

ISSN Online 2786-8478
ISSN Print 2786-846X

Міністерство освіти і науки України

Ніжинський
державний університет
імені Миколи Гоголя

**Наукові
записки.
Біологічні
науки**

(Ніжинський державний університет
імені Миколи Гоголя)

№ 4



Ніжин – 2025

НАУКОВІ ЗАПИСКИ. БІОЛОГІЧНІ НАУКИ
(Ніжинський державний університет
імені Миколи Гоголя)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор: Шейко Віталій Ілліч, доктор біологічних наук, професор, професор кафедри загальної біології та методики навчання природничих дисциплін Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка.

Заступник головного редактора: Кучменко Олена Борисівна, доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри біології Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя.

Відповідальний секретар: Гавій Валентина Миколаївна, кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя.

ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ:

Процькув Я., доктор габілітований, професор, департамент біології рослин, Інститут біології оточуючого середовища, факультет біології та наук про тварин, Університет природничих наук (м. Вроцлав, Польща).

Верхольська С., доктор філософії, департамент біології рослин, Інститут біології оточуючого середовища, факультет біології та наук про тварин, Університет природничих наук (м. Вроцлав, Польща).

Тулкан К., доктор габілітований, професор, факультет інженерії та прикладних технологій, Університет наук про життя «Король Михайло I» (м. Тімішоара, Румунія).

Гюрбюз М. Ф., доктор філософії, доцент, департамент біології, факультет науки та мистецтв, Університет Сулеймана Деміреля (м. Іспарта, Туреччина).

Давіташвілі Магда, доктор біологічних наук, професор, факультет аграрних, природничих наук і технологій, програмний координатор відділу забезпечення якості, Телавський державний університет (м. Телаві, Грузія).

Дерека Т. Г., доктор педагогічних наук, професор Тренчанського університету імені Олександра Дубчека (м. Тренчин, Словачка республіка).

Весельський С. П., доктор біологічних наук, старший науковий співробітник Інститут високих технологій, Київський національний університет імені Тараса Шевченка (м. Київ, Україна).

Кур'ята В. Г., доктор біологічних наук, професор кафедри біології Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського (м. Вінниця, Україна).

Омельчук О. В., кандидат педагогічних наук, доцент кафедри здоров'язбережувальної освіти та фізичної рекреації Українського державного університету імені Михайла Драгоманова (м. Київ, Україна).

На підставі Наказу Міністерства освіти і науки України № 582 від 24.04.2024 (додаток 2) науковий журнал «Наукові записки. Біологічні науки» (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя) внесений до переліку **наукових фахових видань України (категорії «Б»)** у галузі біологічних наук (091 «Біологія та біохімія»).

Наукове видання з біологічних наук, засноване у 2023 році Ніжинським державним університетом імені Миколи Гоголя. Свідоцтво про реєстрацію КВ № 25398-15338 Р від 20.01.2023 р.
Періодичність: 4 рази на рік.

Зареєстрований Національною радою України з питань телебачення та радіомовлення (рішення № 1180, протокол № 13 від 11.04.2024 р., ідентифікатор медіа R30-03790).

Національною бібліотекою України імені В.І. Вернадського прийнято на репозитарне зберігання номери наукового журналу «Наукові записки. Біологічні науки» (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя), які представлені на порталі в інформаційному ресурсі «Наукова періодика України».

Рекомендовано Вченою радою Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя.
Протокол № 7 від 23.12.2025 р.

НЗ4 Наукові записки. Біологічні науки (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя) / за заг. ред. В. І. Шейко. – Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2025. – № 4. – 94 с.

Адреса видавництва: вул. Воздвиженська, 3^А, м. Ніжин, Чернігівська обл., Україна, 16600.
Тел.: (04631) 7-19-72
E-mail: vidavn_ndu@ukr.net, www.ndu.edu.ua

Адреса сайту журналу у друкованій версії: <http://kpv.ndu.edu.ua/index.php/bn>

Верстка та макетування – **О. В. Борщ**
Дизайн обкладинки – **В. М. Косяк**

Підписано до друку 31.12.2025 р.	Формат 60x84/8	Папір офсетний
Гарнітура Arial	Обл.-вид.арк. 7,7	Тираж 100 пр.
Замовлення №	Ум. друк. арк. 11,5	

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 2137 від 29.03.05 р.

НДУ імені Миколи Гоголя, м. Ніжин, вул. Воздвиженська, 3^А

© В. І. Шейко, головний редактор, 2025
© НДУ ім. М. Гоголя, 2025

ISSN Online 2786-8478

ISSN Print 2786-846X

Ministry of Education and Science of Ukraine

**Nizhyn Mykola Gogol
State University**

Research Notes. biology research

**(Nizhyn Mykola Gogol
State University)**

ISSUE 4



Nizhyn – 2025

Research Notes. Biology Research (Nizhyn Mykola Gogol State University)

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief: Sheiko Vitaliy, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of General Biology and Methods of Teaching Natural Sciences Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatyuk.

Deputy Editor-in-Chief: Kuchmenko Olena, Doctor of Biological Science, Professor, Head of the Department of Biology of Nizhyn Mykola Gogol State University.

Executive Secretary: Havii Valentyna, Candidate of Biological Science, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Biology of Nizhyn Mykola Gogol State University.

EDITORIAL BOARD MEMBERS:

Proćków Jarosław, Dr hab., prof. UPWr., Department of Plant Biology, Institute of Environmental Biology, Faculty of Biology and Animal Science, Wrocław University of Environmental and Life Sciences (Wrocław, Poland).

Wiercholska Sylwia, Dr, Department of Plant Biology, Institute of Environmental Biology, Faculty of Biology and Animal Science, Wrocław University of Environmental and Life Sciences (Wrocław, Poland).

Tulcan Camelia, Dr. hab., Professor, Faculty of Engineering and Applied Technologies, University of Life Sciences "King Michael I" from Timisoara (Timisoara, Romania).

Gürbüz Mehmet Faruk, PhD, Assistant Professor, Süleyman Demirel University, Arts and Science Faculty, Biology Department, Isparta (Isparta, Turkey).

Davitashvili Magda, Doctor of Biological Sciences, Professor at the faculty of Agrarian, Natural Sciences and Technologies, Program Coordinator of Quality Assurance Office, Iakob Gogebashvili Telavi State University (Telavi, Georgia).

Dereka Tetiana, Doctor of Pedagogical Science, Professor at the Faculty of Healthcare, Alexander Dubcek University of Trencin (Trencin, Slovak Republic).

Veselskiy Stanislav, Doctor of Biological Science, Senior Research Fellow at the Educational and Scientific Institute of High Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv, (Kyiv, Ukraine).

Kuryata Volodymyr, Doctor of Biological Science, Professor, Professor at the Department of Biology of Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskiy State Pedagogical University (Vinnytsia, Ukraine).

Omelchuk Olena, Candidate of Pedagogical Science, Associate Professor, Associate Professor at the Department of health education and physical recreation of Dragomanov Ukrainian State University (Kyiv, Ukraine).

Journal "Research Notes. Biology Research (Nizhyn Mykola Gogol State University)" is included in the List of Scientific Professional Editions of Ukraine (category "B") in biology. Subject area: 091 Biology and Biochemistry pursuant to the Order of the MES of Ukraine dated 24.04.2024 № 582 (annex 2).

Scientific publication in biological sciences, founded in 2023 by Nizhyn Mykola Gogol State University. Certificate of registration – KV No. 25398-15338 R dated January 20, 2023.

Frequency: 4 times a year.

Registration of Print media entity: Decision of the National Council of Television and Radio Broadcasting of Ukraine: Decision No. 1180, protocol No.13 as of 11.04.2024, media identifier R30-03790.

The National Library of Ukraine named after V.I. Vernadsky accepted for repository issues of the scientific publication "Research Notes. Biological Sciences" (Nizhyn Mykola Gogol State University), which are presented on the portal in the information resource "Scientific Periodicals of Ukraine".

The Collection is approved by Scientific Board of Nizhyn Mykola Gogol State University
Record № 7 of Drsember 23, 2025.

N34 Research Notes. Biology Research (Nizhyn Mykola Gogol State University) / ed. V. I. Sheiko. Nizhyn: Mykola Gogol NSU, 2025. № 4. 94 p.

Publisher's address: 3^A Vozdvyzhenska Str., Nizhyn, Chernihiv Oblast,
Ukraine, 16600
Tel.: (04631) 7–19–72
E-mail: vidavn_ndu@ukr.net, www.ndu.edu.ua

The website address of the magazine in the print version: <http://lkp.ndu.edu.ua/index.php/bn>

Page making: **O. V. Borshch**
Cover design: **V. M. Kosiak**

Signed to print 31.23.2025 p.
Typeface Arial
Order №

Format 60x84/8
publisher's signature 7,7
press sheet 11,5

offset paper
print run 100

Certificate of the Publishing Subject
DK 2137 Dated March 29, 2005

Mykola Gogol NSU, Nizhyn, 3^A Vozdvyzhenska Str.

© Vitaliy Sheiko, Editor-in-Chief, 2025
© Mykola Gogol NSU, 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАУКОВІ ЗАПИСКИ. БІОЛОГІЧНІ НАУКИ
(Ніжинський державний університет
імені Миколи Гоголя)

Науковий журнал

Наукові записки. Біологічні науки, № 4, 2025 рік

ЗМІСТ

БОТАНІКА

Зайцева І. О., Гудімов М. І. Водний статус інтродукованих видів роду *Viburnum* L. в ксеротермних умовах Правобережного степу України..... 7

ЗООЛОГІЯ

Кравцова А. Ю., Ликова І. О. Особливості лейкоцитарної формули крові та гетерофіл-лімфоцитарного індексу у птахів ряду Passeriformes за умов паразитарної інвазії..... 17

ФІЗІОЛОГІЯ РОСЛИН

Богдан О., Приплавко С. О. Вплив передпосівної обробки насіння комбінаціями метаболічно активних речовин на основні показники врожайності кукурудзи 27

Ворона В. І., Гавій В. М. Вплив передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами на формування кореневої системи ячменю ярого..... 35

Bronnikova L. I., Zaitseva I. O., Lykholat Yu. V., Kvitko M. O. Heavy metal ions – ecological and physiological benefits and harmful effects on plant organism 42

БІОХІМІЯ

Гавій Т. А. Показники обміну заліза за хронічної серцевої недостатності..... 53

Якимчук Д. С., Кучменко О. Б. Рівні гепсидину у вагітних жінок в залежності від статусу вітаміну D 62

НОРМАЛЬНА І ПАТОЛОГІЧНА АНАТОМІЯ ТА ФІЗІОЛОГІЯ ЛЮДИНИ І ТВАРИН

Данченко О. О., Кюрчева Л. М., Данченко М. М. Проблема збалансованого білка в харчуванні українців та напрями її вирішення..... 70

Комісова Т. Є., Мамотенко А. В. Відновлення балансу статевих гормонів у самок щурів за умов змін світлового режиму..... 79

Шейко В. І., Коломойцев М. Центральна гемодинаміка та типи вищої нервової діяльності. 88

CONTENTS

BOTANY

Zaitseva I., Hudimov M. Water status of introduced species of the genus VIBURNUM L. in the xerothermal conditions of the right-bank steppe of Ukraine 7

ZOOLOGY

Kravtsova A., Lykova I. Features of the leukocyte formula of blood and the heterophil-lymphocyte index in birds of the order Passeriformes under conditions of parasitic invasion 17

PLANT PHYSIOLOGY

Bogdan O., Pryplavko S. Influence of pre-sowing seed treatment with combinations of metabolically active substances on the main indicators of corn yield 27

Vorona V., Havii V. Effect of pre-sowing seed treatment with metabolically active substances on the formation of the root system of spring barley 35

Bronnikova L., Zaitseva I., Lykholat Yu., Kvitko M. Heavy metal ions – ecological and physiological benefits and harmful effects on plant organism. 42

BIOCHEMISTRY

Havii T. Iron exchange indicators in chronic heart failure 53

Yakymchuk D., Kuchmenko O. Hepsidin levels in pregnant women depending on vitamin D status. 62

**NORMAL AND PATHOLOGICAL ANATOMY,
PHYSIOLOGY OF HUMANS AND ANIMALS**

Danchenko O., Kyurcheva L., Danchenko M. The problem of balanced protein in the nutrition of Ukrainians and directions for its solution 70

Komisova T., Mamotenko A. Restoration of sex hormones balance in female rats under changes in lighting 79

Sheiko V., Kolomoitsev M. Central hemodynamics and types of higher nervous activity 88

БОТАНІКА

УДК 581.11:581.522.4:582.971(477.7)
DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-4-7-16

Зайцева І. О.

доктор біологічних наук, професор,
кафедра фізіології та інтродукції рослин
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
irinza.ldfr@gmail.com
orcid.org/0000-00015789-7240

Гудімов М. І.

аспірант,
кафедра фізіології та інтродукції рослин
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
ngudimov99@gmail.com
orcid.org/0009-0007-9744-7106

**ВОДНИЙ СТАТУС ІНТРОДУКОВАНИХ ВИДІВ РОДУ VIBURNUM L.
В КСЕРОТЕРМНИХ УМОВАХ ПРАВОБЕРЕЖНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ**

Сучасні проблеми екофізіологічної стійкості рослин, пов'язані з глобальними кліматичними змінами, останнім часом набувають критичного значення з огляду на збереження збереження життєздатності рослин та фіторізноманіття культурної флори. У степовій зоні України через обмеженість природної дендрофлори для створення насаджень активно використовуються інтродуковані рослини. В нових умовах зростання ксеротермний стрес часто є лімітуючим фактором для недостатньо стійких видів. В роботі досліджували вплив стресових умов тривалої глибокої посухи весняно-літнього періоду на стан забезпеченості водою вегетуючих рослин роду *Viburnum* L., які характеризуються як мезофіти. Дослідження водного режиму 12 видів калин проводили на базі дендрологічної колекції ботанічного саду ДНУ за показниками загальної оводненості та водного дефіциту листків. Аналіз динаміки змінень цих величин з травня по вересень дозволив встановити видову специфічність фізіологічних реакцій рослин на гідротермічний стрес та диференціювати види за ступенем посухостійкості в умовах Правобережного степу України. Малостійкі рослини зазнають зневоднення, яке обумовлює значну потребу у водозабезпеченні та розвиток водного дефіциту до 36–40%. Діапазон варіювання цього показника узгоджується з характеристиками стійкості видів, отриманими за показниками загальної оводненості. У видів *V. trilobum*, *V. plicatum*, *V. x bodnantense* втрати води впродовж періоду вегетації мінімальні (5–10%), що свідчить про здатність підтримувати рівень оводненості тканин за умов тривалої посухи і високу стійкість до зневоднення. Найменшою стійкістю до зневоднюючих факторів відзначаються види *V. lantana*, *V. fragrans*, *V. carlesii* і *V. x juddii*, *V. rhytidophyllum*. Проміжне положення займають види *V. opulus*, *V. lentago*, *V. prunifolium* і *V. farreri*. Види калин, що характеризуються адаптивними властивостями водообмінних процесів, є перспективними для запровадження в широку культуру в районах нестійкого зволоження.

Ключові слова: посухостійкість, гідротермічний стрес, види калини, водний дефіцит, інтродукція рослин.

Вступ. Розширення видового складу деревно-чагарникових рослин за рахунок інтродуцентів є практично єдиним засобом оптимізації культурфітоценозів в умовах степової зони. Для степової зони протягом вегетаційного періоду характерні такі негативні погодні явища, як атмосферна і ґрунтова посуха, суховії у сполученні з інтенсивною інсоляцією, високою температурою повітря і ґрунту, низькою відносною вологістю повітря та нестачею доступної вологи в ґрунті. Кліматичні зміни, які спостігаються останні десятиліття, призводять до зростання інтенсивності впливу цих стресових абіотичних факторів [1].

Комплексна дія зневоднення і перегріву призводить до значних змін метаболізму та фізіологічних функцій рослин, зокрема порушується формування, збільшується інтенсивність непродуктивного дихання, що призводить до зниження енергетичного рівня, порушується активність ферментних та антиоксидантних систем, білково-вуглеводного метаболізму [2, 3, 4]. Відбуваються зміни метаболічних процесів тургорного і водного потенціалів та водоутримуючої здатності, зростання осмотичного потенціалу, пригнічення фотосинтетичного і окислювального метаболізму [5, 6]. Отже, успішність росту і розвитку видів рослин, інтродукованих з інших ботаніко-географічних районів у степову зону, великою мірою визначається їх стійкістю до стресових гідротермічних факторів у період вегетації. Ступінь інтродукційної адаптації визначається пристосувальними особливостями, які пов'язані з відповідними реакціями рослин на нові кліматичні умови і проявляються в сезонному перебігу росту та розвитку рослин, а також в змінах їх фізіологічних та метаболічних процесів. У зв'язку з цим особливого значення набувають екофізіологічні дослідження стійкості рослин в умовах району інтродукції [7].

Серед цінних декоративних порід особливу увагу привертає видове і формове різноманіття родового комплексу *Viburnum* L., який загалом нараховує близько 250 видів, поширених у помірній та субтропічній зонах, особливо у Східній Азії та східній частині Північної Америки [8]. Поряд з високими декоративними якістьми, види калини характеризуються лікарськими і вітамінними властивостями плодів, що дозволяє їх використовувати в декоративному садівництві як нетрадиційні плодіві породи. Більшість видів калини у районах природного зростання приурочені до умов помірного та досить вологого клімату, тобто мають виражені мезофітні властивості. Такі екологічні вимоги стосовно зволоженості притаманні й аборигенним видам калини – *V. opulus* L. та *V. lantana* L. За екоморфічною характеристикою В. В. Тарасова [9], ці види віднесені до мезотрофів, ксеромезофітів, сциогеліофітів, за ценоморфою це сільванти – рослини лісових угруповань. У Правобережному степу України калина звичайна і калина цілолиста приурочені переважно до яружно-балкових систем.

У дендрологічних насадженнях ботанічних садів і дендропарків культивуються близько 20 видів калин, які належать до п'яти секцій – *Lantana* Spach, *Lentago* (Raf.) DC., *Tinus* Max. ex Rehd., *Odontotinus* Rehd., *Opulus* DC [10]. Попередня оцінка результатів багаторічних інтродукційних випробувань видів роду *Viburnum* L. в дендрологічних насадженнях степової зони за динамікою кількісного складу колекцій [11] показала поступове зменшення кількості екземплярів окремих видів. Зокрема, з колекційного фонду ботанічного саду у м. Дніпро частина видів випала впродовж 20-30 років вирощування (*V. sargentii* Koehne, *V. lentago* L., *V. trilobum* Msrsh., *V. rhytidophyllum* Hemsl.) [12], що може бути наслідком як випадкових подій, так і несприятливого впливу абіотичних природних факторів району інтродукції. Повторне введення в колекцію цих видів передбачає проведення комплексної оцінки їх адаптивного потенціалу та посухостійкості, поряд з іншими інтродукованими видами калин, що обумовило актуальність даної роботи.

Метою дослідження було вивчення фізіологічних особливостей водообмінних реакцій видів роду *Viburnum* L. за дії стресових гідротермічних факторів вегетаційного періоду в умовах інтродукції у Правобережному степу України.

Матеріали, методи та умови проведення досліджень. Дослідження проводилися у ботанічному саду Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. Об'єктами досліджень слугували 12 видів роду *Viburnum* L. дендрологічної колекції ботанічного саду. Модельні екземпляри кожного виду знаходилися в генеративній стадії розвитку. За ботаніко-географічним походженням виділяються види з Північної Америки – *V. trilobum* Marsh. (Тихоокеанський регіон), *V. lentago* L. і *V. prunifolium* L. (Атлантичний регіон); Китаю і Японії – *V. rhytidophyllum* Hemsl., *V. carlesii* Hemsl., *V. plicatum* Thunb., *V. farreri* Stearn, *V. fragrans* Bunge; види що природно зростають у Середній та Південній Європі – *V. lantana* L. і *V. opulus* L., а також гібридні види, які за походженням належать до східноазіатських видів – *V. x bodnantense* Aberg ex Stearn і *V. x juddii* Rehder. Види *V. fragrans* і *V. farreri* розглядаються як окремі таксони через наявність значних морфологічних відмінностей.

Показники водного обміну тканин листків визначали ваговим методом [13] у 5-кратній повторності, відбір проб здійснювали опівдні. Визначали загальну оводненість листків та величину денного водного дефіциту при витримуванні листків протягом 2 годин у воді для досягнення ними стану повного водонасичення. Масу сухої тканини отримували при висушуванні в термостаті до постійної сухої ваги при температурі 70°C. Впродовж періоду вегетації поточного року проведено шість відборів проб протягом 13-ти декад, починаючи з першої декади травня, по першу декаду вересня – на 1, 4, 6, 7, 9, 13 декади від початку досліджень. Отримані результати обробляли статистично за допомогою програмного забезпечення Statistica 7.1 StatSoft.

Район досліджень характеризується посушливим кліматом, за агрокліматичним районуванням належить до територій «нестійкого зволоження» з гідротермічним коефіцієнтом нижче одиниці (0,8-0,9) [14]. Вивчення водообміну калін проводили протягом вегетаційного періоду 2025 року в контрастних гідротермічних умовах. Найбільш критичні умови (період глибокої посухи) відзначалися протягом літніх місяців, коли середньомісячні температури червня, липня і серпня становили +22,8 °C, +24,5 °C і +23,8 °C, що перевищувало середньобагаторічну норму відповідно на 1,3–2,2 °C, а максимальні середньодобові температури трималися довгий час на рівні 32–35 °C. Нестача опадів спостерігалася з квітня по серпень, і надалі тривала впродовж осені. Відповідно, у весняно-літній період по місяцях випало опадів менше на 26 %, 63 %, 73 %, 55 % і 29 % від багаторічної норми, у вересні та жовтні – на 5 % та 11 %. Таким чином, впродовж вегетаційного періоду спостерігалася глибока тривала посуха, яка негативно вплинула на недостатньо стійкі види рослин.

Результати та їх обговорення. Вміст води у вегетуючих тканинах є важливою характеристикою функціонального стану рослин за різних гідротермічних умов. Визначення загального вмісту води у різні строки вегетації дає уявлення про водну насиченість клітин і тканин, отже й про функціональний стан рослин. Сполучення водного і температурного стресів призводить до порушення відносної рівноваги водного балансу рослини, що виражається у переважанні процесів витрачання води та розвитку водного дефіциту в рослинних тканинах. Проте вдень на сонячному освітленні навіть за сприятливих умов вологозабезпечення може спостерігатися поява дефіциту вологи в листках в межах 10–15 %, що є природним фізіологічним явищем, пов'язаним з високою інтенсивністю водообмінних та метаболічних процесів [15]. Показник водного дефіциту дозволяє оцінити, наскільки відрізняється рівень водозабезпеченості клітин при певному вмісті в них води від рівня, достатнього для найбільш ефективного функціонування рослинних тканин даного виду.

Результати досліджень показали, що у першій декаді травня в усіх видів спостерігався найбільший рівень оводненості листків, порівняно із наступними строками спостережень, який коливався в межах від 69,0 % до 72,5 %. Ці рівні оводненості листків можна прийняти за вихідні характеристики водного стану, які притаманні кожному виду і формувалися у відносно сприятливих умовах на початку вегетації. Оводненість тканин у цей час, після закінчення фенофази «облиствіння», має бути

найбільш оптимальною для метаболічних процесів кожного виду. Такий фізіологічний стан в більшості видів характеризується низьким рівнем водного дефіциту (рис. 1), що найбільшою мірою простежується у видів *V. trilobum*, *V. plicatum*, *V. x bodnantense*.

Слід зазначити, що особливістю вегетаційного періоду року проведення досліджень є розвиток посушливих явищ вже у квітні, що в окремих видів (*V. fragrans*, *V. x juddii*, *V. rhytidophyllum*) викликає порушення водного балансу, причому у перших двох видів підвищені значення водного дефіциту (22,9 % і 29,0 %) спостерігаються на фоні досить високої оводненості тканин (70,97 % та 69,14 %), що свідчить про уразливість тканин *V. fragrans* і *V. x juddii* під дією несприятливих гідротермічних факторів.

Напроти, у калини *V. rhytidophyllum* значний водний дефіцит на початку вегетації (28,75 %) відзначається на фоні найбільш низької загальної оводненості (60,6 %) серед усіх інших видів. Такі рівні показників зберігаються під час усього посушливого періоду (рис. 1), що свідчить про недостатню пристосованість калини зморщенолистої до умов району інтродукції. *V. rhytidophyllum* є вічнозеленим видом, що відрізняє його від інших видів колекції роду *Viburnum* L. Ксерофітність морфоструктурних ознак листків (зморшкуватість, рясна опушеність з нижнього боку та ін.) сполучається з великими розмірами листових пластинок – ознакою мезофільності, що в цілому проявляється у дисбалансі відповідних реакцій калини зморщенолистої на водно-температурний стрес, який ми спостерігали під час досліджень.

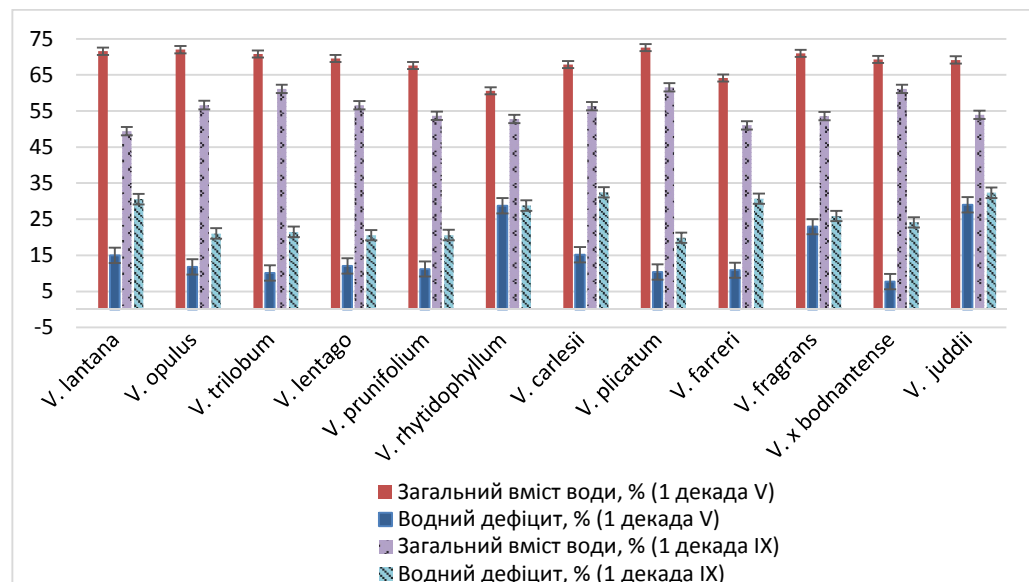


Рис. 1. Стан оводненості листків та водного дефіциту напочатку вегетаційного періоду (1 декада травня) та наприкінці (1 декада вересня)

У подальшому впродовж вегетаційного періоду посушливі явища наростають, досягаючи максимального напруження у липні-серпні. По мірі зростання гідротермічного стресу, в усіх видів тією чи іншою мірою знижується оводненість листків, досягаючи найнижчих значень у вересні. Проте досліджувані види відрізняються за величиною втрати вмісту води та дефіциту вологи в листках у різні строки спостережень, що дозволяє виявити видові відмінності та диференціювати види за рівнем посухостійкості.

На рис. 2 представлені групи видів за втратами води впродовж вегетації по відношенню до вихідного вмісту води в листках у першій декаді травня. Для кращого співставлення величин зневоднення тканин, обидві діаграми подано в єдиному масштабі осі ОУ.

