеробного зброджування*** – розкладанні органічної маси без доступу кисню з утворенням метану та дигестату (добрива) [10] (рис. 2).



Рис. 2. Біогазова установка [10]

Основні технологічні параметри:

1) об'єм реактора (ферментера):
– визначається кількістю відходів (гній, послід);
– для малих господарств: 1–10 м³; для промислових – сотні і тисячі м³ [9].

2) температурний режим:
– психрофільний (5–20°C), мезофільний (~35°C), термофільний (~55°C);
– впливає на швидкість ферментації та вихід біогазу.

3) час гідравлічного утримання (HRT):
– 15–40 діб (залежно від типу сировини);
– чим довший час – тим повніше зброджування.
4) вологість і підготовка субстрату:
– необхідна гомогенізація та подрібнення;
– якість підготовки прямо впливає на вихід газу [7].
5) вихід біогазу:
– з 1 м³ відходів: ~20–35 м³ біогазу [3].

Конструкція та склад сучасних машин (обладнання)

Сучасні біогазові установки – це комплекс машин і агрегатів, основні вузли: приймальний бункер / завантажувач, подрібнювачі та гомогенізатори (для підготовки біомаси), насосні станції (роторні насоси), біореактор (ферментер), мішалки, система підігріву, газгольдер (накопичення газу), системи очищення газу, система відведення дигестату (добрива) [7].

Важливо: сучасні установки мають модульну структуру, що дозволяє адаптувати їх до конкретних типів відходів.

Ефективність використання.

Енергетична ефективність: біогаз використовується для виробництва електроенергії, теплопостачання (великі станції можуть виробляти МВт·год енергії щорічно.

Екологічна ефективність: зменшення викидів парникових газів до 90% [3], утилізація відходів без забруднення ґрунтів і води.

Агрохімічна ефективність: отримання органічних добрив (дигестату), покращення родючості ґрунтів.

Економічна ефективність: зниження витрат на утилізацію відходів, додатковий прибуток від енергії та добрив, окупність – кілька років [2].

Аналіз існуючих машин (останні дослідження та аналоги), вітчизняні розробки (Україна) – модульні біогазові комплекси (аграрні): орієнтовані на ферми, установки типу *agriSelect*, потужність – 75–265 кВт [1].

Обладнання для підготовки біосубстрату:
– подрібнювачі, міксери, насоси;
– гнучка адаптація під сировину [7].

Малі біогазові установки:
– для фермерських господарств;
– простота конструкції, низька вартість [9].

Зарубіжні аналоги – Німецькі біогазові станції (типові для ЄС): високий рівень автоматизації, використання коферментації (гній + силос). Данські централізовані біогазові комплекси: об'єднання кількох ферм, оптимізація логістики сировини. Китайські малі біогазові реактори: дешеві, масово впроваджені, простота експлуатації. Американські промислові біогазові установки: великі комплекси (мегаферми), інтеграція з виробництвом електроенергії [11; 14; 15; 16; 19; 23; 24; 25].

Зведена порівняльна характеристика сучасних машин показана в табл. 1.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика сучасних машин

Параметр	Вітчизняні	Зарубіжні
Вартість	Нижча	Вища
Автоматизація	Середня	Висока
Адаптація до сировини	Висока	Висока
Енергоефективність	Середня/висока	Висока
Масштаб	Малі/середні	Середні/великі

Машини для переробки відходів тваринництва є ефективними багатофункціональними системами, що поєднують утилізацію відходів, виробництво енергії та добрив. Ключові параметри (температура, час ферментації, підготовка субстрату) визначають ефективність роботи. Вітчизняні аналоги більш доступні та адаптовані до локальних умов, тоді як зарубіжні – більш автоматизовані та енергоефективні. Найперспективніший напрям – модульні біогазові комплекси з замкненим циклом.

Метою даного дослідження є наукове обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів та оцінка ефективності використання машин і обладнання для переробки відходів тваринництва з отриманням біогазу та високоякісних органічних добрив.

Виклад основного матеріалу дослідження. Переробка відходів тваринництва на біогаз і органічні добрива є одним із найбільш перспективних напрямів розвитку агропромислового комплексу, що поєднує енергетичну незалежність, екологічну безпеку та підвищення родючості ґрунтів. Основою технології є процес анаеробного зброджування органічної сировини з утворенням біогазу та дигестату.

1. Обґрунтування технологічних параметрів

Ефективність роботи машин і установок визначається рядом ключових параметрів, які мають бути оптимізовані залежно від виду сировини та умов експлуатації.

Об'єм біореактора (ферментера)

Об'єм реактора визначається добовим виходом відходів і необхідним часом їх переробки:

$$V=Q\cdot t \quad (1)$$

де V – об'єм реактора, м³;
Q – добова кількість субстрату, м³/добу;
t – час перебування (15–40 діб).

Збільшення об'єму забезпечує повніше зброджування, але потребує більших капіталовкладень.

Температурний режим:

Режим ферментації безпосередньо впливає на швидкість біохімічних процесів:

– психрофільний 10–20°C;
– мезофільний: 30–38°C (оптимальний);
– термофільний: 50–55°C.

Мезофільний режим є найбільш економічно доцільним, оскільки забезпечує стабільну роботу системи при помірних енерговитратах.

Вологість та підготовка сировини:

Оптимальна вологість субстрату становить 85–92%. Для цього використовуються:

– подрібнювачі;
– гомогенізатори;
– змішувачі.

Якісна підготовка сировини підвищує вихід біогазу на 15–25%.

Перемішування субстрату:

Перемішування забезпечує:

– рівномірний розподіл бактерій;
– запобігання утворенню кірки;
– покращення газовиділення.

Оптимальна частота – 2–6 разів на добу.

Вихід біогазу:

Середній вихід біогазу залежить від типу відходів:

– гній ВРХ 20–25 м³/т;
– свинячий гній 25–35 м³/т;
– пташиний послід до 60 м³/т.

Вміст метану становить 50–70%.

2. Обґрунтування конструктивних параметрів машин

Сучасні машини для біогазового виробництва включають комплекс взаємопов'язаних агрегатів.

Система підготовки сировини:

Включає:

– подрібнювачі;
– дозатори;
– змішувачі.

Вона визначає однорідність субстрату та стабільність процесу бродіння.

Біореактор (ферментер):

Основний елемент установки, до якого висуваються вимоги:

– герметичність;
– теплоізоляція;
– стійкість до корозії;
– наявність мішалок і системи підігріву.

Форма реактора (циліндрична або купольна) впливає на гідродинаміку процесу.

Система підігріву:

Підтримує заданий температурний режим:

– теплообмінники;
– водяні або парові системи.

Газозбір і очищення:

Включає:

– газгольдери,
– системи очищення від H_2S та вологи.

Система видалення дигестату:

Передбачає:
– насосне обладнання;
– сепаратори (рідка/тверда фракції).

3. Ефективність використання машин

Енергетична ефективність:

Біогаз використовується для:
– виробництва електроенергії;
– отримання тепла.

ККД когенераційних установок становить 75–90%.

Екологічна ефективність:

Використання машин забезпечує:
– зменшення викидів метану в атмосферу;
– усунення неприємних запахів;
– запобігання забрудненню ґрунтів і вод.

Агрономічна ефективність:

Дигестат:
– містить доступні форми азоту, фосфору, калію;
– покращує структуру ґрунту;
– підвищує врожайність на 10–20%.

Економічна ефективність:

Основні фактори:
– економія на енергоносіях;
– зменшення витрат на утилізацію відходів;
– прибуток від реалізації добрив.

Окупність установок: 3–7 років.

4. Узагальнення результатів дослідження

Обґрунтування параметрів машин для переробки відходів тваринництва показало, що максимальна ефективність досягається за умов:
– оптимального температурного режиму (мезофільного);
– правильно підібраного об’єму реактора;
– якісної підготовки сировини;
– ефективного перемішування.

Використання сучасних машин дозволяє створити замкнений цикл виробництва, у якому відходи перетворюються на енергію та добрива, що значно підвищує ефективність аграрного виробництва та знижує негативний вплив на довкілля.

Висновки. У результаті проведеного дослідження встановлено, що найбільш ефективною є комплексна система машин, яка включає: попередню підготовку сировини (подрібнення та гомогенізацію), механічну сепарацію, анаеробне зброджування в біореакторі з активним перемішуванням.

Оптимальним режимом роботи є: мезофільний температурний режим (30–38°С), час перебування субстрату – 20–30 діб, використання ефективних мішалок (лопатевих або комбінованих), попередня сепарація сировини.

Саме така конфігурація забезпечує: максимальний вихід біогазу, стабільність процесу, високу якість органічних добрив.

Практичні рекомендації для агропідприємств. Для підвищення ефективності переробки відходів тваринництва доцільно: впроваджувати модульні біогазові установки, адаптовані до обсягів господарства, обов’язково використовувати обладнання для підготовки сировини (подрібнювачі, змішувачі), застосовувати шнекові сепаратори для зменшення навантаження на біореактор, підтримувати стабільний температурний режим (переважно мезофільний), оптимізувати режим перемішування для запобігання утворенню кірки, використовувати отриманий дигестат як органічне добриво, що дозволяє зменшити витрати на мінеральні добрива, інтегрувати біогазові установки з системами енергозабезпечення підприємства.

Впровадження таких рішень дозволяє: знизити витрати на утилізацію відходів, забезпечити енергетичну автономність, підвищити економічну ефективність господарства.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження доцільно спрямувати на автоматизацію процесів біогазового виробництва із застосуванням: температурних сенсорів, датчиків pH, систем контролю газового складу, розробку інтелектуальних систем керування, що дозволяють у режимі реального часу оптимізувати параметри процесу, удосконалення конструкцій біореакторів: підвищення ефективності перемішування, зменшення енергоспоживання, дослідження коферментації різних видів сировини (гній + рослинні рештки), підвищення якості дигестату та розробку нових форм органічних добрив, впровадження технологій очищення та збагачення біогазу до біометану.

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

Список використаних джерел

1. Біогазові та біометанові станції. URL: https://agroenergyparks.com/tehnologiyi/biogazovi-ta-biometanovi-stanciyi (дата звернення: 24.07.2026).

2. Біогазові установки – що це? URL: https://bio.ukr.bio/ua/articles/2329/ (дата звернення: 24.07.2026).

3. Відходи тваринництва та рослинні рештки як сировина для біогазового виробництва. AgroBiogas. URL: https://agrobiogas.com.ua/livestock-waste-and-crop-residues-as-raw-materials-for-biogas-production/ (дата звернення: 24.07.2026).

4. Євтушенко М. Д., Мельничук М. Д. Біогазові технології в аграрному виробництві. Київ : Аграрна наука, 2019. 256 с.

5. Іванишин В. В., Грушецький С. М., Рудь А. В. Машини та обладнання в тваринництві : підручник. Кам'янець-Подільський : ПДАТУ : ТОВ «Друкарня «Рута»», 2021. 468 с. ISBN 978-617-8021-28-3.

6. Калетнік Г. М., Пришляк В. М. Біоенергетика: сучасний стан та перспективи розвитку в Україні. Вінниця : ВНАУ, 2020. 312 с.

7. Обладнання для ДГУ. URL: https://agrotex.com.ua/product-category/ustatkuvannya-dlya-bgu/ (дата звернення: 24.07.2026).

8. Про ратифікацію Паризької угоди : Закон України від 14.07.2016 № 1469-VIII. База даних «Законодавство України». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1469-19 (дата звернення: 14.07.2026).

9. Типи біогазових установок. URL: https://studwood.net/2123870/tovarovedenie/tipi_biogazovih_ustanovok (дата звернення: 15.07.2026).

10. Що таке біогазова установка? URL: https://termocom.com.ua/ua/shho-take-biogazova-ustanovka/ (дата звернення: 14.07.2026).

11. Al Seadi T., Drosg B., Fuchs W. et al. Biogas Digestate Quality and Utilization. Vienna : IEA Bioenergy, 2013. 40 p. URL: https://www.ieabioenergy.com/publications/biogas-digestate-quality-and-utilisation/ (accessed: 15.07.2026).

12. Angelidaki I., Treu L., Tsapekos P. et al. Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives. Biotechnology Advances. 2018. Vol. 36, No. 2. P. 452–466. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.01.011.

13. Appels L., Baeyens J., Degrève J., Dewil R. Principles and potential of anaerobic digestion of waste-activated sludge. Progress in Energy and Combustion Science. 2008. Vol. 34, No. 6. P. 755–781. https://doi.org/10.1016/j.pecs.2008.06.002.

14. European Biogas Association. EBA Statistical Report 2022. Brussels, 2022. URL: https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2022/12/EBA-Statistical-Report-2022_-Short-version.pdf?utm_source=chatgpt.com (accessed: 15.07.2026).

15. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Biogas Technology: A Training Manual for Extension. Rome : FAO, 2019. URL: https://www.fao.org/4/ae897e/ae897e00.pdf?utm_source=chatgpt.com (accessed: 15.07.2026).

16. Holm-Nielsen J. B., Al Seadi T., Oleskowicz-Popiel P. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. Bioresource Technology. 2009. Vol. 100, No. 22. P. 5478–5484. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.046.

17. International Renewable Energy Agency (IRENA). Biogas for Domestic Cooking: Technology Brief. Abu Dhabi : IRENA, 2017. 44 p. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Dec/IRENA_ Biogas_for_domestic_cooking_2017.pdf (accessed: 29.07.2026).

18. International Renewable Energy Agency (IRENA). Renewable Energy Statistics 2021. Abu Dhabi : IRENA, 2021. URL: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Aug/IRENA_Renewable_Energy_Statistics_2021.pdf (accessed: 15.07.2026).

19. Kothari R., Tyagi V. V., Pathak A. Waste-to-energy: A way from renewable energy sources to sustainable development. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2010. Vol. 14, No. 9. P. 3164–3170. https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.05.005.

20. Tilley E., Ulrich L., Lüthi C., Reymond Ph., Zurbrügg C. Compendium of Sanitation Systems and Technologies. 2nd revised ed. Dübendorf, Switzerland : Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), 2014. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schematic_of_the_Biogas_Reactor.jpg (accessed: 15.07.2026).

21. United Nations. Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development. New York : United Nations, 2015. URL: https://sdgs.un.org/2030agenda (accessed: 14.07.2026).

22. United Nations Development Programme (UNDP Ukraine). Ukraine Develops Action Plan and Financial Strategy for Paris Agreement. 17 September 2021. URL: https://www.undp.org/ukraine/press-releases/ukraine-develops-action-plan-and-financial-strategy-paris-agreement (accessed: 14.07.2026).

23. Ward A. J., Hobbs P. J., Holliman P. J., Jones D. L. Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. Bioresource Technology. 2008. Vol. 99, No. 17. P. 7928–7940. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.02.044.

24. Weiland P. Biogas production: current state and perspectives. Applied Microbiology and Biotechnology. 2010. Vol. 85. P. 849–860. https://doi.org/10.1007/s00253-009-2246-7.

25. Zhang R., El-Mashad H. M., Hartman K. et al. Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. Bioresource Technology. 2007. Vol. 98, No. 4. P. 929–935. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.02.039.

Hrushetskyi S. M.
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Agroengineering and Precision Agriculture
named after Mykhailo Samokysh,
Higher Educational Institution «Podillia State University»
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *g.sergiy.1969@gmail.com*
ORCID: *0000-0002-0487-6152*

Dubchak N. A.
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Machinery Use and Technologies in Agriculture,
Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
«Berezhany Agrotechnical Institute»
Berezhany, Ukraine
E-mail: *dybchak1010@ukr.net*
ORCID: *0000-0003-3279-7897*

Flonts O. V.
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Machinery Use and Technologies in Agriculture,
Separated Subdivision of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
«Berezhany Agrotechnical Institute»
Berezhany, Ukraine
E-mail: *flonts79@gmail.com*
ORCID: *0009-0004-5885-3708*

Lavrinenko O. T.
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Agricultural Machines and System Technologies
named after Academician P.M. Vasylenko,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
E-mail: *lavrinenko@nubip.edu.ua*
ORCID: *0000-0003-1347-6668*

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS AND EFFICIENCY OF MACHINES FOR PROCESSING LIVESTOCK WASTE INTO BIOGAS AND ORGANIC FERTILIZERS

Abstract

The paper addresses an акmyal scientific and practical problem of substantiating the parameters and evaluating the efficiency of machines used for processing livestock waste into biogas and organic fertilizers. Under conditions of increasing energy demand in the agricultural sector and stricter environmental requirements, the implementation of resource-saving technologies that ensure the utilization of organic waste with simultaneous production of energy and valuable by-products is of particular importance.

The study analyzes the technological processes of anaerobic digestion and determines the main parameters affecting the efficiency of machines and equipment, including bioreactor volume, temperature regime, substrate retention time, degree of substrate preparation, and mixing intensity. It has been established that the most rational approach is the use of a mesophilic fermentation regime (30–38 °C) with a retention time of 20–30 days, which ensures stable biogas production and optimal energy consumption.

Particular attention is paid to the technical and technological substantiation of machines for feedstock preparation, including shredders, homogenizers, and screw separators, which improve substrate uniformity and reduce the load on the bioreactor. The influence of mixer design on the intensity of biochemical processes has been investigated, and it has been proven that efficient mixing contributes to increased methane yield and stabilization of the digestion process.

The obtained results demonstrate that the application of modern machinery and technologies can increase biogas yield by 15–25% and produce high-quality digestate with improved agrochemical properties compared with conventional manure. It has been determined that digestate contains higher amounts of available nitrogen, phosphorus, and potassium forms, which enhances its efficiency as an organic fertilizer.

The economic and environmental feasibility of implementing biogas plants in agricultural enterprises has been substantiated. The use of such systems contributes to reducing energy costs, minimizing the negative environmental impact of waste, and creating a closed-loop production cycle.

Key words: *livestock waste, biogas, homogenization, separation, organic fertilizers.*

References

1. Biohaziovi ta biomethanovi stantsii [Biogas and biomethane plants]. (2026). Retrieved from: https://agroenergyparks.com/tehnologiyi/biogazovi-ta-biometanovi-stanciyi [in Ukrainian].

2. Biohazovi ustanovky – shcho tse? [Biogas plants – what are they?]. (2026). Retrieved from: https://bio.ukr.bio/ua/articles/2329/ [in Ukrainian].

3. Vidkhody tvarynnytstva ta roslynni reshtky yak syrovyna dlia biohazovoho vyrobnytstva [Livestock waste and plant residues as raw materials for biogas production]. AgroBiogas. (2026). Retrieved from: https://agrobiogas.com.ua/livestock-waste-and-crop-residues-as-raw-materials-for-biogas-production/ [in Ukrainian].

4. Yevtushenko, M. D., & Melnychuk, M. D. (2019). Biohazovi tekhnolohii v ahrarnomu vyrobnytstvi [Biogas technologies in agricultural production]. Kyiv: Ahrarna nauka. [in Ukrainian].

5. Ivanyshyn, V. V., Hrushetskyi, S. M., & Rud, A. V. (2021). Mashyny ta obladnannia v tvarynnytstvi: Pidruchnyk [Machines and equipment in animal husbandry: Textbook]. Kamianets-Podilskyi: PDATU; Drukarnia Ruta. ISBN 978-617-8021-28-3. [in Ukrainian].

6. Kaletnik, H. M., & Pryshliak, V. M. (2020). Bioenerhetyka: Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku v Ukraini [Bioenergy: Current state and development prospects in Ukraine]. Vinnytsia: VNAU. [in Ukrainian].