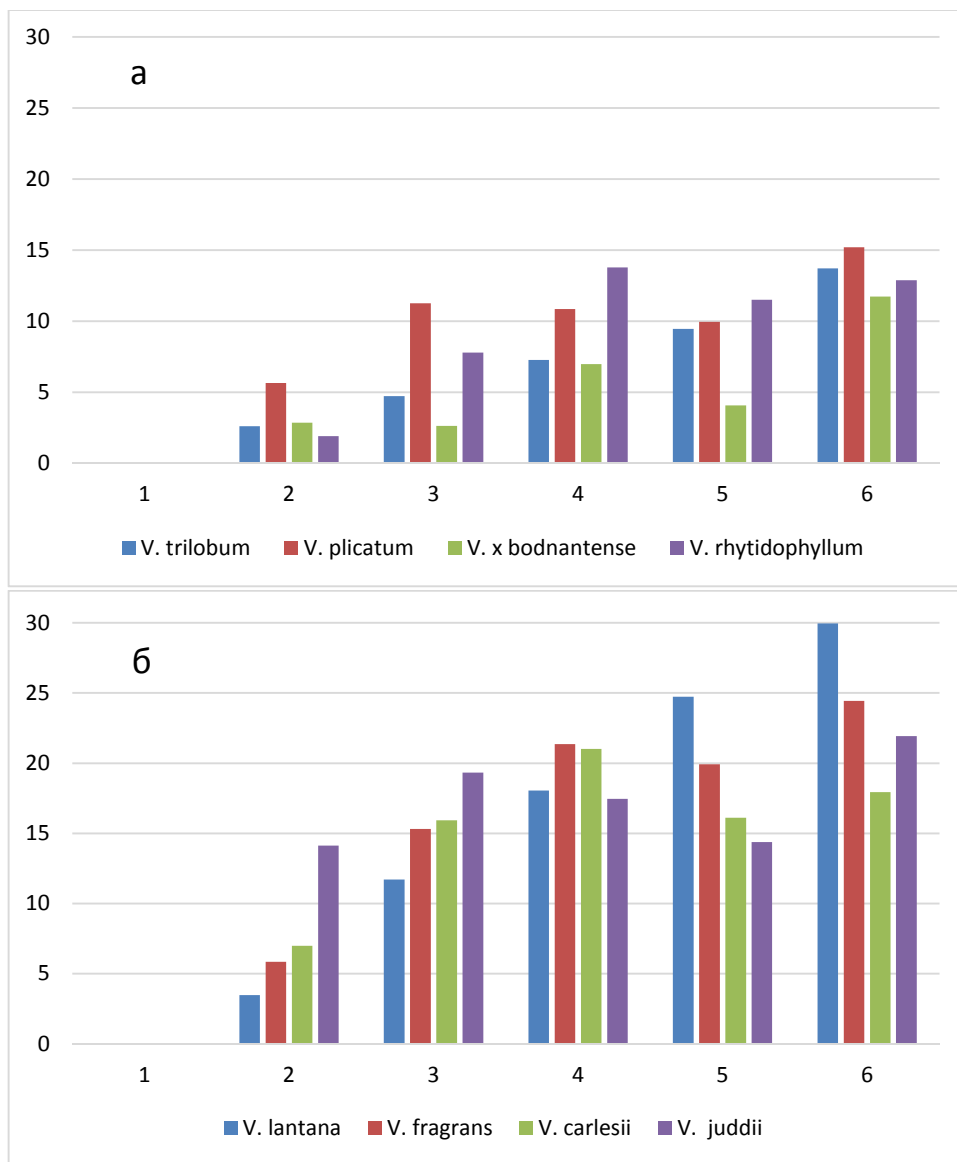


Рис. 2. Динаміка зневоднення тканин листків калин за дії посухи

Примітка: по осі ОУ – величина зменшення загальної оводненості у 2-6 строки спостережень, % до вихідного вмісту води в першій декаді травня

В першій групі (рис. 2а) у видів *V. trilobum*, *V. plicatum*, *V. x bodnantense* і *V. rhytidophyllum* втрати води впродовж періоду вегетації мінімальні, що свідчить про здатність підтримувати рівень оводненості тканин за умов тривалої посухи і високу стійкість до зневоднення. Найменшою стійкістю до зневоднюючих факторів та низькою здатністю підтримувати стабільний рівень оводненості під час посухи відзначаються види *V. lantana*, *V. fragrans*, *V. carlesii* і *V. x juddii* (рис. 2б). Проміжне положення займають види *V. opulus*, *V. lentago*, *V. prunifolium* і *V. farreri*.

Слід також відзначити ті види, які виявляють високу чутливість до зневоднюючих факторів, значно зменшуючи оводненість, тобто збільшуючи втрати води в листках вже при перших проявах нестачі вологозабезпечення і перегріву. В наших дослідженнях такі реакції найбільш чутливих до посухи рослин можна виявити вже на 2-й строк спостережень (відбір проб у першій декаді червня). Так, у *V. x juddii* загальна оводненість листків знижується на 14 % порівняно з 1-ою декадою травня; *V. fragrans* – на 6 %, *V. carlesii* і *V. lentago* – на 7 %, тоді як в інших видів знижується оводненість в межах від 0,9 % до 5,5 %.

За дії гідротермічного стресу малостійкі рослини зазнають зневоднення, яке обумовлює значну потребу у водозабезпеченні, про що свідчать високі величини водного дефіциту.

За результатами проведених досліджень, величина водного дефіциту родового комплексу *Viburnum* L. коливається в межах від 7–11 % до 32–38 %. Найменші значення становили 6,04 % (*V. trilobum*), найбільші – 40,67 % (*V. carlesii*). В середньому північноамериканські види характеризуються найменшим рівнем водного дефіциту впродовж вегетації (13,6 %), європейські (19,2 %) та види гібридного походження (20,4 %) – більш високим рівнем; східноазіатські види – найбільшим рівнем (23,7 %) водного дефіциту.

Серед сходних за ботаніко-географічним походженням видів існують помітні відмінності у величинах водного дефіциту, які в цілому, за деякими винятками, узгоджуються з характеристиками стійкості видів, отриманими за показниками загальної оводненості. (рис. 3). Так, для видів, що були відзначені як більш стійкі, характерні найменші значення водного дефіциту впродовж вегетації (за усередненими оцінками по усім відборам проб). Види *V. trilobum*, *V. plicatum* і *V. x bodnantense* характеризуються підвищеним вмістом води в листках напочатку вегетації (70,80 %, 72,58 % та 69,29 %), і під час тривалої посухи вони підтримують рівень оводненості, достатній для забезпечення фізіологічних процесів, про що свідчать невисокі значення водного дефіциту (рис. 3, 1 група).

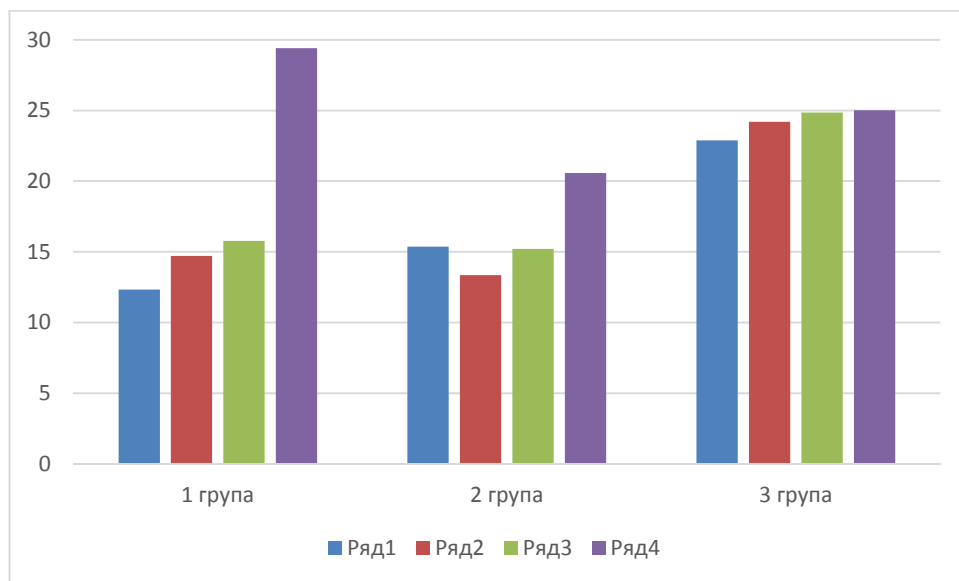


Рис. 3. Водний дефіцит (%) видів калини, диференційованих за стійкістю до зневоднення за посушливих умов

Примітка: Найменування рядів 1, 2, 3, 4 по групах видів:

1 група: *V. trilobum*, *V. plicatum*, *V. x bodnantense*, *V. rhytidophyllum*;

2 група: *V. opulus*, *V. lentago*, *V. prunifolium*, *V. farreri*;

3 група: *V. lantana*, *V. fragrans*, *V. carlesii*, *V. x juddii*

Для видів, що були відзначені як найменш посухостійкі, характерні високі значення водного дефіциту впродовж вегетації. *V. lantana*, *V. fragrans*, *V. x juddii*, *V. carlesii* характеризуються досить високим вмістом води в листках напочатку вегетації (71,57 – 67,85 %), проте вони під час тривалої посухи не здатні підтримувати достатній рівень оводненості тканин при наростанні стресових явищ в тканинах (рис. 3, 3 група). В інших видів, що займають проміжне положення за динамікою втрат води – *V. opulus*, *V. lentago* і *V. prunifolium* – зниження загальної оводненості тканин

при настанні посухи або наприкінці вегетації обумовлює розвиток помірного водного дефіциту (рис. 3, 2 група).

Окремо слід звернути увагу на види, в яких виявляється неузгодженість між характеристиками стійкості за рівнем загальної оводненості листя та величинами їх водного дефіциту. Це два види із самим низьким вмістом води напочатку вегетації – *V. farreri* (64,14 %) та *V. rhytidophyllum* (60,6 %). Вони характеризуються незначними зміненнями оводненості впродовж періоду вегетації, що може слугувати ознакою стійкості в умовах посухи. Проте результати визначення водного дефіциту показали, що за такого невисокого рівня оводненості рослини *V. farreri* і *V. rhytidophyllum* знаходяться в стані стресу, про що свідчать великі значення водного дефіциту впродовж усього періоду спостережень. В даному випадку зневоднення тканин є не пристосувальною реакцією ксерофітного типу, а наслідком стресового стану в умовах високих температур та нестачі опадів. Найбільшою мірою це явище виражене у вида *V. rhytidophyllum* (рис. 3, 1 група), в якого загальна оводненість з травня по вересень коливалася в межах 60,6–52,8 %, а водний дефіцит – в межах 25,8–36,4 %, що дає підставу віднести цей вид до малостійких.

Висновки. В оцінці посухостійкості різних за походженням та екологічними властивостями видів провідне значення мають оцінки динамічних характеристик водного балансу.

Встановлені особливості водного статусу рослин роду *Viburnum* L. та характеру відповідних реакцій водного обміну за несприятливих гідротермічних умов свідчать про ступінь адаптованості в умовах інтродукційного району.

Критеріями витривалості є здатність підтримувати бездефіцитний водний баланс вегетативних органів за впливу зневоднюючих факторів середовища, характерних для природно-кліматичних умов Правобережного степу України.

За результатами визначення загальної оводненості та водного дефіциту в умовах тривалої глибокої посухи протягом вегетаційного періоду, виділені групи видів калин за стійкістю до водно-температурного стресу: найбільш стійкі (*V. trilobum*, *V. plicatum*, *V. x bodnantense*), середньостійкі (*V. opulus*, *V. lentago*, *V. prunifolium*, *V. farreri*), малостійкі (*V. lantana*, *V. carlesii*, *V. fragrans*, *V. x juddii*, *V. rhytidophyllum*), які включають види різного ботаніко-географічного походження.

Декоративні види калин, що характеризуються адаптивними властивостями водообмінних процесів, є перспективними для запровадження в широку культуру, включення до складу біологічно обґрунтованого асортименту для створення насаджень різного функціонального призначення.

Література

1. Моргун В. В., Киризія Д. А., Шадчина Т. М. Екофізіологічні і генетичні аспекти адаптації культурних рослин до глобальних змін клімату. *Фізіологія та біохімія культурних рослин*. 2010. 42(1). С. 3–22.
2. Zandalinas S. I., Mittler R., Balfagón D., Arbona V., Gómez-Cadenas A. Plant adaptations to the combination of drought and heat stress. *Physiologia plantarum*. 2018. 162(1). P. 2–12. <https://doi.org/10.1111/ppl.12540>
3. Григорюк І. П., Мусієнко М. М. Водний і високотемпературний стреси. Молекулярні та фізіологічні механізми стійкості рослин. *Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліть*. Київ, 2001. С. 118–129.
4. Svitlana O. Volodarets, Iryna O. Zaytseva, Olexander Z. Gluchov, Anna S. Maslak. Assessments of Trees Vitality in the Urban Landscape of Steppe Zone. *Ecologia Balkanica*. 2020. Vol. 12, Issue 1. P. 41–56.
http://web.uni-plovdiv.bg/mollov/EB/2020_vol12_iss1/041-056_eb.19152.pdf
5. Rennenberg, H., Loreto, F., Polle, A., Brilli, F., Fares, S., Beniwal, R. S., & Gessler, A. Physiological responses of forest trees to heat and drought. *Plant biology*. 2006, 8(05). P. 556–571. DOI: [10.1055/s-2006-924084](https://doi.org/10.1055/s-2006-924084)

6. Недуха О.М. Вплив водного дефіциту на листки рослин. Укр. ботан. журн. 2001. 58, № 1. С. 99–106.
7. Зайцева І. О., Долгова Л. Г. Фізіолого-біохімічні основи інтродукції деревних рослин у Степовому Придніпров'ї: монографія. Дніпропетровськ: Дніпропетр. нац. ун-т. 2010. 388 с.
8. The Angiosperm Phylogeny Group (2009). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2009. Vol. 161, no. 2. P. 105–121. DOI: [10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x](https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x)
9. Тарасов В. В. Флора Дніпропетровської та Запорізької областей. Судинні рослини. Біолого-екологічна характеристика видів. Д.: Вид-во ДНУ. 2005. 276 с.
10. Дендрофлора України. Дикорослі й культивовані дерева і кущі. Покритонасінні. Частина II / Кохно М. А., Трофименко Н. М., Пархоменко Л. І. та ін. Київ: Фітосоціоцентр. 2005. 716 с.
11. Федоровський В.Д., Мазур А.Ю. Деревні рослини Криворізького ботанічного саду. Підсумки інтродукції (за 25 років). Дніпропетровськ. 2007. 256 с.
12. Колекція рослин ботанічного саду Дніпровського національного університету / О. Ф. Опанасенко, І. О. Зайцева, А. М. Кабар та ін. Дніпропетровськ: РВВ ДНУ. 2008. 224 с.
13. Фізіологія рослин: Практикум / О. В. Брайон, В. Г. Чикаленко, П. С. Сланий та ін.; За ред. М. М. Мусієнка. Київ: Вища школа. 1995. 191 с.
14. Горб А. С., Дук Н. М. Клімат Дніпропетровської області. Дніпропетровськ: РВВ ДНУ. 2006. 204 с.
15. Зайцева І. О. Адаптаційні механізми мезофітних видів роду *Syringa L.* в умовах посухи. *Фізіологія рослин: стан і перспективи розвитку*. К.: Логос. 2009. Т. 2. С. 342–347.

References

1. Morhun, V. V., Kyryzii, D. A. & Shadchyna, T. M. Ekofiziologichni i henetychni aspekty adaptatsii kulturnykh roslyn do hlobalnykh zmin klimatu [Ecophysiological and genetic aspects of crop adaptation to global climate change]. *Fiziologhiia ta biokhimiia kulturnykh roslyn – Physiology and biochemistry of cultivated plants*. 2010. 42(1). S. 3–22. [\[in Ukrainian\]](#).
2. Zandalinas, S. I., Mittler, R., Balfagón, D., Arbona, V., & Gómez-Cadenas, A. (2018). Plant adaptations to the combination of drought and heat stress. *Physiologia plantarum*. 162(1), 2–12. <https://doi.org/10.1111/ppl.12540> [\[in English\]](#).
3. Hryhoriuk I. P., Musiienko M. M. (2001). Vodnyi i vysokotemperaturnyi stresy. Molekuliarni ta fiziologichni mekhanizmy stiikosti roslyn [Water and high temperature stress. Molecular and physiological mechanisms of plant resistance]. *Fiziologhiia roslyn v Ukraini na mezhi tysiacholit – The physiology of plants in Ukraine at the turn of the millennium* Kyiv. S. 118–129 [\[in Ukrainian\]](#).
4. Svitlana O. Volodarets, Iryna O. Zaytseva, Olexander Z. Gluchov & Anna S. Maslak (2020). Assessments of Trees Vitality in the Urban Landscape of Steppe Zone. *Ecologia Balkanica*. Vol. 12, Issue 1. P. 41–56 http://web.uni-plovdiv.bg/mollov/EB/2020_vol12_iss1/041-056_eb.19152.pdf [\[in English\]](#).
5. Rennenberg, H., Loreto, F., Polle, A., Brill, F., Fares, S., Beniwal, R. S., & Gessler, A. (2006). Physiological responses of forest trees to heat and drought. *Plant biology*. 8(05). P. 556–571. DOI: [10.1055/s-2006-924084](https://doi.org/10.1055/s-2006-924084) [\[in English\]](#).
6. Nedukha, O.M. (2001). Vplyv vodnoho defitsytu na lystky roslyn [The effect of water deficiency on plant leaves]. *Ukr. botan. zhurn. – Ukrainian Botanical Journal* 2001. 58, No 1. S. 99–106. [\[in Ukrainian\]](#).
7. Zaitseva, I. O., Dolhova, L. H. (2010). [Fiziologho-biokhimiichni osnovy introduktsii derevnykh roslyn u Stepovomu Prydniprovi: monohrafiia \[Physiological and biochemical foundations of introducing woody plants in the Steppe Dnieper Region: monograph\]. Dnipropetrovsk: Dnipropetr. nats. un-t. 388 s. \[in Ukrainian\]](#).
8. The Angiosperm Phylogeny Group (2009). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2009. Vol. 161, no. 2. P. 105–121. DOI: [10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x](https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x) [\[in English\]](#).

9. Tarasov, V. V. (2005). Flora Dnipropetrovskoi ta Zaporizkoi oblasti. Sudynni ros-lyny. Biolohe-ekolohichna kharakterystyka vydiv [Flora of Dnipropetrovsk and Zaporizhia regions. Vascular plants. Biological and ecological characteristics of species]. D.: Vyd-vo DNU. 276 s. [[in Ukrainian](#)].

10. [Dendroflora Ukrainy. Dykorosli y kultyvovani dereva i kushchi. Pokrytonasinni. Chastyna II \[Dendroflora of Ukraine. Wild and cultivated trees and shrubs. Angiosperms. Part II\]. \(2005\) / Kokhno, M. A., Trofymenko, N. M., Parkhomenko, L. I. ta in. Kyiv: Fitosotsiotsentr. 2005. 716 s. \[in Ukrainian\]](#).

11. [Fedorovskiy, V.D., Mazur, A.Iu. \(2007\). Derevni roslyny Kryvorizkoho botanichnoho sadu. Pidsumky introduktsii \(za 25 rokiv\) \[Woody plants of the Kryvyi Rih Botanical Garden. Results of introduction \(over 25 years\)\]. Dnipropetrovsk. 256 s. \[in Ukrainian\]](#).

12. [Kolektsiia roslyn botanichnoho sadu Dniprovskoho natsionalnoho universytetu \[Plant collection of the botanical garden of Dnipro National University\]. \(2008\) / O. F. Opanasenko, I. O. Zaitseva, A. M. Kabar ta in. Dnipropetrovsk: RVV DNU. 224 s. \[in Ukrainian\]](#).

13. [Fiziolohiia roslyn: Praktykum \[Plant Physiology: Practical Course\]. \(1995\) / O. V. Braion, V. H. Chykalenko, P. S. Slanyi ta in.; Za red. M. M. Musiiienka. Kyiv: Vyshcha shkola. 1995. 191 s. \[in Ukrainian\]](#).

14. [Horb, A. S., Duk, N. M. \(2006\). Klimat Dnipropetrovskoi oblasti \[Climate of Dnipropetrovsk Region\]. Dnipropetrovsk: RVV DNU. 204 s. \[in Ukrainian\]](#).

15. [Zaitseva, I. O. \(2009\). Adaptatsiini mekhanizmy mezofitnykh vydiv rodu Syringa L. v umovakh posukhy \[Adaptation mechanisms of mesophytic species of the genus Syringa L. under drought conditions\]. Fiziolohiia roslyn: stan i perspektyvy rozvytku – Plant physiology: current status and prospects for development. K.: Lohos. T. 2. S. 342–347. \[in Ukrainian\]](#).

Zaitseva I.

Doctor of Biological Sciences, Professor,
Department of Plant Physiology and Introduction
Oles Honchar Dnipro National University
irinza.ldfr@gmail.com
orcid.org/0000-00015789-7240

Hudimov M.

Postgraduate student,
Department of Plant Physiology and Introduction
Oles Honchar Dnipro National University
ngudimov99@gmail.com
orcid.org/0009-0007-9744-7106

WATER STATUS OF INTRODUCED SPECIES OF THE GENUS *VIBURNUM* L. IN THE XEROTHERMAL CONDITIONS OF THE RIGHT-BANK STEPPE OF UKRAINE

*Expanding the species composition of trees and shrubs by introducing new species is practically the only way to optimize cultivated phytocenoses in the steppe zone. Under conditions of climate change, the combined effects of dehydration and overheating lead to significant disturbances in the metabolism and physiological functions of plants. In this regard, ecophysiological studies of plant resistance in the conditions of the introduction area are of particular importance. The aim of the study was to investigate the physiological characteristics of water exchange reactions in species of the genus *Viburnum* L. under the influence of stressful hydrothermal factors during the growing season in conditions of introduction into the steppe zone of Ukraine. The study was conducted on the basis of the dendrological collection of the Dnipro National University Botanical Garden during a prolonged severe drought during the growing season. The objects of the study were 12*

species of viburnum of different botanical and geographical origin. The data obtained indicate that the range of variation in the water deficit index is consistent with the characteristics of species resistance obtained from indicators of overall hydration. The results of the studies showed that the criteria for endurance are the ability to maintain a water balance without deficit in vegetative organs under the influence of dehydrating environmental factors. The studied species were differentiated into groups according to the indicators of total water content and water deficit in leaves: most resistant (V. trilobum, V. plicatum, V. x bodnantense), moderately resistant (V. opulus, V. lentago, V. prunifolium, V. farreri), less resistant (V. lantana, V. carlesii, V. fragrans, V x juddii, V. rhytidophyllum). Resistant species are promising for widespread cultivation in the conditions of the Right Bank steppe of Ukraine.

Key words: drought resistance, hydrothermal stress, viburnum species, water deficit, plant introduction.

**Стаття до редакції надійшла 01.12.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 19.12.2025 року**

ЗООЛОГІЯ

УДК 598.2:591.1:576.8

DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-4-17-26

Кравцова А. Ю.

аспірантка кафедри зоології

Харківського національного педагогічного університету імені Г.С. Сковороди

anastasiia.kravtsova@hnpu.edu.ua

orcid.org/0009-0002-2471-1862

Ликова І. О.

кандидат біологічних наук, доцент кафедри зоології

Харківського національного педагогічного університету імені Г.С. Сковороди

irlyk16@gmail.com

orcid.org/0000-0003-1347-2077

ОСОБЛИВОСТІ ЛЕЙКОЦИТАРНОЇ ФОРМУЛИ КРОВІ ТА ГЕТЕРОФІЛ-ЛІМФОЦИТАРНОГО ІНДЕКСУ У ПТАХІВ РЯДУ PASSERIFORMES ЗА УМОВ ПАРАЗИТАРНОЇ ІНВАЗІЇ

У статті представлено результати дослідження показників лейкоцитарної формули крові та гетерофіл-лімфоцитарного (Г/Л) індексу у птахів ряду Passeriformes з різним статусом паразитарної інвазії. Метою роботи було з'ясування особливостей імунологічної відповіді організму птахів за умов наявності гемопаразитів та оцінка показників лейкоцитарної формули крові та гетерофіл-лімфоцитарного індексу (Г/Л) як маркерів фізіологічного стану.

Матеріалом дослідження слугували мазки крові представників родин Turdidae, Emberizidae та Laniidae. Лейкоцитарну формулу визначали за стандартною методикою з підрахунком відсоткового вмісту гетерофілів, еозинофілів, моноцитів, лімфоцитів і базофілів, а також розрахунком Г/Л індексу.

У результаті дослідження встановлено, що наявність гемопаразитів супроводжується характерними змінами лейкоцитарної формули крові, зокрема підвищенням частки гетерофілів і зниженням вмісту лімфоцитів, що зумовлює зростання значень Г/Л індексу. Найбільш виражені зрушення зафіксовано у інвазованих птахів родин Turdidae, а саме: вид дрізд співочий (*Turdus philomelos* Brehm, 1831) – 0,95, дрізд чорний (*Turdus merula* Linnaeus, 1758) – 1,52 та родини Emberizidae, вид вівсянка звичайна (*Emberiza citrinella* Linnaeus, 1758) – 1,02, а максимальні значення Г/Л індексу виявили у сорокопуда тернового (*Lanius collurio* Linnaeus, 1758) – 1,67, що може свідчити про підвищений рівень фізіологічного стресу та напруження імунної системи.

Отримані результати підтверджують чутливість лейкоцитарної формули крові та Г/Л індексу до паразитарного навантаження і обґрунтовують доцільність їх використання як інформативних показників для оцінки фізіологічного та імунного стану диких птахів.

Ключові слова: лейкоцитарна формула, гетерофіл-лімфоцитарний індекс, горобцеподібні (Passeriformes), *Haemoproteus* spp., *Microfilaria*.

Вступ. Дослідження впливу гемопаразитарних інфекцій на фізіологічний стан і життєздатність птахів у природних умовах має важливе значення для розуміння механізмів їхньої адаптації до дії стресових факторів середовища. Гемопаразити, уражаючи клітини крові, здатні змінювати гомеостатичні процеси, впливати на метаболізм, імунну реактивність та поведінкові особливості птахів. Унаслідок цього інфекції можуть призводити до порушення енергетичного обміну, зниження репродуктивної активності, погіршення фізіологічного стану та, у тяжких випадках, до загибелі особин.

Серед найпоширеніших збудників гемопаразитозів у представників дикої орнітофауни переважають представники родів *Plasmodium*, *Haemoproteus*, *Leucocytozoon* та *Tyranosoma*. Попри багаторічну історію досліджень, рівень знань про їхній вплив на здоров'я птахів у природних популяціях залишається недостатнім, оскільки більшість інфекцій протікає у прихованій або субклінічній формі. Це ускладнює оцінку справжнього ступеня їхнього патогенетичного впливу на організм.

Клінічний ефект гемопаразитарних інфекцій є надзвичайно варіативним і залежить від низки чинників: виду паразита і його хазяїна, віку особини, ступеня інтенсивності інвазії, стану імунної системи та параметрів навколишнього середовища. Зокрема, зараження, спричинені *Haemoproteus spp.*, найчастіше проявляються у зниженні рівня гематокриту, зменшенні маси тіла, порушенні функцій життєво важливих органів, а в окремих випадках можуть призводити до летальних наслідків. Коінфекції, тобто одночасне зараження кількома видами паразитів, нерідко чинять синергетичний ефект, що посилює патологічні зміни та погіршує загальний фізіологічний стан птахів [1].

Значну роль у поширенні гемоспоридій відіграє не лише наявність паразита у кровотоці, але й фізіологічна життєздатність його гаметоцитів, що визначає ефективність передачі через переносників [16]. Регіональні дослідження свідчать про переважання окремих родів паразитів залежно від біогеографічної зони. Так, у Мексиканському біосферному заповіднику найпоширенішим виявився рід *Haemoproteus* [6].

У країнах Південно-Східної Європи подібні тенденції також підтверджено. Зокрема, у Сербії дослідження популяцій сорокопуда тернового (*Lanius collurio* L.) показало, що найвищу частоту інфікування мав *Haemoproteus lanii* (66,7%) [15]. Додаткові спостереження засвідчили, що інфекція цим паразитом негативно впливає на початок репродуктивного періоду самиць, що знижує їхню загальну репродуктивну успішність [18].

Застосування протималярійних препаратів показало перспективність у зменшенні паразитарного навантаження та покращенні виживаності птахів. Зокрема, експериментальні дослідження самиць синиці блакитної (*Cyanistes caeruleus* L.) продемонстрували, що лікування протималярійним засобом спричинило істотне зниження кількості *Haemoproteus* у крові та майже подвоїло виживаність особин до наступного сезону розмноження [9].

Водночас результати дослідження впливу мікрофілярій на представників ряду Горобцеподібні (*Passeriformes*) на Галапагоських островах показали відсутність суттєвого зв'язку між інфікованістю та загальними показниками фізіологічного стану, зокрема індексом вгодованості, співвідношенням гетерофілів до лімфоцитів (Г/Л) та загальною кількістю лейкоцитів [10].

Гетерофіл-лімфоцитарний індекс (Г/Л) є одним із найбільш показових гематологічних маркерів стресу у птахів. Він відображає реакцію організму на стресові стимули, у тому числі на інфекційне навантаження. Згідно з референтними значеннями, показник Г/Л у межах 0,20-0,30 свідчить про низький рівень стресу, 0,40-0,50 – про оптимальний рівень, а значення $\geq 0,80$ вказує на високий ступінь фізіологічного напруження [11].

Результати численних досліджень свідчать, що гемопаразитарні інфекції є важливим екологічним і фізіологічним чинником, який впливає на стан крові, обмін речовин, репродуктивну активність та виживаність птахів у природних популяціях.

Мета дослідження. Визначити та проаналізувати показники лейкоцитарної формули крові та гетерофіл-лімфоцитарного індексу (Г/Л) горобцеподібних птахів у інвазованих та неінвазованих особин одного виду.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження проводили у червні 2025 року на території Кіровоградської області, Кіровоградського району, села Українка. Матеріалом для роботи слугували мазки крові, отримані у польових умовах від 32 особин горобцеподібних птахів (Passeriformes), що належали до 6 видів і 5 родин. Видовий склад досліджуваної вибірки включав: синицю велику (*Parus major* Linnaeus, 1758) – 5 особин, дрозда співочого (*Turdus philomelos* Brehm, 1831) – 5 особин, дрозда чорного (*Turdus merula* Linnaeus, 1758) – 8 особин, вівсянку звичайну (*Emberiza citrinella* Linnaeus, 1758) – 4 особини, зяблика звичайного (*Fringilla coelebs* Linnaeus, 1758) – 3 особини та сорокопуда тернового (*Lanius collurio* Linnaeus, 1758) – 7 особин.

Відлов птахів здійснювали з використанням орнітологічних павутинних сіток. Забір крові проводили з підкрилової вени, після чого виготовляли мазки на чистих знежирених предметних скельцях відповідно до загальноприйнятих методик [2]. Отримані мазки висушували на повітрі до повного висихання та фіксували метанолом [14].

Фарбування препаратів виконували експрес-методом із застосуванням набору Leukodiff 200 (LDF 200) згідно з інструкцією виробника. Підрахунок лейкоцитарної формули здійснювали за допомогою світлового мікроскопа «Optica» шляхом аналізу 100 клітин із визначенням їх відсоткового співвідношення. Додатково розраховували гетерофіл-лімфоцитарний індекс. Мікроскопію мазків проводили при збільшенні $\times 1000$; за відсутності гемопаразитів птахів відносили до неінвазованих, тоді як наявність паразитів слугувала підставою для класифікації особин як інвазованих.

Статистичну обробку результатів здійснювали з використанням програмного забезпечення Microsoft Office Excel 2016 із розрахунком середнього арифметичного значення (M), середньої арифметичної похибки та середнього квадратичного відхилення.

Усі етапи дослідження виконували з дотриманням норм біоетики відповідно до вимог «Конвенції про охорону дикої флори та фауни і природних середовищ існування в Європі» [8], «Європейської конвенції про захист хребетних тварин, які використовуються для дослідних та інших наукових цілей» [20], а також згідно із законодавством України: Законом України «Про тваринний світ» (ВВР, 2002, № 14, ст. 97), Законом України «Про захист тварин від жорстокого поводження» (ВВР, 2006, № 27, ст. 230) та Положенням про Комітет з питань етики (біоетики) Міністерства освіти і науки України (наказ № 1287 від 19.11.2012 р.).

Результати досліджень та їх обговорення. Аналіз отриманих мазків крові досліджуваних птахів показав, що частина птахів була інвазована такими гемопаразитами як *Haemoproteus spp.* (рис. 1) та *Microfilaria* (рис. 2). Зараженість різних видів *Passeriformes* зазначеними видами гемопаразитів варіювала у діапазоні від 20% (дрізд співочий) до 100% (сорокопуд терновий).

Серед досліджених 6 видів горобцеподібних птахів інвазованими гемопаразитами були 4 види. Так, серед досліджених представників дрозда співочого інфікованими *Haemoproteus spp.* та *Microfilaria* були 20% птахів. У дрозда чорного у 25% випадків зустрічався *Haemoproteus spp.*, тоді як 75% птахів були неінфіковані. У вівсянки звичайної зараження *Haemoproteus spp.* склало 25%, а 75% птахів були неінвазовані. З 7 досліджених сорокопудів тернових, усі семеро виявилися інфікованими, що становило 100% зараження *Haemoproteus spp.* та 14,28% зараження *Microfilaria*. Усі інфіковані птахи були дорослими. Серед двох досліджених видів: синиця велика (*Parus major* Linnaeus, 1758) і зяблик звичайний (*Fringilla coelebs* Linnaeus, 1758) інвазованих видів не спостерігали.

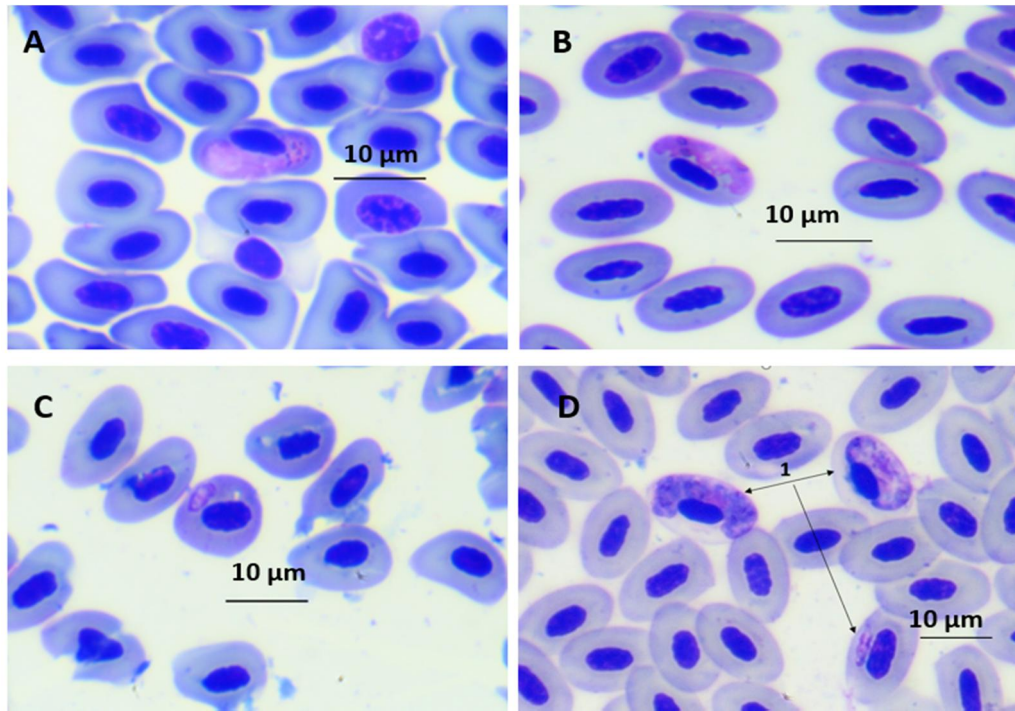


Рис. 1. *Haemoproteus* spp. в еритроцитах різних представників *Passeriformes*. А – дрізд співочий (*Turdus philomelos* Brehm, 1831), В – дрізд чорний (*Turdus merula* Linnaeus, 1758), С – вівсянка звичайна (*Emberiza citrinella* Linnaeus, 1758), D – сорокопуд терновий (*Lanius collurio* Linnaeus, 1758). 1 – Гемопроотеус. Гістопрепарат (Лейкодиф 200, x1000)

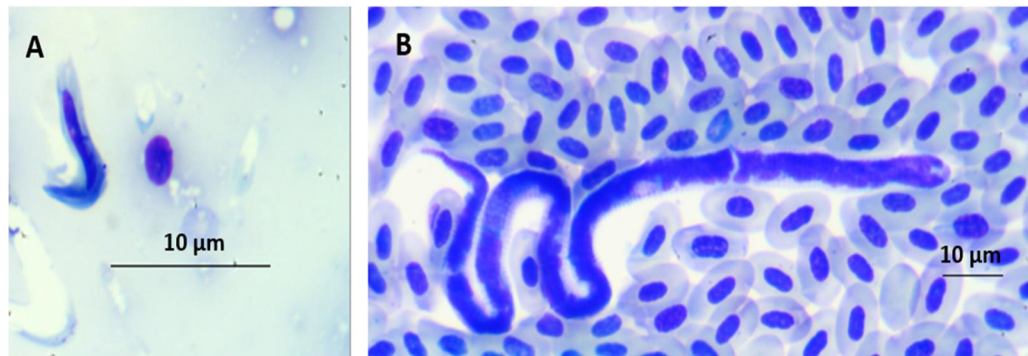


Рис. 2. *Microfilaria* в мазках крові різних представників *Passeriformes*. А – дрізд співочий (*Turdus philomelos* Brehm, 1831), В – сорокопуд терновий (*Lanius collurio* Linnaeus, 1758). Гістопрепарат (Лейкодиф 200, x1000)

Паразитарні інвазії є одним із ключових біотичних чинників, що здатні істотно впливати на фізіологічний стан та імунну систему диких птахів. Відповідь організму на паразитарне навантаження часто супроводжується змінами у клітинному складі крові, зокрема у співвідношенні основних лейкоцитарних популяцій. У цьому контексті аналіз лейкоцитарної формули та гетерофіл-лімфоцитарного індексу (Г/Л) розглядається як інформативний підхід до оцінки напруженості імунної відповіді та рівня фізіологічного стресу у птахів. Саме тому, нами було проведене порівняльне вивчення гематологічних показників у інвазованих і неінвазованих особин, яке дозволяє глибше зрозуміти характер імунних реакцій у відповідь на паразитарну інфекцію та оцінити їхній вплив на загальний стан організму птахів.

У таблиці 1 наведено показники лейкоцитарної формули крові та значення гетерофіл-лімфоцитарного (Г/Л) індексу у птахів ряду *Passeriformes* з різним статусом зараженості паразитами. Отримані дані свідчать про наявність суттєвих відмінностей між інвазованими та неінвазованими особинами.

У птахів родини *Turdidae* (дрізд співочий та дрізд чорний) за наявності паразитів спостерігається підвищення частки гетерофілів та зниження кількості лімфоцитів порівняно з неінвазованими птахами, що відображається у зростанні значень Г/Л індексу. Зокрема, у дрозда співочого Г/Л індекс становив 0,95, а у дрозда чорного інвазовані особини характеризувалися підвищеним середнім значенням Г/Л індексу 1,52, тоді як у неінвазованих птахів цей показник становив 0,50 (табл. 1).

Аналогічна тенденція виявлена у вівсянки звичайної, де за наявності паразитів зафіксовано зменшення частки лімфоцитів та відповідне підвищення Г/Л індексу (1,02 проти 0,49 у неінвазованих особин). Такі зміни можуть свідчити про активацію неспецифічної імунної відповіді організму у відповідь на паразитарну інвазію.

Найвищі значення Г/Л індексу відмічено у сорокопуда тернового – 1,67 у якого всі досліджені птахи були інвазованими гемопаразитами (табл. 1). Це може вказувати на виражений фізіологічний стрес та напруження імунної системи, що узгоджується з сучасними уявленнями про діагностичну роль Г/Л індексу як інтегрального показника стресового навантаження у птахів.

Таблиця 1

Показники лейкоцитарної формули крові та Г/Л індексу у інвазованих і неінвазованих птахів ряду горобцеподібні (*Passeriformes*)

Родина	Вид	z	Наявність паразитів	Г (%)	Е (%)	М (%)	Л (%)	Б (%)	Г/Л індекс
<i>Turdidae</i>	<i>Turdus philomelos</i>	5	+ n=1	47	1	3	49	0	0,95
			- n=4	31,75±1,49	1,25±0,75	2,5±0,64	63,75±1,93	0,75±0,47	0,50
	<i>Turdus merula</i>	8	+ n=2	55,5±11,5	1,5±1,5	1,5±0,5	39±7	2,5±2,5	1,52
			- n=6	28,83±3,82	1±0,51	6,66±1,30	63±4,51	0,5±0,34	0,50
<i>Emberizidae</i>	<i>Emberiza citrinella</i>	4	+ n=1	46	2	7	45	0	1,02
			- n=3	30,33±3,48	1,66±0,66	3±0,57	62,66±4,25	2,33±0,88	0,49
<i>Laniidae</i>	<i>Lanius collurio</i>	7	+ n=7	43,14±7,56	0,71±0,42	7,14±1,01	48,57±7,19	0,42±0,29	1,67

*Примітка: «+» (позитивний), «-» (негативний) результат. Г- гетерофіли. Е – еозинофіли. М - моноцити. Л - лімфоцити. Б - базофіли. Г/Л індекс - гетерофіл-лімфоцитарний індекс

Таким чином, отримані результати підтверджують чутливість лейкоцитарної формули крові та Г/Л індексу до паразитарного навантаження та можуть бути використані як інформативні маркери фізіологічного стану птахів ряду *Passeriformes*.

Отримані результати узгоджуються з даними про те, що хронічні інфекції, спричинені гемопаразитами, зазвичай не мають вираженого негативного впливу на фізичний стан, жирові запаси чи рівень фізіологічного стресу у мігруючих птахів. Основним зафіксованим ефектом є зміни гематологічних показників, зокрема підвищення загальної кількості лейкоцитів, що свідчить про імунну відповідь, вираженість якої є видоспецифічною [3]. Відсутність компромісу між імунною функцією та накопиченням енергетичних резервів вказує на здатність птахів підтримувати обидва процеси навіть за умов енергетично затратної міграції.

Подібні висновки отримано у дослідженнях передміграційного періоду, де показано, що навіть за високої поширеності кров'яних паразитів не відбувається істотного посилення стресової відповіді на гострі стресори. Це підтверджує припущення про доброякісний характер більшості хронічних, низькоінтенсивних інфекцій та високий рівень адаптації птахів до них [4].

Водночас у літературі наявні й протилежні результати, які свідчать про патогенний вплив гемопаразитів. Зокрема, описано зниження індексу маси тіла, концентрації плазмових білків і гемоглобіну, а також активацію імунної відповіді, підвищення рівня стресу та антиоксидантного захисту [12]. Такі розбіжності можуть бути зумовлені інтенсивністю інвазії, екологічними умовами та фізіологічним станом популяцій.

Важливу роль у оцінці стану здоров'я птахів відіграють гематологічні та біохімічні показники. Найбільш інформативними для екологічних досліджень вважаються вміст альбуміну та загального білка плазми, залишкова маса тіла, а також співвідношення гетерофілів до лімфоцитів (Г/Л), які характеризуються низькою похибкою вимірювань. На ці показники істотно впливають стать, добова активність та середовище існування, зокрема відмінності між міськими та сільськими популяціями [13].

Фізіологічний стрес може посилюватися й за рахунок підвищених репродуктивних витрат. Експериментальні дані свідчать, що збільшення навантаження під час вигодовування потомства призводить до імуносупресії, змін лейкоцитарної формули та зниження маси тіла, причому ці ефекти більш виражені у сільських популяціях порівняно з міськими [7]. Це підтверджує, що гематологічні індикатори є надійнішими маркерами стресу, ніж рівень паразитемії.

Поширеність та таксономічний склад гемопаразитів також суттєво залежать від екологічних умов. Для горобцеподібних домінуючими є *Haemoproteus spp.* та *Leucocytozoon spp.*, тоді як відсутність *Plasmodium* може бути пов'язана з обмеженням ареалу переносників у високогірних регіонах [17]. Аналогічно, у свійської птиці поширеність гемопаразитів варіює залежно від породи, віку, статі, сезону та системи утримання, що підтверджує діагностичну цінність гематологічних і біохімічних профілів [5].

Загалом, інфікування гемопаразитами супроводжується характерними змінами лейкоцитарної формули – підвищенням частки гетерофілів, зниженням частки лімфоцитів та зростанням співвідношення Г/Л, що є універсальним показником фізіологічного стресу та активації імунної відповіді [19]. Це підкреслює доцільність використання комплексного підходу до оцінки впливу паразитарних інфекцій з урахуванням екологічного та фізіологічного контексту.

Висновки. У результаті проведеного дослідження встановлено, що гемопаразитарна інвазія істотно впливає на показники лейкоцитарної формули крові та гетерофіл-лімфоцитарний індекс у птахів ряду Passeriformes. У інвазованих особин різних родин (*Turdidae*, *Emberizidae*, *Laniidae*) виявлено характерні зрушення у співвідношенні основних форм лейкоцитів, зокрема підвищення частки гетерофілів та зниження вмісту лімфоцитів, що зумовлює зростання гетерофіл-лімфоцитарного (Г/Л) індексу.

Найбільш виражені зміни показників лейкоцитарної формули зафіксовано у птахів із позитивним результатом на наявність паразитів, що свідчить про активацію неспецифічної імунної відповіді та підвищений рівень фізіологічного стресу. Високі значення Г/Л індексу, особливо у сорокопуда тернового, підтверджують інформативність цього показника як інтегрального маркера стресового навантаження та імунного стану організму.

Отримані результати підтверджують доцільність і наукову обґрунтованість використання показників лейкоцитарної формули крові та гетерофіл-лімфоцитарного індексу для оцінки фізіологічного стану диких птахів і впливу паразитарних чинників у природних популяціях. Проведене дослідження розширює сучасні уявлення про особливості імунної відповіді птахів ряду Passeriformes та може слугувати методологічною основою для подальших екологічних, орнітологічних і паразитологічних досліджень, спрямованих на біомоніторинг стану популяцій у різних екосистемах.

Література

1. Alvarado-Piqueras A., Gómez-Muñoz M. T., Martín-Maldonado B. Hemoparasites in Wild Birds: A Systematic Review of Their Ecology and Clinical Implications. *Animals*. 2025. Vol. 15, no. 17. P. 1–28. <https://doi.org/10.3390/ani15172570>
2. Campbell T. W., Grant K. R. Exotic Animal Hematology and Cytology. 5th ed. 2022. 696 p. <https://doi.org/10.1002/9781119660293>.
3. Cornelius E. A., Davis A. K., Altizer S. A. How Important Are Hemoparasites to Migratory Songbirds? Evaluating Physiological Measures and Infection Status in Three Neotropical Migrants during Stopover. *Physiological and Biochemical Zoology*. 2014. Vol. 87, no. 5. P. 719–728. <https://doi.org/10.1086/677541>
4. Dimitrov D., Marinov M. P., Bobeva A., Ilieva M., Bedev K., Atanasov T., Zehtindjiev P. Haemosporidian parasites and leukocyte profiles of pre-migratory rosy starlings (*Pastor roseus*) brought into captivity. *Animal Migration*. 2019. Vol. 6, no. 1. P. 41–48. <https://doi.org/10.1515/ami-2019-0005>
5. Diop D., Jarikre T., Oni O., Nwufoh O., Adediran, O. Haemogram and blood cell morphological changes in haemoparasitic infection of poultry birds. *Journal of Research in Veterinary Sciences*. 2024. Vol. 4, no. 2. P. 25–34. <https://doi.org/10.5455/jrvs.20240606041839>
6. González-Olvera M., Hernández-Colina A., Santiago-Alarcon D., Osorio-Beristain M., Martínez-Maya J. J. Blood-parasites (Haemosporida) of wild birds captured at different land uses within a tropical seasonal dry forest matrix. *ACTA ZOOLOGICA MEXICANA*. 2022. Vol. 38. P. 1–22. ISSN 2448-8445. <https://doi.org/10.21829/azm.2022.3812425>
7. Hõrak P., Ots, I., & Murumägi, A. Haematological health state indices of reproducing Great Tits: a response to brood size manipulation. *Functional Ecology*. 1998. Vol. 12, no. 5. P. 750–756. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.1998.00244.x>
8. Конвенція про охорону дикої флори та фауни і природних середовищ існування в Європі., № 104. Берн. 1979. С. 1–50. <https://rm.coe.int/16802efd67>.
9. la Puente J.M, Merino S., Tomás G., et al. The blood parasite *Haemoproteus* reduces survival in a wild bird: a medication experiment. *Biol Lett*. 2010. Vol. 6, no. 5. P. 663-665. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2010.0046>
10. Loyola D.C., Placko A., Fessl B., McNew, S. M. Novel microfilariae detected in Galapagos passerines. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*. 2025. Vol. 28. P. 101115. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2025.101115>
11. Maxwell M. H., Robertson G. W. The avian heterophil leucocyte: a review. *World's Poultry Science Journal*. 1998. Vol. 54, no. 2. P. 155–178. <https://doi.org/10.1079/wps19980012>
12. Norte A. C., Araújo P. M., Sampaio H. L., Sousa J. P., Ramos J. A. Haematzoa infections in a Great Tit *Parus major* population in Central Portugal: relationships with breeding effort and health. *Ibis*. 2009. Vol. 151, no. 4. P. 677–688. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919x.2009.00960.x>
13. Ots I., Murumägi A., Hõrak P. Haematological health state indices of reproducing Great Tits: methodology and sources of natural variation. *Functional Ecology*. 1998. Vol. 12, no. 4. P. 700–707. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.1998.00219.x>
14. Owen J. Collecting, processing, and storing avian blood: a review. *Journal of Field Ornithology*. 2011. Vol. 82, no. 4. P. 339–354. <https://doi.org/10.1111/j.1557-9263.2011.00338.x>
15. Stanković D., Rakovic M. Temporal and geographical distribution of the blood parasites in the Red-backed Shrike *Lanius collurio* in Serbia. 2022. https://www.researchgate.net/publication/383063111_Temporal_and_geographical_distribution_of_the_blood_parasites_in_the_Red-backed_Shrike_Lanius_collurio_in_Serbia
16. Valkiūnas, G., Iezhova, T.A., Palinauskas, V. The evidence for rapid gametocyte viability changes in the course of parasitemia in *Haemoproteus* parasites. *Parasitology Research* 114. 2015. P. 2903–2909. <https://doi.org/10.1007/s00436-015-4491-2>
17. Villalva-Pasillas D., Medina J. P., Soriano-Vargas E., Martínez-Hernández D. A., García-Conejo M., Galindo-Sánchez K. P., Sánchez-Jasso J. M., Talavera-Rojas M., Salgado-Miranda C. Haemoparasites in endemic and non-endemic passerine birds from central Mexico highlands. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*. 2020. Vol. 11. P. 88–92. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2019.12.007>

18. Votypka J., Tryjanowski P., Simek J. Blood parasites, reproduction and sexual selection in the red-backed shrike (*Lanius collurio*). *Annales Zoologici Fennici*. 2003. T. 40, Vol. 5. P. 431–439. ISSN 0003-455. https://www.researchgate.net/publication/252059546_Blood_parasites_reproduction_and_sexual_selection_in_the_red-backed_shrike_Lanius_collurio.
19. Wojczulanis-Jakubas K., Jakubas D., Czujkowska A., Kulaszewicz I., Kruszewicz A. G. Blood Parasite Infestation and the Leukocyte Profiles in Adult and Immature Reed Warblers (*Acrocephalus scirpaceus*) and Sedge Warblers (*Acrocephalus schoenobaenus*) During Autumn Migration. *Annales Zoologici Fennici*. 2012. Vol. 49, no. 5-6. P. 341–349. <https://doi.org/10.5735/086.049.0507>
20. Європейська конвенція про захист хребетних тварин, що використовуються для дослідних та інших наукових цілей, № 123. Страсбург. 18.03.1986. С. 1-19. URL: <https://rm.coe.int/16802efd6f>

References

- Alvarado-Piqueras, A., Gómez-Muñoz, M. T., Martín-Maldonado, B. (2025). Hemoparasites in wild birds: A systematic review of their ecology and clinical implications. *Animals*, 15(17), 2570. <https://doi.org/10.3390/ani15172570> [in English].
- Campbell, T. W., & Grant, K. R. (2022). *Exotic Animal Hematology and Cytology*. Wiley & Sons, Incorporated, John. <https://doi.org/10.1002/9781119660293> [in English].
- Cornelius, E. A., Davis, A. K., & Altizer, S. A. (2014). How Important Are Hemoparasites to Migratory Songbirds? Evaluating Physiological Measures and Infection Status in Three Neotropical Migrants during Stopover. *Physiological and Biochemical Zoology*, 87(5), 719–728. <https://doi.org/10.1086/677541> [in English].
- Dimitrov, D., Marinov, M. P., Bobeva, A., Ilieva, M., Bedev, K., Atanasov, T., Zehindjiev, P. (2019). Haemosporidian parasites and leukocyte profiles of pre-migratory rosy starlings (*Pastor roseus*) brought into captivity. *Animal Migration*, 6(1), 41–48. <https://doi.org/10.1515/ami-2019-0005> [in English].
- Diop, D., Jarikre, T., Oni, O., Nwufoh, O., & Adediran, O. (2024). Haemogram and blood cell morphological changes in haemoparasitic infection of poultry birds. *Journal of Research in Veterinary Sciences*, 4(2), 25–34. <https://doi.org/10.5455/jrvs.20240606041839> [in English].
- González-Olvera, M., Hernández-Colina, A., Santiago-Alarcon, D., Osorio-Beristain, M., MartínezMaya, J. J. (2022). Blood-parasites (Haemosporida) of wild birds captured at different land uses within a tropical seasonal dry forest matrix. *Acta Zoológica Mexicana*, 38, 1–22. <https://doi.org/10.21829/azm.2022.3812425> [in English].
- Hõrak, P., Ots, I., & Murumägi, A. (1998). Haematological health state indices of reproducing Great Tits: a response to brood size manipulation. *Functional Ecology*, 12(5), 750–756. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.1998.00244.x> [in English].
- Konventsiiia pro okhoronu dykoi flory ta fauny i pryrodnykh seredovysch isnuvannia v Yevropi. (1979). № 104. Bern. S. 1–50. URL: <https://rm.coe.int/16802efd67>. [in Ukrainian].
- La Puente, J. M., Merino, S., Tomás, G. (2010). The blood parasite *Haemoproteus* reduces survival in a wild bird: A medication experiment. *Biological Letters*, 6(5), 663–665. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2010.0046> [in English].
- Loyola, D. C., Placko, A., Fessl, B., McNew, S. M. (2025). Novel microfilariae detected in Galapagos passerines. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 28, 101115. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2025.101115> [in English].
- Maxwell, M. H., Robertson, G. W. (1998). The avian heterophil leucocyte: A review. *World's Poultry Science Journal*, 54(2), 155–178. <https://doi.org/10.1079/wps19980012> [in English].
- Norte, A. C., Araújo, P. M., Sampaio, H. L., Sousa, J. P., & Ramos, J. A. (2009). Haematozoa infections in a Great Tit *Parus major* population in Central Portugal: relationships with breeding effort and health. *Ibis*, 151(4), 677–688. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919x.2009.00960.x> [in English].

13. Ots, I., MurumÄgi, A., & Hõrak, P. (1998). Haematological health state indices of reproducing Great Tits: methodology and sources of natural variation. *Functional Ecology*, 12(4), 700–707. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.1998.00219.x> [in English].
14. Owen, J. (2011). Collecting, processing, and storing avian blood: A review. *Journal of Field Ornithology*, 82(4), 339–354. <https://doi.org/10.1111/j.1557-9263.2011.00338.x> [in English].
15. Stanković, D., Rakovic, M. (2022). Temporal and geographical distribution of the blood parasites in the red-backed shrike *Lanius collurio* in Serbia. https://www.researchgate.net/publication/383063111_Temporal_and_geographical_distribution_of_the_blood_parasites_in_the_Red-backed_Shrike_Lanius_collurio_in_Serbia [in English].
16. Valkiūnas, G., Iezhova, T. A., Palinauskas, V. (2015). The evidence for rapid gametocyte viability changes in the course of parasitemia in *Haemoproteus* parasites. *Parasitology Research*, 114, 2903– 2909. <https://doi.org/10.1007/s00436-015-4491-2> [in English].
17. Villalva-Pasillas, D., Medina, J. P., Soriano-Vargas, E., Martínez-Hernández, D. A., García-Conejo, M., Galindo-Sánchez, K. P., Sánchez-Jasso, J. M., Talavera-Rojas, M., & Salgado-Miranda, C. (2020). Haemoparasites in endemic and non-endemic passerine birds from central Mexico highlands. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 11, 88–92. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2019.12.007> [in English].
18. Votyčka, J., Tryjanowski, P., Simek, J. (2003). Blood parasites, reproduction and sexual selection in the red-backed shrike (*Lanius collurio*). *Annales Zoologici Fennici*, 40(5), 431–439. https://www.researchgate.net/publication/252059546_Blood_parasites_reproduction_and_sexual_selection_in_the_red-backed_shrike_Lanius_collurio. [in English].
19. Wojczulanis-Jakubas, K., Jakubas, D., Czujkowska, A., Kulaszewicz, I., & Kruszewicz, A. G. (2012). Blood Parasite Infestation and the Leukocyte Profiles in Adult and Immature Reed Warblers (*Acrocephalus scirpaceus*) and Sedge Warblers (*Acrocephalus schoenobaenus*) During Autumn Migration. *Annales Zoologici Fennici*, 49(5), 341–349. <https://doi.org/10.5735/086.049.0507> [in English].
20. Yevropeiska konvetsiia pro zakhyst khrebetnykh tvaryn, shcho vykorystovuiutsia dlia doslidnykh ta inshykh naukovykh tsiliakh. (1986). № 123. Strasburh. S. 1–19. <https://rm.coe.int/16802efd6f> [in Ukrainian].

Kravtsova A.

PhD student, Department of Zoology
H. S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University
anastasiia.kravtsova@hnpu.edu.ua
orcid.org/0009-0002-2471-1862

Lykova I.

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Department of Zoology
H. S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University
irlyk16@gmail.com
orcid.org/0000-0003-1347-2077

FEATURES OF THE LEUKOCYTE FORMULA OF BLOOD AND THE HETEROPHIL-LYMPHOCYTE INDEX IN BIRDS OF THE ORDER PASSERIFORMES UNDER CONDITIONS OF PARASITIC INVASION

The article presents the results of a study of blood leukocyte formula indicators and the heterophil-lymphocyte (H/L) index in birds of the order Passeriformes with different statuses of parasitic invasion. The aim of the study was to determine the characteristics of the immunological response of birds in the presence of hemoparasites and to evaluate

blood leukocyte formula and heterophil-lymphocyte index (H/L) as markers of physiological status.

The study material consisted of blood smears from representatives of the families Turdidae, Emberizidae, and Laniidae. The leukocyte formula was determined using a standard method with a calculation of the percentage content of heterophils, eosinophils, monocytes, lymphocytes, and basophils, as well as a calculation of the H/L index.

The study found that the presence of hemoparasites is accompanied by characteristic changes in the blood leukocyte formula, in particular an increase in the proportion of heterophils and a decrease in the content of lymphocytes, which leads to an increase in the H/L index values. The most pronounced changes were recorded in invaded birds of the Turdidae family, namely: the song thrush (*Turdus philomelos* Brehm, 1831) – 0.95, the common blackbird (*Turdus merula* Linnaeus, 1758) – 1.52 and the Emberizidae family, yellowhammer (*Emberiza citrinella* Linnaeus, 1758) – 1.02 and the maximum values of the H/L index were found in the red-backed shrike (*Lanius collurio* Linnaeus, 1758) – 1.67, which may indicate an increased level of physiological stress and tension of the immune system.

The results confirm the sensitivity of the blood leukocyte formula and G/L index to parasitic load and justify their use as informative indicators for assessing the physiological and immune status of wild birds.

Key words: leukocyte formula, heterophil-lymphocyte index, Passeriformes, Haemoproteus spp., Microfilaria.

**Стаття до редакції надійшла 28.11.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 16.12.2025 року**

УДК [633.15:631.53.01]:[581.1:577.1]
DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-4-27-34

Богдан О. В.

аспірант кафедри біології
Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя
oleksandrbogdan840@gmail.com
orcid.org/0009-0008-1797-9522

Приплавко С. О.

кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри біології
Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя
ngubiolog@ukr.net
orsid.org/0000-0002-4326-6547

**ВПЛИВ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ КОМБІНАЦІЯМИ
МЕТАБОЛІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН НА ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ
ВРОЖАЙНОСТІ КУКУРУДЗИ**

Підвищення врожайності та біологічної продуктивності цукрової кукурудзи залишається одним із ключових завдань сучасного рослинництва. Перспективним напрямком вдосконалення агротехнологій є застосування біостимуляторів і метаболічно активних речовин, здатних посилювати фізіолого-біохімічні процеси, підвищувати стійкість рослин до стресових чинників та забезпечувати формування продуктивніших генеративних органів. При цьому особливу увагу приділяють мультикомпонентним комбінаціям речовин, які можуть підсилювати ключові показники продуктивності.