7. Obladnannia dlia DHU [Equipment for biogas plants]. (2026). Retrieved from: https://agrotex.com.ua/product-category/ustatkuvannya-dlya-bgu/ [in Ukrainian].

8. Pro ratyfikatsiiu Paryzkoi uhody: Zakon Ukrainy vid 14.07.2016 № 1469-VIII [On ratification of the Paris Agreement: Law of Ukraine No. 1469-VIII of July 14, 2016]. (2026). Retrieved from: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1469-19 [in Ukrainian].

9. Typy biohazovykh ustanovok [Types of biogas plants]. (2026). Retrieved from: https://studwood.net/2123870/tovarovedenie/tipi_biogazovih_ustanovok [in Ukrainian].

10. Shcho take biohazova ustanovka? [What is a biogas plant?]. (2026). Retrieved from: https://termocom.com.ua/ua/shho-take-biogazova-ustanovka/ [in Ukrainian].

11. Al Seadi, T., Drosg, B., & Fuchs, W., et al. (2013). Biogas digestate quality and utilization. Vienna: IEA Bioenergy. Retrieved from: https://www.ieabioenergy.com/publications/biogas-digestate-quality-and-utilisation/ [in English].

12. Angelidaki, I., Treu, L., & Tsapekos, P., et al. (2018). Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives. Biotechnology Advances, 36(2), 452–466. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.01.011 [in English].

13. Appels, L., Baeyens, J., Degrève, J., & Dewil, R. (2008). Principles and potential of anaerobic digestion of waste-activated sludge. Progress in Energy and Combustion Science, 34(6), 755–781. https://doi.org/10.1016/j.pecs.2008.06.002 [in English].

14. European Biogas Association. (2022). EBA Statistical Report 2022. Brussels. Retrieved from https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2022/12/EBA-Statistical-Report-2022_-Short-version.pdf?utm_source=chatgpt.com [in English].

15. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). Biogas technology: A training manual for extension. Rome: FAO. Retrieved from: https://www.fao.org/4/ae897e/ae897e00.pdf?utm_source=chatgpt.com [in English].

16. Holm-Nielsen, J. B., Al Seadi, T., & Oleskowicz-Popiel, P. (2009). The future of anaerobic digestion and biogas utilization. Bioresource Technology, 100(22), 5478–5484. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.046 [in English].

17. International Renewable Energy Agency. (2017). Biogas for domestic cooking: Technology brief. Abu Dhabi: IRENA. Retrieved from: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Dec/IRENA_Biogas_for_domestic_cooking_2017.pdf [in English].

18. International Renewable Energy Agency. (2021). Renewable energy statistics 2021. Abu Dhabi: IRENA. Retrieved from: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Aug/IRENA_Renewable_Energy_Statistics_2021.pdf [in English].

19. Kothari, R., Tyagi, V. V., & Pathak, A. (2010). Waste-to-energy: A way from renewable energy sources to sustainable development. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(9), 3164–3170. https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.05.005 [in English].

20. Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, Ph., & Zurbrügg, C. (2014). Compendium of sanitation systems and technologies (2nd revised ed.). Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Retrieved from: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schematic_of_the_Biogas_Reactor.jpg [in English].

21. United Nations. (2015). Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. New York: United Nations. Retrieved from https://sdgs.un.org/2030agenda [in English].

22. United Nations Development Programme Ukraine. (2021). Ukraine develops action plan and financial strategy for Paris Agreement. Retrieved from: https://www.undp.org/ukraine/press-releases/ukraine-develops-action-plan-and-financial-strategy-paris-agreement [in English].

23. Ward, A. J., Hobbs, P. J., Holliman, P. J., & Jones, D. L. (2008). Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. Bioresource Technology, 99(17), 7928–7940. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.02.044 [in English].

24. Weiland, P. (2010). Biogas production: Current state and perspectives. Applied Microbiology and Biotechnology, 85, 849–860. https://doi.org/10.1007/s00253-009-2246-7 [in English].

25. Zhang, R., El-Mashad, H. M., & Hartman, K., et al. (2007). Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. Bioresource Technology, 98(4), 929–935. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.02.039 [in English].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 29.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 18.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026

УДК 621.43:004.67:629.3
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-22

Дуганець В. І.
доктор педагогічних наук, професор,
професор кафедри тракторів, автомобілів та енергетичних засобів
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: *duganec.viktor@gmail.com*
ORCID: *0000-0002-3383-5907.*

Говоров О. Ф.
кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
доцент кафедри тракторів, автомобілів та енергетичних засобів,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: *Aleksandr_Govorov@ukr.net*
ORCID: *0000-0002-1645-1725*

Пукас В. Л.
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри тракторів, автомобілів та енергетичних засобів,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: *pukasvital@gmail.com*
ORCID: *0000-0002-0083-7359*

КОМПЛЕКСНА ДІАГНОСТИКА ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ТА ГІДРАВЛІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ: СУЧАСНИЙ СТАН, ІНФОРМАТИВНІ ПОКАЗНИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Анотація

У статті узагальнено сучасні наукові підходи до комплексної діагностики дизельних двигунів у процесі експлуатації на основі аналізу теплотехнічних, гідравлічних, електронних та експлуатаційних параметрів. Проведено аналіз інформативності температурних і гідравлічних показників, що характеризують технічний стан систем охолодження, мащення, паливоподачі та повітропостачання сучасних дизельних двигунів. Показано, що окремий контроль параметрів не забезпечує повної оцінки технічного стану силового агрегату, тоді як їх комплексний аналіз дає змогу підвищити достовірність діагностування, своєчасно виявляти початкові ознаки несправностей і приймати обґрунтовані рішення щодо технічного обслуговування.

На основі аналізу сучасних наукових публікацій обґрунтовано концептуальний підхід до інтегрованого оцінювання технічного стану дизельних двигунів, який передбачає об'єднання різнорідних діагностичних параметрів у єдину інформаційну систему. Як приклад практичного застосування концепції розглянуто дизельний двигун Cummins ISF 3.8 потужністю 105 кВт, оснащений електронною системою керування та паливною системою Common Rail.

Показано можливість використання інформації від штатних датчиків двигуна як основи для реалізації комплексного моніторингу технічного стану з можливим доповненням даними спеціалізованих засобів вимірювання.

Визначено перспективні напрями розвитку комплексної діагностики дизельних двигунів, пов'язані із застосуванням цифрових двійників, телематичних технологій, методів машинного навчання та систем прогнозного технічного обслуговування. Запропонований підхід може бути використаний як науково-методична основа для подальшого розвитку інформаційно-аналітичних систем моніторингу технічного стану сучасних дизельних двигунів.

Ключові слова: *дизельний двигун, комплексна діагностика, теплотехнічні параметри, гідравлічні параметри, технічний стан, експлуатація, система охолодження, система мащення.*

Вступ. Дизельні двигуни широко застосовуються в транспортній, сільськогосподарській, будівельній та енергетичній техніці завдяки високій паливній економічності, надійності та значному моторесурсу. Підвищення вимог до екологічності й ефективності експлуатації зумовило впровадження електронних систем керування, паливної апаратури високого тиску, турбонаддуву та сучасних систем очищення відпрацьованих газів, що істотно ускладнило конструкцію двигунів [4; 6].

© Дуганець В. І., Говоров О. Ф., Пукас В. Л., 2026 pISSN 2706-9052, eISSN 2706-851X

Традиційні методи діагностики, засновані на контролі окремих параметрів або кодів несправностей електронного блока керування, не завжди забезпечують своєчасне виявлення початкових дефектів, пов'язаних зі зміною теплового режиму та гідравлічних характеристик систем двигуна [3; 7; 9].

Перспективним напрямом є комплексна діагностика, що поєднує аналіз теплотехнічних, гідравлічних та експлуатаційних параметрів. Такий підхід підвищує достовірність оцінювання технічного стану, забезпечує раннє виявлення несправностей і створює передумови для технічного обслуговування за фактичним технічним станом. Він також є основою розвитку сучасних систем експлуатаційного моніторингу дизельних двигунів.

Метою дослідження є узагальнення сучасних підходів до комплексної діагностики теплотехнічних і гідравлічних параметрів дизельних двигунів, визначення найбільш інформативних діагностичних показників та обґрунтування концепції інтегрованого оцінювання технічного стану силових установок.

Виклад основного матеріалу дослідження

Сучасний стан комплексної діагностики дизельних двигунів

Розвиток сучасних дизельних двигунів супроводжується впровадженням електронного керування, паливних систем високого тиску, турбонаддуву та засобів зниження токсичності відпрацьованих газів. Це підвищує ефективність силових установок, але одночасно ускладнює оцінювання їх технічного стану під час експлуатації.

Традиційні методи діагностики, засновані на контролі окремих параметрів або кодів несправностей електронного блока керування, здебільшого дозволяють виявляти вже сформовані дефекти. Водночас ранні стадії зношування, порушення теплообміну та зміни гідравлічних характеристик часто залишаються непоміченими [3; 7; 9].

Сучасні дослідження орієнтовані на комплексний аналіз теплотехнічних, гідравлічних та експлуатаційних параметрів із використанням інформації штатних датчиків і математичних моделей. Такий підхід забезпечує більш достовірне оцінювання технічного стану двигуна, враховує взаємозв'язок між його системами та створює передумови для прогнозування розвитку несправностей [1; 2; 3; 7; 8; 10].

Попри активний розвиток цифрових технологій, більшість існуючих методик залишається орієнтованою на окремі системи двигуна. Тому актуальним напрямом є створення інтегрованих моделей, що об'єднують теплотехнічні, гідравлічні та експлуатаційні показники в єдину систему комплексної діагностики.

Інформативність теплотехнічних і гідравлічних параметрів у комплексній діагностиці дизельних двигунів

Ефективність комплексної діагностики дизельних двигунів значною мірою визначається інформативністю контрольованих параметрів, які характеризують перебіг теплових і гідравлічних процесів. Найбільш вагомими є температура охолоджувальної рідини, моторної оливи та відпрацьованих газів, а також тиск у системах мащення, паливоподачі й наддуву [1; 3; 7]. Узагальнену характеристику цих параметрів, їх діагностичне значення та можливі несправності наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Діагностична інформативність основних теплотехнічних параметрів дизельного двигуна

Параметр	Контрольована система	Можливі причини відхилень	Діагностична цінність
Температура охолоджувальної рідини	Система охолодження	Несправність термостата, насоса, радіатора	Висока
Температура моторної оливи	Система мащення	Перегрів, деградація оливи, недостатнє мащення	Висока
Температура повітря на впуску	Система наддуву	Забруднення інтеркулера, несправність турбокомпресора	Середня
Температура відпрацьованих газів	Процес згоряння	Несправність форсунок, турбіни, ГРМ	Дуже висока

Температура охолоджувальної рідини характеризує ефективність роботи системи охолодження та стабільність теплового режиму двигуна. Її відхилення від нормативних значень можуть свідчити про несправність термостата, водяного насоса, радіатора або засмічення каналів охолодження [4; 6; 10]. Температура моторної оливи відображає інтенсивність тепловідведення й умови мащення деталей, а її підвищення прискорює старіння оливи та погіршує умови тертя [6; 8].

Температура відпрацьованих газів є індикатором ефективності процесу згоряння палива. Зміна цього параметра може бути пов'язана з несправністю паливної апаратури, форсунок, турбокомпресора або газорозподільного механізму. Аналіз температур окремих циліндрів дозволяє своєчасно виявляти нерівномірність роботи двигуна [1; 2; 7].

Важливими діагностичними показниками є також параметри тиску. Зниження тиску моторної оливи свідчить про зношування підшипників, несправність масляного насоса або засмічення фільтра. Контроль тиску в паливній рампі дозволяє оцінити працездатність системи Common Rail, а тиск наддуву характеризує ефективність роботи турбокомпресора та герметичність впускного тракту [1; 3; 7; 9].

Систематизацію основних теплотехнічних і гідравлічних параметрів за контрольованими системами двигуна та їх діагностичним призначенням наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. Діагностична інформативність основних гідравлічних параметрів дизельного двигуна

Параметр	Контрольована система	Можливі причини відхилень	Діагностична цінність
Тиск моторної оливи	Система мащення	Зношування насоса, збільшення зазорів, деградація оливи, засмічення фільтра	Дуже висока
Тиск у паливній рампі Common Rail	Паливна система	Несправність ПНВТ, форсунок, регулятора тиску, паливного фільтра	Дуже висока
Тиск наддувного повітря	Система турбонаддуву	Зношування турбокомпресора, витоки повітря, несправність системи керування	Висока
Гідравлічні характеристики системи охолодження (витрата, перепад тиску)*	Система охолодження	Зношування водяного насоса, засмічення каналів, несправність термостата	Висока (переважно в дослідницьких умовах)

Примітка: * – у більшості серійних транспортних двигунів ці параметри безпосередньо не контролюються штатною системою керування, однак можуть бути визначені під час спеціалізованих випробувань або за допомогою додаткових засобів вимірювання.

Інтегроване оцінювання технічного стану дизельного двигуна та практична реалізація на прикладі Cummins ISF 3.8

Комплексне оцінювання технічного стану дизельного двигуна ґрунтується на одночасному аналізі теплотехнічних, гідравлічних, електронних та експлуатаційних параметрів. На відміну від традиційного контролю окремих показників, інтегрований підхід враховує взаємозв'язки між основними системами двигуна, що підвищує достовірність діагностичних висновків [1; 3; 7].

Запропонована концепція передбачає чотири послідовні етапи: збір даних від штатних і додаткових датчиків, їх попередню обробку та нормалізацію, комплексний аналіз взаємопов'язаних параметрів і формування інтегральної оцінки технічного стану. Такий алгоритм забезпечує своєчасне виявлення відхилень робочих параметрів і визначення можливих причин їх виникнення.

Для узагальнення результатів використовується інтегральний показник технічного стану, сформований на основі нормованих значень контрольованих параметрів з урахуванням їх діагностичної значущості. Це забезпечує кількісне оцінювання працездатності двигуна та створює основу для автоматизованого прийняття рішень щодо технічного обслуговування [7; 9].

$$I_{TS} = \sum_{i=1} w_i I_i, \quad \sum_{i=1} w_i = 1,$$

де I_{TS} – інтегральний показник технічного стану двигуна; I_i – нормоване значення окремого діагностичного параметра або групи параметрів; w_i – ваговий коефіцієнт, що характеризує відносну інформативність відповідного показника.

Практичну реалізацію запропонованого підходу розглянуто на прикладі дизельного двигуна Cummins ISF 3.8 потужністю 105 кВт, оснащеного паливною системою Common Rail, турбонаддувом із проміжним охолодженням повітря та електронною системою керування, що забезпечує контроль основних експлуатаційних параметрів у режимі реального часу [4; 6].

Такий алгоритм комплексного оцінювання технічного стану дизельного двигуна, що передбачає послідовне отримання, нормування та інтегроване аналізування теплотехнічних і гідравлічних параметрів, представлено у вигляді концептуальної схеми (рис. 1).

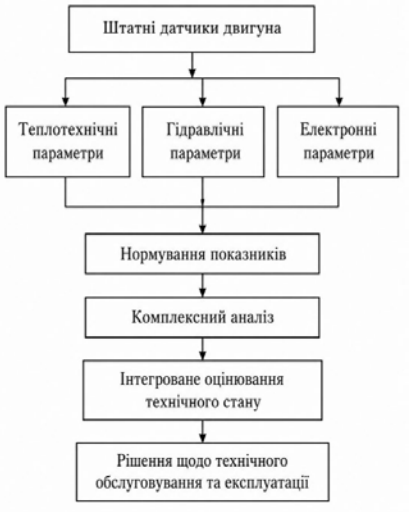


Рис. 1. Концептуальна схема інтегрованого оцінювання технічного стану дизельного двигуна

Під час експлуатації найбільш інформативними є температура охолоджувальної рідини, моторної оливи та відпрацьованих газів, а також тиск оливи, палива і наддуву. Їх комплексний аналіз дозволяє своєчасно виявляти

порушення роботи систем охолодження, мащення, паливоподачі й турбонаддуву та оцінювати загальний технічний стан двигуна без його розбирання.

Запропонований підхід може бути реалізований у складі бортових систем моніторингу або сервісних діагностичних комплексів, сприяючи підвищенню експлуатаційної надійності двигуна, зниженню витрат на технічне обслуговування та переходу до прогнозного керування технічним станом.

Висновки. Проведений аналіз сучасних підходів до діагностики дизельних двигунів підтвердив доцільність комплексного оцінювання теплотехнічних та гідравлічних параметрів для підвищення достовірності визначення технічного стану силових установок. Встановлено, що інтегрований аналіз взаємопов'язаних параметрів забезпечує більш об'єктивне діагностування порівняно з контролем окремих показників.

Узагальнено найбільш інформативні теплотехнічні та гідравлічні параметри, що характеризують роботу систем охолодження, мащення, паливоподачі та наддуву. Запропоновано концепцію інтегрованого оцінювання технічного стану, яка об'єднує дані штатних засобів контролю, математичних моделей і алгоритмів комплексної обробки інформації. Практичне застосування підходу на прикладі дизельного двигуна Cummins ISF 3.8 підтверджує перспективність його використання для створення сучасних систем експлуатаційного моніторингу.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення математичних моделей інтегрального оцінювання технічного стану, використання методів машинного навчання та експериментальну перевірку запропонованого підходу на дизельних двигунах різних типів в експлуатаційних умовах.

Список використаних джерел

1. Варбанець Р., Мінчев Д., Кучеренко Ю., Залож В. Параметрична діагностика суднових дизельних двигунів в режимі реального часу. *Двигуни внутрішнього згоряння.* 2024. № 1. С. 69–82. DOI: https://doi.org/10.20998/0419-8719.2024.1.09.

2. Єриганов О., Гунченко В., Глєбов В. Визначення геометричних розмірів деталей кривошипно-шатунного механізму за результатами індиціювання. *Розвиток транспорту.* 2024. № 2(21). С. 28–34. DOI: https://doi.org/10.33082/td.2024.2-21.03.

3. Єриганов О. В. Автоматизовані системи діагностики суднових двигунів у реальному часі. *Вісник Херсонського національного технічного університету.* 2025. Т. 1, № 4(95). С. 121–126. DOI: https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.4.1.16.

4. Захарчук В. І. Основи теорії та конструкції автомобільних двигунів : навч. посіб. Київ : Каравела, 2022. 232 с.

5. Корбак С. І., Розум Р. І. Двигуни: минуле і сьогодення. Тенденції та виклики сучасної аграрної науки: теорія і практика : матеріали III Міжнародної наукової інтернет-конференції (м. Київ, 20–22 жовтня 2021 р.). Київ : НУБіП України, 2021. С. 336.

6. Митрофанов О. С., Проскурін А. Ю. Основи експлуатації, обслуговування та ремонту двигунів внутрішнього згоряння : навч. посіб. Миколаїв : Видавець Торубара В. В., 2018. 152 с.

7. Розум Р. І., Буряк М. В., Захарчук О. П., Попович П. В., Прогній П. Б. Методологія діагностування автомобільних дизельних двигунів. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2022. № 1(18). С. 138–142. DOI: https://doi.org/10.36910/automash.v1i18.770.