Польові дослідження впливу метаболічно активних речовин на формування елементів урожаю цукрової кукурудзи сорту Спокуса проводилися на території навчально-дослідної агробіостанції Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя. Перед висівом насіння обробляли розчинами сульфату магнію ($MgSO_4$), убіхінону-10, вітаміну Е, метіоніну та параоксibenзойної кислоти (ПОБК). Ефективність їх дії оцінювали в складі таких комбінацій: вітамін Е + убіхінон-10; вітамін Е + метіонін + ПОБК; вітамін Е + метіонін + ПОБК + $MgSO_4$. Визначення ефективності досліджуваних препаратів проведено за комплексом основних показників врожайності: кількість качанів зі 100 рослин, довжина озерненої частини качана (см), діаметр качана (мм), кількість рядів зерен, кількість зерен у ряду, кількість зерен у качані, маса зерен з одного качана (г), маса 1000 зерен (г).

Отримані результати досліджень свідчать, що всі комбінації метаболічно активних речовин позитивно впливали на показники врожайності порівняно з контролем, проте найвищу ефективність мала комбінація з вітаміну Е + метіонін + ПОБК + $MgSO_4$. Саме цей варіант забезпечив достовірне збільшення ключових показників продуктивності: кількість качанів підвищилася на 26,8 %, довжина озерненої частини – на 45,7 %, діаметр качана – на 26,3 %, кількість зерен у ряду – на 55,6 %, маса зерен з качана – на 29,4 %, а маса 1000 зерен – на 19,7 % порівняно з контролем.

Синергічна дія компонентів комбінації речовин забезпечила формування більшого врожаю, що пояснюється поєднанням антиоксидантного захисту (вітамін Е), стимуляції білкового та гормонального обміну (метіонін, ПОВК) та активації фотосинтетичних процесів ($MgSO_4$).

Проведені дослідження підтверджують перспективність використання багатокомпонентних метаболічно активних препаратів для підвищення продуктивності цукрової кукурудзи та створюють наукові передумови для вдосконалення технологій вирощування культури. Отримані дані можуть бути використані для агротехнологічних розробок, підвищення врожайності та адаптивності рослин у змінних кліматичних умовах.

Ключові слова: цукрова кукурудза, вітамін Е, метіонін, убіхінон-10, параоксисобензойна кислота, $MgSO_4$, структура качана, маса зерна, урожайність.

Вступ. Цукрова кукурудза (*Zea mays L. saccharata*) належить до високорентабельних овочевих культур, що вирізняється значним вмістом цукрів, каротиноїдів, вітамінів та біологічно активних сполук. Вона посідає важливе місце у структурі овочевого виробництва багатьох країн світу, а її попит постійно зростає завдяки використанню у свіжому вигляді, консервуванні та швидкому заморожуванню. В Україні площі під вирощуванням цукрової кукурудзи поступово збільшуються, однак рівень урожайності значною мірою залежить від агротехнічних факторів, зокрема якості насіннєвого матеріалу та оптимальної організації початкових етапів онтогенезу рослин [1-3].

Відомо, що проростання насіння та початковий ріст рослин кукурудзи є критично важливими фазами, які визначають подальший розвиток культури та формування її продуктивності. Різноманітні несприятливі умови, такі як коливання температури, недостатнє зволоження ґрунту, низька біологічна активність насіння або наявність інгібуючих чинників, можуть призводити до зниження енергії проростання, нерівномірних сходів та затримки ростових процесів. Одним із найефективніших методів мінімізації таких ризиків та покращення стартового розвитку рослин є передпосівна обробка насіння фізіологічно активними речовинами різного походження [2-4].

Метаболічно активні речовини дедалі частіше застосовуються в сучасному рослинництві. Їх здатність регулювати фізіолого-біохімічні процеси рослин, активізувати обмін речовин, підсилювати стійкість до абіотичних і біотичних стресів та стимулювати ростові реакції робить ці препарати перспективними у технологіях вирощування багатьох культур, зокрема і кукурудзи. Однак значна кількість різних за природою та механізмами дії препаратів зумовлює необхідність поглиблених досліджень щодо їх ефективності, взаємодії та можливого синергетичного впливу у складі комбінованих сполук [1, 3].

Кожна група метаболічно активних речовин має специфічний механізм дії на рослинний організм. Наприклад, амінокислоти є важливими компонентами білкового синтезу та беруть участь у регуляції клітинного метаболізму; фітогормони регулюють процеси росту, ділення та диференціації клітин; гумінові речовини стимулюють ферментативну активність, підвищують здатність рослин до засвоєння мінеральних елементів; антиоксиданти знижують прояв оксидативного стресу; мікроелементи відіграють ключову роль у функціонуванні ферментних систем. Використання цих речовин у складі комбінацій може створювати комплексний вплив, спрямований на посилення фізіологічної активності речовин насіння та формування потенціалу росту і продуктивності майбутніх рослин [2, 5].

Попри численні дослідження щодо застосування окремих стимуляторів росту, питання оптимального підбору та поєднання метаболічно активних речовин для передпосівної обробки насіння цукрової кукурудзи потребує подальшого вивчення. Досі обмеженою є кількість робіт, присвячених дослідженню саме комбінованих

препаратів, що поєднують кілька груп речовин, здатних забезпечити комплексний вплив на насіння та рослини. Актуальність вивчення таких комбінацій зумовлена тим, що багатокomпонентні композиції можуть мати більш виражений вплив порівняно з використанням окремих речовин, зумовлюючи підвищення енергії проростання, схожості насіння, активацію росту кореневої системи, посилення фотосинтетичної діяльності та інтенсифікацію процесів накопичення органічної маси [1-6].

Крім того, реакція рослин на обробку насіння залежить від низки факторів: індивідуальних особливостей гібриду, ґрунтово-кліматичних умов вирощування, дозування препаратів, технологічних параметрів їх застосування та взаємодії з іншими елементами технології вирощування. Тому комплексні дослідження, що враховують ці чинники, є необхідними для формування науково обґрунтованих рекомендацій щодо підвищення продуктивності та поліпшення технології вирощування цукрової кукурудзи [1, 2].

У сучасних умовах зміни клімату та зростання частоти стресових явищ особливої уваги набуває питання оптимізації стартових умов розвитку рослин. Використання метаболічно активних речовин у передпосівній обробці насіння розглядається як доступний та ефективний засіб підвищення адаптивності та реалізації генетичного потенціалу врожайності сорту або гібриду. Посилення фізіологічної активності рослин на ранніх етапах розвитку може забезпечити краще укорінення, швидше проходження критичних фаз, підвищення стійкості до водного дефіциту, високих температур та інших стресових факторів, що особливо важливо для цукрової кукурудзи як теплолюбної культури [2, 5].

Метою даної роботи є оцінка впливу передпосівної обробки насіння цукрової кукурудзи комбінаціями метаболічно активних речовин на основні показники врожайності культури.

Досягнення поставленої мети дозволило отримати результати досліджень, які можуть стати науковою основою для вдосконалення існуючих агротехнологій, підвищення ефективності використання біостимуляторів та забезпечення більш стабільно високих урожаїв у різних ґрунтово-кліматичних умовах.

Методологія дослідження. Дослідження проводили у вересні 2025 році на території навчально-дослідної агробіостанції Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя (Чернігівська область, Україна). Об'єктом дослідження були процеси росту рослин, які сприяли формуванню основних показників врожайності. Предмет дослідження – рослини цукрової кукурудзи (*Zea mays L. saccharata*) сорту Спокуса.

Перед висівом проводили передпосівну обробку насіння комбінаціями метаболічно активних речовин: вітаміном Е, убіхіноном-10, метіоніном, параоксибензойною кислотою (ПОБК) та сульфатом магнію ($MgSO_4$). До схеми дослідження було включено такі варіанти:

1. Вітамін Е + убіхінон-10
2. Вітамін Е + метіонін + ПОБК
3. Вітамін Е + метіонін + ПОБК + $MgSO_4$

Контрольним варіантом було насіння, оброблене дистильованою водою. Для порівняльної оцінки ефективності комбінацій метаболічно активних речовин у дослід включали препарат Вимпел-2 – регулятор росту природно-синтетичного походження з контактено-системним механізмом дії. Препарат характеризується здатністю посилювати інтенсивність фотосинтезу, регулювати процеси транспірації, оптимізувати поглинання мінеральних елементів, активізувати розвиток кореневої системи та стимулювати проростання насіння. Він містить багатоатомні спирти, карбонові та гумінові кислоти й широко застосовується для передпосівної обробки насіння овочевих культур, соняшнику та зернових. Робочий розчин готували відповідно до рекомендацій виробника: 10 мл препарату розчиняли у 0,5 л води, після чого насіння витримували в розчині протягом 2 годин [6, 7].

Передпосівну обробку комбінаціями метаболічно активних речовин здійснювали шляхом замочування насіння у водних розчинах за температури 20 ± 2 °C протягом 2 годин. Після завершення обробки насіння висівали на дослідних ділянках. Мінеральні добрива та зрошення не застосовували, що дозволяло оцінити саме фізіологічний ефект передпосівної обробки на ріст та продуктивність рослин [8, 9].

Площа облікової ділянки становила 115 м². Оцінювання впливу метаболічно активних речовин на структуру врожаю здійснювали за такими показниками продуктивності:

- середня кількість качанів зі 100 рослин;
- середня довжина озерненої частини качана, см;
- середній діаметр качана, мм;
- середня кількість рядів зерен;
- середня кількість зерен у ряду;
- середня загальна кількість зерен у качані;
- середня маса зерен із качана, г;
- маса 1000 зерен, г.

Досліджувані показники отримували із триразової повторності дослідів. Після проведення збору врожаю, вимірювань і обрахунків вказаних показників всі отримані дані піддавали статистичному аналізу. Обробку результатів здійснювали методами математичної статистики з визначенням достовірності різниць між варіантами на рівні $p < 0,05$ [9].

Результати досліджень та їх обговорення. Для оцінки ефективності комбінацій метаболічно активних речовин було проаналізовано основні показники структури врожаю цукрової кукурудзи сорту Спокуса. Узагальнені результати наведено в таблиці 1.

Отримані дані дозволяють встановити відмінності між варіантами та визначити найбільш ефективні препарати щодо формування продуктивності рослин.

Таблиця 1

Вплив комбінацій метаболічно активних речовин на основні показники врожайності цукрової кукурудзи сорту Спокуса

Варіант	Контроль	Віт. Е + убіхінон-10	Віт. Е + метіонін + ПОБК	Віт. Е + метіонін + ПОБК + MgSO ₄	Вимпел-2
Показник					
1	2	3	4	5	6
Кількість качанів із 100 рослин, шт.	56 ± 1,8	60 ± 2,0	68 ± 2,3*	71 ± 2,5*	63 ± 2,1*
Довжина озерненої частини качана, см	12,7 ± 0,7	14,8 ± 0,8*	16,2 ± 0,9*	18,5 ± 1,0*	14,2 ± 0,7*
Діаметр качана, мм	38 ± 1,2	43 ± 1,4*	39 ± 1,3	48 ± 1,6*	42 ± 1,4*

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6
Кількість рядів у качані, шт.	12 ± 0,5	12 ± 0,5	12 ± 0,5	14 ± 0,6*	14 ± 0,6*
Кількість зерен у ряді, шт.	27 ± 1,1	31 ± 1,2*	37 ± 1,4*	42 ± 1,5*	29 ± 1,2
Кількість зерен у качані, шт.	327 ± 12,3	324 ± 11,5	331 ± 12,0	371 ± 13,5*	345 ± 12,7
Маса зерен із качана, г	68 ± 3,4	65 ± 3,3	74 ± 3,7	88 ± 4,1*	74 ± 3,7
Маса 1000 зерен, г	198 ± 5,8	203 ± 6,0	223 ± 6,2*	237 ± 7,0*	212 ± 6,1*

Примітка: * – різниця достовірна порівняно з контролем, $p < 0,05$

Застосування комбінацій метаболічно активних речовин для передпосівної обробки насіння цукрової кукурудзи сорту Спокуса сприяло істотному покращенню основних елементів структури врожаю порівняно з контролем. Всі досліджувані варіанти продемонстрували позитивний вплив на продуктивність культури, однак найбільшу ефективність відмічено за використання комбінації вітамін Е + метіонін + ПОВК + $MgSO_4$.

Кількість качанів зі 100 рослин у контрольному варіанті становила 56 шт. Обробка вітаміном Е у поєднанні з убіхіноном-10 забезпечила зростання цього показника до 60 шт., а включення метіоніну та ПОВК – до 68 шт. Найвищий результат отримано у варіанті з додаванням $MgSO_4$ – 71 шт., що на 26,8 % більше порівняно з контролем і достовірно відрізняється від нього. Препарат Вимпел забезпечив утворення 63 качанів на 100 рослин, що є вищим за контроль, однак нижчим порівняно з варіантами зі складними комбінаціями метаболічно активних речовин.

Значне підвищення продуктивності відмічено і щодо довжини озерненої частини качана. Якщо в контролі цей показник становив 12,7 см, то у варіантах з метаболічно активними речовинами він підвищувався у межах 14,8–18,5 см. Найбільш виражений ефект спостережено за поєднання вітаміну Е, метіоніну, ПОВК та $MgSO_4$, у якому значення цього показника на 45,7 % перевищувало значення контролю. Для Вимпел-2 довжина озерненої частини становила 14,2 см.

Діаметр качана також істотно змінювався залежно від варіанта обробки. У контролі він становив 38 мм, а за застосування вітаміну Е з убіхіноном-10 – 43 мм. Поєднання метіоніну й ПОВК зумовило помірне збільшення діаметра до 39 мм, тоді як варіант із додаванням $MgSO_4$ забезпечив максимальне значення – 48 мм, що достовірно перевищувало контроль. Препарат Вимпел-2 забезпечив збільшення діаметра до 42 мм.

Важливим елементом структури врожаю є кількість рядів зерен у качані. У контрольних рослин вона становила 12 рядів. У варіантах із метаболічно активними речовинами цей показник варіював у межах 12–14 рядів. Максимальні значення було відмічено у варіанті з $MgSO_4$ (14 рядів), що відповідає також рівню показника при застосуванні Вимпел-2.

Позитивна дія комбінацій метаболічно активних речовин спостерігалася також і щодо кількості зерен у ряду. У контролі вона становила 27 шт., тоді як у варіантах із метаболічно активними речовинами цей показник підвищувався до 31–42 шт.

Найвищі значення було отримано у варіанті з додаванням $MgSO_4$, де перевищення значень контролю було на 55,6 %. Препарат Вимпел-2 забезпечив формування 29 зерен у ряду.

Порівнюючи загальну кількість зерен у качані, слід зазначити, що обробка окремими комбінаціями мала помітну ефективність залежно від складу речовин. У варіантах з вітаміном Е та убіхіноном-10 кількість зерен майже не відрізнялася від контролю (324 проти 327 шт.). Додавання метіоніну й ПОБК забезпечило невелике збільшення показника до 331 шт. Найвищий результат було отримано при застосуванні поєднання вітаміну Е, метіоніну, ПОБК і $MgSO_4$ – 371 шт., що достовірно перевищувало значення отримані у контролі.

Маса зерен із качана у контролі становила 68 г. Обробка досліджуваними комбінаціями метаболічно активних речовин, таких як вітамін Е з метіоніном і ПОБК, а також з $MgSO_4$ забезпечували підвищення до 74 та 88 г відповідно, що істотно перевищувало контроль.

Позитивна тенденція спостерігалася і для показника маси 1000 зерен. Контрольний варіант мав значення цього показника на рівні 198 г, тоді як у варіантах з комбінаціями метаболічно активних речовин цей показник зростав до 203–237 г. Максимального значення було отримано у варіанті з $MgSO_4$.

Отримані результати показали, що передпосівна обробка насіння комбінаціями метаболічно активних речовин суттєво підвищує продуктивність цукрової кукурудзи. Найвищі показники врожайності спостерігалися у варіанті вітамін Е + метіонін + ПОБК + $MgSO_4$, що свідчить про ефективну синергічну дію компонентів комплексу. Відомо, що вітамін Е як антиоксидант підвищує стійкість клітин і сприяє розвитку кореневої системи, а убіхінон-10 впливає на синтез енергії, стимулюючи ріст клітин і формування більших качанів. Метіонін забезпечує синтез білків і фітогормонів, що підвищує кількість зерен у ряду та їх масу. ПОБК активізує поділ клітин і ріст генеративних органів. $MgSO_4$ приймає участь у процесах фотосинтезу, впливає на інтенсивність руху асимілянтів та налив зерна, що забезпечує максимальні розміри качанів та масу зерна [4, 6].

Висновок. Таким чином, включення $MgSO_4$ у комбінацію з вітаміном Е, метіоніном та ПОБК є найефективнішим заходом для підвищення врожайності цукрової кукурудзи сорту Спокуса, що підтверджується одночасним збільшенням кількості качанів, числа рядів і зерен у ряду, а також маси зерна. Це свідчить про важливу роль магнію та синергічну дію інших метаболічно активних компонентів у підвищенні продуктивного потенціалу культури.

Результати експериментальних досліджень відкривають можливості для практичного застосування та подальших наукових досліджень у сфері агрономії, біотехнологій та підвищення продуктивності сільськогосподарських культур. Подальші дослідження можуть зосереджуватися на вивченні впливу цих речовин на економічну ефективність технології, якості продукції та стійкості рослин до несприятливих умов вирощування.

Література

1. Петриченко В.Ф., Лихочвор В.В. Рослинництво. Нові технології вирощування польових культур : підручник. 5-те вид., виправ., доповн. Львів : НВФ «Українські технології», 2020. 806 с.
2. Troyer A.F. Background of U. S. hybrid corn: II. Breeding, climate, and food. *Crop Sci.* 2004. № 44 (2). P. 370–380.
3. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур : навч. посібник. Львів : Українські технології, 2006. 730 с.
4. Стратегічні напрями розвитку сільського господарства України на період до 2020 року / за ред. Ю.О. Лупенка, В.Я. Месель-Веселяка. Київ : ННЦ «ІАЕ», 2012. 182 с.

5. Кучменко О. Б. Біохімія вітамінів. Київ : Університет «Україна», 2012. 528 с.
6. Міщенко С. І., Шерстюк В. І., Завгородній В. А., Копилова І. О. Технологія вирощування кукурудзи з використанням стимуляторів росту. *Науковий вісник НУБіП України*. 2017. Вип. 278. С. 112–118.
7. Ласло О. О., Мельничук А. В. Ефективність застосування регулятора Вимпел-2 та комплексного мікродобрива у посівах сої. *Scientific Progress & Innovations*. 2021. № 4. С. 24–29.
8. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Опришко В. П., Костогряз П. В. Основи наукових досліджень в агрономії. Київ : Дія, 2005. 288 с.
9. Опрія А. Т. Статистичні методи аналізу урожаю й урожайності: особливості комплексного використання при концептуальному визначенні урожайності як економічної категорії. *Наукові праці Полтавської державної аграрної академії. Серія: Економічні науки*. 2011. Вип. 2, Т. 1. С. 181–193.

References

1. Petrychenko V.F., Lykhochvor V.V. Roslynnnytstvo. Novi tekhnolohii vyroshchuvannia polovykh kultur: pidruchnyk. 5-te vyd., vprav., dopovn. [Plant growing. New technologies for growing field crops : a textbook. 5th ed., corrections, additions]. Lviv : NVF «Ukrainski tekhnolohii», 2020. 806 s. [in Ukrainian].
2. Troyer A.F. Background of U. S. hybrid corn: II. Breeding, climate, and food. *Crop Sci*. 2004. № 44(2). P. 370-380.
3. Lykhochvor, V. V., & Petrychenko, V. F. (2006). *Roslynnnytstvo. Suchasni intensyvni tekhnolohii vyroshchuvannia osnovnykh poliovykh kultur* [Crop production. Modern intensive technologies for growing major field crops]. Lviv (Ukraine): Ukrainski Tekhnolohii. [in Ukrainian].
4. Stratehichni napriamy rozvytku silskoho hospodarstva Ukrainy na period do 2020 roku; za red. Yu.O. Lupenka, V.Ia. Mesel-Veseliaka [Strategic directions of agricultural development of Ukraine for the period until 2020]. K.: NNTs «IAE», 2012. 182 s. [in Ukrainian].
5. Kuchmenko, O. B. (2012). *Biokhimiia vitaminiv* [Biochemistry of vitamins]. Kyiv (Ukraine): Universytet "Ukraina". [in Ukrainian].
6. Mishchenko, S. I., Sherstyuk, V. I., Zavgorodniy, V. A., & Kopylova, I. O. (2017). Tekhnolohiia vyroshchuvannia kukurudzy z vykorystanniam stymulatoriv rostu [Technology of maize with growth stimulants application]. *Naukovyi Visnyk NUBiP Ukrainy*, 278, 112–118. [in Ukrainian].
7. Laslo, O. O., & Melnychuk, A. V. (2021). Efektyvnist zastosuvannia rehuliatora Vympel-2 ta kompleksnoho mikrodobryva u posivakh soi [Effectiveness of Vympel-2 and complex micronutrient fertilizer in soybean crops]. *Scientific Progress & Innovations*, 4, 24–29. [in Ukrainian].
8. Yeshchenko, V. O., Kopytko, P. H., Opryshko, V. P., & Kostohryz, P. V. (2005). *Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii* [Fundamentals of scientific research in agronomy]. Kyiv (Ukraine): Diia. [in Ukrainian].
9. Opria, A. T. (2011). Statystychni metody analizu urozhaiv i urozhaïnosti: osoblyvosti kompleksnoho vykorystannia pry kontseptualnomu vyznachenni urozhaïnosti yak ekonomichnoi katehorii [Statistical methods of yield and productivity analysis: features of complex application for conceptual definition of yield as an economic category]. *Naukovi Pratsi Poltavskoi Derzhavnoi Ahrarnoi Akademii. Seria: Ekonomichni Nauky*, 2(1), 181–193. [in Ukrainian].

Bogdan O.

Postgraduate Student, Department of Biology
Nizhyn Mykola Gogol State University
oleksandrbogdan840@gmail.com
orcid.org/0009-0008-1797-9522

Pryplavko S.

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Department of Biology
Nizhyn Mykola Gogol State University
ngubiolog@ukr.net
orsid.org/0000-0002-4326-6547

INFLUENCE OF PRE-SOWING SEED TREATMENT WITH COMBINATIONS OF METABOLICALLY ACTIVE SUBSTANCES ON THE MAIN INDICATORS OF CORN YIELD

Increasing the yield and biological productivity of sweet corn remains one of the key tasks of modern crop production. One of the promising areas of improving agricultural technologies is the use of biostimulants and metabolically active substances that can enhance physiological and biochemical processes, increase plant resistance to stress factors and ensure the formation of more productive generative organs. Special attention is paid to multicomponent combinations of substances, the action of which can manifest itself synergistically, enhancing key productivity indicators. Field studies of the influence of metabolically active substances on the formation of yield elements of sweet corn of the Spokusa variety were conducted on the territory of the educational and research agrobiostation of the Nizhyn Mykola Gogol State University. Before sowing, the seeds were treated with solutions of magnesium sulfate ($MgSO_4$), ubiquinone-10, vitamin E, methionine and paraoxybenzoic acid (PABA). The effectiveness of their action was evaluated in the following combinations: vitamin E + ubiquinone-10; vitamin E + methionine + POBA; vitamin E + methionine + POBA + $MgSO_4$. The effectiveness of the studied preparations was assessed using a set of main yield indicators: the number of ears from 100 plants, the length of the grainy part of the ear, cm, the diameter of the ear, mm, the number of rows of grains, the number of grains in a row, the number of grains in the ear, the weight of grains from one ear, g, the weight of 1000 grains, g. The results show that all the studied combinations of metabolically active substances had a positive effect on yield compared to the control, but the composition vitamin E + methionine + POBA + $MgSO_4$ showed the highest efficiency. It was this option that provided a significant increase in key productivity indicators: the number of ears increased by 26,8%, the length of the grain part by 45,7%, the diameter of the ear by 26,3%, the number of grains in a row by 55,6%, the weight of grains per ear by 29,4%, and the weight of 1000 grains by 19,7% compared to the control. The synergistic effect of the components of the complex ensured an improvement in growth processes and yield formation, which is explained by the combination of antioxidant protection (vitamin E), stimulation of protein and hormonal metabolism (methionine, POBA) and activation of photosynthetic processes ($MgSO_4$). The conducted studies confirm the prospects of using multicomponent metabolically active preparations to increase the productivity of sweet corn and create scientific prerequisites for improving crop growing technologies. The obtained data can be used for agrotechnological developments, increasing the stability of yields and adaptability of plants in changing climatic conditions.

Key words: sweet corn, vitamin E, methionine, ubiquinone-10, paraoxybenzoic acid, $MgSO_4$, ear structure, grain mass, yield.

**Стаття до редакції надійшла 03.12.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 20.12.2025 року**

УДК [631.531.04:577.1]:[633.16:581.144]
DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-4-35-41

Ворона В. І.

аспірант кафедри біології
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя
voronavladyslav@ndu.edu.ua
orcid.org/0000-0009-0004-6380-7554

Гавій В. М.

кандидат біологічних наук, доцент кафедри біології
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя
gaviyv@gmail.com
orcid.org/0000-0002-2604-0456

ВПЛИВ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ МЕТАБОЛІЧНО АКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ НА ФОРМУВАННЯ КОРЕНЕВОЇ СИСТЕМИ ЯЧМЕНЮ ЯРОГО

Ярий ячмінь належить до провідних зернових культур і має суттєве значення для сільського господарства України та багатьох інших країн світу. Це культура, яку висівають навесні та отримують урожай у той самий вегетаційний період, що робить її особливо важливою для регіонів із холодними зимами та нестійкими кліматичними умовами. Формування кореневої системи ячменю ярого є важливим чинником, що визначає рівень росту, розвитку та продуктивність культури, забезпечує ефективніше використання ґрунтових ресурсів та підвищує адаптивний потенціал рослин. Тому, метою нашої роботи було дослідження впливу передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами на формування кореневої системи ячменю ярого. Для проведення досліджень було використано ячмінь ярий сорту Маріон, який характеризується скоростиглістю, посухостійкістю та високою стійкістю до основних захворювань, зокрема борошнистої роси, бурої іржі та гельмінтоспоріозу. Час обробки насіння ячменю ярого метаболічно активними речовинами складав 2 год. Після обробки насіння проводили висів ячменю ярого вузькорядним способом у ґрунт дослідної ділянки. З'ясовано, що передпосівна обробка насіння ячменю ярого метаболічно активними речовинами сприяє стимуляції ризогенезу та лінійному росту вузлових додаткових коренів на всіх досліджених фазах росту і розвитку. Найбільший ефект спостерігається у рослин, насіння яких перед посівом було оброблене комбінаціями вітамін E+убіхнон-10, вітамін E+ параоксibenзойна кислота + метіонін+ MgSO₄, та вітамін E+метіонін+MgSO₄. Найінтенсивніше зазначені комбінації метаболічно активних речовин стимулювали ризогенез та лінійний ріст додаткових коренів у фазах кущення та колосіння, що забезпечує рослині оптимальні умови для формування генеративних органів ячменю.

Використання ефективних метаболічно активних речовин для передпосівної обробки насіння може бути рекомендоване як елемент технології вирощування ячменю для підвищення продуктивності культури за рахунок розвитку потужної кореневої системи у ґрунтово-кліматичних умовах Чернігівської області.

***Ключові слова:** метаболічно активні сполуки, насіння ячменю ярого, лінійний ріст, ризогенез, додаткові корені.*

Вступ. Ярий ячмінь належить до провідних зернових культур і має суттєве значення для сільського господарства України та багатьох інших країн світу [1]. Це яра культура, яку висівають навесні та отримують урожай у той самий вегетаційний

період, що робить її особливо важливою для регіонів із холодними зимами та нестійкими кліматичними умовами [2]. Основними напрямками використання ярого ячменю є годівля сільськогосподарських тварин, виробництво солоду для пивоварної промисловості, а також застосування у харчових цілях [3]. Високий вміст крохмалю та білка зумовлює його цінність як складової комбікормів [4].

Формування кореневої системи ярого ячменю є важливим чинником, що визначає рівень росту, розвитку та продуктивності культури [5]. Коренева система забезпечує рослини водою і поживними речовинами, а її активний розвиток на ранніх етапах онтогенезу сприяє підвищенню стійкості рослин до несприятливих умов середовища [6]. У зв'язку з цим у сучасних дослідженнях значна увага приділяється передпосівній обробці насіння стимуляторами росту як елементу технології вирощування зернових культур [7]. За даними низки авторів, застосування фізіологічно активних сполук перед сівбою позитивно впливає на енергію проростання насіння та активізує процеси ризогенезу [7, 8]. Зокрема, встановлено, що такі речовини здатні модулювати гормональний баланс рослин, посилюючи поділ і подовження клітин у кореневих меристемах, що сприяє формуванню більш розвиненої кореневої системи [7, 8]. Це має особливе значення для ярого ячменю, який чутливо реагує на дефіцит вологи та елементів живлення [5, 9]. Результати експериментальних досліджень свідчать, що передпосівна обробка насіння стимуляторами росту сприяє збільшенню кількості додаткових коренів і покращенню їх лінійного росту у зернових культур [8, 9]. Покращення морфометричних показників кореневої системи забезпечує ефективніше використання ґрунтових ресурсів та підвищує адаптивний потенціал рослин [6]. Водночас наголошується, що ефективність дії фізіологічно активних речовин залежить від їх складу, концентрації та сортових особливостей культури [7]. Разом із тим аналіз літератури показує, що питання впливу передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами на формування кореневої системи ярого ячменю в ґрунтово-кліматичних умовах Чернігівської області залишаються недостатньо висвітленими.

Тому, метою нашої роботи є дослідження впливу передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами на формування кореневої системи ярого ячменю.

Матеріали та методика досліджень. Для проведення досліджень було використано ячмінь ярий сорту Маріон, який створений на Носівській селекційно-дослідній станції [1]. Сорт характеризується скоростиглістю, посухостійкістю та високою стійкістю до основних захворювань, зокрема борошнистої роси, бурої іржі та гельмінтоспоріозу [2]. Він рекомендований для вирощування в умовах зон Лісостепу та Полісся, відзначається стійкістю до вилягання й осипання [3]. Експериментальні дослідження проводили на базі навчально-дослідної агробіостанції Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя на спеціально підготовлених дослідних ділянках протягом 2025 року. Перед посівом ґрунт культивували, ділянки вимірювали, розподіляли за варіантами та повторностями, а насіння обробляли досліджуваними речовинами відповідно до схеми досліду:

1. Контроль – насіння без обробки (оброблене дистильованою водою).
2. Насіння, оброблене комбінацією вітаміну Е (10^{-8} М) + метіонін (0,001%) + $MgSO_4$ (0,001%) – ЕММg.
3. Насіння, оброблене комбінацією вітаміну Е (10^{-8} М) + параоксисбензойна кислота (ПОБК) (0,001%) + метіонін (0,001%) + $MgSO_4$ (0,001%) – ЕМПМg.
4. Насіння, оброблене комбінацією вітаміну Е (10^{-8} М) + ПОБК (0,001%) та $MgSO_4$ (0,001%) – ЕПМg.
5. Насіння, оброблене комбінацією вітаміну Е (10^{-8} М) та убіхінону-10 (10^{-8} М) – ЕQ.

Час обробки насіння ярого ячменю метаболічно активними речовинами складав 2 год. Після обробки насіння проводили висів ярого ячменю вузькорядним способом у ґрунт дослідної ділянки [6]. У процесі дослідження визначали основні

біометричні показники росту й розвитку кореневої системи ячменю ярого за загально-прийнятими методиками. Отримані результати підлягали статистичній обробці із застосуванням методів математичної статистики та стандартних функцій спеціалізованого програмного забезпечення MS Office Excel [6].

Результати досліджень та їх обговорення. У результаті досліджень встановлено, що використання метаболічно активних речовин для передпосівної обробки насіння впливає на формування додаткових коренів і загальну кількість коренів у рослин ячменю ярого у фазу кущення. Найбільша довжина коренів спостерігалася у рослин, що розвинулися з насіння, обробленого перед посівом комбінацією ЕММg, показники яких перевищували контрольні значення на 10,4 %. Високу стимулюючу дію на лінійний ріст коренів також виявлено у рослин ячменю ярого, насіння яких піддавали передпосівній обробці поєднанням вітаміну Е та убіхінону-10. Передпосівна обробка насіння метаболічно активними речовинами позитивно впливала і на кількість коренів у рослин ячменю ярого. Найбільш виражений ефект стимуляції процесів ризогенезу відзначено у варіанті з обробкою насіння ЕММg, де кількість коренів перевищувала контрольні показники на 10,2 %. В інших експериментальних варіантах значення показників були на рівні контролю (табл. 1).

Таблиця 1
Вплив передпосівної обробки насіння метаболічно активними речовинами на формування кореневої системи ячменю ярого сорту Маріон

Варіант	Лінійний ріст бічних коренів		Кількість бічних коренів	
	см	% до контролю	шт	% до контролю
Фаза кущення				
Контроль	9,2±0,4	100,0	8,8±0,6	100,0
ЕММg	10,2±0,6*	110,4	9,7±0,5*	110,2
ЕМПМg	9,9±0,5*	108,2	9,2±0,4	104,5
ЕПМg	9,3±0,3	100,8	8,7±0,3	98,9
EQ	10,1±0,4*	109,9	9,3±0,4	105,7
Фаза колосіння				
Контроль	25,1± 0,4	100,00	18,0± 0,4	100
ЕММg	28,2±0,5*	112,8	20,3±0,5*	112,8
ЕМПМg	27,3±0,3*	119,2	19,7±0,5*	109,4
ЕПМg	25,0±0,6	99,6	18,2± 0,5	101,1
EQ	27,5±0,4*	110,1	19,8±0,6*	110,0
Фаза формування зерна				
Контроль	30,0± 0,5	100,00	24,0± 0,6	100,00
ЕММg	35,1±0,6*	116,7	26,8±0,7*	111,7
ЕМПМg	32,2±0,4*	117,3	27,0±0,5*	112,5
ЕПМg	30,8± 0,5	102,7	25,1± 0,6	104,6
EQ	33,5± 0,4*	111,7	26,5±0,7*	110,4

Примітка. * – Різниця достовірна порівняно з контролем (p<0,05)

У фазі колосіння лінійний ріст додаткових вузлових коренів у контрольній групі рослин ячменю становив 18,0 см. Обробка насіння ячменю метаболічно активними речовинами призвела до помітних змін. У рослин ячменю, насіння яких перед посівом

обробляли ЕММg, довжина коренів досягала 20,3 см, що на 12,8 % перевищувало показники контролю. Це свідчить про високий стимулюючий ефект цієї композиції на ріст додаткових коренів у критичний період формування колосу.

У рослин ячменю ярого, насіння якого перед посівом обробляли комбінацією ЕМПМg довжина коренів становила 19,7 см, що на 9,4 % більше за контрольні показники. Для групи рослин ячменю ярого, передпосівна обробка насіння якого була здійснена комбінацією EQ, лінійний ріст коренів становив 19,8 см, що на 10,0 % перевищує контрольні показники. У рослин, насіння яких перед посівом було оброблене ЕПМg, показник лінійного росту коренів залишався на рівні 18,0 см і не відрізнявся від показників контролю (табл. 1).

Середня кількість додаткових коренів у рослин ячменю у контролі становила 25,0 шт. За проведення передпосівної обробки насіння комбінацією ЕММg цей показник збільшився до 28,2 шт, що на 12,8 % перевищував контрольні значення. У рослин ячменю, насіння якого перед посівом обробляли ЕМПМg кількість коренів досягла 27,3 шт, що на 9,2 % більше за показники контролю, а в групі рослин, насіння яких перед посівом було оброблене EQ – 27,5 шт, що на 10,0 % перевищує контрольні показники (табл. 1). Такий позитивний вплив досліджуваних комбінацій метаболічно активних речовин можна пояснити тим, що вітамін Е та убіхінон-10 беруть участь у біоенергетичних процесах, а параоксibenзойна кислота є природною фенольною сполукою, що виконує важливі функції у рослинному метаболізмі. Вона діє, як антиоксидант і прооксидант, стимулює альтернативну оксидазу та регулює активність антиоксидантних ферментів [10]. Крім того, параоксibenзойна кислота виконує функцію сигнальної молекули під час формування захисних реакцій, що сприяє підвищенню системної стійкості рослин до несприятливих чинників навколишнього середовища [11]. Метіонін є попередником у синтезі гормонів росту та бере участь у регуляції відкриття продихів [12]. Компоненти магнію сульфату також відіграють важливу роль у метаболічних процесах клітини: магній діє як кофермент у складі ферментів, що регулюють білковий синтез, а сульфур входить до складу важливих амінокислот (метіоніну, цистину, цистеїну), а також вітамінів (тіаміну, біотину) і ферментів (дегідрогеназ та інших) [13].

Таким чином, передпосівна обробка насіння метаболічно активними речовинами стимулює як лінійний ріст, так і формування додаткових вузлових коренів у фазі колосіння. Результати свідчать, що використання ЕММg, ЕМПМg та EQ для обробки насіння перед посівом може бути ефективним елементом технології вирощування ячменю, підвищуючи його продуктивність за рахунок розвитку потужної кореневої системи у фазі колосіння.

У фазі формування зерна, коли рослина переходить від кінця цвітіння до водянистої фази наливу зерна, показники лінійного росту вузлових коренів у контрольній групі становили 24,0 см. Обробка насіння метаболічно активними речовинами призвела до помітного стимулюючого ефекту. Рослини ячменю, насіння яких перед посівом обробляли ЕММg, мали довжину коренів 26,8 см, що на 11,7 % перевищувало показники контролю.

У групі рослин ячменю, передпосівна обробка насіння якого була здійснена комбінацією ЕМПМg, довжина додаткових коренів склала 27,0 см, що на 12,5 % більше за контрольні значення, тоді як рослини ячменю, насіння якого перед посівом було оброблене EQ мали довжину додаткових коренів 26,5 см, що на 10,4 % перевищувало контрольні показники (табл. 1).

Щодо кількості вузлових додаткових коренів, контрольна група рослин ячменю мала 30,0 шт. За передпосівної обробки насіння ЕММg середня кількість коренів у рослин ячменю у зазначену фазу зросла до 35,0 шт, що на 16,7 % більше за контрольні показники. У рослин ячменю, насіння якого перед посівом зазнало обробки комбінаціями метаболічно активних речовин EQ та ЕМПМg середня кількість вузлових

коренів становила 33,5 шт. та 32,2 шт., що на 11,7 % та 7,3 % більше за контрольні показники відповідно (табл. 1).

Висновки. Передпосівна обробка насіння ячменю ярого метаболічно активними речовинами сприяє стимуляції ризогенезу та лінійному росту додаткових коренів на всіх досліджених фазах росту і розвитку. Найбільший ефект спостерігається у рослин, насіння яких перед посівом було оброблене комбінаціями EQ, ЕМПМg та ЕММg. Найінтенсивніше зазначені комбінації метаболічно активних речовин стимулюють ризогенез та лінійний ріст коренів у фазах куцання та колосіння, що забезпечує рослині оптимальні умови для формування генеративних органів ячменю.

Використання ефективних метаболічно активних речовин для передпосівної обробки насіння може бути рекомендоване як елемент технології вирощування ячменю для підвищення продуктивності культури в ґрунтово-кліматичних умовах Чернігівської області.

Література

1. Косаківська І. В., Щербатюк М. М., Васюк В. А., Войтенко Л. В. Фітогормони у регуляції росту та формуванні стресостійкості зернових культур. *Фізіологія рослин і генетика*. 2024. Т. 56, № 2. С. 130–150.
2. Косаківська І. В., Золотарьова О. К., Войтенко Л. В. Сучасні напрями досліджень фізіологічно активних речовин у рослинництві. *Фізіологія рослин і генетика*. 2025. Т. 57, № 2. С. 137–151.
3. Семенко Л. М., Веремейєнко С. І., Бикін А. В., Кучер Л. О. Ефективність застосування стимуляторів росту рослин на посівах пшениці озимої в умовах Лівобережного Лісостепу України. *Scientific Horizons*. 2025. Т. 28, № 3.
4. Ліхущина Г. А., Скнипа Н. Л. Вплив регуляторів росту та фонів живлення на біометричні показники пшениці озимої. *Зернові культури*. 2024. Т. 8, № 1. С. 45–53.
5. Короткова І. В., Горобець М. В., Чайка Т. О. Вплив стимуляторів росту на ріст і продуктивність ячменю ярого. *Scientific Progress & Innovations*. 2021. № 3. С. 62–68.
6. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Костогрив П. В., Опришко В. П. Основи наукових досліджень в агрономії: підручник / За ред. В. О. Єщенка. Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К», 2014. 332 с.
7. Маренич М. М., Шевченко І. М., Бондаренко С. П. Ефективність гумінових стимуляторів за передпосівної обробки насіння зернових культур. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2023. № 2. С. 74–81.
8. Гурба В. С., Баган А. В. Вплив стимуляторів росту на посівні якості насіння пшениці м'якої озимої. *Матеріали наукових конференцій ПДАУ*. 2025. С. 112–115.
9. Дмитров С. Г., Саблук В. Т. Формування кореневої системи сільськогосподарських культур за дії біологічно активних речовин. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2022. № 4. С. 58–66.
10. Rozhnova N. A., Gerashchenkov G. A. Effect of ubiquinone 50 and viral infection on phytohemagglutinin activity in development of induced resistance in tobacco plants. *Izv. Akad. Nauk Ser. Biol.* 2008. №35. P. 442–447.
11. Cho J.-Y., Moon J.-H., Seong K.-Y., Park K.-H. Antimicrobial Activity of 4-Hydroxybenzoic Acid and trans 4-Hydroxycinnamic Acid Isolated and Identified from Rice Hull. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 2008. № 62(11). P. 2273–2276.
12. Roje S. S-Adenosyl-L-methionine: Beyond the universal methyl group donor. *Phytochemistry*, 2006. №67. P. 1686-1698.
13. Azizi K., Yaghobi M., Hidayi S., Chaeichi M. R., Roham R. Effects of different methods of magnesium sulphate application on qualitative and quantitative yield of lentil (*Lens culinaris* Medik.) cultivars under Khorramabad climatic conditions of Iran. *Res. Crops*, 2011. №12. P. 103–111.

References

1. Kosakivska, I. V., Shcherbatiuk, M. M., Vasiuk, V. A., Voytenko, L. V. (2024). Fitohormony u rehuliacii rostu ta formuvanni stresostiikosti zemovykh kultur [Phytohormones in

growth regulation and formation of stress resistance of cereal crops]. *Fiziolohiia roslyn i henetyka – Plant Physiology and Genetics*. 56 (2). 130–150 [in Ukrainian].

2. Kosakivska, I. V., Zolotarova, O. K., Voytenko, L. V. (2025). Suchasni napriamy doslidzhen fiziolohichno aktyvnykh rehovyn u roslynnystvi [Current research trends in physiologically active substances in crop production]. *Fiziolohiia roslyn i henetyka – Plant Physiology and Genetics*. 57 (2). 137–151 [in Ukrainian].

3. Semenko, L. M., Veremeienko, S. I., Bykin, A. V., Kucher, L. O. (2025). Efektyvnist zastosuvannya stymulatoriv rostu roslyn na posivakh pshenytsi ozymoi v umovakh Livoberezhnogo Lisostepu Ukrainy [Effectiveness of plant growth stimulants on winter wheat crops under conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Scientific Horizons*. 28 (3) [in Ukrainian].

4. Likhushyna, H. A., Sknyipa, N. L. (2024). Vplyv rehulatoriv rostu ta foniv zhyvlennia na biometrichni pokaznyky pshenytsi ozymoi [Influence of plant growth regulators and nutrition backgrounds on biometric parameters of winter wheat]. *Zernovi kultury – Grain Crops*. 8 (1). 45–53 [in Ukrainian].

5. Korotkova, I. V., Horobets, M. V., Chaika, T. O. (2021). Vplyv stymulatoriv rostu na rist i produktyvnist yachmeniu yaroho [Influence of growth stimulants on growth and productivity of spring barley]. *Scientific Progress & Innovations*. (3). 62–68 [in Ukrainian].

6. Pysarenko, P. V., Zaiets, S. O., Vasylenko, R. M., Shcherbyna, Z. V. (2025). Zastosuvannya rehulatoriv rostu roslyn na posivakh kukurudzy v umovakh Pivdennoho Stepu Ukrainy [Application of plant growth regulators on maize crops in the Southern Steppe of Ukraine]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo – Land Reclamation and Water Management*. (1). 89–97 [in Ukrainian].

7. Marenych, M. M., Shevchenko, I. M., Bondarenko, S. P. (2023). Efektyvnist huminovnykh stymulatoriv za peredposivnoi obrobky nasinnia zemovykh kultur [Effectiveness of humic stimulants in pre-sowing seed treatment of cereal crops]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahromoi akademii – Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*. (2). 74–81 [in Ukrainian].

8. Hurba, V. S., Bahan, A. V. (2025). Vplyv stymulatoriv rostu na posivni yakosti nasinnia pshenytsi miakoi ozymoi [Influence of growth stimulants on sowing qualities of soft winter wheat seeds]. *Materialy naukovykh konferentsii Poltavskoi derzhavnoi ahromoi akademii – Proceedings of Scientific Conferences of Poltava State Agrarian University*. 112–115 [in Ukrainian].

9. Dymyrov, S. H., Sabluk, V. T. (2022). Formuvannya korenevoi systemy silskohospodarskykh kultur za dii biolohichno aktyvnykh rehovyn [Formation of the root system of agricultural crops under the influence of biologically active substances]. *Visnyk ahromoi nauky Prychomomoria – Bulletin of Agrarian Science of the Black Sea Region*. (4). 58–66 [in Ukrainian].

10. Rozhnova, N. A., & Gerashchenkov, G. A. (2008). Effect of ubiquinone 50 and viral infection on phytohemagglutinin activity in development of induced resistance in tobacco plants. *Izvestiya Akademii Nauk. Seriya Biologicheskaya*, no. 35, pp. 442–447. [in English].

11. Jeong-Yong, C., Jae-Hak, M., Ki-Young, S., & Keun-Hyung, P. (2008). Antimicrobial activity of 4-hydroxybenzoic acid and trans 4-hydroxycinnamic acid isolated and identified from rice hull. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, no. 62(11), pp. 2273–2276. [in English].

12. Roje, S. (2006). S-Adenosyl-L-methionine: Beyond the universal methyl group donor. *Phytochemistry*, 67, 1686–1698. [in English].

13. Azizi, K., Yaghobi, M., Hidary, S., Chaeichi, M. R., & Roham, R. (2011). Effects of different methods of magnesium sulphate application on qualitative and quantitative yield of lentil (*Lens culinaris* Medik.) cultivars under Khorramabad climatic conditions of Iran. *Research on Crops*, 12, 103–111. [in English].

Vorona V.

Postgraduate Student (Specialty 091 – Biology and Biochemistry)

Nizhyn Mykola Gogol State University

voronavladyaslav@ndu.edu.ua

orcid.org/0009-0004-6380-7554

Havii V.

candidate of biological sciences, Assistant Professor,
Department of Biology Nizhyn Mykola Gogol State University
gaviyv@gmail.com
orcid.org/0000-0002-2604-0456

EFFECT OF PRE-SOWING SEED TREATMENT WITH METABOLICALLY ACTIVE SUBSTANCES ON THE FORMATION OF THE ROOT SYSTEM OF SPRING BARLEY

Spring barley is one of the leading cereal crops and is of significant importance for agriculture in Ukraine and many other countries worldwide. It is a crop sown in spring and harvested within the same growing season, which makes it especially important for regions with cold winters and unstable climatic conditions. The formation of the root system of spring barley is a key factor determining plant growth, development, and productivity, ensuring more efficient use of soil resources and enhancing the adaptive potential of plants.

Therefore, the aim of this study was to investigate the effect of pre-sowing seed treatment with metabolically active substances on the formation of the root system of spring barley. The experiments were conducted using spring barley of the Marion cultivar, which is characterized by early maturity, drought tolerance, and high resistance to major diseases, including powdery mildew, brown rust, and helminthosporiosis. The time of treatment of spring barley seeds with metabolically active substances was 2 hours. After seed treatment, spring barley was sown in a narrow-row method in the soil of the experimental plot. It was found that pre-sowing treatment of spring barley seeds with metabolically active substances promotes stimulation of rhizogenesis and linear growth of nodal adventitious roots at all studied stages of growth and development. The greatest effect was observed in plants whose seeds were treated before sowing with combinations of vitamin E + ubiquinone-10, vitamin E + para-hydroxybenzoic acid + methionine + MgSO₄, and vitamin E + methionine + MgSO₄. These combinations of metabolically active substances most intensively stimulated rhizogenesis and linear root growth during the tillering and heading stages, thereby providing optimal conditions for the formation of generative organs in barley plants.

The use of effective metabolically active substances for pre-sowing seed treatment can be recommended as an element of barley cultivation technology to increase crop productivity due to the development of a powerful root system under the soil and climatic conditions of the Chernihiv region.

Key words: metabolically active compounds, spring barley seeds, linear growth, rhizogenesis, adventitious roots.

**Стаття до редакції надійшла 28.11.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 15.12.2025 року**

UDC 581.191.143.6

DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-4-42-52

Bronnikova L. I.

Post graduated department physiology
and introduction plants
Oles Honchar Dnipro National University,
Junior research
Department Genetic engineering
Institute of Plant Physiology and Genetics,
National Academy of Sciences of Ukraine
Zlenko_lora@ukr.net
orcid.org/0000-0002-8103-0548

Zaitseva I. O.

Doctor of Biological Sciences, Prof.,
department physiology
and introduction plants
Oles Honchar Dnipro National University
irinza@gmail.com
orcid.org/0000-0001-5789-7240

Lykholat Yu. V.

Doctor of Biological Sciences,
department physiology and introduction plants
Oles Honchar Dnipro National University
lykholat2006@ukr.net
orcid.org/0000-0003-3354-8251

Kvitko M. O.

Lecturer of the Department of Chemistry and Life Safety,
Kryvyi Rih State Pedagogical University
kvitko_max@gmail.com
orcid.org/0000-0002-3713-7620

**HEAVY METAL IONS – ECOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL BENEFITS
AND HARMFUL EFFECTS ON PLANT ORGANISM**

Heavy metals include a number of the most toxic xenobiotics, which cause general and specific damage to organisms. This applies to heavy metal ions. The reaction of plants to the type and concentration of HMI is extremely diverse. Absorbing HMIs leads to reduced productivity or death. During the study of the effect of ten types of HMI, which were part of cations and anions in concentrations of 10⁻¹ – 10⁻⁵ M.

Plants growing in conditions exposed to heavy metal ions accumulate toxic cations. Hyperaccumulators are capable of accumulating HMI in large quantities. Most plants absorb HMI through two types of absorption systems. HMI affect the electrochemical status of membranes and electrical potential. Also, depending on their concentration, they cause a series of interrelated stress reactions in plants. The severity of stress damage is reflected in integral indicators – growth, morphogenesis, productivity. Sensitivity to stressors is determined in each specific case, since the characteristics depend on the plant genotype.

Studies of the effect of heavy metal ions on plant growth and development have shown that all pathological changes begin at the cellular level. Cell culture is a convenient and promising system for studying the stress effect of the stressor itself and the mechanisms of resistance. The protective reactions of the whole organism, aimed at reducing the toxic effect, are separated from the cellular detoxification reactions.

Key words: heavy metal ions, toxicity, abiotic factors, plants, harmful effect.

Among the most aggressive environmental pollutants that have a detrimental effect on the biosphere are heavy metal ions (HMI) [1, 61, 67]. The systemic harmful effect of heavy metal ions is increasing from year to year, as they can significantly reduce the natural resistance of biological objects to biotic and abiotic environmental factors and as a result of the expansion of economic activity and increased anthropogenic pressure [2, 63, 64].

In the natural state, 90 elements can exist, of which 21 are nonmetals, 16 are light metals, and the remaining 53 (excluding As) are heavy metals [8, 66]. Heavy metals are elements whose density exceeds 5 g/cm³. They are transitional elements from V (but not Sc or Ti) to the semi-metal As, from Zn (but not Y) to Sb, from La to Po. Lanthanides and actinoids can also be classified as heavy metals. Most heavy metal atoms have incomplete d-orbitals, which is why IVMs are able to form complex compounds. The latter can be characterised by redox activity. Some HMI (in trace amounts) play a role in biochemical reactions. However, they are toxic in large quantities. In particular, such IRMs include Zn²⁺, Cu²⁺, Mn²⁺, Co²⁺, Ni²⁺, Fe²⁺, Mo⁶⁺. The widespread occurrence and toxicity of IVMs are of interest to a wide range of researchers.

At the same time, there are heavy metals whose concentration in nature varies between 10 and 1 nM, such as V, Cd, Cr, W, Ga, Zr, Th, Pb, Hg [20, 47, 66]. Some of them, in particular Cd²⁺, Hg²⁺, Pb²⁺, are actively studied. Some HMI are the objects of research solely because of their special properties [11, 19, 45, 66].

The natural content of their clusters is considered to be the starting point for changes in the concentration of HMI in soils [1, 6, 7, 23]. HMI (with the exception of mercury) mainly enter the atmosphere in the form of aerosols and fall out as a component of precipitation. The composition of pollutants depends on the industrial and energy sectors. A significant amount of them is deposited in the soil. The transition of mobile HMI to a sedentary state is possible due to isomorphic substitution and ion exchange in mineral particles and exchange and chelation reactions. When pollutants enter the soil in anionic form, the absorption role of the soil is less effective. This is due to the low adsorption capacity of clay minerals for anions, as they contain few particles that carry a positive charge [1, 13].

The reaction of plants to the type and concentration of HMI is extremely diverse. When studying the effect of ten types of HMI, which were part of cations and anions in concentrations of 10⁻¹ – 10⁻⁵ M, on the germination of seeds of 20 plant species of different taxonomic groups, species-specificity of the reaction was established, depending on the nature of the pollutant and its concentration [14, 18, 66]. The pathway of HMI absorption by plants can also vary.

When studying the accumulation of copper and nickel ions in the tissues of *Vaccinium angustifolium* L. plants growing near a steel mill in Ontario, Canada, a logarithmic dependence of the decrease in the concentration of pollutants with increasing distance from the production was found. The metals were distributed in the tissues as follows: root > stem > leaves > fruits. Root tissues were the primary site of accumulation of these elements [26, 44]. The predominant accumulation of Cu²⁺ ions in the roots of various plants has been reported in other publications [1, 6, 19, 49, 55].

Cadmium ions are absorbed by plant roots and deposited in them, as well as in the aboveground part. Thus, in the seedlings of *Nicotiana tabacum* L., HMI were deposited in equal amounts in the dry matter of leaves and roots, and in *N. rustica*, the concentration of Cd²⁺ in leaves was half that in root tissues [14, 44], and in young seedling tissues cadmium was in soluble form (80% represented by Cd-peptides), while in adult plants soluble and insoluble cadmium compounds were represented in equal amounts. The study of Cd²⁺ distribution between cellular compartments in *Athyrium yokoscence* plants showed that 80% of cadmium was deposited on cell membranes and this amount increased with increasing concentration in the medium. The rest of the cadmium was distributed in cells almost equally between the fractions of nuclei, mitochondria and plastids [24, 66].

Significant accumulation of cadmium ions in root tissues has been reported for a number of plants [4, 67]. Cadmium can bind to proteins. For example, in the protein fractions

from rice and wheat grains, the Cd-bound part of proteins was 54,5 and 55 kD, respectively. Other Pb, Pb²⁺, Zn²⁺, and Mn²⁺ are also accumulated by plants [57, 66]. The Pb-accumulating ecotype of stonecrop (*Sedum alfredii* Hanse) accumulates the element in the root system and transports it to the stem and leaf tissues. The stem cell wall fraction contained 50%, and the same fractions of roots and leaves contained 80 % of the lead accumulated by the cell. A mutant of *Arabidopsis* grown on soil with an excess of manganese accumulates 7,5 times more manganese, and when grown in hydroponics, 5,4 times more than wild-type plants [3, 61].

All plants growing under the influence of heavy metal ions accumulate toxic cations. In this case, hyperaccumulators are able to accumulate HMI in quantities that significantly exceed their content in the soil [63]. The accumulation of heavy metal anions, similar to the accumulation of cations, is usually not observed, because in this case the toxicity of the metal is higher. For example, hexavalent chromium is more active and toxic than trivalent chromium [45]. Vanadium can be absorbed by living organisms in two forms: vanadate (V(V)) and vanadyl (V(IV)); the spectrum of toxic effects of vanadate is much wider. However, it should be noted that vanadyl can self-oxidise to form vanadate. At the same time, vanadate is reduced by reducing agents such as glutathione, ascorbate, and NADPH. During the study of corn seedlings and fodder beans grown on artificial solutions containing various forms of vanadium in concentrations of 2 – 200 µM, the absorption activity and distribution of this element were determined. Regardless of the species, plants absorbed vanadyl more actively than vanadate. The relative amount of vanadium transported to the ground parts was 0,9 – 2,6% of the consumed amount and did not depend on the form and concentration of this element in the medium [25, 41, 42, 43].

In the case of the uptake of HMI by the root system, the availability of the element (proportion of the total content) and the ability of the plant to transport ions from the exogenous system to the substrate – the roots – play an important role. HMI can also be absorbed by leaves from the air. Elements associated with small (< 2 µm) particles of ash and smoke are easily dissolved in acidified rainwater and enter leaf tissues [12, 37, 62, 66]. Once inside the cell, HMI interact with its structural and metabolic components.

In contrast to biotic stress, which is controlled by a monogenic trait, tolerance to abiotic stress is a genetically constitutive characteristic (a dynamic process). It includes numerous components of signalling chains that are multigenic in nature. Moreover, the links between individual links can be direct, reverse, or crossed. TF families, differential expression of stress-induced genes ensures the stability of vital activity in the event of changes in cultivation conditions. Adaptation to a specific situation is manifested in the specialisation of metabolism: synthesis/accumulation of protective compounds of different composition. Methodologies for obtaining plants using HMI should be linked to studies of the expression of gene(s), product(s) involved in signalling pathways or the synthesis of functional or structural proteins and metabolites. Planning of prospective studies based on a systematic approach using transcriptomics, metabolomics, proteomics, etc. is a guaranteed strategy for improving plant resistance to HMI and other abiotic stresses [44].

Systems for the absorption of heavy metal ions. In general, plants absorb HMICs in two ways (through two types of absorption systems). The first method is fast, nonspecific, and involves the use of vectors of different species. The second method is slow and requires high substrate specificity of the vector and energy source (ATP). In microorganisms, Ni²⁺, Co²⁺, Zn²⁺, and Mn²⁺ ions are absorbed by the reactive method with the use of inorganic transporters. Chromates and arsenates are also transported rapidly: the former by the phosphate transport system, the latter by the sulfate transport system [28, 42]. Vanadate, which is structurally similar to phosphate, can enter plants via phosphate uptake systems [33, 41, 43].