8. Сагін С., Бондар С., Столярик Т. Оцінка безвідмовності суднових дизелів за технічним станом моторного мастила циркуляційних систем мащення. *Водний транспорт.* 2023. № 1(37). С. 59–70. DOI: https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06.

9. Тільняк Ю. Я., Корнага Я. І. Реалізація гібридних алгоритмів контролю в діагностиці двигуна внутрішнього згоряння з використанням сучасних бортових обчислювальних пристроїв. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки.* 2018. Т. 29(68), № 2. С. 186–191.

10. Duhanets V., Hovorov O., Pukas V. Analysis and optimisation of internal combustion engine cooling systems to improve thermal efficiency and operational reliability. *Machinery & Energetics.* 2026. Vol. 17, No. 2. P. 7–21. DOI: https://doi.org/10.31548/machinery/2.2026.1.

Duhanets V. I.
Doctor of Pedagogical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Tractors, Automobiles and Power Engineering,
Higher Education Institution "Podillia State University",
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *duganec.viktor@gmail.com*
ORCID: *0000-0002-3383-5907*

Hovorov O. F.
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
Associate Professor at the Department of Tractors, Automobiles and Power Engineering,
Higher Education Institution "Podillia State University",
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *Aleksandr_Govorov@ukr.net*
ORCID: *0000-0002-1645-1725*

Pukas V. L.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Tractors, Automobiles and Power Engineering,
Higher Education Institution "Podillia State University",
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *pukasvital@gmail.com*
ORCID: *0000-0002-0083-7359*

COMPREHENSIVE DIAGNOSTICS OF THERMAL AND HYDRAULIC PARAMETERS OF DIESEL ENGINES DURING OPERATION: CURRENT STATE, INFORMATIVE INDICATORS, AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Abstract

The article summarizes current scientific approaches to the integrated diagnostics of diesel engines during operation based on the analysis of thermotechnical, hydraulic, electronic, and operational parameters. The informativeness of temperature and hydraulic indicators characterizing the technical condition of the cooling, lubrication, fuel supply, and air intake systems of modern diesel engines is analyzed. It is demonstrated that monitoring individual parameters alone does not provide a comprehensive assessment of the engine's technical condition, whereas their integrated analysis significantly improves diagnostic reliability, enables the early detection of incipient faults, and supports informed maintenance decision-making.

Based on a review of recent scientific publications, a conceptual approach to the integrated assessment of the technical condition of diesel engines is substantiated. The proposed approach involves combining heterogeneous diagnostic parameters into a unified information system. As an example of the practical implementation of this concept, the Cummins ISF 3.8 diesel engine with a rated power of 105 kW, equipped with an electronic engine management system and a Common Rail fuel injection system, is considered. It is shown that information obtained from the engine's standard sensors can be effectively used to implement comprehensive condition monitoring without the need for additional measuring equipment.

Prospective directions for the development of integrated diesel engine diagnostics are identified, including the application of digital twins, telematics technologies, machine learning methods, and predictive maintenance systems. The proposed approach can serve as a scientific and methodological basis for the further development of information and analytical systems for monitoring the technical condition of modern diesel engines.

Key words: *diesel engine, integrated diagnostics, thermotechnical parameters, hydraulic parameters, technical condition, operation, cooling system, lubrication system, Common Rail.*

References

1. Varbanets, R., Minchev, D., Kucherenko, Yu., & Zalozh, V. (2024). Parametrychna diahnostyka sudnovykh dyzelnykh dvyhuniv v rezhymi realnoho chasu [Parametric diagnostics of marine diesel engines in real time]. *Dvyhuny vnutrishnoho zghoriannia – Internal Combustion Engines,* (1), 69–82. https://doi.org/10.20998/0419-8719.2024.1.09 [in Ukrainian].

2. Yeryhanov, O., Hunchenko, V., & Hliebov, V. (2024). Vyznachennia heometrychnykh rozmiriv detalei kryvoshypnoshatunnoho mekhanizmu za rezultatamy indytsiiuvannia [Determination of geometric dimensions of crank-and-connecting-rod mechanism parts based on indicator diagram analysis]. *Rozvytok transportu – Transport Development,* 2(21), 28–34. https://doi.org/10.33082/td.2024.2-21.03 [in Ukrainian].

3. Yeryhanov, O. V. (2025). Avtomatyzovani systemy diahnostyky sudnovykh dvyhuniv u realnomu chasi [Automated real-time diagnostic systems for marine diesel engines]. Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu – *Bulletin of Kherson National Technical University,* 1(4(95)), 121–126. https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.4.1.16 [in Ukrainian].

4. Zakharchuk, V. I. (2022). *Osnovy teorii ta konstruktsii avtomobilnykh dvyhuniv [Fundamentals of the theory and design of automobile engines].* Karavela. [in Ukrainian].

5. Korbak, S. I., & Rozum, R. I. (2021). Dvyhuny: mynule i sohodennia [Engines: Past and present]. In *Tendentsii ta vyklyky suchasnoi ahrarnoi nauky: teoriia i praktyka: materialy III Mizhnarodnoi naukovoi internet-konferentsii* (Kyiv, October 20–22, 2021) [Trends and challenges of modern agricultural science: Theory and practice: Proceedings of the Third International Scientific Internet Conference] (p. 336). Kyiv: NUBiP Ukrainy. [in Ukrainian].

6. Mytrofanov, O. S., & Proskurin, A. Yu. (2018). *Osnovy ekspluatatsii, obsluhovuvannia ta remontu dvyhuniv vnutrishnoho zghoriannia [Fundamentals of operation, maintenance and repair of internal combustion engines]. Vydavets Torubara V. V. [in Ukrainian].*

7. Rozum, R. I., Buriak, M. V., Zakharchuk, O. P., Popovych, P. V., & Prohnii, P. B. (2022). Metodolohiia diahnostuvannia avtomobilnykh dyzelnykh dvyhuniv [Methodology for diagnostics of automotive diesel engines]. *Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti – Modern Technologies in Mechanical Engineering and Transport,* 1(18), 138–142. https://doi.org/10.36910/automash.v1i18.770. [in Ukrainian].

8. Sahin, S., Bondar, S., & Stoliaryk, T. (2023). Otsinka bezvidmovnosti sudnovykh dyzeliv za tekhnichnym stanom motornoho mastyla tsyrkuliatsiinykh system mashchennia [Assessment of marine diesel engine reliability based on the technical condition of lubricating oil in circulating lubrication systems]. *Vodnyi transport – Water Transport,* 1(37), 59–70. https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06 [in Ukrainian].

9. Tilniak, Yu. Ya., & Kornaha, Ya. I. (2018). Realizatsiia hibrydnykh alhorytmiv kontroliu v diahnostytsi dvyhuna vnutrishnoho zghoriannia z vykorystanniam suchasnykh bortovykh obchysliuvalnykh prystroiv [Implementation of hybrid control algorithms in internal combustion engine diagnostics using modern onboard computing devices]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnoho universytetu imeni V. I. Vernadskoho. Seriia: Tekhnichni nauky – Scientific Notes of V. I. Vernadsky Taurida National University. Series: Technical Sciences,* 29(68), 2, 186–191. [in Ukrainian].

10. Duhanets, V., Hovorov, O., & Pukas, V. (2026). Analysis and optimisation of internal combustion engine cooling systems to improve thermal efficiency and operational reliability. *Machinery & Energetics,* 17(2), 7–21. https://doi.org/10.31548/machinery/2.2026.1 [in English].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 04.08.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 07.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026

УДК 631.512:631.41
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-23

Шевченко І. А.
доктор технічних наук, доктор сільськогосподарських наук,
професор, член-кореспондент НААН України,
професор кафедри галузевого машинобудування та агроінженерії,
Хмельницький національний університет
Хмельницький, Україна
***E-mail:** shevchenko9985@gmail.com*
***ORCID:** 0000-0002-4191-4146*

Ткачук В. С.
кандидат технічних наук,
асистент кафедри технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
***E-mail:** tkachukvs@pdatu.edu.ua*
***ORCID:** 0000-0001-5414-2387*

Мартинюк А. В.
кандидат технічних наук, доцент,
завідуючий кафедри галузевого машинобудування та агроінженерії,
Хмельницький національний університет
Хмельницький, Україна
***E-mail:** avmart@khmnu.edu.ua*
***ORCID:** 0000-0001-8277-1308*

Люховець В. В.
кандидат технічних наук,
асистент кафедри галузевого машинобудування та агроінженерії,
Хмельницький національний університет
Хмельницький, Україна
E-mail:** liukhovetsvo@khmnu.edu.ua**s
***ORCID:** 0000-0002-6978-7820*

ДОСЛІДЖЕННЯ МАКЕТНОГО ЗРАЗКА КОМБІНОВАНОГО ҐРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ТА ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Анотація

У світовій практиці знаходять широке застосування універсальні комбіновані агрегати, які здатні виконувати як поверхневий, так і передпосівний обробіток ґрунту. Вони обладнанні шлейфом різних пристосувань, відмінною особливістю яких є наявність пружних стійок робочих органів в комплекті зі стрілчастою лапою. Дослідження підпружинених або встановлених на пружних стійках робочих органів свідчать, що в певних ґрунтових умовах при заданих робочих швидкостях і глибині обробітку можна досягти зниження питомого тягового опору, покращити якісні показники роботи машини, а також забезпечити самоочищення робочих органів від налипання ґрунту та зависання бур'янів.

Запропоновано конструкцію комбінованого агрегату для поверхневого та передпосівного обробітку ґрунту в якості першої групи робочих органів було застосовано Х-подібні робочі органи типу "Ханкмо", а у якості пружних робочих обрано S-подібну посилену підресорену стійку із стрілчастою лапою шириною захоплення 220 мм.

Об'єкт дослідження – процес взаємодії ґрунтообробного комбінованого агрегату для поверхневого та передпосівного обробітку із ґрунтовим середовищем з метою визначення його якісних та енергетичних показників роботи в умовах України в залежності від режимів роботи.

За проведеними експериментальними дослідженнями визначені базові показники роботи знаряддя – якість розпушення ґрунту, питомий тяговий опір макетного зразка комбінованого агрегату, гребенистість поверхні поля після обробітку, в залежності від швидкості руху знаряддя і глибини обробітку ґрунту.

Отримані рівняння регресії дозволяють підбирати в залежності від технологічних завдань режими роботи агрегата. Графічна інтерпретація результатів експериментальних досліджень свідчить, що отримані раціональні режими роботи макетного зразка комбінованого агрегату (V = 2,1–2,2 м/с і h =10–12 см) відповідають оптимальним режимам роботи робочих органів, за якими вони проєктувалися. Зокрема, це підтверджено за параметром оптимізації "тяговий опір комбінованого агрегату" в діапазоні швидкостей агрегату 2-2,1 м/с. Практичне значення результатів досліджень полягає в тому, що вони можуть бути використані для доопрацювання макетного зразка знаряддя перед запуском його в серійне виробництво.

***Ключові слова:** ґрунтове середовище, поверхневий обробіток, передпосівний обробіток, комбінований агрегат, якісні та енергетичні показники роботи.*

© Шевченко І. А., Ткачук В. С., Мартинюк А. В., Люховець В. В., 2026
pISSN 2706-9052, eISSN 2706-851X

Вступ. У світовій практиці знаходять широке застосування універсальні комбіновані агрегати, які здатні виконувати як поверхневий, так і передпосівний обробіток ґрунту. Вони обладнанні шлейфом різних пристосувань, відмінною особливістю яких є наявність пружних стійок робочих органів в комплекті зі стрілчастою лапою. Дослідження підпружинених або встановлених на пружних стійках робочих органів свідчать, що в певних ґрунтових умовах при заданих робочих швидкостях і глибині обробітку можна досягти зниження питомого тягового опору, покращити якісні показники роботи машини, а також забезпечити самоочищення робочих органів від налипання ґрунту та зависання бур'янів.

Комбінація пружної S-подібна стійки зі стрілчастою лапою найбільш повно відповідає її призначенню – якісному обробітку ґрунту на глибину до 16 см, із переважаючою в обробленому шарі структури ґрунту з агрегатним складом не більше 25 мм.

Проведені лабораторно-польові дослідження робочих органів на пружній стійці, які серійно виробляються, показали їх недостатню функціональну відповідність своєму призначенню в складі комбінованого агрегату через неможливість роботи із стрілчастою лапою на глибині більшою за 8 см [4; 5; 7].

Із збільшенням глибини обробітку режим вимушеного автоколивального руху порушується, стійка відходить назад, блокується в такому стані і починає працювати як звичайна жорстка. Але, при цьому, розпушуюча лапа, кут встановлення якої до дна борозни змінний в процесі роботи і розрахований на режим автоколивання ($0\text{-}20^0$), в крайньому положенні стає значно вищим і зафіксованим далеко за 20^0 . Це призводить до значного зростання тягового опору, погіршення якісних показників роботи та зміни геометрії стійки, що, в свою чергу, робить ґрунтообробний агрегат не працездатним [5; 8; 12].

Залежно від технологічних завдань комбінований агрегат повинен виконувати поверхневий обробіток ґрунту на глибину до 16 см, а передпосівний – на глибину 6–8 см [2; 6; 11].

Із огляду на істотно відмінні умови роботи, схема технологічного процесу комбінованого агрегату було запропоновано в роботі [9; 10] і може бути загальною (рис. 1), а робочі органи, що її реалізують, бути конструктивно-технологічно адаптовані під конкретні технологічні задачі.

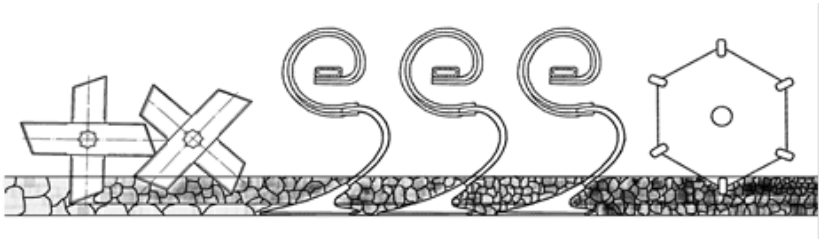


Рис. 1. Схема технологічного процесу комбінованого ґрунтообробного агрегату

У представленій схемі агрегату для поверхневого та передпосівного обробітку ґрунту в якості першої групи робочих органів було застосовано X-подібні робочі органи типу "Ханкмо" [10], а в якості пружних робочих обрано S-подібну посилену підресорену стійку із стрілчастою лапою шириною захоплення 220 мм [3].

Реалізація даної схеми сприяє вирішенню завдань, пов'язаних зі створенням необхідного агрегатного складу орного горизонту для умов недостатнього зволоження півдня. "Ханкмо" або X-подібні ротаційні робочі органи не відносяться до традиційних. Їх завдання – зменшити навантаження на S-подібні пружні робочі органи, виконати попередній обробіток важких (пересушених чи перезволожених ґрунтів), подрібнити рослинні рештки на стернових фонах, фонах після кукурудзи та соняшнику і в садах.

Взявши за основу теоретичні та експериментальні дослідження, що викладено в роботах [3; 10], на Гуляйпільському ВАТ "Сільмаш" було виготовлено макетні зразки універсального комбінованого агрегата АМК-2,7, експериментальним дослідженням якого присвячена дана робота (рис. 2).



Рис. 2. Макетний зразок знаряддя АМК-2,7

Мета дослідження – провести системні польові дослідження комбінованого ґрунтообробного агрегата з метою встановлення якісних та енергетичних показників роботи в умовах півдня України в залежності від режимів роботи.

Для досягнення мети необхідно:

– визначити вплив швидкості руху знаряддя і глибини обробітку ґрунту на якість розпушення ґрунту (процентний вміст агрегатного складу ґрунту розміром менше 25 мм в обробленому шарі);

– визначити вплив швидкості руху знаряддя і глибини обробітку ґрунту на питомий тяговий опір макетного зразка комбінованого агрегату. У випробуваннях використовувався питомий тяговий опір – $R_x/B{\cdot}a$ (кН/м), де B – робоча ширина захвату знаряддя, a – глибина обробітку ґрунту;

– визначити вплив швидкості руху знаряддя і глибини обробітку ґрунту на гребенистість поверхні поля після обробітку, мм.

Виклад основного матеріалу дослідження. Програмою лабораторно-польових досліджень макетного зразка комбінованого агрегату передбачалися його агротехнічна та енергетична оцінки.

Дослідження агрегату АМК-2,7 (рис. 3) проводилося на південноукраїнському чорноземі (агрофірма «Дружба», с. Новомиколаївка, Токмакського району, Запорізької обл., серпень 2020 р.). Тип ґрунту – південноукраїнський чорнозем. Фон – стерня озимої пшениці. Повторність досліджень – 3-кратна. Вологість ґрунту в шарах становила: 0–5 см – 10–12%; 5–10 см – 10–14%; 10–16 см – 12–15%. У цих шарах щільність ґрунту відповідно становила: 0,98–1,11 г/см^3; 1,22–1,26 г/см^3 та 1,29–1,31 г/см^3.

Для реєстрації тягового опору на тракторі встановлювалася тензоначіпка із тензоланкою кільцевого типу, аналогово-цифровий перетворювач KAD-WA-4, персональний комп'ютер та акумуляторна батарея. Обробка сигналу та нако-пичення результатів вимірювання здійснюється за допомогою пакета GAUS 8.

В основу методики проведення лабораторно-польових досліджень покладені ДСТУ 7435:2013 «Техніка сільськогосподарська. Методи визначення умов випробувань» та СОУ 74.3-37-155:2004 «Випробування сільськогосподарської техніки. Машини і знаряддя для обробітку ґрунту. Методи випробувань», а також загальноприйняті методики. Для експрес-аналізу вологості та щільності ґрунту застосовувався радіоізотопний прилад РПП-2.

Дослідження проводилися за методикою планування експерименту. Застосовувався дрібнофакторний D-оптимальний план Бокса-Бенкіна за трикратною повторністю. Адекватність отриманих рівнянь регресії оцінювали за критерієм Фішера. Статистичне оцінювання рівня дисперсії отриманих результатів проводилося за критерієм Кохрена. Значимість коефіцієнтів рівняння регресії оцінювали за критерієм Стьюдента. Всі критерії визначалися на 95 % рівні довірчої ймовірності [1].

Параметрами, що характеризують режим роботи макетного зразка комбінованого ґрунтообробного агрегату, були: швидкість руху знаряддя (V, км/год.) і встановлена глибина обробітку ґрунту (h, см).

Значення параметрів і матриця планування експериментів наведені в таблицях 1 і 2.



Рис. 3. Випробування макетного зразка комбінованого агрегату АМК-2,7

Параметрами оптимізації при проведенні експерименту встановлювалися:

K – якість розпушення ґрунту (процентний вміст агрегатного складу ґрунту розміром менше 25 мм в обробленому шарі);

Q – питомий тяговий опір макетного зразка комбінованого агрегату (кН/м^2).

У порівняльних випробуваннях використовувався питомий тяговий опір – $R_x/B{\cdot}a$ (кН/м^2), де B – робоча ширина захвату знаряддя, a – глибина обробітку ґрунту;

G – гребенистість поверхні поля після обробітку, мм.

Таблиця 1. Фактори та рівні варіювання в польових дослідженнях макетного зразка комбінованого агрегату

Фактор	Умовне позначення	Рівень			Інтервал
		+1	*0*	*-1*	
Робоча швидкість, ***V***, м/с	*x1*	2,8	2,3	1,8	0,5
Глибина обробітку, ***h***, см	*x2*	16	11	6	5

Таблиця 2. Матриця планування експерименту та значення факторів по варіантах при дослідженні макетного зразка комбінованого агрегату

N	Фактори		Варіанти в експерименті	
	x1	*x2*	*x1 – V, м/с*	*x2 – h, мм*
1	+1	+1	2,8	160
2	-1	+1	1,8	160
3	-1	-1	1,8	60
4	+1	-1	2,8	60
5	0,4	-1	2,5	60
6	+1	-0,5	2,8	85
7	-0,1	0,25	2,25	123

Результатами експериментальних досліджень макетного зразка універсального комбінованого агрегата АМК-2,7 є: якість розпушення ґрунту після обробітку макетним зразком комбінованого агрегату збільшилася у всіх варіантах порівняно з вихідним значенням на 40–60%. Інтенсивність зміни показника *K* в залежності від *V* і *h* представлена на рисунку 4. Гребенистість поверхні поля – параметр, що значно визначає якість роботи ґрунтообробних агрегатів для передпосівного обробітку ґрунту. Вирівняне поле знижує динамічні навантаження на сільськогосподарську техніку і, як наслідок, підвищує її надійність і довговічність роботи (табл. 3).

Графічна інтерпретація результатів експериментальних досліджень свідчить, що отримані раціональні режими роботи макетного зразка комбінованого агрегату (V = 2,1–2,2 м/с і h =10–12 см) відповідають оптимальним режимам роботи робочих органів, за якими вони проєктувалися. Зокрема, це підтверджено за параметром оптимізації "тяговий опір комбінованого агрегату" в діапазоні швидкості агрегату 2–2,1 м/с (рис. 6), де на всіх режимах по глибині обробітку тяговий опір мінімально можливий, що обумовлено оптимальною амплітудно-частотною характеристикою пружних робочих органів для даних режимів роботи. При цьому забезпечується зниження енерговитрат на відділення та руйнування елементів ґрунту.

Необхідно зазначити, що при роботі АМК-2,7 на стерньових фонах з великої кількістю стерні Х-подібні ротаційні робочі органи типу "Ханкмо" не здійснюють її повного подрібнення та загортання. У випадках, коли рослинних решток на полі більше, ніж 3 т/га, необхідно застосовувати дискові робочі органи з відповідними параметрами . Із позиції якості кришення ґрунту робочі органи типу "Ханкмо" цілком задовольняють вимоги до робочих органів такого функціонального призначення.

Таблиця 3. Результати досліджень макетного зразка комбінованого агрегату за агротехнічними показниками роботи

№ з/п варіанту	Робоча швидкість		Режим роботи трактора	Глибина обробітку, см	Гребнистість мм		Розподіл агрегатів ґрунту (%) по фракціям (мм)					Якість розпушення, % (фр. <25 мм)
	за планом	фактична			середнє значення	σ	<10	10-25	25-50	50-100	>100	
1	2,8	2,69	-4	160	21	1,51	32,3	30,1	23,6	13,9	0	63,4
2	1,8	1,77	-2	160	27	1,58	30,5	21,6	24,9	20,7	2,3	51,9
3	1,8	1,84	-2	60	21	1,29	32,7	23,7	19,4	22,6	1,6	56,8
4	2,8	2,72	-4	60	26	1,5	34,1	28,1	16,3	20,4	1,1	59,9
5	2,5	2,44	-3	60	24	1,7	32,5	25,1	19,4	21,8	1,2	58,9
6	2,8	2,72	-4	85	24	1,54	35,9	22,0	18,2	22,6	1,3	58,1
7	2,25	2,31	-3	123	29	1,71	32,3	24,9	21,9	20,9	0	57,4
Початковий фон до обробітку					28	3,26	13,0	19,5	22,1	24,8	20,6	-

На основі рівнянь регресії будуємо поверхні відгуку (рис. 4, 5, 6).

Застосування пружних S-подібних підресорених стійок із стрілчастою лапою шириною захоплення 220 мм [2] для універсального ґрунтообробного агрегату цілком виправдана. Для всіх діапазонів технологічних задач щодо швидкості агрегату та глибини обробітку режим автоколивань підтримувався.

Робочий орган стабільно тримав задану глибину ходу, що підтверджується не значним збільшенням тягового опору знаряддя при збільшенні глибини обробітку та незначним відхиленням при зміні швидкості руху агрегата. Треба відзначити мінімальний тяговий опір знаряддя при швидкості руху 2,2 м/с (≈ 8 км/год.), що відповідає середньому значенню, під яке проєктувався пружний робочий орган [2].

При цьому виконується умова, щодо якості кришення ґрунтового середовища: при всіх режимах роботи вони не опускається менше ніж 54 %. А при наближені до оптимальної швидкості роботи (8…10 км/год.) виходить на рівень 65%, що цілком задовольняє вимогам. Вібронавантаження на ґрунтове середовище за рахунок

$K = 57{,}09 + 3{,}27\ x1 - 0{,}21\ x2 + 1{,}84\ x1\ x2 + 0{,}25(x1)^2 + 0{,}21\ (x2)^2$
$K_{min}(x1=-1{,}00,\ x2=1{,}00)=54{,}16;\ K_{max}(x1=1{,}00,\ x2=1{,}00)=68{,}04$

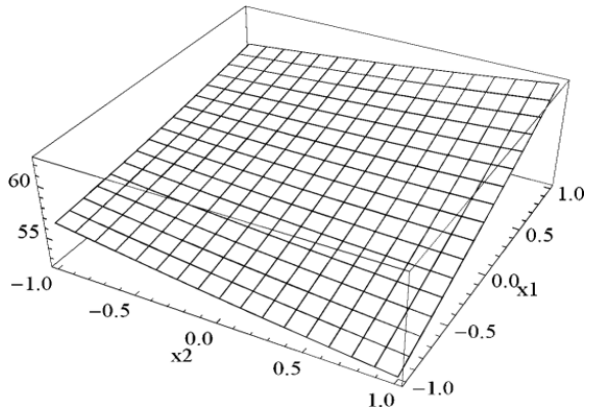


Рис. 4. Вплив параметрів *V* (*x1*) і *h* (*x2*) на параметр оптимізації

Примітка: *K* – "якість розпушення ґрунту".

$G = 28{,}80 - 0{,}98\ x1 + 1{,}26\ x2 - 2{,}82\ x1\ x2 - 1{,}67\ (x1)^2 - 4{,}12\ (x2)^2$
$G_{min}\ (x1=-1{,}00,\ x2=-1{,}00)=20{,}07;\ G_{max}\ (x1=-0{,}60,\ x2=0{,}36)=30{,}05$

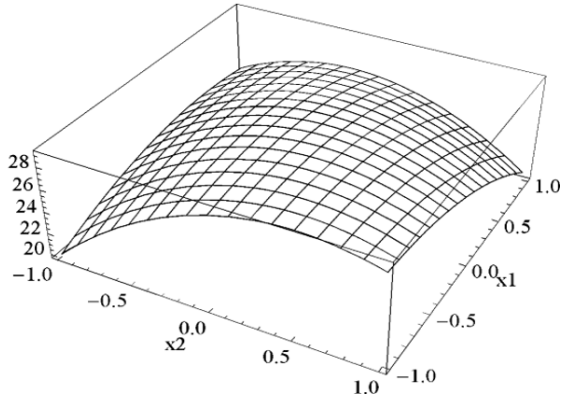


Рис. 5. Вплив параметрів *V* (*x1*) і *h* (*x2*) на параметр оптимізації

Примітка: *G* – "гребенистість поля".

$Q = 14{,}01 + 0{,}59\ x1 + 3{,}41\ x2 - 0{,}48\ x1\ x2 + 2{,}40\ (x1)^2 - 2{,}47\ (x2)^2$
$Q_{min}\ (x1=-0{,}23,\ x2=-1{,}00)=8{,}01;\ Q_{max}\ (x1=1{,}00,\ x2=0{,}57)=18{,}04$

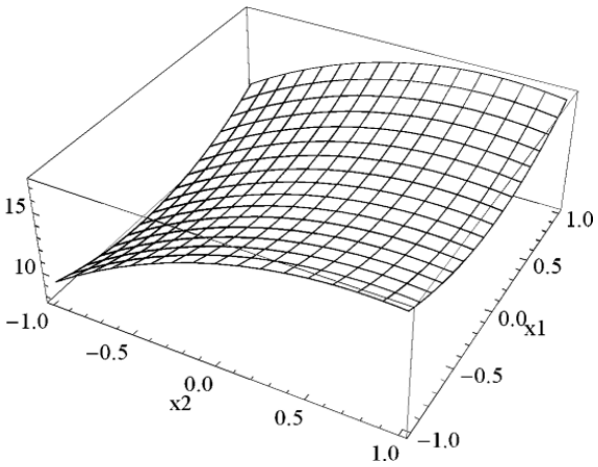


Рис. 6. Вплив параметрів *V* (*x1*) і *h* (*x2*) на параметр оптимізації

Примітка: *Q* – "тяговий опір комбінованого агрегату".

постійних вимушених коливань в широкому діапазоні роботи за швидкістю руху разом із вірно розрахованими амплітудно-частотними характеристиками стійки розпушує ґрунтове середовище з мінімальними енерговитратами, у тому числі і на поверхні вібруючої лапи.

Теж саме можна побачити і для параметра оптимізації «гребнистість поля»: вище швидкість агрегату – показник гребнистості зменшується. Тобто, стійка виходить на свій оптимальний режим, щодо автоколивань, і поверхня розбушованого ґрунтового середовища вирівнюється як при дії віброрешета.

До недоліків проведених досліджень слід віднести їх проведення у визначених ґрунтово-кліматичних умовах, вони мають зональний характер, а отримані результати обмежуються умовами проведення експерименту за вологістю, вихідною пошаровою щільністю ґрунту та забур'яненістю фонів.

Однак методичні основи та результати досліджень можуть бути основою для проведення порівняльних досліджень в інших ґрунтово-кліматичних умовах при застосуванні розроблених робочих для інших технологічних режимів та задач.

Практичне значення результатів досліджень полягає в тому, що вони можуть бути використані для подальшої модернізації розробленої конструкції щодо розширення її функціональної спроможності.

Висновки.

1. Розроблений макетний зразка комбінованого ґрунтообробного агрегата для поверхневого та передпосівного обробітку ґрунту за результатами дослід-жень підтвердив свою універсальність і повністю задовольняє вимогам щодо визначених видів обробітку ґрунтового середовища.
2. За показником «якість розпушення ґрунту» (процентний вміст агрегатного складу ґрунту розміром менше 25 мм в обробленому шарі) середній показник склав, приблизно 68%, для стандартної швидкості агрегату при виконанні більшості операцій (8…10 км/год.) що є кращим за показники роботи більшості ґрунтових агрегатів, включаючи закордонні, в умовах Півдня України.
3. За показником «гребенистість поверхні поля після обробітку» на швидкостях роботи агрегату наближених до 10 км/год. та глибині, що відповідає передпосівному обробітку ґрунту, отримано майже ідеальний вирівняний фон поля.
4. Відхилення питомого тягового опору макетного зразка комбінованого агрегату при зміні швидкості агрегату в межах досліджень коливалося на рівні ±8%, що підтверджує оптимальний вибір параметрів пружної стійки для визначених ґрунтових умов та підкреслює функціональні можливості стійки.
5. Перспективи подальшої науково-дослідної роботи передбачають проведення досліджень експлуатаційних характеристик машини у різних ґрунтово-кліматичних умовах, визначення оптимальних робочих параметрів і розробка рекомендацій щодо використання машини.

Список використаних джерел

1. Основи наукових досліджень і теорія експерименту : Навчальний посібник для здобувачів освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / укл. Ю. Б. Капаціла, П. О. Марущак, В. Б. Савків, О. П. Шовкун. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2023. 186 с. URL: https://elartu.tntu. edu.ua/handle/lib/40843/

2. Середа Л. П., Ковальчук Д. А. Математичне моделювання ґрунтообробного агрегату в системі «ґрунт-агрегат-енергетичний засіб» для strip-till технології обробітку ґрунт. *Науковий журнал «Техніка і енергетика»*. 2021. Вип. 12 (4). С. 103–108. DOI:10.31548/machenergy2021.04.103

3. Шевченко І., Шевченко Ір. Експериментально-теоретичні підстави створення пружних робочих органів ґрунтообробних машин. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2016. 23. С. 222–226.

4. Akhalaya B. Kh., Tsench Yu. S. Combined tillage unit with universal working tools. *Agricultural machinery and technologies.* 2026. 20(1). p. 58–63. DOI: http://dx.doi.org/10.22314/2073-7599-2026-20-1-58-63 .

5. Damanauskas V, Janulevičius A. Effect of tillage implement (spring tine cultivator, disc harrow), soil texture, forward speed and tillage depth on fuel consumption and tillage quality. *Journal of Agricultural Engineering.* LIII:1371, 2022. p. 270–280. DOI: http://dx.doi.org/10.4081/jae.2022.1371 .

6. Jugović M., Ponjičan O., Jakišić T. The effect of rotary tiller and other machines for tillage on the soil structure aggregates. *Agriculture and Forestry.* 2020. 66 (1). p. 251260. DOI: http://dx.doi.org/10.17707/AgricultForest.66.1.23

7. Prem M. et al. Combined Tillage Tools. A Review. *Curr Agri Res.* 2016. 4(2). DOI: http://dx.doi.org/10.12944/CARJ.4.2.07

8. Salo V., Pastukhov V., Leshchenko S., Shchur T., Dzhidzhora O., Szwedziak K., Parafiniuk S. Differentiation of the composition of combined soiltillage machines depending on the conditions of use. *Agricultural Engineering.* 2024. Vol. 28, Is. 1. p. 353–365. DOI: http://dx.doi.org/10.2478/agriceng-2024-0022.

9. Shevchenko I. A. Agrotechnological fundamentals of creation tillage equipment. *Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oilseed Crops NAAS*. 2021. 31. p. 152–158. DOI: https://doi.org/10.36710/ioc-2021-31-14

10. Shevchenko I. et al. Substantiating the structural and technological parameters of tillage rotary X-like working bodies. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2024. 4 (1 (130)). p. 45–53. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.309756 (Scopus).

11. Sokas S. et al. A Comparison of the Effects of Site-Specific and Uniform-Depth Tillage on Soil Physical Properties, Fuel Consumption, and CO_2 Emissions Under Spatially Variable Field Conditions. *Agriculture.* 2026. 16. 1089. DOI: http://dx.doi.org/10.3390/agriculture16101089.

12. Usaborisut P., Prasertkan K. Performance of combined tillage tool operating under four different linkage configurations. *Soil and Tillage Research*. 2018. Vol. 183. p. 109–114. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2018.06.004.

Shevchenko I. A.
Doctor of Engineering Science, Doctor of Agricultural Sciences,
Professor, Corresponding Member of the NAAS of Ukraine,
Professor at the Department of Sectoral Mechanical Engineering and Agro-engineering,
Khmelnytskyi National University
Khmelnytskyi, Ukraine
E-mail: *shevchenko9985@gmail.com*
ORCID: *0000-0002-4191-4146*

Tkachuk V. S.
Candidate of Technical Sciences,
Assistant at the Department of Technical Service and General Technical Disciplines,
Higher Educational Institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *tkachukvs@pdatu.edu.ua*
ORCID: *0000-0001-5414-2387*

Martyniuk A. V.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Industrial Machinery and Agricultural Engineering,
Khmelnytskyi National University
Khmelnytskyi, Ukraine
E-mail: *avmart@khmnu.edu.ua*
ORCID: *0000-0001-8277-1308*

Liukhovets V. V.
Candidate of Technical Sciences,
Assistant at the Department of Industrial Machinery and Agricultural Engineering,
Khmelnytskyi National University
Khmelnytskyi, Ukraine
E-mail: *liukhovetsvo@khmnu.edu.ua*
ORCID: *0000-0002-6978-7820*

RESEARCH OF A PROTOTYPE COMBINED SOIL TILLAGE UNIT FOR SURFACE AND PRE-SOWING SOIL TREATMENT

Abstract

Universal combination implements capable of performing both shallow and pre-sowing soil tillage are widely used in global practice. They are equipped with a range of attachments characterized by resilient shanks for the working elements, paired with sweep shares. Studies of spring-loaded working elements or those mounted on flexible supports indicate that, under specific soil conditions and at given operating speeds and tillage depths, it is possible to reduce specific draft resistance, improve the machine's performance quality, and ensure the working elements self-clean of adhering soil and accumulated weeds.

A design for a combined implement for surface and pre-sowing soil tillage is proposed; X-shaped «Hankmo»-type working elements were employed as the first group of working parts, while a reinforced S-shaped spring-loaded tine with a 220 mm wide sweep share was selected as the resilient working element.

The object of the study is the process of interaction of a combined tillage unit for surface and pre-sowing cultivation with the soil environment in order to determine its qualitative and energy performance indicators in the conditions of the south of Ukraine depending on the operating modes.

Based on the conducted experimental studies, the basic indicators of the tool's operation were determined – the quality of soil loosening, the specific traction resistance of the model sample of the combined unit, the ridgeness of the field surface after cultivation, depending on the speed of movement of the tool and the depth of soil cultivation.

The obtained regression equations allow you to select the operating modes of the unit depending on the technological tasks. A graphical interpretation of the experimental results indicates that the rational operating modes obtained for the prototype combined implement (V = 2.1–2.2 m/s and h = 10–12 cm) correspond to the optimal operating modes for which its working elements were designed. In particular, this is confirmed by the optimization parameter «draft resistance of the combined implement» within the speed range of 2–2.1 m/s. The practical significance of the research results is that they can be used to refine the model sample of the tool before launching it into mass production.

Key words: *soil environment, surface tillage, pre-sowing tillage, combined unit, qualitative and energy performance indicators.*

References

1. Kapatsila, Yu. B., Marushchak, P. O., Savkiv, V. B., & Shovkun, O. P. (2023). *Osnovy naukovykh doslidzhen i teoriia eksperymentu: Navchalnyi posibnyk dlia zdobuvachiv osvitnoho stupenia «Mahistr» spetsialnosti 174 «Avtomatyzatsiia, kompiuterno-*

intehrovani tekhnolohii ta robototekhnika» [Fundamentals of Scientific Research and Experimental Theory: A Study Guide for Master's Degree Students of Specialty 174 "Automation, Computer-Integrated Technologies and Robotics"]. Ternopil: FOP Palianytsia V. A. Retrieved from https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/40843 [in Ukrainian].

2. Sereda, L. P., & Kovalchuk, D. A. (2021). Matematychne modeliuvannia gruntoobrobnoho ahrehatu v systemi «grunt-ahrehat-enerhetychnyi zasib» dlia strip-till tekhnolohii obrobitku gruntu [Mathematical modeling of a tillage unit in the "soil–unit–power source" system for strip-till tillage technology]. *Naukovyi zhurnal «Tekhnika i enerhetyka» [Scientific Journal "Engineering and Energy"]*, *12*(4), 103–108. https://doi.org/10.31548/machenergy2021.04.103 [in Ukrainian].

3. Shevchenko, I., & Shevchenko, Ir. (2016). Eksperymentalno-teoretychni pidstavy stvorennia pruzhnykh robochykh orhaniv hruntoobrobnykh mashyn [Experimental and theoretical foundations for the development of elastic working elements for tillage machines]. *Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oil Crops NAAS*, 23, 222–226. [in Ukrainian]

4. Akhalaya, B. Kh., & Tsench, Yu. S. (2026). Combined tillage unit with universal working tools. *Agricultural machinery and technologies*, 20(1), 58–63. DOI: http://dx.doi.org/10.22314/2073-7599-2026-20-1-58-63 [in English].