While the transport of HMI in microorganisms has been studied extensively and systematically (highly specific chemiosmotic transporters or ATP-bound cassette transporters have been identified for a number of ions), in plants, only a few publications have been

devoted to this problem, despite the fact that many hyperaccumulative mutants have been obtained. *Thlaspi caerulescens* and *Arabidopsis halleri* are hyperaccumulators of zinc and cadmium. It was found that plants of the first species use the *ZNT1* transport system, which is highly affinity for Zn^{2+} ions, to obtain Zn^{2+} uptake. The presence of a similar mechanism is not excluded in the second species. Cd^{2+} ions can also move with the participation of the *ZNT1* transporter, which in this case is an indirect low-affinity transporter [28, 31, 64, 66]. The manganese hyperaccumulator mutant of *Arabidopsis thaliana* also accumulates other elements. The amount of Cu^{2+} , Zn^{2+} , and Mg^{2+} ions in the leaves of this family is 4.6, 2.8, and 1.8 times higher than in the leaves of wild-type plants, respectively. It is believed that this total ion transport is mediated by ferric chelate reductase. Ferric oxalate reductase activity is quite widespread among plants and is considered to be crucial in the regulation of iron ion uptake. Some authors note that other ions can also be transported through root cell membranes with the participation of this enzyme [5, 24, 25, 31].

The effect of copper ions (1, 5, 50 μM) on the cell culture of sharp-leaved maple (*Acer pseudoplatanus*) was studied. A linear dependence between the concentration of Cu^{2+} in the culture medium and the content of these ions in the cell was found. Thus, the possibility of cation transport by common channels on cytoplasmic membranes is not excluded [48, 62]. In general, the rate of ion penetration into the cell depends on the sensitivity of metabolic sites to a particular ion. Such parameters of the plasma membrane as redox potential and pH barrier are external mechanisms that regulate the penetration of HMI into the plant.

HMI affect not only the electrochemical status of membranes, but also the electrical potential. After the addition of 0.1 or 1 mM Cd^{2+} to the experimental solution containing rice root cell membranes, a sharp depolarisation of the membranes was observed within a few minutes. The initial membrane potential was restored only after 6 to 8 hours of Cd^{2+} . The fact that these cations are absorbed even at 00C, when the metabolism is very slow, also indicates significant changes in the properties of plant cell membranes under the influence of Cd^{2+} ions [7, 11, 26, 48].

Antagonism of cations affects the absorption of HMI. The ions of alkali and alkaline earth metals can be placed in the following order according to the degree of their inhibitory effect on the absorption of Cd^{2+} : $Na^+ < K^+ < Mg^{2+} < Ca^{2+}$ [23, 47]. Zn^{2+} and Cu^{2+} ions and even elements of the same group can be antagonists of Cd^{2+} uptake [24, 50, 65]. This is the nature of the accumulation of Na^+ cations and its chemical analogue, Cs^+ . A study of the dynamics of radionuclide uptake by young (2-day-old) wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings showed that ^{134}Cs gradually accumulated in young leaves over 20 days, while ^{22}Na accumulated only temporarily and then was released through the roots. Thus, even within the same chemical subgroup (alkali metals), the processes of uptake, distribution and translocation of HMI by plants differ significantly.

Once inside the cell, HMI cause various harmful effects. The phytotoxicity of a particular type of ion is determined, on the one hand, by the chemical properties of the element, and, on the other hand, by the sensitivity or resistance of the plant organism, depending on the genotype.

Toxicity of heavy metal ions. Absorbing HMI, plants undergo pathological changes at all levels – from subcellular to organismal, which ultimately leads to reduced productivity or death. The interaction of IPM with the cytoplasmic membrane activates lipid peroxidation. [24, 54, 57]. Oxygen radicals precede the peroxidation of polyunsaturated fatty acids on the membrane, which leads to membrane damage and cellular compartmentation. The toxic effect can be enhanced by poly phenols, which are products of lipid peroxidation [24]. In response to the oxidative process, the activity of catalase, peroxidase, and SOD increases [20, 40, 62]. Thus, the treatment of sugarcane seedlings with 2 mM $CdCl_2$ caused the appearance of 7 isozyme forms of Cu/Zn-SOD. It is believed that activation of lipid peroxidation (the result of oxidative catabolism) is a common metabolic link in the plant response to stress. The interaction between the IBM and the membrane is the primary site of action.

If the stress caused by the toxicity of IRMs is not removed, physiological processes, the direction of biochemical reactions and, as a result, cell homeostasis begin to change.

HMI significantly affect photosynthesis, chloroplast structure, and pigments. Cd^{2+} and Pb^{2+} ions cause changes in the lipid state of thylakoid membranes. A typical phenomenon is a decrease in the chlorophyll content, with the content of chlorophyll b decreasing more than chlorophyll a [9]. A similar effect is caused by Cu^{2+} , Ba^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Hg^{2+} ions [10, 22, 60]. Usually, the processes of respiration and ATP synthesis are studied simultaneously with photosynthesis [15, 16, 31].

It has been established that as a result of the toxic effects of HMI, mitochondria lose their native structure, and proton and electron transport is disrupted. A decrease in H^{+} -secretion under the influence of vanadate in the segments of petioles of *Regnellidium diphyllum* and *Nymphoides peltata* (S. G. Gmel.) O. Kuntze was observed already 1 hour after the pollutant application. This decrease lasted for 6 hours, despite the fact that the direct effect of the stressor ceased after 3 hours. In addition to V^{5+} , Cd^{2+} and Pb^{2+} ions have a toxic effect on the electrotransport chain, disrupting its integrity [36, 41, 42].

Once in the cell in large quantities, HMI disrupts the mineral nutrition of plants, inhibits the absorption of the necessary cations K^{+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} [2, 26, 64, 66]. There are two mechanisms of HMI influence on absorption. The first one is caused by the proximity of the ionic radii of the IRMs and is determined by physical and chemical reasons. For example, Cd^{2+} (1,03 Å) reduces the absorption of Zn^{2+} (0,83 Å) and Ca^{2+} (1,06 Å). The second is related to the disturbance of cell metabolism caused by the IMI, which results in membrane restructuring. Along with the change in cation uptake, anion transport decreases. The latter is determined by a decrease in the content of nitrogen, phosphorus, and sulfur in plant cells [38, 39]. Phosphorus deficiency especially affects the sensitivity/resistance of plants to HMI. Phosphorus is used for the formation of polyphosphates, which are synthesised by poly-P kinases, which reversibly transfer the phosphate residue from the macroergic donor to the poly-P chain. There is strong evidence that poly-Ps provide binding of HMI and resistance to them in plants. Three possible mechanisms have been proposed: cells use poly-Ps to scavenge heavy metals; poly-Ps associated with the cell surface may be involved in binding HMI on the surface; and poly-Ps are degraded during growth in the presence of HMI [64]. Limiting plant phosphorus uptake can inhibit DNA synthesis [4, 30, 52, 53].

HMI affect the content and structure of nucleic acids in plants. Cd^{2+} and Zn^{2+} ions in concentrations exceeding 250 μM dramatically reduce DNA synthesis. At the same time, cadmium ions at a concentration of 50 μM can stimulate RNA synthesis. The level of ATP-sulfurylase mRNA increased almost 3-fold during the day of exposure to IVM [21, 67]. In plants exposed to ever-increasing doses of Cd^{2+} (up to 20 μM), the amount of mRNA increased linearly. A similar phenomenon was observed for Cu^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , and Hg^{2+} . Despite the fact that the level of nucleic acid increased, the activity of the enzyme ATP-sulfurylase was inhibited by the toxic effect of Cd^{2+} .

The inhibitory effect of HMI on other enzymes was also established. For example, nitrate reductase (the first enzyme of the nitrogen assimilation chain) can be inhibited by V^{5+} , Hg^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} ions [32, 34]. The effect of tungsten oxyanion on nitrate reductase is characteristic. Tungsten is a well-known antagonist of molybdenum, capable of competing with the latter for the active site of Mo, the restraining enzyme. By replacing molybdenum in the cofactor, tungsten inactivates the enzyme, since tungsten analogues of Mo enzymes are usually inactive, except for formate dehydrogenase of some anaerobes [25, 29, 35, 42, 43].

HMI not only affects the coordination of nitrogen and carbon metabolism. In the leaves and roots of beans, Cd^{2+} ions increase the activity of glutamate dehydrogenase (GDH) due to an increase in ammonia levels. The stressful effect of cadmium is also manifested in an increase in the activity of phosphoenolpyruvate carboxylase and NADPH^{+} isocitrate dehydrogenase in the leaves. The study of the sensitivity of PEPC to pH showed that the increase in activity is due to the synthesis of the enzyme and its modification during phosphorylation [27, 32, 67].

As noted, the lipid composition of membranes changes under the influence of IPM, which can affect the activity of ATPases. The ATPase isolated from a suspension culture of maple cells was inhibited by vanadate, which inhibited its activity in a non-competitive way, by more than 50% [34, 67]. In addition, vanadate and tungstate are known inhibitors of protein kinases and protein phosphatases [53, 55]. Changes in phosphorus concentration can occur by increasing the activity of acid phosphatase. A decrease in phosphorus content in the tissues of *Hyptis suaveolens* (L.) Poit and *Helianthus annuus* L. under the influence of Ni²⁺ ions may be a signal of regulation of acid phosphatase and ATPase activity [40, 49, 53, 67].

Fluctuations in the activity of key enzymes cause qualitative and quantitative changes in the chemical composition of the cell. Under the influence of Ni²⁺, the content of soluble nitrogen and HMI protein are arranged in a series: Cd > Pb > Ni > Mo [17, 38, 39, 45]. Polyamines play an important role among stress metabolites of the nitrogen chain. There is a high correlation between the concentration of Cd²⁺ ions and the content of polyamines (spermine, putrescine, spermine din). The clearest correlation was observed for putrescine (correlation coefficient 0,94). At the same time, polyamines are known indicators of water stress. Cadmium ions significantly reduced the tolerance of plants to drought and caused a loss of turgor [24, 51, 58, 59].

Thus, HMI, depending on their concentration, cause a number of interrelated stress responses in plants. The depth of stress damage is manifested in integral indicators – growth, morphogenesis, productivity. The sensitivity to HMI is determined on a case-by-case basis, as this characteristic varies depending on the plant genotype. Seeds and seedlings are the most resistant to the stressful effects of HMI, as the latter are mostly fed by endogenous endosperm reserves at the beginning of ontogeny. However, in this case, stressful, detrimental concentrations of HMI have been established.

For example, the germination of *Vigna ambacensis* seeds germinated in solutions of cadmium, mercury, and lead salts of different concentrations decreased even at the lowest concentration.

Studies of the impact of HMI on plant growth and development have shown that all pathological changes begin at the cellular level. Cell culture is the most convenient and promising system for studying the stress effect of HMI and resistance mechanisms. In this case, the protective reactions of the whole organism aimed at reducing the toxic effect are separated from the cellular detoxification reactions.

References

1. Angulo – Bejarano P.I., Puente – Rivera J., Cruz – Ortega R. (2021) Metal and metalloid toxicity in plants: an overview on molecular aspects. *Plants*. 10(4), 635 <https://doi.org/10.3390/plants10040635> [in English].
2. El – Sappah A.H., Zhu Y., Huang Q., Chen B., Soaud S.A., Elhamid M.A.A., Yan K., Li J., El-Tarabili K.A. (2024) Plants molecular behavior to heavy metals: from criticality to toxicity. *Frontiers Plant Science*. 15 <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1423625> [in English].
3. Oliveira S.C.B., Corduneanu O., Olivera-Brett A.M. (2008) In situ evaluation of heavy metal – DNA interactions using an electrochemical DNA biosensor. *Bioelectrochemistry*. 72(1), 53 – 58 <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2007.11.004> [in English].
4. Shalev D.E. (2022) Studing peptide-metal ion complex structures by solution – state NMR. *Journals IJMS*. 23(24), 15957 <https://doi.org/10.390/ijms232415957> [in English].
5. Preston J.C., Sinha N.R., Torii K.U., Krllogg E.A. (2022) Plant structure and function: evolutionary origins and underlying mechanisms. *Plant Physiology*. 190(1), 1 – 4 <https://doi.org/10.1093/plphys/kiac320> [in English].
6. Williams L.E., Pittman J.J., Hall J.L. (2000) Emerging mechanisms for heavy metal transport in plants. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes*. 1465(1-2), 104 – 126 [https://doi.org/10.1026/S0005-2736\(00\)00133-4](https://doi.org/10.1026/S0005-2736(00)00133-4) [in English].
7. Hu Z., Zhao C., Feng Y., Zhang X., Lu Y., Ying R., Yin A., Ji W. (2023) Heavy metal can affect plant morphology and limit plant growth and photosynthesis processes. *Agronomy*. 13(10), 2601 <https://doi.org/10.3390/agronomy13102601> [in English].

8. William J.K.S., Jobi X. Effect of heavy metals on the pigmentation and photosynthetic capability in *Jacobea maritime* (L.) Pelsel & Meiden. *Plant Science Today*. 2023, 10(4), 192-197 <https://doi.org/10.14719/pst.2490> [in English].
9. Bondar O.I., Viniarska H.B., Vasilenko O.V., Grubinko V.V. (2016) Pigments content in *Chlorella vulgaris* under the influence of the sodium selenite and the ions of metals. *Biosistem diversity*. 24(1), 103 – 108 <https://doi.org/10.15421/011612> [in English].
10. Houry T., Khirallah Y., Zahab A.A., Osta B., Romanos D., Haddad G. (2020) Heavy metals accumulation effect on the photosynthetic performance of geophytes in Mediterranean reserve. *Journal of kung saun university – Science*. 32(1), 874-880 <https://doi.org/10.1016/j.ksus.2019.04.005> [in English].
11. Sumalan R.L., Nescu V., Berbeccea A., Sumalan R.M., Crisan M., Negrea P., Ciulca S. (2023) The impact of heavy metal accumulation on some physiological parameters in *Silphium perfoliatum* L. grown in hydroponic system. *Plants*. 12(8), 1718 <https://doi.org/10.3390/plants12081718> [in English].
12. Yuan Z., Cai S., Yan C., Rao S., Chen S., Xu F., Liu X. (2024) Research progress on the physiological mechanism by which selenium alleviates heavy metal stress in plants: a review. *Agronomy*. 14(8), 1787 <https://doi.org/10.3390/agronomy14081787> [in English].
13. Balali-Mood M., Naseri K., Tahergorabi Z., Khazdair M.R., Sadeghi M. (2021) Toxic mechanisms of five heavy metals: mercury, lead, chromium, cadmium and arsenic. *Front Pharmacology*. 13(12), 643972 <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972> [in English].
14. Raji Z., Karim A., Karam A., Khalloufi S. (2023) Adsorption of heavy metals: mechanisms, kinetics, and application of various adsorbents in wastewater remediation – a review. *Journals Waste*. 1(3), 775 – 805 <https://doi.org/10.3390/waste1030046> [in English].
15. Wagner M., Klein C.L., Van Kooten T.G., Kirktrick C.J. (1998) Mechanisms of cell activation by heavy metal ions. *Journal Biomedicine Mater Resouch*. 42(3), 443 – 452 [https://doi.org/10.1002/\(sics\)1097-4636\(19981205\)42](https://doi.org/10.1002/(sics)1097-4636(19981205)42) [in English].
16. Sompura Y., Barupal T., Bhardwaj S., Chaya H. Study of effect of heavy metal on physiology of plants. (2022) *International Journal of Research Publication and Reviews*. 3(9), 1299 – 1303 [in English].
17. Berger A., Boscarei N.H., Rolin D., Puppo A., Brouquisse R. (2020) Plant nitrate reductases regulate fixing metabolism during the *Medicago truncatula* – *Sinorhizobium multiloti* symbiosis. *Frontiers Plant Science*. 11 <https://doi.org/10.3389/fpls2020.01313> [in English].
18. Kazemsouve M., Hatamian M., Tesfamariam T. (2019) Plant drought stage influences heavy metal accumulation in leafy vegetables of garden cress and sweet basil. *Chemical and biological technologies in Agriculture*. 25(6) <https://doi.org/10.1186/s40538-019-0170-3> [in English].
19. 1 Slemi N., Kouki R., Ammar M.H., Ferrera R., Perez – Clemete R. (2021) Barium effect on germination plant growth and antioxidant enzymes in *Cucumis sativus* L. *Food science and nutrition*. 9(4), 2086 – 2094 <https://doi.org/10.1002/fsn3.2177> [in English].
20. Paes de Meloi B., Avelar Carpinetti P., Fraga O.T., Fiore V.S., De Camargos :L.F., De Silva Ferreiro. (2022) Abiotic stress in plants and their markers: a practice view of plant stress and programmed cell death mechanisms. *Journal Plant*. 11(9), 1100 <https://doi.org/3390/plants1191100> [in English].
21. Tan Z.-J., Chen S.-J. (2011) Importance of diffuse metal ion binding to RNA. *Met Ions Life Sci*. 9, P.101 – 124 [in English].
22. Asare M.O., Szakova J., Tlustoš P. (2023) The fate of secondary metabolites in plants growing on Cd-, As-, and Pb-contaminated soil – a comprehensive review. *Environmental science and pollution research*. 30, 11378 – 11398 <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24776-x> [in English].
23. Haider F.U., Liqun C., Coulter J.A., Cheema S.A., Wu J., Farooq M. (2021) Cadmium toxicity in plants: impacts and remediation. *Ecotoxicology and environmental safety*. 211(15), 111887 <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111887> [in English].
24. Xu X., Smaczniak C., Muino J., Kaufmann. (2021) Cell identity specification in plants: lessons from flower development. *Journal of Experimental Botany*. 72(12), 4202 – 4217. <https://doi.org/10.1093/jxb/erab110> [in English].

25. Chen L., Liu J – R., Hu W – F., Gao J., Yan L – Y. (2021) Vanadium in soil plant system: source, fate, toxicity and bioremediation. *Journal of hazardous materials*, 405(5), 124200 <https://doi.org/10.1016/j.hazamat.2020.124200> [in English].
26. Lohani N., Singh M.B., Bhalla P.L. (2022) Biological parts for engineering abiotic stress tolerance stress in plants. *Biodesing Research*. 41 p. <https://doi.org/10.34133/2022/9819314> [in English].
27. Chen Z – H., Wang Y., Wang J – W., Babla M., Zhao C., Garcia – Mata C., Sani E., Differ C., Mak M., Hills A., Amtmann A., Blatt M.R. (2015) Nitrate reductase mutation alters potassium nutrition as well as nitric oxide – mediated control of guard cell ion channel in Arabidopsis. *New Phytologist*. 209(4), P.1456 – 1469. <https://doi.org/10.1111/nph.137114> [in English].
28. Li J., Guo Y., Yang Y. (2022) The molecular mechanism of plasma membrane H⁺-ATPase in plant responses to abiotic stress. *Journal of Genetic and Genomi*. 49(8), 715 – 725 <https://doi.org/10.1016/j.jgg.2022.05.007> [in English].
29. Wang M., Hasegawa T., Beier M., Hayashi M., Ohmori Y., Yano K., Teramoto S., Kamiya T., Fujiwara T. (2021) Growth and nitrate reductase activity are impaired in rise *Osnlp4* mutants supplied with nitrate. *Plant and Cell Physiology*. 62(7), 769 <https://doi.org/10.3390/plants10061110> [in English].
30. Li X., Feng Y., Yi T., Piao Y., Parc D.H., Cui L., Cui C. (2022) Heavy metal ions trigger a fluorescent quenching in DNA – organic semiconductor hybrid assemblies. *Journals Polimers*. 14(17), 3591 <https://doi.org/10.3390/polym14173591> [in English].
31. Buzduga I., Volkova A., Panchuk I. (2023) The effect of heavy metal ions on the peroxidase activity in *Arabidopsis thaliana*. *Bulletin Chernivci national university Yury Fedkovich, Biological science*, 15(2), 144 – 148 <https://doi.org/10.31861/biosystems2023.02.144> [in English].
32. Pascal A., Grover N., Westhof E. (2011) Metal ion binding to RNA. *Metal ions in life science*. 9, 1 – 35 <https://doi.org/10.1039/9781849732512-00001> [in English].
33. Mayr S.J., Mendel R.-R., Schwarz G. (2021) Molybdenum cofactor biology, evolution and deficiency. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Molecular Cell Research*. 1868(1), 118883 <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2020.118883> [in English].
34. Liang Y., Wang H., Wu B., Peng N., Yu D., Wu X., Zhong X. (2023) The emerging role of N6-methyladenine RNA methylation in metal ion metabolism and metal-induced carcinogenesis. *Environmental Pollution*. 331(1), 121897 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121897> [in English].
35. Kots S.Ya., Mykhalkiv L.M. (2019) Nitrate reductase and its role in legume – rhizobia symbiosis. *Fiziologia plants and genetic*, 51(5), 371 – 387. <https://doi.org/10.15407/frg2019.05.371> [in English].
36. Schwarz G., Mendel R.R. (2006) Molybdenum cofactor biosynthesis and molybdenum enzymes. *Annual Review of Plant Biology*. 57(1), 623 – 647 <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105437> [in English].
37. Hrabchuk, S.M., Myhalska L.M., Shvartau V.V. (2017) Shlyahi pidviszhennya efektyvnosti fosforного zhyvlennya roslin. *Fiziologiya roslin I genetyka*. 49(6), 482 – 494 <https://doi.org/10.15407/frg2017.06.482> [in English].
38. Kramalyov S.M., Kramalyov O.S., Pisarenko P.V., Khristenko A.O., Tokmakova L.M., Zhuchenko S.I., Syrovatko V.F., Syrovatko K.V. (2014) Zmina vmistu fosforu v henetychnyh horizontah chomozemu zvychnyogo na rilli vidnosno cilyny v umovah stepu Ukrainy. *Visnyk Poltavskoy derzhavnoy agramoy akademii*. 2, C.7 – 22 [in Ukrainian].
39. Ryazanova M.Ye., Shvartau V.V. (2015) Vplyv prokvinazynu ta gidroksynu midi na gomeostaz anioniv u roslinah ozymiyi phenicy v generatyvnu fazy rozvytku. *Visnyk Dniprovskogo universitetu. Biologiya, ekologiya*. 23(1), 28 – 32 [in Ukrainian].
40. Zhang J., Wei J., Li D., Kong X., Rengel Z., Chen L., Yang Y., Cui X., Chen Q. (2017) The role of the plasma membrane H⁺ ATPase in Plant Responses to aluminium toxicity. *Front. Plant Science*. 8, 1757 <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01757> [in English].
41. Vachirapatama N., Jirakiattikul Y., Dicoski G.W., Townsend A.T. (2011) Effect of vanadium on plant growth and its accumulation in plant tissues. *Songklanarin Journal of Science and Technology*. 33(3), 255 – 261 [in English].

42. Seidel T. (2022) The V-ATPase. *Frontiers Plant Science*. 13, 931777 <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.931777> [in English].
43. Sinha D., Tandon P.K., Srivastava S.K. (2022) Role of heavy metal ATPases in transport of cadmium and zinc in plants. In book: *Plant metal and metalloids transporters*. 109 – 131 https://doi.org/10.1007/978-981-19-6103-8_6 [in English].
44. Sergeeva L.Ye., Homenko L.O., Bronnikova L.I. (2020) Toksychnist ioniv vazhkih metaliv yak pokaznik chutlivosty i stiykosty roslyn do abiotychnyh stresiv: oglyad. *Visnyk Zaporizkoho nacionalnogo universytetu, seriya biologiya*. 1, 59 – 66 <https://doi.org/10.26661/2410-0943-2020-1-08> [in Ukrainian].
45. Al-Yemeni M.N. (2001) Effects of cadmium, mercury and lead on seed germination and early seedlings of *Vinga ambacensis*. *Indian Journal Plant Physiology*. 62(N.S.), 147 – 151 [in English].
46. Wang S.-M., Zhan J.-L., Flowers T.J. (2007) Low – affinity Na⁺ uptake in the halophyte *Suaeda maritima*. *Plant Physiology*. 145, 559 – 571 [in English].
47. Yoshihara T., Hodoshima H., Miyano Y., Shoji K., Shimada H., Goto F. (2006) Cadmium inducible Fe deficiency responses observed from macro and molecular views in tobacco plants. *Plant and Cell Reports*. 25, 365–373 <https://doi.org/10.1007/s00299-005-0092-3> [in English].
48. Gratao P.L., Pompeu G.B., Capaldi F.R., Vitorello V.A., Leo P.J., Ajivedo R.A. (2008) Antioxidant response of *Nicotiana tabacum* cv. Bright Yellow 2 cells to cadmium and nickel stress. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*. 94, 73–83 <https://doi.org/10.1007/s11245-008-9389-6> [in English].
49. Rout J.R., Kerri R.J., Panigrahi D., Sahoo S.L., Pradham C., Ram S.S., Chakraborty A., Sudarsham M. (2019) Biochemical, molecular, and elemental profiling of *Withania somnifera* L. with response to zinc stress. *Environment Science and Pollution. Researched Institute*. 26 (4), 4116–4129 <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3926-6> [in English].
50. Fan L.-M., Wu W.-H., Yang Y.-Y. (1999) Identification and characterization the inward K⁺ channel in the plasma membrane of *Brassica* pollen protoplasts. *Plant and Cell Physiology*. 40(8), 859 – 865 [in English].
51. Rubio F., Nieves-Cordones M., Aleman F., Martinez V. (2008) Relative contribution of *AtHAK5* and *AtHAK1* to K⁺ uptake in the high-affinity range of concentrations. *Physiologia Plantarum*. 134, 598 – 608 <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2010.01354.x> [in English].
52. Louie M., Kondor N., de Witt J.G. (2003) Gene expression in cadmium-tolerant *Datura innoxia*: detection and characterization of DNAs induced in response to Cd²⁺. *Plant Molecular Biology*, 52, 81–89. <https://doi.org/10.1023/A:1023926225931> [in English].
53. Flores E., Sarrati A., Fabre F., Alibert G. (2000) Genotypic variation and chromosomal location of QTLs for somatic embryogenesis revealed by epidermal layers culture of recombinant inbred lines in the sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Theoretical and Applied Genetics*. 101, 1307–1312 <https://doi.org/10.1007/s001220051611> [in English].
54. Sumner L.W., Mendes P., Dixon R.A. (2003) Plant metabolomics; large-scale phytochemistry in the functional genomics era. *Phytochemistry*. 2, 6, 817–836 [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(02\)00708-2](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(02)00708-2) [in English].
55. Venkatachalam P., Srivastava A.K., Raghothava K.G., Sahi S.V. (2009) Genes induced in response to mercury-ion-exposure in heavy metal hyperaccumulator *Sesbania drummondii*. *Environmental Science and Technology*. 43, 843–850 <https://doi.org/10.1021/es801304n> [in English].
56. Gorovaya A.I., Strelchenko Ye.D., Rudenko S.S. (1999) Cytogenetychna ocinka mutagennoi dii hlorydu natriyu i hlorydu aluminiyu ta modificyuchi dii selenite natriyu u korenyvych meristemah *Pisum sativum*. *Citologiya I genetika*. 33, 52 – 56 [in Ukrainian].
57. Maury G.L., Rodriguez D., M., Hendrix S., Arranz J.C.E., Boix Y.F., Pacheco A.O., Diax J.G., Morriz – Queveo H.J., Dubois A.F., Aleman E.I., Beenaerts N., Cos P., Cuypers A. (2020) Antioxidants in Plants: a valorization potential emphasizing the need for the conservation of plant biodiversity in Cuba. *Antioxidants*. 9(11), 1048 <https://doi.org/10.3390/antiox9111048> [in English].

58. Shigaki T., Hirschi K.D. (2006) Diverse functions and molecular properties emerging for CAX cation/H⁺ exchangers in plants. *Biology*. 8, 419–429 <https://doi.org/10.1055/s-2006-923950> [in English].
59. Wu Q., Shigaki T., Williams K.A., Jcung-Sul Han, Chang Kil Kim, Kendal D., Hirschi S.P., Park S. (2011) Expression of an Arabidopsis Ca²⁺/H⁺ antiporter CAX1 variant in petunia enhances cadmium tolerance and accumulation. *Journal of Plant Physiology*. 168, 167–173 <https://doi.org/10.1016/j.jorn.2010.06.005> [in English].
60. Hu Z., Zhao C., Feng Y., Zhang X., Lu Y., Ying R., Yin A., Ji W. (2023) Heavy metal can affect plant morphology and limit plant growth asnd photosynthesis processes. *Agronomy*. 13(10), 2601 [in English].
61. Bornete G., Puijalon S. (2011) Response of aquatic plants to abiotic factors: a review. *Aquatic sciences*. 73(1), 38097 <https://doi.org/10.1007/s00027-010-0162-7> [in English].
62. Colin L., Ruhnnow F., Zhu J.K., Zhao C., Zhao Y., Persson S. (2023) The cell biology of primary cell walls during salt stress. *Plant Cell*. 35(1), 201 – 217 <https://doi.org/10.1093/plcell/koac292> [in English].
63. Lohani N., Sing M., Bhalla P. (2022) Biological parts for engineering abiotic stress tolerance stress in plants. *Biodesing Research*. 41 p. <https://doi.org/10.34133/2022/9819314> [in English].
64. Balio E.H., Kimotho R.N., Zhang Z., Xu P. (2019) Transcription factors associated with abiotic and biotic stress tolerance and their potential for crops improvement. 10(10), 771 <https://doi.org/10.3890/genes10100771> [in English].
65. Ragel P., Raddarz N., Leidi E.O., Quintero F.J., Pardo J.M. (2019) Regulation of K⁺ nutrition in plants. *Frontiers Plant Science*. 10, 281 <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00281> [in English].
66. Gunko S.O., Dubyna A.O. (2024) Doslidzhenya rozpodilu kadmiyu v umovah staropromyslovyh gruntah regioniv (na prykladi mista Kamyanske). *Materialy III mizhnarodniyi naukovo – praktychnoi konferencii «Geobotanichny, gruntovy ta ecologychny doslidzhennya lisovyh biocenoziv stepovoyi zony: istoriya, suchasnyst, perspectyvy»*, DNU Olesya Gonchara, Dnypro, 65 – 68 [in Ukrainian].
67. Bronnikova L.I. (2024) Systema poglynannya i vplyv ioniv vazhkih metaliv na roslynnyy organism. *Materialy III mizhnarodniyi naukovo – praktychnoi konferencii «Geobotanichny, gruntovy ta ecologychny doslidzhennya lisovyh biocenoziv stepovoyi zony: istoriya, suchasnyst, perspectyvy»*, DNU Olesya Gonchara, Dnypro, *Materialy III mizhnarodniyi naukovo – praktychnoi konferencii «Geobotanichny, gruntovy ta ecologychny doslidzhennya lisovyh biocenoziv stepovoyi zony: istoriya, suchasnyst, perspectyvy»*, DNU Olesya Gonchara, Dnypro, 87 – 90 [in Ukrainian].
-
-

Броннікова Л. І.