5. Damanauskas, V., & Janulevièius, A. (2022). Effect of tillage implement (spring tine cultivator, disc harrow), soil texture, forward speed and tillage depth on fuel consumption and tillage quality. *Journal of Agricultural Engineering*. LIII:1371. DOI: http://dx.doi.org/10.4081/jae.2022.1371 [in English].

6. Jugović, M., Ponjičan, O., & Jakišić, T. (2020): The effect of rotary tiller and other machines for tillage on the soil structure aggregates. *Agriculture and Forestry*, 66 (1), 251–260. DOI: http://dx.doi.org/10.17707/AgricultForest.66.1.23 [in English].

7. Prem, M., Swarnkar, R., Kantilal, V.D.K., Jeetsinh, P.S.K, Chitharbhai, K.B. (2016). Combined Tillage Tools – A Review. *Curr Agri Res.,* 4 (2). DOI : http://dx.doi.org/10.12944/CARJ.4.2.07 [in English].

8. Salo, V., Pastukhov, V., Leshchenko, S., Shchur, T., Dzhidzhora, O., Szwedziak, K., & Parafiniuk, S. (2024). Differentiation of the composition of combined soil-tillage machines depending on the conditions of use. *Agricultural Engineering,* Vol. 28, Is. 1, 353–365. DOI: http://dx.doi.org/10.2478/agriceng-2024-0022 [in English].

9. Shevchenko, I. A. (2021). Agrotechnological fundamentals of creation tillage equipment. *Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oilseed Crops NAAS*, 31, 152–158. DOI: https://doi.org/10.36710/ioc-2021-31-14 [in English].

10. Shevchenko, I., Golub, G., Tsyvenkova, N., Shevchenko, I., Titova, L., Omarov, I., Sukmaniuk, O., Kulykivskyi, V., Borovskyi, V., & Zayets, M. (2024). Substantiating the structural and technological parameters of tillage rotary X-like working bodies. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (1 (130)), 45–53. DOI: https://doi.org/10.15587/1729- 4061.2024.309756 [in English].

11. Sokas, S., Buragien, S., Kazlauskas, M., Brucien, I., Naujokien, V., Mickevicius, T., & Šarauskis, E. (2026). A Comparison of the Effects of Site-Specific and Uniform-Depth Tillage on Soil Physical Properties, Fuel Consumption, and CO_2 Emissions Under Spatially Variable Field Conditions. *Agriculture,* 16, 1089. DOI: http://dx.doi.org/10.3390/agriculture16101089 [in English].

12. Usaborisut P., Prasertkan K. (2018). Performance of combined tillage tool operating under four different linkage configurations. *Soil and Tillage Research.* V 183, p.p. 109-114. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2018.06.004 [in English].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 21.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 12.08.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026

ВЕТЕРИНАРНІ НАУКИ

УДК 619:576.8:57.083:616.995.42
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-24

Левицька В. А.
докторка ветеринарних наук,
професорка кафедри інфекційних, інвазійних хвороб та ветеринарного забезпечення кінологічної служби
Національної поліції України
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: *levytskav@pdatu.edu.ua*
ORCID: *0000-0003-3100-009X*

Ковальова О. М.
магістр ветеринарної медицини,
аспірантка кафедри інфекційних, інвазійних хвороб та ветеринарного забезпечення кінологічної служби
Національної поліції України
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: *frolova.vas4422@gmail.com*
ORCID: *0009-0000-9131-9380*

ШТУЧНЕ МЕМБРАННЕ ЖИВЛЕННЯ КЛІЩІВ ЯК МОДЕЛЬ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕДАЧІ *BABESIA DIVERGENS*

Анотація

Бабезіоз є одним із найважливіших трансмісивних протозойних захворювань тварин і людини, поширення якого тісно пов'язане з іксодовими кліщами. Вивчення взаємодії між кліщем і збудником потребує контрольованих лабораторних моделей, здатних відтворювати процес зараження без використання лабораторних тварин. Метою роботи було оцінити ефективність штучного мембранного живлення Ixodes ricinus для моделювання передачі Babesia divergens у контрольованих умовах in vitro.

Кліщів I. ricinus збирали у природному середовищі та утримували в мембранних годівницях із силіконовою мембраною. Для живлення використовували дефібриновану кров великої рогатої худоби. У дослідженні сформували дві групи: контрольну, яка отримувала лише цільну кров та дослідну, до якої на 3-й і 7-й день живлення додавали кров, інвазовану культурою B. divergens із рівнем паразитемії 10 %. Після завершення живлення кліщів досліджували методом полімеразної ланцюгової реакції для виявлення ДНК Babesia spp.

У процесі експерименту кліщі обох груп демонстрували успішне прикріплення до мембрани, стабільне живлення та повне насичення на 9–10-й день. Середня маса насичених самиць становила 237 ± 28 мг у контрольній групі та 221 ± 35 мг у дослідній групі. Рівень летальності залишався низьким і не мав статистично значущих відмінностей між групами. У контрольній групі ДНК Babesia spp. не виявлено, тоді як у групі, що отримувала інвазовану кров, позитивними були 35,8 % самиць. Отримані результати підтвердили ефективність мембранної системи для передачі інвазійного матеріалу та відтворення ранніх етапів взаємодії «кліщ–Babesia».

Запропонована модель є перспективним інструментом для дослідження біології кліщів і механізмів передачі бабезій, а також може бути використана для оцінки впливу різних факторів на процес інвазії, тестування протипаразитарних препаратів і розробки нових підходів до профілактики трансмісивних захворювань.

Ключові слова: *Babesia divergens, іксодові кліщі, штучне живлення, мембранні системи, ПЛР, інвазія.*

Вступ. Штучне мембранне живлення іксодових кліщів є важливим напрямом сучасних ентомологічних і паразитологічних досліджень, що сформувався як відповідь на необхідність зменшення використання лабораторних тварин і стандартизації експериментальних умов. Кліщі, як облігатні гематофаги, характеризуються

© Левицька В. А., Ковальова О. М., 2026

складним процесом живлення, який включає пошук господаря, прикріплення та тривале насичення кров'ю, що може тривати від кількох днів до тижнів залежно від стадії розвитку та виду [12]. Така біологічна складність обумовлює необхідність індивідуального підходу до розробки штучних систем для різних родів і видів кліщів.

Ранні дослідження штучного живлення показали, що ефективність систем значною мірою залежить від здатності відтворювати специфічні стимули прикріплення, характерні для конкретного виду. Наприклад, для *Amblyomma americanum* використання шерсті господаря та сітчастих матеріалів у поєднанні з силіконовими мембранами забезпечувало успішне живлення як німф, так і дорослих особин [9; 16]. У той же час для *Amblyomma hebraeum* було продемонстровано, що різні стадії розвитку потребують різних стимулів: личинки ефективно реагували на екстракти шерсті великої рогатої худоби, німфи – на синтетичні феромони, а дорослі особини – на поєднання шерсті та екскрементів кліщів. Саме завдяки такій стадієспецифічній оптимізації вперше вдалося повністю замкнути життєвий цикл цього виду *in vitro* [21].

Для інших видів кліщів результати були менш успішними. Зокрема, у *Dermacentor reticulatus* навіть за оптимізованих умов штучного живлення спостерігалося, що лише дорослі кліщі досягали повного насичення, тоді як личинки та німфи демонстрували нижчу ефективність прикріплення і живлення [20]. Водночас впровадження напівавтоматизованих систем із перистальтичним насосом дозволило покращити показники насичення і маси кліщів цього виду до рівня, близького або навіть вищого за традиційні методи [4].

У випадку *Amblyomma variegatum* встановлено, що заміна крові на буферні або культуральні середовища суттєво знижує успішність розвитку, зокрема показники линяння становили менше 30% порівняно з контролем на крові [30]. Це підкреслює критичну роль компонентів крові у фізіології живлення кліщів. Водночас додавання фагостимуляторів, таких як АТФ і глюкоза, дозволяє значно покращити результати живлення, особливо на початкових етапах прикріплення [20; 12].

У контексті боротьби з кліщами мембранні системи показали високу ефективність як інструмент для скринінгу акарицидів. Зокрема, у дослідженнях на *A. hebraeum* було встановлено, що навіть низькі концентрації івермектину викликали загибель усіх німф [21]. Подібні результати були отримані для Ixodes ricinus при застосуванні фіпронілу та перметрину, причому ефект мав чіткий дозозалежний ефект [19].

Окремої уваги заслуговує можливість використання мембранних систем для дослідження секреторних процесів кліщів, зокрема формування «цементу» та складу слини, які відіграють ключову роль у прикріпленні, живленні та передачі збудників захворювань. Відомо, що під час живлення іксодові кліщі виділяють складний коктейль біологічно активних молекул, включаючи антикоагулянти, імуномодулюючі фактори та ферменти, які забезпечують тривале утримання на господарі та ефективне всмоктування крові [8]. Формування «цементної пробки», що секретується слинними залозами, є критичним для стабільної фіксації кліща, причому її структура і кількість можуть варіювати між видами [27]. Використання силіконових мембран у системах штучного живлення дозволяє отримувати «цемент» без домішок тканин господаря, що значно полегшує їх морфологічний і молекулярний аналіз [9]. Крім того, такі системи дають змогу досліджувати динаміку секреції слини та роль окремих білків у процесах осморегуляції і передачі патогенів, зокрема через аналіз експресії генів та функціональних білків у кліщів, що живляться *in vitro* [10; 25].

Мембранні системи також широко застосовуються для дослідження взаємодії кліщів із збудниками захворювань. Наприклад, для *Ixodes scapularis* було показано, що штучне живлення інфікованою кров'ю дозволяє ефективно моделювати передачу Borrelia burgdorferi та виявляти білки, необхідні для виживання спірохет в організмі кліща [24]. Аналогічно, для *Dermacentor andersoni* було продемонстровано можливість дослідження взаємодії з *Anaplasma marginale* у контрольованих умовах, включаючи аналіз реплікації збудника [29].

Особливий інтерес становлять дослідження виду *I. ricinus,* який є важливим переносником збудників хвороби Лайма. Для цього виду було показано, що використання силіконових мембран із додаванням екстрактів шерсті великої рогатої худоби та CO_2 значно підвищує рівень прикріплення і насичення [19]. Крім того, мембранні системи дозволили дослідити фізіологічні процеси, зокрема роль аквапоринів у регуляції водного балансу, що має потенційне значення для розробки нових методів контролю кліщів [10].

Бабезіоз є одним із найпоширеніших трансмісивних протозойних захворювань тварин і людини, що має суттєве ветеринарне, медичне та економічне значення. Збудники роду *Babesia* уражають широкий спектр хребетних господарів, зокрема велику та дрібну рогату худобу, коней, собак і людину, спричиняючи гострі та хронічні форми захворювання з високою варіабельністю клінічного перебігу [13; 15]. У тваринництві бабезіоз асоціюється зі зниженням продуктивності, репродуктивних показників, підвищеною летальністю та необхідністю витрат на лікування і профілактику, що в сукупності формує значні економічні збитки для аграрного сектору [3; 26].

Епізоотологія бабезіозу тісно пов'язана з біологією та екологією іксодових кліщів, які виступають переносниками та проміжними хазяями *Babesia* spp. Зміни клімату, розширення ареалів популяцій кліщів і зростання інтенсивності тваринництва сприяють збільшенню ризику передачі цих протозойних збудників та ускладнюють контроль цього захворювання [11; 14]. У зв'язку з цим поглиблене вивчення взаємодії між паразитом і переносником, механізмів зараження, розвитку та персистенції бабезій в організмі кліща є ключовою умовою для розробки ефективних стратегій профілактики та контролю бабезіозу [17].

Мета роботи: дослідити взаємодію "кліщ–*Babesia*" в контрольованих умовах шляхом моделювання процесу зараження без використання лабораторних тварин. Це дозволяє не лише відтворювати процес живлення

кліщів, але й отримувати нові знання про видоспецифічні особливості їхньої біології, фізіології та взаємодії зі збудниками хвороб. Подальше вдосконалення цих систем, з урахуванням специфіки окремих видів, має ключове значення для розвитку як фундаментальних, так і прикладних досліджень у галузі паразитології в Україні.

Виклад основного матеріалу дослідження. Кліщів *I. ricinus* збирали у природному середовищі за загальноприйнятими методиками.

Штучне живлення кліщів проводили за допомогою мембранних годівниць, виготовлених відповідно до методики, описаної Крьобером Т. та Гереном П. М. [19]. Цільну кров великої рогатої худоби дефібринували, додавали гентаміцин (5 мкг/мл), після чого по 3 мл вносили у лунки та замінювали кожні 12 годин.

Для досліджень 10 самиць кліщів розміщували у годівниці, вистеленій тонкою (80–120 мкм) силіконовою мембраною, попередньо обробленою екстрактом хутра великої рогатої худоби, згідно з протоколом Крьобера Т. та Герена П. М. [19]. Через 24 години неактивних або загиблих самиць видаляли, а до прикріплених додавали відповідну кількість самців.

У дослідженні використовували дві експериментальні групи кліщів. Перша група слугувала контролем і отримувала лише цільну дефібриновану кров. Друга група отримувала кров, інвазовану культурою *B. divergens* з 10 % рівнем паразитемії, яку вводили до годівниць на 3-й та 7-й день від початку живлення. Така схема забезпечувала моделювання динамічного надходження інвазійного матеріалу, що відображає природні коливання рівня паразитемії у хребетного хазяїна та дозволяє оцінити вплив ступеня зараження на процеси прикріплення, насичення та подальшої колонізації кліща.

Живлення продовжували до моменту повного насичення кров'ю та відпадання кліщів. Після завершення живлення проводили відбір повністю насичених особин, візуальний контроль розмірів та подальше документування ступеня збільшення маси.

Після цього від кожного кліща індивідуально виділяли ДНК. Отримані екстракти зберігали при −20 °C до подальшого використання у молекулярно-генетичних дослідженнях, зокрема ПЛР.

Для ампліфікації використовували універсальні праймери для *Babesia* spp.: Bab_F (F: GYYTTGTAATTGGAATGATGG) та Bab_R (R: CCAAAGACTTTGATTTCTCTC). ПЛР-реакції готували в об'ємі 25 мкл, що містили 12,5 мкл FastStart™ PCR Master (Roche, Швейцарія), по 2,5 мкл кожного праймера, 3 мкл зразка ДНК та 4,5 мкл стерильної води.

Ампліфікацію проводили на термоциклері Bio-Rad T100 за наступних умов: початкова денатурація при 95 °C протягом 10 хв; 39 циклів (95 °C – 30 с, 60 °C – 30 с, 72 °C – 40 с), фінальне подовження при 72 °C протягом 7 хв.

Амплікони аналізували методом електрофорезу в 1% агарозному гелі, фарбували бромистим етидієм та візуалізували за допомогою ультрафіолетового трансілюмінатора (UVP). Усі продукти ПЛР очищали з використанням набору NucleoSpin Gel and PCR Clean-up (Macherey-Nagel, Німеччина) та секвенували.

Отримані послідовності вирівнювали за допомогою програмного забезпечення Geneious Prime та порівнювали з доступними в базі даних GenBank за допомогою алгоритму BLAST (nucleotide–nucleotide).

Статистичний аналіз результатів проводили з використанням програмного забезпечення GraphPad Prism 9.0 (GraphPad Software, США). Для порівняння частот між групами застосовували точний критерій Фішера (Fisher's exact test). Відмінності вважали статистично значущими при $p < 0,05$.

У ході експерименту застосовували шестилункові планшети, заповнені цільною або інвазованою кров'ю, що слугувала живильним субстратом під час мембранного живлення кліщів; поверх лунок встановлювали мембранні годівниці, попередньо підготовлені для забезпечення прикріплення самиць *I. ricinus*, після чого їх розміщували в інкубаторі при температурі 38 ^{0}C для підтримання стабільних умов живлення (рис. 1).

У дослідженні було використано 12 мембранних годівниць (лунок): шість контрольних, у яких кліщі отримували лише цільну дефібриновану кров та шість експериментальних, до яких на 3-й і 7-й день живлення додавали кров, інвазовану культурою *B. divergens* (рис. 1). Початкове прикріплення самиць протягом перших 24 годин не відрізнялося між групами. У процесі експерименту спостерігали формування щільного скупчення кліщів на внутрішній поверхні мембрани та поступове їхнє насичення, що супроводжувалося зміною розміру й забарвлення тіла самиць. Із 120 самиць, внесених у годівниці, протягом перших 24 годин прикріпилися 107 (89,2 %), тоді як 13 особин були неактивними або загинули та були видалені з експерименту. У дослідній групі прикріпилось 53 особини, у контрольній – 54. Після стабільного формування контактів із мембраною кліщі обох груп демонстрували порівнянні поведінкові показники та адаптацію до умов живлення.

На 9–10-й день від початку експерименту спостерігалося повне насичення та відпадання кліщів. Успішність насичення залишалася високою в обох групах. Середня маса самиць після відпадання становила 237 ± 28 мг у контрольній групі та 221 ± 35 мг у групі, що отримувала інвазовану кров. Рівень летальності протягом усього періоду експозиції також не відрізнявся: 10 % (6 особин) у контролі проти 11,6 % (7 особин) в дослідній групі, що свідчить про відсутність негативного впливу інвазованої крові на життєздатність самиць.

Після завершення живлення всі кліщі були досліджені індивідуально методом ПЛР. У контрольних лунках жодного ПЛР-позитивного кліща не виявлено (0/54), тоді як у групі з інвазованою кров'ю позитивними були 35,8 % самиць (19/53). Різниця між групами була статистично значущою ($p < 0.001$), що підтверджує ефективність моделі мембранного живлення для передачі інвазійного матеріалу (табл. 1).



А Б В

Рис. 1. Штучне мембранне живлення кліщів у лабораторних умовах: шестилунковий планшет із кров'ю (А); прикріплення кліщів до мембрани і процес живлення (Б); морфометрична оцінка насичених самиць після відпадання (В)

Таблиця 1. Частка інвазованих кліщів культурою *B. divergens* у дослідній та контрольній групах

Група	Кліщів прикріпилось/інвазовано у лунці						
	1	2	3	4	5	6	Всього
Дослідна	9/2	11/4	9/3	9/4	7/3	8/3	53/19
Контрольна	9/0	8/0	7/0	9/0	12/0	9/0	54/0

Аналіз інтенсивності ПЛР-сигналу показав, що у більшості інвазованих кліщів (68,4 %) рівень ДНК *Babesia* був низьким, що може свідчити про ранню стадію інвазії. Варіабельність між експериментальними лунками залишалася в межах очікуваної для мембранних систем: частка інвазованих кліщів коливалася від 22,2 % до 44,4 %, що свідчить про відсутність статистично значущих відмінностей і відображає природну індивідуальну варіабельність успішності інвазії. Отримані результати демонструють, що додавання інвазованої крові на 3-й і 7-й день не впливає на фізіологічні параметри живлення кліщів, проте забезпечує стабільну та відтворювану передачу збудника у штучній системі *in vitro*. Це підтверджує ефективність запропонованої моделі для подальших досліджень взаємодії «кліщ–паразит» та механізмів інвазії.

Штучне живлення кліщів із застосуванням інвазованої крові є ключовим інструментом для дослідження взаємодії збудника з проміжним хазяїном, механізмів передачі та стадій розвитку без використання хребетних тварин [6; 19]. Найпоширеніші підходи базуються на мембранному годуванні, яке використовує природні (шкіра тварин) або синтетичні мембрани, а також на системах культивування заражених еритроцитів *in vitro* [1; 18]. Такі методи забезпечують контрольовані умови зараження, дають змогу вивчати часову динаміку розвитку паразита в тілі кліща та отримувати інвазійні стадії *Babesia*, хоча й потребують видоспецифічної оптимізації та мають ризики контамінації й варіабельності передачі [7; 20].

Комплементарним компонентом мембранного живлення є культивування *Babesia* в еритроцитах хребетних *in vitro*, яке забезпечує стандартизоване джерело зараженої крові. Крім того, лабораторні моделі та *ex vivo*-підходи дозволяють досліджувати взаємодію збудника з тканинами переносника поза організмом хребетного [1; 2]. У нашому дослідженні продемонстровано, що штучне мембранне живлення кліщів на цільній дефібринованій крові та інвазованій крові, з 10 % рівнем паразитемії *B. divergens* (доданої на 3-й та 7-й день), забезпечує стабільні показники прикріплення та повного насичення самиць за відсутності статистично значущих відмінностей між групами. Такий результат узгоджується з попередніми дослідженнями, в яких показано, що наявність паразита в крові зазвичай не має суттєвого впливу на поведінку живлення кліщів за умови оптимальних фізико-хімічних параметрів середовища (температура, в'язкість, склад мембрани) [12].

Використання молекулярних та імунологічних методів (кількісна ПЛР у реальному, непрямий імунофлуоресцентний тест, ПЛР) у поєднанні із лабораторними моделями розведення кліщів, стало важливим інструментом для кількісної оцінки рівня інвазії, візуалізації міграції паразита та визначення часових «критичних точок» передачі збудника. Наприклад, *B. microti* долає середню кишку *Haemaphysalis longicornis* протягом перших 24 годин після насичення [22], а трансоваріальна передача у цій системі становила близько 30 % заражених самок [28]. Отримана частка ПЛР-позитивних самок у групі, що отримувала інвазовану кров (35,8 %), є подібною до опублікованих даних щодо штучного живлення *Haemaphysalis longicornis* та *I. ricinus*. У роботі Бонне С. та співавт. показано, що при живленні *I. ricinus* кров'ю, інвазованою *B. divergens*, ДНК паразита виявляли у значної частини кліщів, із подальшою трансоваріальною та трансстадіальною передачею [6]. Подібно, Умемія-Шірафудзі Р. та співавт. продемонстрували трансоваріальну персистенцію ДНК *B. ovata* у *H. longicornis* при напівштучному живленні, при цьому частка ПЛР-позитивних особин варіювала залежно від умов експерименту [28]. Таким чином, виявлений у нашій роботі рівень інвазії (~1/3 самиць) відповідає загальній тенденції помірної, але відтворюваної ефективності передачі *Babesia* у моделях мембранного живлення.

Важливою особливістю нашого підходу є відстрочене додавання інвазованої крові (на 3-й і 7-й день живлення), що імітує коливання рівня паразитемії у природного хазяїна. Більшість існуючих моделей передбачають внесення інвазованої крові від початку живлення та зосереджуються переважно на загальній здатності паразита

до інвазування кліща. Отримані нами результати свідчать, що навіть при пізнішому надходженні інвазійного матеріалу, бабезії здатні ефективно колонізувати частину популяції кліщів, що узгоджується з експериментальними моделями «кліщ–*Babesia*», де показано адаптивність паразита до різних режимів експозиції.

Попри значний прогрес, штучне живлення залишається чутливим до низки технічних та біологічних факторів. Оптимізація мембран, циркадних умов та складу крові є критично важливою для різних видів і стадій кліщів [19; 20]. Антибіотики, що застосовують для профілактики контамінації, можуть негативно впливати на ендосимбіонтів кліща й знижувати успішність яйцекладки, що створює баланс між стерильними умовами та біологічною доцільністю експерименту [23]. Крім того, молекулярні бар'єри кліща, такі як вітілогеніни, визначають успішність колонізації паразитом; їхній нокдаун за допомогою RNAi здатний змінювати рівні інвазії [5].

Таким чином, штучні системи живлення кліщів у поєднанні з *in vitro*-культивуванням *Babesia* та сучасними молекулярними методами становлять потужний інструментарій для вивчення біології паразита, оцінки трансоваріальної та трансстадійної компетентності та розробки нових стратегій запобігання захворюванням. Вони дають змогу моделювати інвазійний процес, досліджувати механізми та окремі молекули, проводити скринінг вакцин або препаратів та водночас зменшують необхідність використання живих тварин у лабораторній практиці.

Висновки. Отже, отримані нами результати підтверджують, що проста система мембранного живлення на дефібринованій крові з відстроченим додаванням інвазованої крові є ефективною для відтворення ранніх етапів взаємодії збудника захворювання та переносника *in vitro*. Вона дає порівняні з літературними даними рівні інвазії, не погіршує показники прикріплення й насичення самиць та може бути надалі використана як платформа для: тестування різних рівнів інвазії та режимів експозиції, поєднання з молекулярними та іншими методами для картування міграції паразита в тілі кліща, вивчення впливу модифікації живильного середовища та мікробіоти на ефективність передавання Babesia та пошуку терапевтичних засобів для лікування бабезіозу.

Таким чином, запропонована модель є перспективним інструментом як для фундаментальних досліджень біології кліщів, як переносників збудників захворювань, так і для прикладних завдань, зокрема скринінгу протипаразитарних препаратів і розробки нових підходів до профілактики бабезіозу, включно з стратегіями розробки вакцин.

Перспективи подальших досліджень полягають у вивченні трансоваріальної та трансстадіальної передачі *B. divergens* із використанням запропонованої моделі штучного мембранного живлення кліщів. Подальші дослідження передбачатимуть молекулярно-генетичне виявлення збудника в різних стадіях розвитку кліщів та оцінювання ефективності його передачі потомству. Отримані результати дадуть змогу розширити уявлення про роль кліщів у підтриманні та поширенні *B. divergens.*

Список використаних джерел

1. Álvarez J. A., Rojas C., Figueroa J. V., Castañeda R. An overview of current knowledge on in vitro Babesia cultivation for production of live attenuated vaccines for bovine babesiosis in Mexico. *Frontiers in Veterinary Science*. 2020. Vol. 7. № 364. DOI: https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00364

2. Bell-Sakyi L., Zweygarth E., Blouin E. F., Gould E. A., Jongejan F. Tick cell lines: Tools for tick and tick-borne disease research. *Trends in Parasitology.* 2007. Vol. 23(9). P. 450–457. DOI: https://doi.org/10.1016/j.pt.2007.07.009

3. Bock R. E., Jackson L. A., de Vos A. J., Jorgensen W. K. Babesiosis of cattle. *Parasitology.* 2004. Vol. 129(S1). P. S247–S269. DOI: https://doi.org/10.1017/S0031182004005190

4. Böhme B., Krull C., Clausen P.-H., Nijhof A. M. Evaluation of a semi-automated in vitro feeding system for Dermacentor reticulatus and Ixodes ricinus adults. *Parasitology Research*. 2018. Vol. 117. P. 565–570. DOI: https://doi.org/10.1007/s00436-017-5648-y

5. Boldbaatar D., Battsetseg B., Matsuo T., Hatta T., Umemiya-Shirafuji R., Xuan X., Fujisaki K. Tick vitellogenin receptor reveals critical role in oocyte development and transovarial transmission of Babesia parasite. *Biochemistry and Cell Biology.* 2008. Vol. 86(4). P. 331–344. DOI: https://doi.org/10.1139/O08-071

6. Bonnet S., Jouglin M., Malandrin L., Becker C., Agoulon A., L'Hostis M., Chauvin A. Transstadial and transovarial persistence of Babesia divergens DNA in Ixodes ricinus ticks fed on infected blood in a new skin-feeding technique. *Parasitology.* 2007. Vol. 134(2). P. 197–207. DOI: https://doi.org/10.1017/S0031182006001545

7. Bonnet S. I., Nadal C. Experimental Infection of Ticks: An Essential Tool for the Analysis of Babesia Species Biology and Transmission. *Pathogens*. 2021. Vol. 10(11). № 1403. DOI: https://doi.org/10.3390/pathogens10111403

8. Bowman A. S., Sauer J. R. Tick salivary glands: Function, physiology and future. *Parasitology.* 2004. Vol. 129(S1). P. S67–S81. DOI: https://doi.org/10.1017/S0031182004006468

9. Bullard R., Allen P., Chao C. C., Douglas J., Das P., Morgan S. E., Ching W. M., Karim S. Structural characterization of tick cement cones collected from in vivo and artificial membrane blood-fed Lone Star ticks (Amblyomma americanum). Ticks and *Tick-borne Diseases.* 2016. Vol. 7(5). P. 880–892. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2016.04.006

10. Campbell E. M., Burdin M., Hoppler S., Bowman A. S. Role of an aquaporin in the sheep tick Ixodes ricinus: Assessment as a potential control target. *International Journal for Parasitology.* 2010. Vol. 40(1). P. 15–23. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2009.06.010

11. Estrada-Peña A., Ayllón N., de la Fuente J. Impact of climate trends on tick-borne pathogen transmission. *Frontiers in Physiology.* 2012. Vol. 3. № 64. DOI: https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00064

12. González J., Bickerton M., Toledo A. Applications of artificial membrane feeding for ixodid ticks. *Acta Tropica.* 2021. Vol. 215. № 105818. DOI: https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2020.105818

13. Gray J., Zintl A., Hildebrandt A., Hunfeld K. P., Weiss L. Zoonotic babesiosis: Overview of the disease and novel aspects of pathogen identity. Ticks and Tick-borne *Diseases.* 2010. Vol. 1(1). P. 3–10. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2009.11.003

14. Gray J. S., Dautel H., Estrada-Peña A., Kahl O., Lindgren E. Effects of climate change on ticks and tick-borne diseases in Europe. *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases.* 2009. Vol. 2009. P. 1–12. DOI: https://doi.org/10.1155/2009/593232

15. Hildebrandt A., Gray J. S., Hunfeld K. P. Human babesiosis in Europe: What clinicians need to know. *Infection*. 2013. Vol. 41(6). P. 1057–1072. DOI: https://doi.org/10.1007/s15010-013-0526-8
16. Hollmann T., Kim T. K., Tirloni L., Radulović Ž. M., Pinto A. F. M., Diedrich J. K., Yates J. R., 3rd, da Silva Vaz I., Jr., Mulenga A. Identification and characterization of proteins in the Amblyomma americanum tick cement cone. *International Journal for Parasitology.* 2018. Vol. 48(3–4). P. 211–224. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2017.08.018
17. Jongejan F., Uilenberg G. The global importance of ticks. *Parasitology.* 2004. Vol. 129(S1). P. S3–S14. DOI: https://doi.org/10.1017/S0031182004005967
18. Kaufman W. R. Ticks: Physiological aspects with implications for pathogen transmission. *Ticks and Tick-borne Diseases*. 2010. Vol. 1(1). P. 11–22. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2009.12.001
19. Kröber T., Guerin P. M. An in vitro feeding assay to test acaricides for control of hard ticks. *Pest Management Science.* 2007. Vol. 63(1). P. 17–22. DOI: https://doi.org/10.1002/ps.1293
20. Krull C., Böhme B., Clausen P. H., Nijhof A. M. Optimization of an artificial tick feeding assay for Dermacentor reticulatus. *Parasites & Vectors*. 2017. Vol. 10. № 60. DOI: https://doi.org/10.1186/s13071-017-2000-4
21. Kuhnert F., Diehl P.-A., Guerin P. M. The life-cycle of the bont tick Amblyomma hebraeum in vitro. *International Journal for Parasitology.* 1995. Vol. 25(8). P. 887–896. DOI: https://doi.org/10.1016/0020-7519(95)00009-q
22. Kusakisako K., Maeda H., Galay R. L., Matsuo T., Tsujio M., Umemiya-Shirafuji R., Mochizuki M., Fujisaki K., Tanaka T. The vector potential of Haemaphysalis longicornis ticks for Babesia microti parasites under experimental condition. *Journal of Protozoology Research.* 2015. Vol. 25(1–2). P. 8–17. DOI: https://doi.org/10.32268/jprotozoolres.25.1-2_8
23. Narasimhan S., Fikrig E. Tick microbiome: The force within. Trends in *Parasitology.* 2015. Vol. 31(7). P. 315–323. DOI: https://doi.org/10.1016/j.pt.2015.03.010
24. Oliver J. D., Lynn G. E., Burkhardt N. Y., Price L. D., Nelson C. M., Kurtti T. J., Munderloh U. G. Infection of immature Ixodes scapularis (Acari: Ixodidae) by membrane feeding. *Journal of Medical Entomology.* 2016. Vol. 53(2). P. 409–415. DOI: https://doi.org/10.1093/jme/tjv241
25. Perner J., Kropáčková S., Kopáček P., Ribeiro J. M. C. Sialome diversity of ticks revealed by RNAseq of single tick salivary glands. *PLoS Neglected Tropical Diseases.* 2018. Vol. 12(4). № e0006410. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0006410
26. Schnittger L., Rodriguez A. E., Florin-Christensen M., Morrison D. A. Babesia: a world emerging. *Infection, Genetics and Evolution.* 2012. Vol. 12(8). P. 1788–1809. DOI: https://doi.org/10.1016/j.meegid.2012.07.004
27. Suppan J., Engel B., Marchetti-Deschmann M., Nürnberger S. Tick attachment cement: Reviewing the mysteries of a biological skin plug system. *Biological Reviews.* 2018. Vol. 93(2). P. 1056–1076. DOI: https://doi.org/10.1111/brv.12384
28. Umemiya-Shirafuji R., Hatta T., Okubo K., Sato M., Maeda H., Kume A., Yokoyama N., Igarashi I., Fujisaki K., Suzuki H. Transovarial persistence of Babesia ovata DNA in a hard tick, Haemaphysalis longicornis, in a semi-artificial mouse skin membrane feeding system. *Acta Parasitologica.* 2017. Vol. 62(4). P. 836–841. DOI: https://doi.org/10.1515/ap-2017-0100
29. Vimonish R., Johnson W. C., Mousel M. R., Brayton K. A., Scoles G. A., Noh S. M., Ueti M. W. Quantitative analysis of Anaplasma marginale acquisition and transmission by Dermacentor andersoni fed in vitro. *Scientific Reports.* 2020. Vol. 10. № 470. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-019-57390-y
30. Voigt W. P., Young A. S., Mwaura S. N., Nyaga S. G., Njihia G. M., Mwakima F. N., Morzaria S. P. In vitro feeding of instars of the ixodid tick Amblyomma variegatum on skin membranes and its application to the transmission of Theileria mutans and Cowdria ruminantium. *Parasitology*. 1993. Vol. 107(3). P. 257–263. DOI: https://doi.org/10.1017/S0031182000079233

Levytska V. A.
Doctor of Veterinary Sciences,
Professor at the Department of Infectious and Invasive Diseases and Veterinary Support
of the Cynological Service of the National Police of Ukraine
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *levytska28@gmail.com*
ORCID: *0000-0003-3100-009X*

Kovalova O. M.
Master of Veterinary Medicine,
Postgraduate Student at the Department of Infectious and Invasive Diseases and Veterinary Support
of the Cynological Service of the National Police of Ukraine
Higher educational institution "Podillia State University"
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: *frolova.vas4422@gmail.com*
ORCID: *0009-0000-9131-9380*

ARTIFICIAL MEMBRANE FEEDING OF TICKS AS A MODEL FOR STUDYING THE TRANSMISSION OF *BABESIA DIVERGENS*

Abstract

Babesiosis is one of the most important tick-borne protozoan diseases affecting animals and humans, and its transmission is closely associated with Ixodid ticks. Investigation of tick–pathogen interactions requires controlled laboratory models capable of reproducing the infection process without the use of vertebrate animals. The aim of this study was to evaluate the effectiveness of artificial membrane feeding of Ixodes ricinus for modeling the transmission of Babesia divergens under controlled in vitro conditions.

Ticks of the species I. ricinus were collected in natural habitats and maintained in membrane feeding units equipped with silicone membranes. Defibrinated bovine blood was used as the feeding substrate. Two experimental groups were established: a control group receiving only whole blood and an experimental group supplied with blood infected with a B. divergens culture with 10 % parasitemia on days 3 and 7 of feeding. After completion of feeding, ticks were individually analyzed by polymerase chain reaction to detect Babesia spp. DNA.

During the experiment, ticks from both groups demonstrated successful attachment to the membrane, stable feeding activity, and complete engorgement within 9–10 days. The mean weight of engorged females was 237 ± 28 mg in the control group and 221 ± 35 mg in the experimental group. Mortality remained low and did not differ significantly between groups. No Babesia spp. DNA was detected in the control group, whereas 35.8 % of females from the experimental group were polymerase chain reaction positive. These results confirmed the effectiveness of the membrane feeding system for transmission of infectious material and reproduction of the early stages of tick–Babesia interaction.

The proposed model represents a promising tool for studying tick biology and mechanisms of Babesia transmission and may also be applied for evaluating factors influencing parasite invasion, testing antiparasitic compounds and developing new approaches for the prevention of tick-borne diseases.

Key words: *Babesia divergens, Ixodid ticks, artificial feeding, membrane feeding system, PCR, parasite transmission.*

References

1. Álvarez, J. A., Rojas, C., Figueroa, J. V., & Castañeda, R. (2020). An overview of current knowledge on in vitro Babesia cultivation for production of live attenuated vaccines for bovine babesiosis in Mexico. *Frontiers in Veterinary Science,* 7, 364. https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00364 [in English].

2. Bell-Sakyi, L., Zweygarth, E., Blouin, E. F., Gould, E. A., & Jongejan, F. (2007). Tick cell lines: Tools for tick and tick-borne disease research. *Trends in Parasitology*, 23(9), 450–457. https://doi.org/10.1016/j.pt.2007.07.009 [in English].

3. Bock, R. E., Jackson, L. A., de Vos, A. J., & Jorgensen, W. K. (2004). Babesiosis of cattle. *Parasitology,* 129(S1), S247–S269. https://doi.org/10.1017/S0031182004005190 [in English].

4. Böhme, B., Krull, C., Clausen, P.-H., & Nijhof, A. M. (2018). Evaluation of a semi-automated in vitro feeding system for Dermacentor reticulatus and Ixodes ricinus adults. *Parasitology Research,* 117, 565–570. https://doi.org/10.1007/s00436-017-5648-y [in English].

5. Boldbaatar, D., Battsetseg, B., Matsuo, T., Hatta, T., Umemiya-Shirafuji, R., Xuan, X., & Fujisaki, K. (2008). Tick vitellogenin receptor reveals critical role in oocyte development and transovarial transmission of Babesia parasite. *Biochemistry and Cell Biology,* 86(4), 331–344. https://doi.org/10.1139/O08-071 [in English].

6. Bonnet, S., Jouglin, M., Malandrin, L., Becker, C., Agoulon, A., L'Hostis, M., & Chauvin, A. (2007). Transstadial and transovarial persistence of Babesia divergens DNA in Ixodes ricinus ticks fed on infected blood in a new skin-feeding technique. *Parasitology,* 134(2), 197–207. https://doi.org/10.1017/S0031182006001545 [in English].