аспірант кафедри фізіології та інтродукційних рослин
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,
молодший науковий співробітник
кафедра генетичної інженерії
Інститут фізіології рослин та генетики,
Національна академія наук України
Zlenko_lora@ukr.net
orcid.org/0000-0002-8103-0548

Зайцева І. О.

доктор біологічних наук, професор,
кафедра фізіології та інтродукційних рослин
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
irinza@gmail.com
orcid.org/0000-0001-5789-7240

Лихолат Ю. В.

доктор біологічних наук,
кафедра фізіології та інтродукційних рослин
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
lykholat2006@ukr.net
orcid.org/0000-0003-3354-8251

Квітко М. О.

викладач кафедри хімії та безпеки життєдіяльності,
Криворізький державний педагогічний університет
kvitko_max@gmail.com
orcid.org/0000-0002-3713-7620

**ІОНИ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ – ЕКОЛОГІЧНА ТА ФІЗІОЛОГІЧНА КОРИСТЬ
ТА ШКОДОЧИННИЙ ВПЛИВ ДЛЯ РОСЛИННОГО ОРГАНІЗМУ**

Серед важких металів знаходяться ряд найбільш токсичних ксенобіотиків, які спричиняють загальні та специфічні ураження організмів. Це стосується іонів важких металів. Реакція рослин на вид та концентрацію ІВМ надзвичайно різноманітна. Поглинаючи ІВМ, це призводить до зменшення продуктивності або загибелі. Під час вивчення впливу десяти видів ІВМ, що входили до складу катіонів і аніонів у концентраціях 10^{-1} – 10^{-5} М.

Рослини, які ростуть в умовах дії іонів важких металів, акумулюють токсичні катіони. Гіперакумулянти здатні нагромаджувати ІВМ у кількостях. Здебільшого рослини поглинають ІВМ за рахунок двох типів поглинальних систем. ІВМ впливають на електрохімічний статус мембран та електричний потенціал. Також залежно від концентрації вони спричиняють низку взаємозумовлених стресових реакцій рослин. Глибина стресового ураження виявляється в інтегральних показниках – рості, морфогенезі, продуктивності. Чутливість до стресора визначається в кожному конкретному випадку, оскільки характеристика залежить від генотипу рослин.

Дослідження впливу іонів важких металів на ріст та розвиток рослин показали, що всі патологічні зміни починаються з клітинного рівня. Культура клітин є зручною і перспективною системою вивчення стресової дії самого стресора та механізмів стійкості. Захисні реакції цілісного організму, спрямовані на зменшення токсичного впливу, відокремлюються від клітинних реакцій детоксикації.

Ключові слова: іони важких металів, токсичність, абіотичні фактори, рослини, шкодочинна дія.

**Стаття до редакції надійшла 04.12.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 19.12.2025 року**

УДК 616.12-008.46:616.155.194.8:546.72
DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-4-53-61

Гавій Т. А.

аспірантка кафедри біології,
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя
tanyag2000@ukr.net
orcid.org/0000-0009-0001-5001-262X

ПОКАЗНИКИ ОБМІНУ ЗАЛІЗА ЗА ХРОНІЧНОЇ СЕРЦЕВОЇ НЕДОСТАТНОСТІ

Серцево-судинні захворювання, зокрема хронічна серцева недостатність, є головною причиною смертності у світі. Хронічна серцева недостатність часто супроводжується дефіцитом заліза та анемією, які є незалежними факторами ризику. Оскільки залізо критично важливе для енергообміну в клітинах міокарда, його нестача погіршує скоротливість серця, знижує толерантність до навантажень та підвищує ризик смертності. Для точної діагностики та прогнозування стану пацієнта ключовим є контроль рівня вільного заліза в сироватці крові. Дослідження показало, що рівень насичення трансферину знижується за хронічної серцевої недостатності в порівнянні з практично здоровими людьми на 43,2 %. Біохімічний аналіз виявив суттєве зниження концентрації сироваткового заліза у пацієнтів із хронічною серцевою недостатністю на 56,5 % відносно контрольної групи. Такі показники можуть вказувати на формування латентного залізодефіциту, що може супроводжуватися зниженням рівня еритроцитів і гемоглобіну. Кореляційний аналіз за методом Спірмена засвідчив наявність сильного прямого зв'язку між насиченням трансферину та концентрацією заліза у пацієнтів із хронічною серцевою недостатністю ($r_{\text{емп}} = 0,790$ при $r_{\text{крит}} = 0,712$). Статистична значущість результатів підтверджена за допомогою t-критерія, оскільки отримане значення ($t_{\text{емп}} = 4,077$) перевищує критичне ($t_{\text{крит}} = 3,169$), що дозволяє відхилити нульову гіпотезу та визнати виявлений зв'язок між показниками достовірним на рівні 0,01. Аналіз вибірки за показниками концентрації феритину та вільного заліза в крові, проведений за методом Спірмена, виявив прямий і дуже сильний кореляційний зв'язок. Отриманий коефіцієнт рангів ($r_{\text{емп}} = 0,9125$) більший, ніж критичне значення ($r_{\text{крит}} = 0,712$) на рівні значущості 0,01. Статистична значущість цього зв'язку підтверджується результатами t-критерію: оскільки емпіричне значення ($t_{\text{емп}} = 7,0579$) більше за критичне ($t_{\text{крит}} = 3,169$), нульова гіпотеза про відсутність кореляції відхиляється. Статистичний аналіз взаємозв'язку між рівнями церулоплазміну та вільного заліза в крові, виконаний за методом Спірмена, виявив сильний прямий кореляційний зв'язок. Розрахований коефіцієнт рангів ($r_{\text{емп}} = 0,8758$) більший, ніж критичне значення ($r_{\text{крит}} = 0,712$) на рівні значущості 0,01. Достовірність отриманих результатів була перевірена за допомогою t-критерія. Оскільки емпіричне значення ($t_{\text{емп}} = 7,0579$) більше за критичне ($t_{\text{крит}} = 3,169$) на рівні значущості 0,01, це свідчить про наявність статистичної значущості коефіцієнту рангової кореляції та зв'язку між дослідженими показниками.

Ключові слова: хронічна серцева недостатність, залізо, церулоплазмін, феритин, трансферин, анемія.

Вступ. Серцево-судинні захворювання (ССЗ), до яких належить і хронічна серцева недостатність (ХСН), є провідною причиною смерті у світі. Приблизно 50 % пацієнтів із діагнозом серцевої недостатності помирають протягом п'яти років [1]. Анемія означає зниження кількості еритроцитів або гемоглобіну, що зменшує здатність крові переносити кисень. ХСН часто супроводжується дефіцитом заліза (ДЗ) з або без анемії, обидва ці елементи є негативними незалежними предикторами [7]. Серцю з недостатньою функцією доводиться працювати інтенсивніше, щоб забезпечити органи киснем, що збільшує навантаження на міокард. Залізо є критично важливим мікроелементом для клітинного енергетичного метаболізму, зокрема в мітохондріях серцевого м'яза. Дефіцит заліза, навіть без розвитку анемії, негативно впливає на функцію кардіоміоцитів та погіршує скоротність міокарда [10].

Дефіцит заліза та анемія асоціюються зі зниженням толерантності до фізичних навантажень, посиленням задишки, загальної слабкості та втоми, що значно погіршує якість життя пацієнтів. Наявність дефіциту заліза є незалежним сильним предиктором несприятливого прогнозу при ХСН, збільшуючи ризик госпіталізацій та смертності, незалежно від наявності анемії [3].

Рівень вільного заліза в сироватці крові є одним з найважливіших показників, що найбільш точно відображає стан обміну заліза в організмі людини. Достатня кількість заліза необхідна для ефективного зв'язування, перенесення та передачі кисню під час кровообігу. Анемія будь-якої етіології, особливо залізодефіцитна анемія, може сприяти розвитку або ускладнювати перебіг ХСН. При діагностиці залізодефіцитної анемії важливими є результати лабораторних досліджень крові та концентрація вільного заліза.

Отже, метою роботи було дослідження показників обміну заліза у пацієнтів із хронічною серцевою недостатністю в період декомпенсації.

Методи та організація досліджень. Дослідження проводились на базі КНП «Коростенська центральна міська лікарня» КМР (м. Коростень Житомирської області). У дослідження було включено 96 пацієнтів з хронічною серцевою недостатністю (ХСН) віком від 40 до 75 років обох статей. Серед досліджуваних було 70 чоловіків (72,9 %) та 26 жінок (27 %). Групу контролю складали 30 практично здорових осіб відповідного віку та статі. Спостереження проводили при первинній госпіталізації (період декомпенсації).

Клінічний діагноз встановлювався у відповідності до чинних рекомендацій Європейського товариства кардіологів на основі збору анамнестичних даних, фізикального обстеження, даних лабораторно-інструментальних методів обстеження: загальноклінічних аналізів, ехокардіографії, електрокардіографії [2].

Критеріями включення пацієнтів у дослідження були: 1) вік від 40 до 75 років; 2) наявність ХСН ІІА-ІІІ стадії за критеріями М. Д. Стражеска – В. Х. Василенка та Українського наукового товариства кардіологів; 3) ІІ-ІV ФК ХСН відповідно до критеріїв Нью-Йоркської Асоціації серця (НУНА); 4) наявність систолічної дисфункції (величина фракції викиду 45 % та нижче за даними ехокардіографії) [18].

Робота виконана у відповідності до біоетичних норм з дотриманням відповідних принципів Гельсінської декларації прав людини, Конвенції ради Європи про права людини і біомедицини та відповідних законів України [11].

Кількість заліза в сироватці крові визначали колориметричним методом за реакцією з ферозиноном із використанням набору реактивів (Ref №HP012.01, «Філісіт-Діагностика», Україна) відповідно до інструкції фірми-виробника та виражали в мкмоль/л.

Концентрація церулоплазміну. Дослідні зразки включали 0,05 мл сироватки, 4 мл 0,4 М оцтового буферного розчину (рН 5,5) та 0,5 мл 0,5 % водного розчину 1,4-фенілендіаміну дигідрохлориду. Контрольний зразок містив таку ж кількість реагенту та біологічних матеріалів, але додатково додавали 1 мл 3 % розчину фториду натрію. Всі зразки інкубували протягом 1 години при 37 °С після того, як до дослідного зразка

додавали 1 мл 3 % розчину фториду натрію. Поглинання вимірювали спектрофотометром при 530 нм, а концентрацію церулоплазміну виражали в г/л [12].

Концентрація трансферину. 0,2 мл сироватки крові додавали до 2 мл 0,2 % розчину амоній-залізо (III)-цитрату (рН 5,5-5,8). Концентрацію трансферину розраховували як різницю між поглинанням розчину протягом 1 та 30 хв, яку вимірювали за допомогою спектрофотометра при 440 нм. Як стандарт використовували препарат трансферину людини. Результат виражали в г/л [12].

Насичення трансферину визначали співвідношенням концентрації заліза до концентрації трансферину в сироватці крові та виражали у % [13].

Рівень феритину в сироватці крові визначали імуноферментним методом (ELISA) за набором Ferritin (ORGENTEC Diagnostika, Німеччина) відповідно до інструкції фірми-виробника та виражали у нг/мл.

Критеріями дефіциту заліза слугували рівень феритину в плазмі крові < 100 нг/мл, а при нормальних значеннях феритину (100–299 нг/мл) – рівень насичення трансферину залізом < 20 % [14]. Критерієм функціонального дефіциту заліза слугували рівень феритину в плазмі крові \geq 100 нг/мл у поєднанні з рівнем насичення трансферину залізом < 20 %, а критерієм абсолютного – рівень феритину в плазмі крові < 100 нг/мл при рівні насичення трансферину залізом < 20 % [15].

Для статистичної оцінки даних використовували непараметричний критерій Мана-Уїтні, що використовується для порівняння та виявлення різниці між двома незалежними вибірками за рівнем якої-небудь ознаки, виміряної кількісно. Визначення кореляції між досліджуваними об'єктами проводилось за допомогою коефіцієнта рангової кореляції Спірмена. Статистична значущість коефіцієнта рангової кореляції та зв'язок між порівнюваними значеннями перевіряється за допомогою t-критерія Стьюдента.

Результати роботи та їх обговорення. В результаті досліджень було показано, що рівень трансферину з пацієнтів з ХСН достовірно знижується на 40 % порівняно з контрольною групою (табл. 1). При цьому величина показника насичення трансферину залізом також знижується за ХСН в порівнянні з практично здоровими людьми на 43 % (табл. 1). У нормі залізом заповнена 1/3 зв'язуючих центрів трансферину, решта 2/3 залишаються в резерві. Насичення трансферину йонами заліза відображає метаболічні зміни, що виникають за ХСН [5]. Аналіз допомагає встановити ймовірність розвитку анемії та супутніх патофізіологічних станів.

Таблиця 1

Показники обміну заліза у пацієнтів з ХСН та практично здорових людей

	Контроль	ХСН (декомпенсація)
Залізо сироватки, мкмоль/л	20,71 ± 1,71	9,02 ± 0,65*
Трансферин, г/л	4,96 ± 0,21	2,97 ± 0,11*
Насичення трансферину залізом, %	35,37 ± 2,79	20,16 ± 1,82*
Церулоплазмін, мг/л	23,62 ± 3,21	19,88 ± 1,80
Феритин, нг/мл	287,21 ± 15,41	166,10 ± 35,08*

Примітка: * - різниця достовірна порівняно з контрольною групою (p < 0,05).

Рівень сироваткового заліза у практично здорових пацієнтів суттєво відрізняються від показників у хворих на хронічну серцеву недостатність. Результати біохімічних досліджень показали, що рівень сироваткового заліза (концентрація заліза) у пацієнтів з ХСН знижується на 56,5 % у порівнянні з практично здоровими людьми. Отримані дані можуть свідчити про можливий ранній розвиток латентного залізодефіциту у людей з ХСН, що проявляється зниженням кількості еритроцитів та

гемоглобіну в крові [4,8]. Це, в свою чергу, може погіршувати функціонування шлунково-кишкового тракту, серцево-судинної системи та загальну якість життя.

При латентному дефіциті заліза фіксується суттєве зниження рівня вільного заліза в крові та ступеня насичення ним трансферину. Показник насичення трансферину є прямим індикатором запасів заліза в організмі: його зростання свідчить про надлишок елемента, що часто може бути зумовлено патологічним руйнуванням еритроцитів (гемолізом). Навпаки, низький відсоток насичення трансферину, що виникає через дефіцит вільного заліза, є передумовою для розвитку анемії [6].

Проаналізувавши отримані результати насичення трансферину та концентрації сироваткового заліза у пацієнтів з ХСН за допомогою кореляційного методу Спірмена, було виявлено, що отриманий коефіцієнт рангів ($r_{\text{емп}} = 0,790$) більший, ніж критичне значення ($r_{\text{крит}} = 0,712$) на рівні значущості 0,01. Результат свідчить про те, що кореляція між двома показниками сильна та пряма (рис. 1.1). Оцінка статистичної значущості коефіцієнта рангів проводиться за допомогою t-критерія. Оскільки отримане значення ($t_{\text{емп}} = 4,077$) більше за критичне ($t_{\text{крит}} = 3,169$) на рівні значущості 0,01, нульова гіпотеза, про відсутність кореляції між показниками відхиляється. Тобто, коефіцієнт рангової кореляції та зв'язок між двома порівнюваними даними статистично значимі.

Зменшення рівня вільного заліза в сироватці крові та зниження ступеня насичення трансферину є маркерами латентного залізодефіциту. Подальше прогресування цього стану до клінічно вираженої форми може призвести до розвитку анемії (зниження гемоглобіну та еритроцитів), а також спричинити системні порушення: імунну дисфункцію, гемодинамічні розлади та патологічні зміни з боку нервової системи [7].

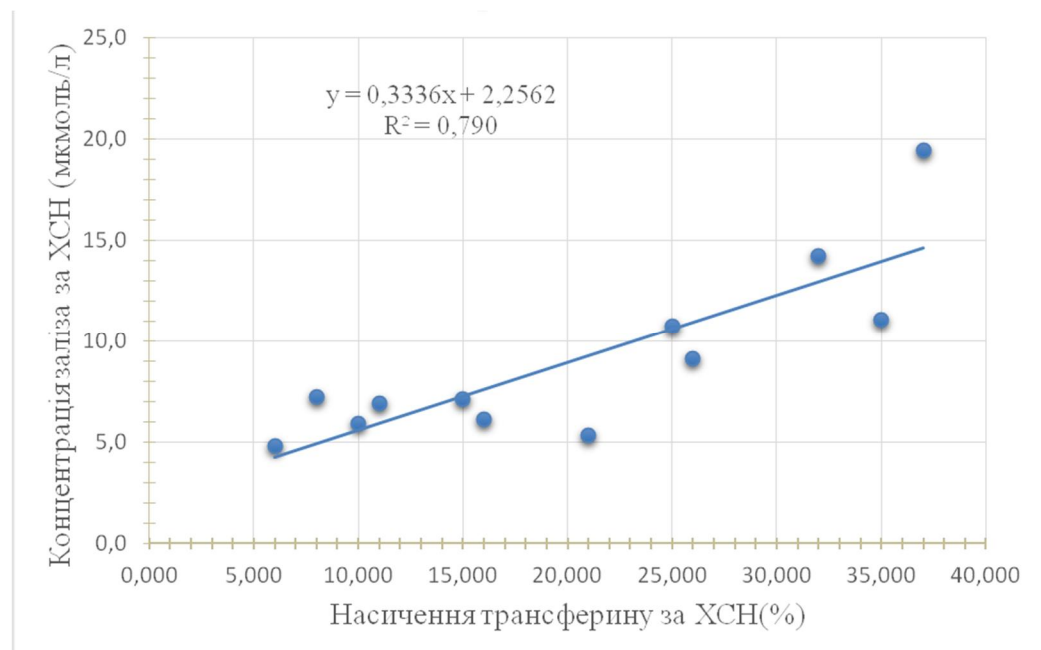


Рис. 1.1. Графік кореляції величин показників насичення трансферину залізом та концентрації сироваткового заліза за ХСН

Визначення рівня сироваткового феритину є ключовим методом діагностики залізодефіцитної анемії (ЗДА). Цей білок забезпечує мобілізацію депонованого заліза для потреб еритропоезу, одночасно нейтралізуючи токсичність вільних іонів заліза шляхом їх зв'язування. Попри те, що феритин відображає стан депо заліза, широкі межі норми (20–350 нг/мл) та його властивості як білка "гострої фази" ускладнюють інтерпретацію результатів [9]. За наявності запалень або патологічних процесів

концентрація феритину перестає корелювати з реальним вмістом заліза, а при латентному дефіциті показник може залишатися в межах норми або знижуватися до критичних 10 нг/мл. В результаті проведених досліджень було показано, що рівень феритину у пацієнтів з ХСН на 42 % менший порівняно із групою контролю (табл. 1).

Проаналізувавши дані вибірки за двома показниками: концентрацією феритину та концентрацією вільного заліза крові за допомогою кореляційного методу Спірмена, виявлено, що отриманий коефіцієнт рангів ($r_{\text{емп}} = 0,9125$) більший, ніж критичне значення ($r_{\text{крит}} = 0,712$) на рівні значущості 0,01. Результат свідчить про те, що кореляція між двома показниками пряма і дуже сильна (рис 1.2). Оцінка статистичної значущості коефіцієнта рангів проводиться за допомогою t-критерія. Нульова гіпотеза, про відсутність кореляції між показниками, - відхиляється, оскільки отримане значення ($t_{\text{емп}} = 7,0579$) більше за критичне ($t_{\text{крит}} = 3,169$) на рівні значущості 0,01. Це свідчить про наявність статистичної значущості коефіцієнту рангової кореляції та зв'язку між дослідженими показниками.

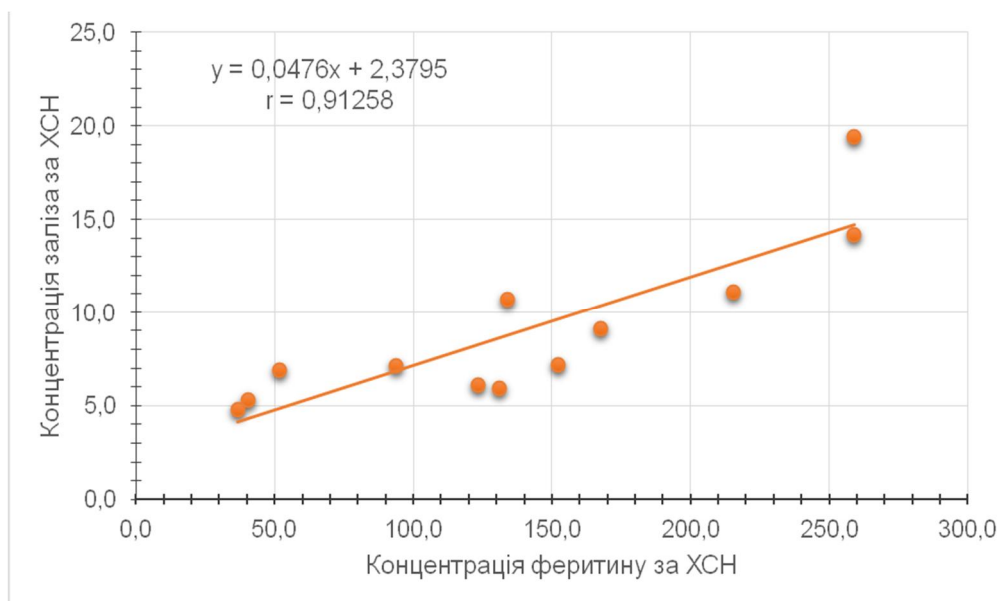


Рис. 1.2. Графік кореляції величин показників концентрації феритину та концентрації вільного заліза за ХСН

Церулоплазмін виступає природним антиоксидантним регулятором, що забезпечує захист тканин шляхом інактивації супероксидних радикалів кисню та пригнічення процесів перекисного окиснення ліпідів [15]. Цей білок бере участь у регуляції метаболізму, обмежуючи надлишкове вивільнення заліза та стимулюючи окиснення норадреналіну, серотоніну, аскорбінової кислоти й сульфгідрильних груп. Моніторинг рівня церулоплазміну (норма 27,6–30,4 мг/л) є критично важливим для діагностики спадкових патологій, а також розладів обміну міді та заліза. Зниження його концентрації в сироватці крові характерне для захворювань печінки й шлунково-кишкового тракту, імунодефіцитних станів, серцево-судинних порушень та активних запальних процесів, що супроводжуються зростанням рівня С-реактивного білка [16]. В результаті проведених досліджень продемонстровано тенденцію до зменшення вмісту церулоплазміну (на 16 %) у пацієнтів з ХСН порівняно із контрольною групою практично здорових осіб (табл. 1).

Статистичний аналіз взаємозв'язку між рівнями церулоплазміну та вільного заліза крові за методом Спірмена виявив сильний прямий кореляційний зв'язок. Розрханковий коефіцієнт рангів ($r_{\text{емп}} = 0,8758$) більший, ніж критичне значення ($r_{\text{крит}} = 0,712$) на рівні значущості 0,01. Результат свідчить про те, що кореляція між двома показниками пряма, проте дуже сильна (рис. 1.3). Достовірність результатів

підтверджена за допомогою t-критерія. Оскільки отримане емпіричне значення ($t_{\text{емп}} = 7,0579$) більше за критичне ($t_{\text{крит}} = 3,169$) на рівні значущості 0,01, це свідчить про наявність статистичної значущості коефіцієнту рангової кореляції та зв'язку між дослідженими показниками.

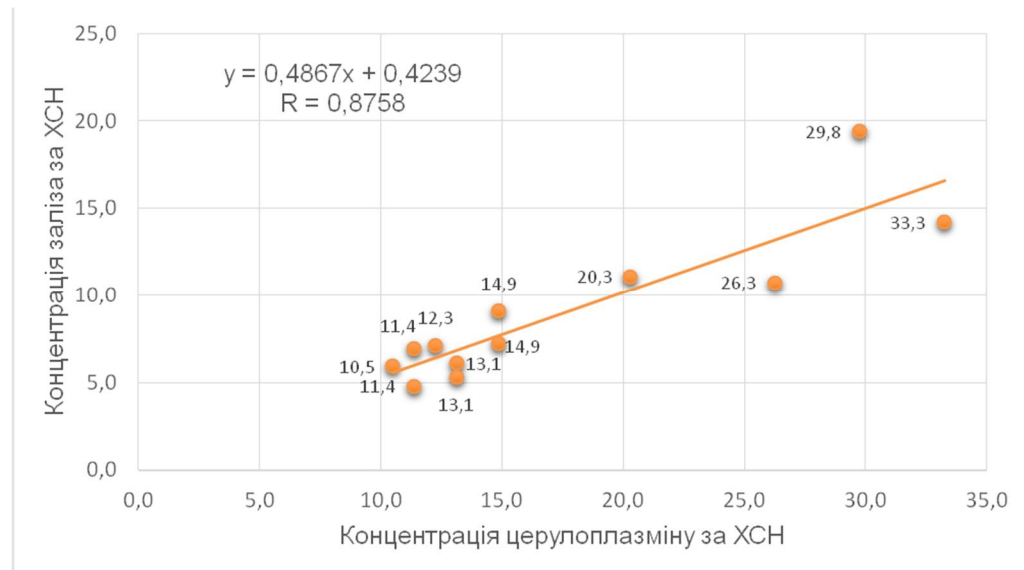


Рис. 1.3. Графік кореляції величин показників концентрації церулоплазміну та вільного заліза за ХСН

Зниження рівня цього білка може свідчити про розвиток патофізіологічних порушень, пов'язаних із гемопоезом, метаболізмом та транспортуванням мікроелементів, а також про інтенсифікацію оксидативного стресу [17]. Оскільки будь-яка анемія спричиняє дисбаланс мікроелементів (зокрема міді), ефективна терапія має бути комплексною.

Висновок. У пацієнтів із ХСН спостерігається суттєве зниження показників насичення трансферину – на 43,2 % відносно групи практично здорових осіб. В той же час концентрація сироваткового заліза у цих пацієнтів характеризується вираженим дефіцитом, демонструючи зниження на 56,5% порівняно з контрольною групою. Встановлений сильний прямий кореляційний зв'язок між рівнем насичення трансферину та концентрацією вільного заліза може підтверджувати пригнічення еритропоезу та трансформацію латентного залізодефіциту у виражену анемію при ХСН. Виявлена дуже сильна пряма кореляція між показниками концентрації феритину (в межах референтних значень) та зниженим рівнем сироваткового заліза є маркером активного запального процесу, що дещо знижує діагностичну точність феритину. Наявність прямої кореляції між дефіцитом церулоплазміну та низьким вмістом сироваткового заліза може вказувати на порушення синтезу цього мідьвмісного білка, що виступає патогенетичним фактором розвитку залізодефіцитної анемії при ХСН.

Література

1. Shahim B., Kapelios C. J., Savarese G., Lund L. H. Global Public Health Burden of Heart Failure: An Updated Review. *Card Fail Rev.* 2023. Vol. 9, №. 11.
2. McDonagh T, Metra M, Adamo M, et al. 2023 Focused Update of the 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *European Heart Journal.* Vol. 44, Issue 37, P. 3627–3639. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehad195>.
3. Alnuwaysir R. I. S. Hoes M. F., van Veldhuisen D. J., van der Meer P., Grote Beverborg N.. Iron deficiency in heart failure: mechanisms and pathophysiology. 2022. *Journal of Clinical Medicine.* Vol. 11(1). P. 125.