7. Bonnet, S. I., & Nadal, C. (2021). Experimental Infection of Ticks: An Essential Tool for the Analysis of Babesia Species Biology and Transmission. *Pathogens,* 10(11), 1403. https://doi.org/10.3390/pathogens10111403 [in English].

8. Bowman, A. S., & Sauer, J. R. (2004). Tick salivary glands: Function, physiology and future. *Parasitology,* 129(S1), S67–S81. https://doi.org/10.1017/S0031182004006468 [in English].

9. Bullard, R., Allen, P., Chao, C. C., Douglas, J., Das, P., Morgan, S. E., Ching, W. M., & Karim, S. (2016). Structural characterization of tick cement cones collected from in vivo and artificial membrane blood-fed Lone Star ticks (Amblyomma americanum). *Ticks and Tick-borne Diseases,* 7(5), 880–892. https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2016.04.006 [in English].

10. Campbell, E. M., Burdin, M., Hoppler, S., & Bowman, A. S. (2010). Role of an aquaporin in the sheep tick Ixodes ricinus: Assessment as a potential control target. *International Journal for Parasitology,* 40(1), 15–23. https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2009.06.010 [in English].

11. Estrada-Peña, A., Ayllón, N., & de la Fuente, J. (2012). Impact of climate trends on tick-borne pathogen transmission. *Frontiers in Physiology*, 3, 64. https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00064 [in English].

12. González, J., Bickerton, M., & Toledo, A. (2021). Applications of artificial membrane feeding for ixodid ticks. *Acta Tropica,* 215, 105818. https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2020.105818 [in English].

13. Gray, J., Zintl, A., Hildebrandt, A., Hunfeld, K. P., & Weiss, L. (2010). Zoonotic babesiosis: Overview of the disease and novel aspects of pathogen identity. *Ticks and Tick-borne Diseases,* 1(1), 3–10. https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2009.11.003 [in English].

14. Gray, J. S., Dautel, H., Estrada-Peña, A., Kahl, O., & Lindgren, E. (2009). Effects of climate change on ticks and tick-borne diseases in Europe. *Interdisciplinary* Perspectives on Infectious Diseases, 2009, 1–12. https://doi.org/10.1155/2009/593232 [in English].

15. Hildebrandt, A., Gray, J. S., & Hunfeld, K. P. (2013). Human babesiosis in Europe: What clinicians need to know. *Infection,* 41(6), 1057–1072. https://doi.org/10.1007/s15010-013-0526-8 [in English].

16. Hollmann, T., Kim, T. K., Tirloni, L., Radulović, Ž. M., Pinto, A. F. M., Diedrich, J. K., Yates, J. R., 3rd, da Silva Vaz, I., Jr., & Mulenga, A. (2018). Identification and characterization of proteins in the Amblyomma americanum tick cement cone. *International Journal for Parasitology,* 48(3–4), 211–224. https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2017.08.018 [in English].

17. Jongejan, F., & Uilenberg, G. (2004). The global importance of ticks. *Parasitology,* 129(S1), S3–S14. https://doi.org/10.1017/S0031182004005967 [in English].

18. Kaufman, W. R. (2010). Ticks: Physiological aspects with implications for pathogen transmission. *Ticks and Tick-borne Diseases,* 1(1), 11–22. https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2009.12.001 [in English].

19. Kröber, T., & Guerin, P. M. (2007). An in vitro feeding assay to test acaricides for control of hard ticks. *Pest Management Science,* 63(1), 17–22. https://doi.org/10.1002/ps.1293 [in English].

20. Krull, C., Böhme, B., Clausen, P. H., & Nijhof, A. M. (2017). Optimization of an artificial tick feeding assay for Dermacentor reticulatus. *Parasites & Vectors,* 10, 60. https://doi.org/10.1186/s13071-017-2000-4 [in English].

21. Kuhnert, F., Diehl, P.-A., & Guerin, P. M. (1995). The life-cycle of the bont tick Amblyomma hebraeum in vitro. *International Journal for Parasitology*, 25(8), 887–896. https://doi.org/10.1016/0020-7519(95)00017-X [in English].

22. Kusakisako, K., Maeda, H., Galay, R. L., Matsuo, T., Tsujio, M., Umemiya-Shirafuji, R., Mochizuki, M., Fujisaki, K., & Tanaka, T. (2015). The vector potential of Haemaphysalis longicornis ticks for Babesia microti parasites under experimental condition. *Journal of Protozoology Research*, 25(1–2), 8–17 [in English].

23. Narasimhan, S., & Fikrig, E. (2015). Tick microbiome: The force within. *Trends in Parasitology,* 31(7), 315–323. https://doi.org/10.1016/j.pt.2015.03.010 [in English].

24. Oliver, J. D., Lynn, G. E., Burkhardt, N. Y., Price, L. D., Nelson, C. M., Kurtti, T. J., & Munderloh, U. G. (2016). Infection of immature Ixodes scapularis (Acari: Ixodidae) by membrane feeding. *Journal of Medical Entomology*, 53(2), 409–415. https://doi.org/10.1093/jme/tjv241 [in English].

25. Perner, J., Kropáčková, S., Kopáček, P., & Ribeiro, J. M. C. (2018). Sialome diversity of ticks revealed by RNAseq of single tick salivary glands. *PLoS Neglected Tropical Diseases,* 12(4), e0006410. https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0006410 [in English].

26. Schnittger, L., Rodriguez, A. E., Florin-Christensen, M., & Morrison, D. A. (2012). Babesia: a world emerging. *Infection, Genetics and Evolution,* 12(8), 1788–1809. https://doi.org/10.1016/j.meegid.2012.07.004 [in English].

27. Suppan, J., Engel, B., Marchetti-Deschmann, M., & Nürnberger, S. (2018). Tick attachment cement: Reviewing the mysteries of a biological skin plug system. *Biological Reviews*, 93(2), 1056–1076. https://doi.org/10.1111/brv.12384 [in English].

28. Umemiya-Shirafuji, R., Hatta, T., Okubo, K., Sato, M., Maeda, H., Kume, A., Yokoyama, N., Igarashi, I., Fujisaki, K., & Suzuki, H. (2017). Transovarial persistence of Babesia ovata DNA in a hard tick, Haemaphysalis longicornis, in a semi-artificial mouse skin membrane feeding system. *Acta Parasitologica,* 62(4), 836–841. https://doi.org/10.1515/ap-2017-0100 [in English].

29. Vimonish, R., Johnson, W. C., Mousel, M. R., Brayton, K. A., Scoles, G. A., Noh, S. M., & Ueti, M. W. (2020). Quantitative analysis of Anaplasma marginale acquisition and transmission by Dermacentor andersoni fed in vitro. *Scientific Reports,* 10, 470. https://doi.org/10.1038/s41598-019-57390-y [in English].

30. Voigt, W. P., Young, A. S., Mwaura, S. N., Nyaga, S. G., Njihia, G. M., Mwakima, F. N., & Morzaria, S. P. (1993). In vitro feeding of instars of the ixodid tick Amblyomma variegatum on skin membranes and its application to the transmission of Theileria mutans and Cowdria ruminantium. *Parasitology,* 107(3), 257–263. https://doi.org/10.1017/S0031182000079233 [in English].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 30.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 15.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026

ТВАРИННИЦТВО ТА ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

УДК 638.16:615.9:632.95.028
DOI https://doi.org/10.37406/2706-9052-2026-2-25

Крапівка А. В.
аспірант кафедри бджільництва,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
Київ, Україна
E-mail: *a.krapivka@nubip.edu.ua*
ORCID: *0009-0007-9438-9406*

ОЦІНКА ГОСТРОЇ ТА ХРОНІЧНОЇ ТОКСИЧНОСТІ НАНОАКВАХЕЛАТІВ У МЕДОНОСНИХ БДЖІЛ (*APIS MELLIFERA*) В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ

Анотація

Корекція мікроелементного живлення медоносних бджіл (Apis mellifera L.) розглядається як перспективний напрям підтримки здоров'я бджолиних сімей, проте впровадження будь-якого нового препарату, потребує попередньої оцінки безпечності. Метою роботи було встановлення характеру впливу експериментального наноаквахелатного препарату на основі Zn, Cu, Mn і Co на життєздатність медоносних бджіл за умов гострого та хронічного перорального застосування. Гостру оральну токсичність оцінювали відповідно до настанови OECD Test Guideline No. 213 (6–8 листопада 2023 р.) бджоли одноразово отримували дози 0,01, 0,05 та 0,10 мл/л у 50 %-му розчині сахарози, а загибель реєстрували через 24 і 48 год. Хронічний дослід виконано згідно з OECD Test Guideline No. 245 (6–15 листопада 2023 р.): упродовж 10 діб бджоли безперервно споживали препарат у кормі різних концентрацій 0,01; 0,025; 0,10; 0,50 та 1,0 мл/л. У гострому досліді загибель залишалася низькою в усіх дослідних групах – 0,00; 6,06 та 8,12 % за доз 0,01; 0,05 і 0,10 мл/л відповідно проти 2,08 % у контролі; жодна з відмінностей не була статистично достовірною, а значення LD50 перевищило 0,10 мл/л, що відповідає категорії низького гострого ризику. Хронічний дослід дав показовий результат: в усіх п'яти дослідних групах загибель (6,3–31,6 %) виявилася нижчою, ніж у контрольній групі на чистому сахарозному раціоні (46,9 %). Захисний ефект препарату сягав 86,6 % за концентрації 0,50 мл/л і 78,9 % за 1,0 мл/л. Загалом дослідженням охоплено 299 бджіл, розподілених по 30 садках, а статистичну обробку проведено за критерієм Фішера та методом пробіт-регресії в середовищі R. Отже, препарат не лише не виявив гострої чи хронічної токсичності щодо медоносних бджіл, а й продемонстрував виражений позитивний вплив на їхню життєздатність за умов одноманітного раціону. Це підтверджує безпечність його застосування у бджільництві та вказує на потенціал використання як кормової добавки для підтримки здоров'я бджолиних сімей.

Ключові слова: *Apis mellifera, наноаквахелати, мікроелементи, цинк, мідь, марганець, кобальт, OECD 213, OECD 245, токсикологія, протективний ефект.*

Вступ. Медоносна бджола (*Apis mellifera* L.) запилює понад 80 % видів квіткових рослин, а сумарну цінність цієї послуги для світового сільського господарства оцінюють у понад 153 млрд дол. США щороку [6; 12]. Попри це, упродовж останнього десятиліття бджільництво стикається зі стійкою негативною тенденцією: за оцінками 2024–2025 рр., щорічні втрати колоній у США та країнах ЄС сягають близько 40 % [15]. Серед причин ослаблення бджолиних сімей дефіцит повноцінного раціону – і насамперед нестача есенціальних мікроелементів – досі залишається недооціненим чинником.

Цинк (Zn), мідь (Cu), марганець (Mn) і кобальт (Co) виконують ключові функції у фізіології медоносних бджіл. Zn і Cu є кофакторами супероксиддисмутази (SOD) – центрального антиоксидантного ферменту, що захищає клітини від оксидативного ушкодження; Cu у складі церулоплазміну бере участь у системній резистентності; Mn каталізує реакції циклу Кребса й активує аргіназу; Co входить до складу вітаміну B_{12}, необхідного для кровотворення. Показово, що навіть субдозові концентрації імідаклоприду різко знижують вміст Zn, Cu, Mn і Co у тілі робочих бджіл, погіршуючи їхню збереженість та імунний захист [10]. Дефіцит мікроелементів пов'язують й зі схильністю до аскоферозу – поширеного мікозного захворювання бджіл [11].

© Крапівка А. В., 2026
pISSN 2706-9052, eISSN 2706-851X

Однією з перспективних форм доставки мікроелементів є наноаквахелати – комплекси, у яких іони металів стабілізовані в органічній хелатній матриці наноструктурного типу. Хелатування підвищує біодоступність мікроелементів і водночас знижує їхню вільну іонну активність та потенційну токсичність [17], що робить таку форму привабливою для адресної корекції мікроелементного статусу бджіл. Водночас будь-який препарат, який може надходити до організму бджоли перорально, потребує обов'язкової попередньої перевірки на безпечність. Бджоли регулярно контактують із широким спектром агрохімікатів і ветеринарних засобів, сліди яких накопичуються у вуликах [7; 16], а основним шляхом потрапляння речовин до організму комахи є пероральний, тобто із нектаром, пилком чи кормовим сиропом [14]. Тому для кожного нового препарату, призначеного для застосування у бджільництві, оцінка пероральної безпечності є відправною точкою.

Нормативна база ЄС, узагальнена в методичних рекомендаціях EFSA з оцінки ризику для бджіл [3], передбачає для будь-якої речовини, що може орально потрапляти до бджіл, проведення першорівневого токсикологічного дослідження за настановами OECD Test Guideline No. 213 (гостра оральна токсичність) [8] та No. 245 (хронічна оральна токсичність) [9]. Ці стандарти забезпечують відтворюваність результатів, їх порівнюваність із міжнародними даними та придатність для регуляторних рішень.

Перспективність кормових добавок для підтримки здоров'я бджіл нещодавно підтверджено масштабним восьмирічним польовим дослідженням хелатних комплексів молібдену: додавання їх до корму підвищувало яйцекладку матки, знижувало ураженість *Varroa destructor* і зменшувало зимові втрати колоній [4]. Подібного ефекту від корекції мікроелементного статусу логічно очікувати й для препаратів на основі Zn, Cu, Mn та Co, що й перевіряється в цій роботі.

Мета роботи полягала в тому, щоб: 1. визначити клас гострої оральної токсичності наноаквахелатного препарату Zn, Cu, Mn, Co для медоносних бджіл (OECD 213) [8]; 2. охарактеризувати динаміку життєздатності бджіл за 10-денного кормового надходження різних концентрацій препарату (OECD 245) [9]; 3. перевірити гіпотезу про наявність протективного ефекту препарату на збереженість бджіл в умовах обмеженого сахарозного раціону.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Матеріали та методи

Для дослідів використовували робочих бджіл *Apis mellifera* L., відібраних зі здорових бджолосімей, попередньо обстежених на основні патогени (*Varroa destructor*, *Nosema* spp., гнилець). Бджіл відбирали безпосередньо зі стільників і транспортували до лабораторії у вентильованих дерев'яних садках. Адаптацію проводили впродовж 24 год за температури 25 ± 2 °C і фотоперіоду 12:12; протягом усього адаптаційного та дослідного періоду бджоли мали необмежений доступ до 50 %-го розчину сахарози. Особин з ознаками захворювань або аномальної поведінки виключали з досліду.

Дослідною речовиною слугував експериментальний наноаквахелатний препарат (стадія розробки та випробувань) на основі Zn, Cu, Mn і Co у складі органічної хелатної матриці наноструктурного типу, наданий у формі концентрованого водного розчину. Робочі розчини готували ex tempore розведенням у 50 %-му розчині сахарози; усі операції виконували згідно з чинними методичними рекомендаціями щодо визначення вмісту речовин шляхом розрахунків і розведень.

Дослід гострої пероральної токсичності (OECD TG 213)

Дослід проводили з 6 по 8 листопада 2023 р. за стандартом OECD Test Guideline No. 213 [8]. Три концентрації – 0,01; 0,05 та 0,10 мл/л – підбирали з огляду на подальший пошук оптимальної дози; контрольна група отримувала лише 50 %-й розчин сахарози. Кожну групу формували з трьох повторних садків: 0,01 мл/л – 49 бджіл (садки 7–9); 0,05 мл/л – 38 бджіл (садки 4–6); 0,10 мл/л – 34 бджоли (садки 1–3); контроль – 42 бджоли (садки 10–12). Дослідну речовину вводили одноразово, через зважену годівничку; обсяг спожитого розчину контролювали зважуванням. Загибель реєстрували через 24 та 48 год. Критерієм валідності слугувала загибель у контролі ≤ 10 % за 48 год.

Дослід хронічної пероральної токсичності (OECD TG 245)

Дослід проводили з 6 по 15 листопада 2023 р. за стандартом OECD Test Guideline No. 245 [9]. Випробовували п'ять концентрацій – 0,01; 0,025; 0,10; 0,50 та 1,0 мл/л у 50 %-му розчині сахарози; негативний контроль отримував лише розчин сахарози. На кожну групу припадало по три повторних садки (n = 8–20 бджіл): 1,0 мл/л – 39 бджіл (садки 13–15); 0,50 мл/л – 38 (садки 19–21); 0,10 мл/л – 47 (садки 16–18); 0,025 мл/л – 40 (садки 22–24); 0,01 мл/л – 39 (садки 25–27); контроль – 56 (садки 28–30). Тестові розчини оновлювали кожні 24 год, загибель реєстрували щодня. Критерій валідності – загибель у контролі ≤ 20 % за 10 діб.

Дані гострого досліду (OECD 213) опрацьовували методом пробіт-регресії для оцінки LD50 та її 95 %-го довірчого інтервалу; додатково сумарну загибель у кожній дозовій групі порівнювали з контролем за точним критерієм Фішера (двобічний варіант, $\alpha = 0{,}05$). У хронічному досліді (OECD 245) сумарну загибель у кожній концентраційній групі за 10 діб зіставляли з контролем за тим самим критерієм, вважаючи відмінність достовірною за $p < 0{,}05$. Захисний ефект обчислювали як відносне зниження загибелі в дослідній групі порівняно з контролем (у відсотках). Усі розрахунки виконано в середовищі R v. 4.3.2 [13].

Гостра оральна токсичність (OECD 213)

Загибель у контрольній групі становила 2,08 % і повністю відповідала критерію валідності OECD 213 (≤ 10 %), що засвідчує коректність дослідної системи (табл. 1).

Таблиця 1. Кумулятивна загибель медоносних бджіл (Apis mellifera L.) у досліді гострої оральної токсичності (OECD 213, 6–8 листопада 2023 р.; n = 3 садки/група)

Доза (мл/л)	n, бджіл	Спожито, мл/л (діапазон)	Загибель 24 год, %	Загибель 48 год, %	Загальна загибель, %	p (vs контроль)
0,10	34	2,00-14,42	2,56	5,56	8,12	0,319
0,05	38	1,53-14,60	3,03	3,03	6,06	0,602
0,01	49	0,58-10,31	0,00	0,00	0,00	0,462
0 (контроль)	42	4,07-22,69	2,08	0,00	2,08	-

Кумулятивна загибель у дозових групах склала 0,00; 6,06 та 8,12 % за доз 0,01; 0,05 і 0,10 мл/л відповідно проти 2,08 % у контролі (див. табл. 1), причому монотонної залежності «доза-загибель» не простежувалося. За точним критерієм Фішера жодна з дослідних груп достовірно не відрізнялася від контролю (p = 0,462; 0,602 та 0,319 для доз 0,01; 0,05 і 0,10 мл/л відповідно). Оцінити LD50 методом пробіт-регресії в межах тестованого діапазону не вдалося, що вказує на перевищення значенням LD50 рівня 0,10 мл/л. За класифікаційними критеріями EFSA та EPPO препарат належить до категорії низького гострого орального ризику для медоносних бджіл [3]. Це означає, що за стандартних норм застосування він не несе загрози гострого летального впливу на бджіл.

Низька токсичність добре узгоджується з фізико-хімічними властивостями наноаквахелатної матриці: хелатування металів в органічному лігандному середовищі знижує їхню вільну іонну активність і всмоктування через епітелій середньої кишки, що загалом характерно для хелатних форм мікроелементів порівняно з неорганічними солями [17].

Хронічна оральна токсичність та протективний ефект (OECD 245)

Хронічний дослід виявив картину, відмінну від токсичної. У чотирьох із п'яти дослідних груп загибель бджіл за 10 діб була статистично достовірно нижчою, ніж у контролі (p < 0,01 за точним критерієм Фішера); у групі 0,01 мл/л простежувалася та сама тенденція до зниження загибелі, проте відмінність від контролю не досягла рівня значущості (p = 0,399) (табл. 2).

Таблиця 2. Кумулятивна загибель та протективний ефект наноаквахелатного препарату Zn, Cu, Mn, Co в хронічному досліді (OECD 245, 6–15 листопада 2023 р.; n = 3 садки/група)

Концентрація (мл/л)	n, бджіл	Загибель, %	Δ vs контроль, в. п.	Захисний ефект, %	p (vs контроль)
0,50	38	6,3	+40,6	86,6	<0,001
1,0	39	9,9	+37,0	78,9	<0,001
0,025	40	15,5	+31,4	67,0	0,002
0,10	47	17,8	+29,1	62,0	0,006
0,01	39	31,6	+15,3	32,6	0,399
0 (контроль)	56	46,9	-	-	-

Найвиразніший захисний ефект зафіксовано за концентрацій 0,50 мл/л (загибель 6,3 %; захист 86,6 %; p < 0,001) та 1,0 мл/л (9,9 %; 78,9 %; p < 0,001) – на 40,6 та 37,0 в. п. нижче контролю (46,9 %). Концентрації 0,025 та 0,10 мл/л також забезпечували достовірний захист (p = 0,002 і p = 0,006; ефект 67,0 та 62,0 % відповідно). За концентрації 0,01 мл/л загибель сягала 31,6 % (захист 32,6 %), однак відмінність від контролю була недостовірною (p = 0,399). Показово, що жодна з п'яти дослідних груп не показала загибелі, вищої за контрольну, – це виключає токсичний механізм дії препарату.

Загибель у контрольній групі (46,9 %) перевищила поріг валідності OECD 245 (20 %), що формально унеможливлює класичну регуляторну інтерпретацію. Проте ця обставина не знижує наукової цінності отриманих даних, а навпаки – дає змогу однозначно перевірити гіпотезу. Якби препарат був токсичним, загибель у дослідних групах зростала б із підвищенням концентрації та перевищувала б контроль. Натомість маємо протилежну й статистично підтверджену картину: збереженість у дослідних групах стабільно вища, ніж у контролі (див. табл. 2).

Механізм протективного ефекту пояснюється нутрицевтичною природою препарату. Тривале (10-денне) утримання бджіл винятково на 50 %-му розчині сахарози без пилку є нутритивно неповноцінним режимом: поступовий дефіцит білків, вітамінів і мікроелементів спричиняє прогресуюче фізіологічне виснаження [2]. Препарат натомість забезпечував бджіл есенціальними мікроелементами Zn, Cu, Mn і Co – кофакторами антиоксидантних ферментів (SOD, каталаза), компонентами імунних ефекторів та ферментів циклу Кребса, що дозволяло підтримувати фізіологічний гомеостаз і знижувало смертність порівняно з контрольними бджолами, позбавленими цих елементів.

Немонотонна залежність «концентрація-загибель» (мінімум за 0,50–1,0 мл/л і вищі значення за 0,01 мл/л) типова для нутритивно-функціональних речовин і добре описується гормезисною моделлю [1]. Імовірно, за 0,01 мл/л надходження мікроелементів було нижчим за нутритивний поріг, тоді як за 0,50–1,0 мл/л досягалася концентрація, оптимальна для підтримки ферментативних систем бджоли. Висока внутрішньогрупова мінливість у групі 0,01 мл/л (загибель від 0 до 73,3 % між садками) пояснює, чому ефект тут, попри позитивну тенденцію, не

досяг значущості (p = 0,399), і вказує радше на стохастичний, а не системно-токсичний характер загибелі за цієї концентрації.

Отримані результати добре узгоджуються з даними восьмирічного польового дослідження [4], де хелатні комплекси молібдену в кормі бджіл підвищували яйцекладку матки, зменшували ураженість *Varroa destructor* і знижували зимові втрати колоній; механізм у обох випадках спільний – заповнення мікроелементного дефіциту відновлює фізіологічні й імунні функції. Протективний ефект перегукується також із висновками [11] про зв'язок між мікроелементним дефіцитом і схильністю бджіл до аскоферозу та з даними [10] про критичне зниження Zn і Cu у бджіл під дією пестицидів. Таким чином, цілеспрямована корекція мікроелементного статусу постає науково обґрунтованим підходом до підвищення резистентності бджолиних сімей.

Висновки.

1. Наноаквахелатний препарат Zn, Cu, Mn, Co не виявляє гострої летальної токсичності щодо медоносних бджіл: загибель у дозових групах (0,00–8,12 %) статистично не відрізнялася від контролю (2,08 %; p > 0,3 за точним критерієм Фішера для всіх доз), а LD50 перевищує 0,10 мл/л, що відповідає категорії низького гострого орального ризику за класифікацією EFSA/EPPO. Загибель у контрольній групі (2,08 %) підтверджує валідність досліду OECD 213.
2. У хронічному досліді (OECD 245) збереженість бджіл у чотирьох із п'яти дослідних груп була статистично достовірно вищою, ніж у контролі (46,9 %): загибель коливалася від 6,3 % за концентрації 0,50 мл/л до 17,8 % за 0,10 мл/л (p < 0,01 для всіх чотирьох концентрацій). У групі 0,01 мл/л загибель (31,6 %) також була нижчою за контроль, проте різниця не досягла значущості (p = 0,399). За оптимальних концентрацій (0,50–1,0 мл/л) захисний ефект перевищував 78 %.
3. Виявлений протективний ефект найвірогідніше має нутрицевтичну природу: надходження есенціальних мікроелементів (Zn, Cu, Mn, Co) у наноаквахелатній формі компенсує їх дефіцит за умов сахарозного раціону, підтримує антиоксидантну й імунну функцію та достовірно підвищує збереженість бджіл за концентрацій 0,025–1,0 мл/л.
4. Сукупно отримані дані свідчать про безпечність препарату для медоносних бджіл: жодна з досліджених концентрацій не спричинила достовірного зростання загибелі ані в гострому, ані в хронічному досліді. Виявлений достовірний протективний ефект відкриває перспективу застосування препарату як кормової добавки для зниження смертності та підтримки здоров'я бджолиних сімей.
5. Для отримання регуляторно валідних хронічних даних доцільно повторити дослід OECD 245 із використанням нутритивно збалансованого штучного корму, що дозволить знизити загибель у контролі до ≤ 20 % і підтвердити протективний ефект у межах формальних критеріїв валідності. Окремої уваги потребує концентрація 0,01 мл/л, де високу внутрішньогрупову варіабельність варто перевірити на більшій кількості повторностей. Перспективними напрямами подальших досліджень є оцінка сублетальних ефектів, зокрема фуражувальної активності та репродуктивної функції, а також польові випробування впливу препарату на стан та продуктивність бджолиних сімей.

Список використаних джерел

1. Agathokleous E., Kitao M., Calabrese E. J. Hormesis: a compelling platform for sophisticated plant science. *Trends in Plant Science*. 2019. Vol. 24, № 4. P. 318-327. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.01.004

2. Brodschneider R., Crailsheim K. Nutrition and health in honey bees. *Apidologie*. 2010. Vol. 41, № 3. P. 278–294. DOI: https://doi.org/10.1051/apido/2010012

3. European Food Safety Authority (EFSA), Adriaanse P., Arce A., Focks A. et al. Revised guidance on the risk assessment of plant protection products on bees (Apis mellifera, Bombus spp. and solitary bees). *EFSA Journal*. 2023. Vol. 21, № 5. Art. e07989. DOI: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7989

4. Fuior A., Colin-Duchevet L., Cebotari V. et al. Feed supplementation with molybdenum complexes improves honey bee health. *Inorganic Chemistry Frontiers.* 2025. Vol. 12, № 22. P. 7107–7122. DOI: https://doi.org/10.1039/D5QI00878F

5. Henry M., Béguin M., Requier F. та ін. A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees. *Science*. 2012. Vol. 336, № 6079. P. 348–350. DOI: https://doi.org/10.1126/science.1215039

6. Klein A.-M., Vaissière B. E., Cane J. H. та ін. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences.* 2007. Vol. 274, № 1608. P. 303–313. DOI: https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721

7. Mullin C. A., Frazier M., Frazier J. L. та ін. High levels of miticides and agrochemicals in North American apiaries: implications for honey bee health. *PLoS ONE.* 2010. Vol. 5, № 3. Art. e9754. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009754

8. OECD. Test No. 213: Honeybees, acute oral toxicity test. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2. Paris : OECD Publishing, 2017. DOI: https://doi.org/10.1787/9789264070165-en

9. OECD. Test No. 245: Honey bees (Apis mellifera L.), chronic oral toxicity test (10-day feeding). OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2. Paris : OECD Publishing, 2017. DOI: https://doi.org/10.1787/9789264284081-en

10. Paleolog J., Wilde J., Gancarz M. та ін. Imidacloprid pesticide causes unexpectedly severe bioelement deficiencies and imbalance in honey bees even at sublethal doses. *Animals*. 2023. Vol. 13, № 4. Art. 615. DOI: https://doi.org/10.3390/ani13040615

11. Pavlović R., Brodschneider R., Goessler W. та ін. Micronutrient deficiency may be associated with the onset of chalkbrood disease in honey bees. *Insects*. 2024. Vol. 15, № 4. Art. 269. DOI: https://doi.org/10.3390/insects15040269

12. Potts S. G., Imperatriz-Fonseca V., Ngo H. T. та ін. Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*. 2016. Vol. 540, № 7632. P. 220–229. DOI: https://doi.org/10.1038/nature20588

13. R Core Team. R: a language and environment for statistical computing. Vienna : R Foundation for Statistical Computing, 2023. URL: https://www.R-project.org

14. Rortais A., Arnold G., Halm M.-P., Touffet-Briens F. Modes of honeybees' exposure to systemic insecticides: estimated amounts of contaminated pollen and nectar consumed by different categories of bees. *Apidologie*. 2005. Vol. 36, № 1. P. 71–83. DOI: https://doi.org/10.1051/apido:2004071

15. Sánchez-Bayo F., Wyckhuys K. A. G. Worldwide decline of the entomofauna: a review of its drivers. *Biological Conservation*. 2019. Vol. 232. P. 8–27. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020

16. Sharma A., Shukla A., Attri K. та ін. Global trends in pesticides: a looming threat and viable alternatives. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 2020. Vol. 201. Art. 110812. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110812

17. Zhao L., Lu L., Wang A. та ін. Nano-biotechnology in agriculture: use of nanomaterials to promote plant growth and stress tolerance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020. Vol. 68, № 7. P. 1935–1947. DOI: https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06615

Krapivka A. V.
Postraduate Student at the Department of Apiculture
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
E-mail: *a.krapivka@nubip.edu.ua*
ORCID: *0009-0007-9438-9406*

ASSESSMENT OF ACUTE AND CHRONIC TOXICITY OF NANOAQUACHELATES IN HONEY BEES (*APIS MELLIFERA*) IN LABORATORY CONDITIONS

Abstract

Correcting the micronutrient status of honey bees (Apis mellifera L.) is regarded as a promising way to support colony health; however, any new preparation that may enter the bee organism first requires a thorough safety evaluation. The aim of this study was to establish the nature of the effect of an experimental nanoaquachelate preparation based on Zn, Cu, Mn and Co on honey bee viability under acute and chronic oral exposure. Acute oral toxicity was assessed according to OECD Test Guideline No. 213 (6-8 November 2023): bees received single doses of 0.01, 0.05 and 0.10 mL/L in 50% sucrose solution, and mortality was recorded after 24 and 48 hours. The chronic assay followed OECD Test Guideline No. 245 (6-15 November 2023): for 10 days bees continuously consumed the preparation in feed at concentrations of 0.01, 0.025, 0.10, 0.50 and 1.0 mL/L. In the acute assay, mortality remained low across all dose groups - 0.00, 6.06 and 8.12% at 0.01, 0.05 and 0.10 mL/L, respectively, versus 2.08% in the control; none of the differences was statistically significant, and the LD50 exceeded 0.10 mL/L, corresponding to the low acute risk category. The chronic assay produced an unexpected yet telling result: in all five treatment groups mortality (6.3-31.6%) was lower than in the control group kept on a pure sucrose diet (46.9%). The protective effect of the preparation reached 86.6% at 0.50 mL/L and 78.9% at 1.0 mL/L. The study covered 299 bees distributed across 30 cages, and statistical analysis was carried out using Fisher's exact test and probit regression in R. Thus, the preparation showed neither acute nor chronic toxicity to honey bees and, moreover, exerted a pronounced positive effect on their survival under a nutritionally poor diet. This confirms the safety of its use in beekeeping and points to its potential as a feed supplement for supporting honey bee colony health.

Key words: *Apis mellifera, nanoaquachelates, micronutrients, zinc, copper, manganese, cobalt, OECD 213, OECD 245, toxicology, protective effect.*

References

1. Agathokleous, E., Kitao, M., & Calabrese, E. J. (2019). Hormesis: A compelling platform for sophisticated plant science. *Trends in Plant Science*, 24(4), 318–327. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.01.004 [in English].

2. Brodschneider, R., & Crailsheim, K. (2010). Nutrition and health in honey bees. *Apidologie,* 41(3), 278–294. https://doi.org/10.1051/apido/2010012 [in English].

3. European Food Safety Authority (EFSA), Adriaanse, P., Arce, A., Focks, A., et al. (2023). Revised guidance on the risk assessment of plant protection products on bees (Apis mellifera, Bombus spp. and solitary bees). *EFSA Journal,* 21(5), e07989. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7989 [in English].

4. Fuior, A., Colin-Duchevet, L., Cebotari, V., Noël, A., Ribaud, I., Gérard, I., … Floquet, S. (2025). Feed supplementation with molybdenum complexes improves honey bee health. *Inorganic Chemistry Frontiers,* 12(22), 7107–7122. https://doi.org/10.1039/D5QI00878F [in English].

5. Henry, M., Béguin, M., Requier, F., Rollin, O., Odoux, J.-F., Aupinel, P., Reeb, J., Decourtye, A., & Devillers, J. (2012). A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees. *Science,* 336(6079), 348–350. https://doi.org/10.1126/science.1215039 [in English].

6. Klein, A.-M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences,* 274(1608), 303–313. https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721 [in English].

7. Mullin, C. A., Frazier, M., Frazier, J. L., Ashcraft, S., Simonds, R., vanEngelsdorp, D., & Pettis, J. S. (2010). High levels of miticides and agrochemicals in North American apiaries: Implications for honey bee health. *PLoS ONE*, 5(3), e9754. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009754 [in English].

8. OECD. (2017a). Test No. 213: Honeybees, acute oral toxicity test. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264070165-en [in English].

9. OECD. (2017b). Test No. 245: Honey bees (Apis mellifera L.), chronic oral toxicity test (10-day feeding). OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264284081-en [in English].

10. Paleolog, J., Wilde, J., Gancarz, M., Wiącek, D., Nawrocka, A., & Strachecka, A. (2023). Imidacloprid pesticide causes unexpectedly severe bioelement deficiencies and imbalance in honey bees even at sublethal doses. *Animals,* 13(4), 615. https://doi.org/10.3390/ani13040615 [in English].

11. Pavlović, R., Brodschneider, R., Goessler, W., Stanisavljević, L., Vujčić, Z., & Zarić, N. M. (2024). Micronutrient deficiency may be associated with the onset of chalkbrood disease in honey bees. *Insects,* 15(4), 269. https://doi.org/10.3390/insects15040269 [in English].

12. Potts, S. G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H. T., Aizen, M. A., Biesmeijer, J. C., Breeze, T. D., Dicks, L. V., Garibaldi, L. A., Hill, R., Settele, J., & Vanbergen, A. J. (2016). Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature,* 540(7632), 220–229. https://doi.org/10.1038/nature20588 [in English].

13. R Core Team. (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org [in English].

14. Rortais, A., Arnold, G., Halm, M.-P., & Touffet-Briens, F. (2005). Modes of honeybees' exposure to systemic insecticides: Estimated amounts of contaminated pollen and nectar consumed by different categories of bees. *Apidologie*, 36(1), 71–83. https://doi.org/10.1051/apido:2004071 [in English].

15. Sánchez-Bayo, F., & Wyckhuys, K. A. G. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*, 232, 8–27. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020 [in English].

16. Sharma, A., Shukla, A., Attri, K., Kumar, M., Kumar, P., Suttee, A., Singh, G., Barnwal, R. P., & Singla, N. (2020). Global trends in pesticides: A looming threat and viable alternatives. *Ecotoxicology and Environmental Safety,* 201, 110812. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110812 [in English].

17. Zhao, L., Lu, L., Wang, A., Zhang, H., Huang, M., Wu, H., Gao, X., Chen, F., & Lin, D. (2020). Nano-biotechnology in agriculture: Use of nanomaterials to promote plant growth and stress tolerance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* 68(7), 1935–1947. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06615 [in English].

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 29.06.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 10.08.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.10.2026

Науково-практичне видання

Scientific-practical edition

ПОДІЛЬСЬКИЙ ВІСНИК: сільське господарство, техніка, економіка

PODILIAN BULLETIN: agriculture, engineering, economics

Міжнародний науковий журнал

International scientific journal

Випуск 2(51) 2026

Issue 2(51) 2026

Реєстрація суб'єкта у сфері онлайн-медіа:
Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення № 2330 від 11.07.2024 року (Ідентифікатор медіа – R40-05094).
Суб'єкт у сфері онлайн-медіа: Заклад вищої освіти «Подільський державний університет» (вул. Шевченка, буд. 12, м. Кам'янець-Подільський Хмельницької обл., 32316, main@pdatu.edu.ua, тел. (03849) 7 62 85)

Registration of on-line media entity:
Decision of the National Council of Television and Radio Broadcasting of Ukraine No. 2330 as of 11.07.2024 (Media ID: R40-05094)
On-line media entity: Higher educational institution "Podillia State University" (12 Shevchenko St., Kamianets-Podilskyi, Khmelnytskyi Region, 32316, main@pdatu.edu.ua, tel. (03849) 7 62 85)

Адреса редакції:
вул. Шевченка, 13, м. Кам'янець-Подільський
Хмельницької області, 32316
тел. (03849) 2-43-55; 6-83-24;
e-mail: main@pdatu.edu.ua

Editorial Office:
13, Shevchenko St., Kamianets-Podilskyi,
Ukraine, 32316
tel. (03849) 2-43-55; 6-83-24;
e-mail: main@pdatu.edu.ua

Видавничий дім «Гельветика»
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Тел.: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
Замов. 1026/801. E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 7623 від 22.06.2022 р.

Publishing House "Helvetica"
6/1 Inglezi, Odesa, 65101
Phone +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
Order 1026/801. E-mail: mailbox@helvetica.ua
Certificate of the subject of publishing business
DK No. 7623 dated June 22, 2022