4. Singer C. E., Vasile C. M., Popescu M, Popescu A. I. S., Marginean I. C., Iacob G. A., Popescu M. D., Marginean C. M.. Role of iron deficiency in heart failure-clinical and treatment approach: an overview. 2023. *Diagnostics* Vol. 13(2). P. 304.
5. Gan S., Azzo J. D., Zhao L., Pourmussa B., Dib M. J., Salman O., Erten O., Chirinos J. A. Transferrin saturation, serum iron, and ferritin in heart failure: prognostic significance and proteomic associations. *Circulation: Heart Failure* 2025. Vol. 18(2).
6. Wang M., Zhang D., Jiang L., Ye M., Nie J., Yin J. Association between serum transferrin saturation levels and heart failure in adults aged ≥ 40 years: a cross-sectional study based on NHANES (2017-2020). *Frontiers in Endocrinology (Lausanne)*. 2024. Vol. 15.
7. Masini G., Graham F. J., Pellicori P., Cleland J. G. F., Cuthbert J. J., Kazmi S., Inciardi R. M., Clark A. L. Criteria for iron deficiency in patients with heart failure. *Journal of the American College of Cardiology*. 2022. Vol. 79(4). P. 341-351.
8. Packer M., Anker S. D., Butler J., Cleland J. G. F., Kalra P. .R, Mentz R. J., Ponikowski P., Talha K. M. Redefining Iron Deficiency in Patients With Chronic Heart Failure. *Circulation*. 2024. Vol. 149. P. 1520–1523.
9. Xie T., Yao L., Li X. Advance in iron metabolism, oxidative stress and cellular dysfunction in experimental and human kidney diseases. 2024. *Antioxidants* Vol. 13(6). P. 659.
10. Tkaczyszyn M, Górnjak K M, Lis W H, Ponikowski P, Jankowska E A. Iron deficiency and deranged myocardial energetics in heart failure. 2022. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Vol. 19(24). P. 17000.
11. Vasylychenko V. S., Korol L. V., Kuchmenko O. B., Stepanova N. M. The oxidative status in patients with chronic kidney disease. 2020. *Ukr. Biochem. J.*, Vol. 92. N 5. P. 70-77.
12. Дудник В. М., Жмурчук В. М. Оцінка рівня залізовмісних білків та їх рецепторів у сироватці крові дітей, хворих на бронхіальну астму, залежно від показників функції зовнішнього дихання. 2019. *Український журнал Перинатологія і Педіатрія*. 3(79). С. 15-19.
13. Ponikowski P., Voors A.A., Anker S.D. et al. ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: The Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC). 2016. *Eur. Heart J.* Vol. 37 (27). P. 2129–2200.
14. Jankowska E., Rozentryt P., Witkowska A. et al. Iron deficiency: an ominous sign in patients with systolic chronic heart failure. *Eur. Heart J.* 2010. Vol. 31.
15. Liu Z., Wang M., Zhang C., Zhou S., Ji G. Molecular functions of ceruloplasmin in metabolic disease pathology. 2022. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity*. Vol. 15. P. 695–711.
16. Arenas de Larriva A. P., Limia-Pérez L., Alcalá-Díaz J. F., Alonso A., López-Miranda J., Delgado-Lista J. Ceruloplasmin and coronary heart disease – a systematic review. 2020. *Nutrients*. Vol. 12(10) P. 3219.
17. Niu L., Zhou Y., Lu L., Su A., Guo X. Ceruloplasmin deficiency impaired brain iron metabolism and behavior in mice. 2022. *Cell Biochemistry and Biophysics*. Vol. 80(2). P. 385-393.
18. Воронков Л. Г., Мхітарян Л.С. Порівняльна клінічна характеристика хворих із хронічною серцевою недостатністю та зниженою фракцією викиду лівого шлуночка залежно від стану когнітивної функції. *Серце і судини*. 2018. № 3. С. 52-59.

References

1. Shahim, B., Kapelios, C, J, Savarese, G, Lund, L, H. (2023). Global Public Health Burden of Heart Failure: An Updated Review. *Card Fail Rev*. Vol. 9, № 11 [in English].
2. McDonagh T, Metra M, Adamo M, et al. 2023 Focused Update of the 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *European Heart Journal* (2023). Vol. 44, Issue 37, P. 3627–3639. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehad195> [in English].
3. Alnuwaysir, R., I., S., Hoes, M., F., van, Veldhuisen, D., J., van, der, Meer, P., Grote, Beverborg, N.. (2022). Iron deficiency in heart failure: mechanisms and pathophysiology. *Journal of Clinical Medicine*. Vol. 11(1), P. 125 [in English].
4. Singer, C., E., Vasile, C., M., Popescu, M., Popescu, A., I., S., Marginean, I., C., Iacob, G., A., Popescu, M., D., Marginean, C., M.. (2023). Role of iron deficiency in heart failure—clinical and treatment approach: an overview. *Diagnostics* Vol. 13(2), P. 304 [in English].

5. Gan, S., Azzo, J., D., Zhao, L., Pourmussa, B., Dib, M., J., Salman, O., Erten, O., Chirinos, J., A. (2025). Transferrin saturation, serum iron, and ferritin in heart failure: prognostic significance and proteomic associations. *Circulation: Heart Failure*. Vol. 18(2) [in English].
6. Wang, M., Zhang, D., Jiang, L., Ye, M., Nie, J., Yin, J. (2024). Association between serum transferrin saturation levels and heart failure in adults aged ≥ 40 years: a cross-sectional study based on NHANES (2017-2020). *Frontiers in Endocrinology (Lausanne)*. Vol. 15 [in English].
7. Masini, G., Graham, F., J., Pellicori, P., Cleland, J., G., F., Cuthbert, J., J., Kazmi, S., Inciardi, R., M., Clark, A., L. (2022). Criteria for iron deficiency in patients with heart failure. *Journal of the American College of Cardiology*. Vol. 79(4). P. 341-351 [in English].
8. Packer, M., Anker, S., D., Butler, J., Cleland, J., G., F., Kalra, P., R., Mentz, R., J., Ponikowski, P., Talha, K., M. (2024). Redefining Iron Deficiency in Patients With Chronic Heart Failure. *Circulation*. Vol. 149. P. 1520–1523 [in English].
9. Xie, T., Yao, L., Li, X. (2024). Advance in iron metabolism, oxidative stress and cellular dysfunction in experimental and human kidney diseases. *Antioxidants*. Vol. 13(6). P. 659 [in English].
10. Tkaczyszyn, M., Górnjak, K., M., Lis, W., H., Ponikowski, P., Jankowska, E., A. (2022). Iron deficiency and deranged myocardial energetics in heart failure. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Vol. 19(24). P. 17000 [in English].
11. Vasylychenko, V., S., Korol, L., V., Kuchmenko, O., B., Stepanova, N., M. (2020). The oxidative status in patients with chronic kidney disease. *Ukr. Biochem. J.*, Vol. 92, N 5. P. 70-77 [in English].
12. Dudnyk, V., M., Zhmurchuk, V., M. (2019). Otsinka rivnia zalizovmisnykh bilkiv ta yikh retseptoriv u syrovatsi krovi ditei, khvorykh na bronkhialnu astmu, zalezno vid pokaznykiv funktsii zovnishnoho dykhan'nia. *Ukrainskyi zhurnal Perynatolohiia i Pediatriia*. 3(79). S. 15-19 [in Ukrainian].
13. Ponikowski, P., Voors, A., A., Anker, S., D. et al. (2016). ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: The Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur. Heart J.* Vol. 37 (27). P. 2129–2200 [in English].
14. Jankowska, E., Rozentryt, P., Witkowska, A. et al. (2010). Iron deficiency: an ominous sign in patients with systolic chronic heart failure. *Eur. Heart J.* Vol. 31. [in English].
15. Liu, Z., Wang, M., Zhang, C., Zhou, S., Ji, G. (2022). Molecular functions of ceruloplasmin in metabolic disease pathology. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity*. Vol. 15. P. 695–711 [in English].
16. Arenas, de, Larriva, A., P., Limia-Pérez, L., Alcalá-Díaz, J., F., Alonso, A., López-Miranda, J., Delgado-Lista, J. (2020). Ceruloplasmin and coronary heart disease—a systematic review. *Nutrients*. Vol. 12(10) P. 3219 [in English].
17. Niu, L., Zhou, Y., Lu, L., Su, A., Guo, X. (2022). Ceruloplasmin deficiency impaired brain iron metabolism and behavior in mice. *Cell Biochemistry and Biophysics*. Vol. 80(2). P. 385-393 [in English].
18. Voronkov, L. H., Mkhitarian, L.S. (2018). Porivnialna klinichna kharakterystyka khvorykh iz khronichnoi sertsvoi nedostatnistiu ta znyzhenoiu fraktsiieiu vykydu livoho shlunochka zalezno vid stanu kohnityvnoi funktsii. *Sertse i sudyny*. № 3. S. 52-59 [in Ukrainian].

Havii T.

PhD student, Department of Biology,
Nizhyn Mykola Gogol State University
tanyag2000@ukr.net
orcid.org/0000-0009-0001-5001-262X

IRON EXCHANGE INDICATORS IN CHRONIC HEART FAILURE

Cardiovascular diseases, particularly chronic heart failure, are the leading cause of death worldwide. Chronic heart failure is often accompanied by iron deficiency and anemia, which are independent risk factors. Since iron is critical for energy metabolism in myocardial cells, its deficiency impairs cardiac contractility, reduces exercise tolerance, and increases the risk of mortality. Monitoring serum free iron levels is key to accurate diagnosis and prognosis of the patient's condition. The study showed that transferrin saturation levels decrease by 43.2% in chronic heart failure compared to virtually healthy people. Biochemical analysis revealed a significant decrease in serum iron concentration in patients with chronic heart failure by 56.5% compared to the control group. Such indicators may indicate the formation of latent iron deficiency, which may be accompanied by a decrease in red blood cell and hemoglobin levels. Spearman's correlation analysis showed a strong direct relationship between transferrin saturation and iron concentration in patients with chronic heart failure ($r_{emp} = 0.790$ at $r_{crit} = 0.712$). The statistical significance of the results was confirmed using the t-test, since the obtained value ($t = 4.077$) exceeds the critical value ($t_{crit} = 3.169$), which allows us to reject the null hypothesis and recognize the identified relationship between the indicators as significant at the 0.01 level. An analysis of the sample for ferritin and free iron concentration in the blood, performed using Spearman's method, revealed a direct and very strong correlation. The obtained rank coefficient ($r_{emp} = 0.9125$) is greater than the critical value ($r_{crit} = 0.712$) at a significance level of 0.01. The statistical significance of this relationship is confirmed by the results of the t-test: since the empirical value ($t_{emp} = 7.0579$) is greater than the critical value ($t_{crit} = 3.169$), the null hypothesis of no correlation is rejected. Statistical analysis of the relationship between ceruloplasmin and free iron levels in the blood, performed using Spearman's method, revealed a strong direct correlation. The calculated rank coefficient ($r_{mp} = 0.8758$) is greater than the critical value ($r_{crit} = 0.712$) at a significance level of 0.01. The reliability of the results obtained was verified using the t-test. Since the empirical value ($t_{em} = 7.0579$) is greater than the critical value ($t_{crit} = 3.169$) at a significance level of 0.01, this indicates the statistical significance of the rank correlation coefficient and the relationship between the studied indicators.

Key words: chronic heart failure, iron, ceruloplasmin, ferritin, transferrin, anemia.

**Стаття до редакції надійшла 02.12.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 18.12.2025 року**

УДК 618.2/.3:577.161.2:612.015.31
DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-4-62-69

Якимчук Д. С.

аспірантка кафедри біології,
Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя
darynakozlova2023@gmail.com
orcid.org/0009-0009-6084-3601

Кучменко О. Б.

доктор біологічних наук, професор,
завідувач кафедри біології,
Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя
kuchmeh@yahoo.com
orcid.org/0000-0002-3021-8583

**РІВНІ ГЕПСИДИНУ У ВАГІТНИХ ЖІНОК В ЗАЛЕЖНОСТІ
ВІД СТАТУСУ ВІТАМІНУ D**

Анемія вагітних залишається серйозною проблемою, де гепсидин виступає головним регулятором обміну заліза. Сучасні дані свідчать про потенційну здатність вітаміну D пригнічувати експресію гепсидину, що може покращити всмоктування заліза. Проте результати досліджень у вагітних є неоднозначними, що потребує уточнення ролі вітаміну D у регуляції заліза на різних термінах гестації. В дослідженні взяли участь 62 вагітні жінки, які були обстежені протягом липня-вересня 2024 року. Учасниць дослідження поділено на дві групи відповідно до статусу вітаміну D (недостатній рівень 25(OH)D < 20 нг/мл та достатній рівень 25(OH)D > 30 нг/мл). У всіх групах було виміряно рівні гепсидину та заліза. Для контролю була обстежена група волонтерів (23 невагітні жінки). У групі вагітних з достатнім рівнем вітаміну D середній рівень гепсидину був нижчим ніж у групі з дефіцитом, але статистично значущої різниці не виявлено. Однак, у групах виключення (зі значно вищими показниками гепсидину) концентрації гепсидину у групі з достатнім рівнем вітаміну D були вдвічі менші порівняно з групою вагітних з недостатнім рівнем вітаміну D (U=3, p≤0,01). Не виявлено достовірної різниці в концентрації сироваткового заліза у досліджуваних групах. Зафіксовано значні індивідуальні коливання гепсидину в усіх групах (від 2 до 5668 пг/мл), що вказує на складні процеси регуляції гормону. Виявлено значний діапазон концентрацій гепсидину (2–5668 пг/мл), що підтверджує складну багатофакторну регуляцію гормону під час вагітності. У групі з достатнім рівнем вітаміну D (>30 нг/мл) зафіксовано нижчий середній рівень гепсидину порівняно з групою недостатнього рівня вітаміну D (< 20 нг/мл), хоча загальна статистична значущість не досягнута. У пацієнток із гіперпродукцією гепсидину («групи виключення») достатній рівень вітаміну D асоціюється з достовірним зниженням рівня гормону вдвічі (1583 проти 3369 пг/мл, p ≤ 0,01). Необхідне розширення вибірки та аналіз додаткових маркерів (sTfR, феритин) для уточнення динаміки обміну заліза по триместрах.

Ключові слова: вітамін D, вагітність, гепсидин, анемія, залізодефіцитна анемія, еритропоез.

Вступ. Сучасні дослідження підтверджують біологічний зв'язок між дефіцитом вітаміну D та анемією у дорослого населення [1]. Передусім вітамін D відіграє певну роль у регуляції метаболізму заліза через зв'язок з рівнями гепсидину [2]. Гепсидин – це печінковий гормон та білок гострої фази, який знижує рівень заліза в крові,

блокуючи його всмоктування з їжі та вивільнення з клітинних запасів. Його надлишок під час запалення призводить до анемії хронічних захворювань, тоді як дефіцит спричиняє небезпечне перевантаження організму залізом (гемохроматоз) [3]. Залізо-дефіцитна анемія залишається критичною проблемою охорони здоров'я (уражає до 30% вагітних у розвинених країнах, як-от Велика Британія), оскільки вона безпосередньо загрожує здоров'ю матері та розвитку плода. Основна складність полягає в обмеженості сучасних діагностичних методів, які не завжди дозволяють точно визначити потребу організму в залізі, що призводить або до неефективного лікування, або до побічних ефектів від надмірного споживання препаратів [4]. Попередньо отримані дані виявили, що дефіцит вітаміну D асоційований з гіршими гематологічними параметрами у жінок в першому триместрі вагітності [5].

Тож, метою даного дослідження було оцінити рівні гепсидину в залежності від статусу вітаміну D (25(OH)D) у вагітних жінок.

Методи та організація дослідження. З липня по вересень 2024 року було досліджено біологічний матеріал (сироватка крові та цільна кров), відібраний у 62 вагітних жінок (з 9 по 25 тиждень вагітності) віком 20-44 років, які перебували на обліку в спеціалізованій жіночій консультації комунального некомерційного підприємства «Перинатальний центр м. Києва». Вагітні жінки були поділені на 2 групи за рівнем 25(OH)D у сироватці крові (недостатній рівень 25(OH)D < 20 нг/мл та достатній рівень 25(OH)D > 30 нг/мл), як наведено в табл. 1. Також була досліджена група волонтерів, яка склала 23 невагітні жінки (середній вік 30,6 ± 1,1 роки). При проведенні статистичної обробки даних в кожній групі були виявлені зразки зі значно вищими результатами величин показників, що досліджувалися, на відмінну від більшості отриманих вимірів; ці дані було виключено із основної підгрупи (підгрупа 1) та на їх основі сформовано підгрупу виключення (підгрупа 2).

Таблиця 1

Розподіл вагітних жінок у досліджуваних групах

Дані	Досліджувані групи вагітних	
	Недостатній рівень вітаміну D (< 20 нг/мл)	Достатній рівень вітаміну D (> 30 нг/мл)
Вік, роки	30,8 ± 1,0	32,6 ± 1,2
Кількість, n	34	28
Термін вагітності, тиждень	14,0 ± 0,6	12,8 ± 0,7
25(OH)D, нг/мл	16,2 ± 0,5	35,7 ± 0,8

Було проведено дослідження вмісту 25(OH)D за допомогою методу імуноферментного аналізу (реагенти Monobind, USA та рідер Sinowa ER 500). Досліджено рівні гепсидину за допомогою наукового набору реагентів FineTest Human Нерс (Нерсидін) (Китай) методом імуноферментного аналізу з дотриманням Протоколу підготовки зразків для ІФА від виробника тест-системи FineTest (рідер Sinowa ER 500). Зразки сироваток на дослідження концентрації гепсидину попередньо розводились (1:20) буфером для розведення зразків, який входить до складу тест-системи FineTest. Концентрації заліза досліджувались методом колориметрії (реагенти Спайн-лаб, Україна та аналізатор BTS-350).

В дослідження не включались вагітні з перенесеними інфекційними захворюваннями, такими як ВІЛ, сифіліс, інфекційні гепатити В і С та зразки з ознаками гемолізу та/або хільозу.

Робота виконана у відповідності до біоетичних норм з дотриманням відповідних принципів Гельсінської декларації прав людини, Конвенції ради Європи про права людини і біомедицини та відповідних законів України [9, 10].

Статистичну обробку та аналіз результатів дослідження проводилися з використанням пакету програм Microsoft 365. Для параметричних кількісних даних визначали середнє арифметичне значення (M) та помилку середньої арифметичної величини (m), середнє квадратичне відхилення, коефіцієнт варіації на рівні довірчої ймовірності $P > 0,95$ (або на рівні достовірності $p < 0,05$) за U-критерієм Манна-Уїтні.

Результати досліджень та їх обговорення. Гепсидин є головним регулятором обміну заліза, і теоретично його рівень може пригнічуватися вітаміном D через пряму дію на ген *HAMP* [6]. Це створює потенціал для використання вітаміну D як допоміжного засобу в лікуванні анемії, особливо за умов запалення. Але, в нашому дослідженні достовірної різниці у рівнях гепсидину між групами вагітних жінок не підтвердилось. Хоча у групі з достатнім рівнем вітаміну D середній рівень гепсидину був дещо нижчим (517 ± 118 пг/мл) ніж у групі з недостатнім рівнем вітаміну D (806 ± 220) (табл. 2). В результаті дослідження нами зафіксовано значні індивідуальні коливання гепсидину в усіх групах (від 2 до 5668 пг/мл), що вказує на складність його регуляції під час вагітності. Концентрації гепсидину знижуються при дефіциті заліза, що сприяє збільшенню абсорбції та утилізації заліза, і підвищуються при навантаженні залізом та запаленні, запобігаючи доступу заліза до плазми. Попередньо за літературними джерелами аналізували вплив вітаміну D на рівень гепсидину в різних групах. Результати досліджень демонструють значну варіабельність залежно від стану пацієнтів та дозування препаратів вітаміну D. Наприклад, дослідження MAVIDOS показало, що щоденний прийом 1000 МО вітаміну D3 не впливає на рівень гепсидину, феритину або маркерів запалення, попри суттєве зростання рівня 25(OH)D у крові вагітних жінок [6]. Проте в інших етнічних когортах (жінки Південної Азії) спостерігався позитивний зв'язок між вітаміном D та гепсидином, що може бути зумовлено високим рівнем інтерлейкіну-6 (IL-6) [7]. У дітей із запальними захворюваннями кишечника (ЗЗК) короточасний прийом високих доз вітаміну D (4000 МО протягом 2 тижнів) призвів до зниження рівня гепсидину на 81 % та С-реактивного білка (СРБ) [8]. І навпаки, у дітей з ожирінням зв'язку між рівнем вітаміну D та гепсидином не виявлено [9]. Анемія у недоношених дітей пов'язана з високим рівнем гепсидину. Вчені зафіксували позитивну кореляцію між рівнями гепсидину та феритину, але не між рівнями 25(OH)D та С-реактивним білком [13]. У пацієнтів з хронічною хворобою нирок застосування холекальциферолу протягом 16 тижнів ефективно підвищило рівень вітаміну D, проте не зумовило статистично значущих змін рівня гепсидину порівняно з групою плацебо [10]. Після важких травм низький статус вітаміну D корелює із системним запаленням та стійкою анемією [11]. Однак у післяопераційному періоді (пухлини травного тракту) кореляція між вітаміном D та гепсидином оцінюється як слабка [12].

Отримані результати в групах обстежених з даними виключення наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Рівні гепсидину та заліза в крові вагітних жінок у досліджуваних групах з даними виключення

Дані	Досліджувані групи вагітних з даними виключення				Волонтери з даними виключення	
	Недостатній рівень вітаміну D (< 20 нг/мл)		Достатній рівень вітаміну D (> 30 нг/мл)			
	Підгрупа 1	Підгрупа 2	Підгрупа 1	Підгрупа 2	Підгрупа 1	Підгрупа 2
1	2	3	4	5	6	7
Вік, роки	$30,5 \pm 1,1$	$32,7 \pm 1,9$	$31,6 \pm 1,4$	$36,2 \pm 1,8$	$30,1 \pm 1,1$	$33,3 \pm 3,0$
Кількість, n	28	6	22	6	19	4

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7
Термін вагітності, тиждень	14,3 ± 0,7	13,0 ± 0,8	13,4 ± 0,8	10,3 ± 0,6	-	-
25(ОН)D, нг/мл	16,2 ± 0,6	16,3 ± 1,0	35,4 ± 0,9	37,1 ± 1,6	*	*
Гепсидин, пг/мл	806 ± 220		517 ± 118		767 ± 279	
	257 ± 25,5	3369 ± 439	226 ± 18,9	1583 ± 233	257 ± 28,1	3198 ± 936
Мін, гепсидин	2	1738	24	836	26	1218
Мах, гепсидин	626	5000	436	2356	458	5668
Залізо, мкмоль/л	24,7 ± 1,5		22,5 ± 1,2		18,4 ± 2,2	
	23,1 ± 1,6	32,2 ± 2,4	22,1 ± 1,3	24,2 ± 2,7	16,0 ± 1,6	29,8 ± 9,5

Примітки: * - дослідження рівня вітаміну D не проводилось.

В нашому дослідженні, у групах виключення зафіксовані достовірно нижчі рівні гепсидину в групі з достатнім рівнем вітаміну D в порівнянні з групою недостатнього рівня вітаміну D (1583 ± 232 пг/мл проти 3368 ± 439 пг/мл відповідно, U=3, p≤0,01), як наведено на рис. 1. Це може свідчити про те, що вітамін D відіграє певну роль саме як супресор гіперпродукції гепсидину під час вагітності. Але для досконалого розуміння необхідні більші вибірки для дослідження.

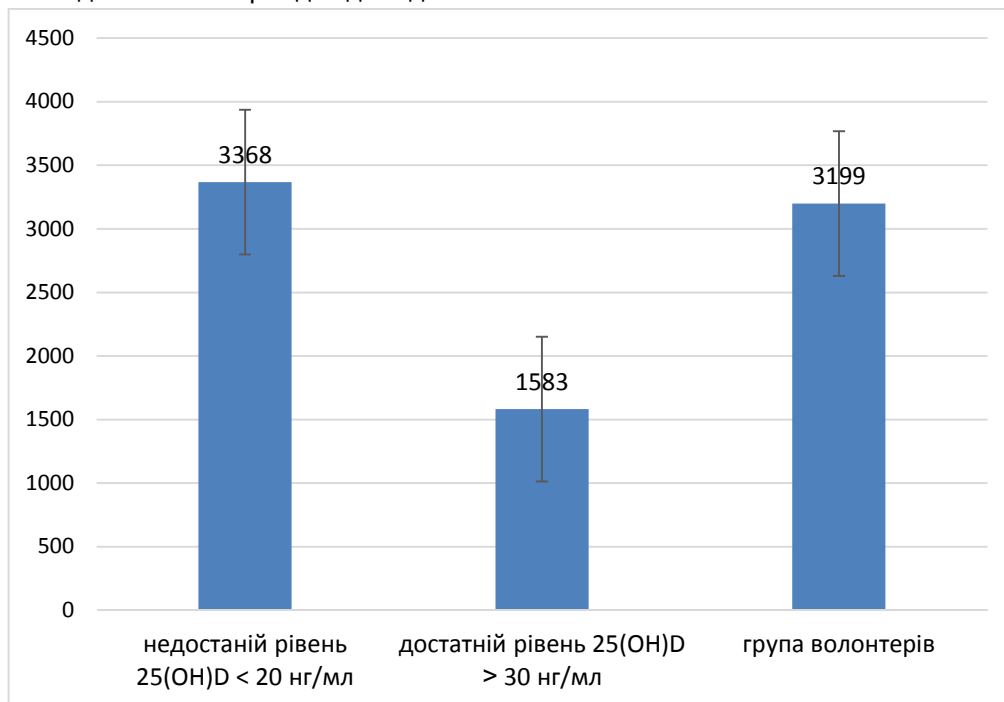


Рис. 1. Порівняльна характеристика вмісту гепсидину (пг/мл) в сироватці крові вагітних жінок «групи виключення» (підгрупа 2) залежно від статусу вітаміну D

Щодо концентрацій заліза в досліджуваних групах достовірної різниці між вибірками не виявлено (табл. 2).

Висновки. Тож, на сьогодні докази того, що вітамін D може бути універсальним засобом для зниження гепсидину, є суперечливими. Найбільш виражений позитивний ефект спостерігається при гострому запаленні та застосуванні високих доз, тоді як для

вагітних жінок та пацієнтів із хронічною хворобою нирок стандартні дози вітаміну D не демонструють значного впливу на гомеостаз заліза [6, 10]. Ці висновки співставні з результатами нашого дослідження, де у групах виключення рівні гепсидину зафіксовані вдвічі менші ніж у групі з достатнім рівнем вітаміну D на відміну з групою недостатнього рівню вітаміну D.

Дослідження підтвердило наявність значної індивідуальної варіабельності рівнів гепсидину у вагітних жінок (від 2 до 5668 пг/мл), що свідчить про складну мультифакторну регуляцію цього гормона під час гестації. Встановлено, що загальний рівень гепсидину в групі з достатнім рівнем вітаміну D (> 30 нг/мл) має тенденцію до зниження порівняно з групою недостатнім рівнем вітаміну D, проте без статистично значущої різниці для всієї вибірки. У підгрупах з високою концентрацією гепсидину («групи виключення») виявлено достовірно нижчі (вдвічі) рівні гормона у жінок із достатнім рівнем вітаміну D (1583 ± 233 пг/мл проти 3369 ± 439 пг/мл, $U=3$, $p \leq 0,01$). Це вказує на те, що вітамін D може виступати специфічним супресором гіперпродукції гепсидину, що особливо важливо для пацієток із запальними процесами. Відсутність достовірної різниці в рівнях сироваткового заліза при зміні рівнів гепсидину може свідчити про інерційність гомеостатичних механізмів та пріоритетне забезпечення залізом фетоплацентарного комплексу на термінах 9–25 тижнів. Для остаточного з'ясування ролі вітаміну D у профілактиці залізодефіцитних станів необхідно проводити масштабніші дослідження з аналізом додаткових маркерів (sTfR, феритин) та врахуванням динаміки по триместрах.

Література

1. Alpakra, M., Hamed, N. F., Alfaki, A., & AlKabbani, D. M. Z. The Correlation Between Vitamin D Deficiency and Anemia: A Systematic Review. *Cureus*. 2025. 17(8). e89428. <https://doi.org/10.7759/cureus.89428>.
2. Xu, P., Liu, G., & Chen, B. Vitamin D supplementation ameliorates anemia of inflammation by reducing hepcidin levels and inactivating inflammatory signaling pathways. *Revista de investigacion clinica; organo del Hospital de Enfermedades de la Nutricion*. 2025. 77(4), 100017. <https://doi.org/10.1016/j.ric.2025.100017>.
3. Chambers, K., Ashraf, M. A., & Sharma, S. Physiology, Hepcidin. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. 2023. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30855845/>.
4. Rosson, S., & Pavord, S. Understanding hepcidin for iron management in pregnancy. *Transfusion medicine (Oxford, England)*. 2025. 35(2). 109–115. <https://doi.org/10.1111/tme.13125>.
5. Козлова, Д., & Кучменко, О. Зв'язок гематологічних показників з рівнем вітаміну D у жінок в першому триместрі вагітності в різних вікових групах. *Наукові записки. Біологічні науки (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя)*, 2024. (3). 16–24. <https://doi.org/10.31654/2786-8478-2024-BN-3-16-24>.
6. Braithwaite, V. S., Crozier, S. R., D'Angelo, S., Prentice, A., Cooper, C., Harvey, N. C., Jones, K. S., & MAVIDOS Trial Group The Effect of Vitamin D Supplementation on Hepcidin, Iron Status, and Inflammation in Pregnant Women in the United Kingdom. *Nutrients*. 2019. 11(1), 190. <https://doi.org/10.3390/nu11010190>.
7. Greenwood, A., von Hurst, P. R., Beck, K. L., Mazahery, H., Lim, K., & Badenhorst, C. E. Relationship between vitamin D, iron, and hepcidin in premenopausal females, potentially confounded by ethnicity. *European journal of nutrition*. 2023. 62(8), 3361–3368. <https://doi.org/10.1007/s00394-023-03240-7>.
8. Moran-Lev, H., Galai, T., Yerushalmy-Feler, A., Weisman, Y., Anafy, A., Deutsch, V., Cipok, M., Lubetzky, R., & Cohen, S. Vitamin D Decreases Hepcidin and Inflammatory Markers in Newly Diagnosed Inflammatory Bowel Disease Paediatric Patients: A Prospective Study. *Journal of Crohn's & colitis*. 2019. 13(10). 1287–1291. <https://doi.org/10.1093/ecco-icc/ijz056>.

9. Aka, S., Kilercik, M., Arapoglu, M., & Semiz, S. The Hepcidin and 25-OH-Vitamin D Levels in Obese Children as a Potential Mediator of the Iron Status. *Clinical laboratory*. 2021. 67(5). 10.7754/Clin.Lab.2020.200813. <https://doi.org/10.7754/Clin.Lab.2020.200813>.
10. Kamboj, K., Yadav, A. K., Kumar, V., & Jha, V. Effect of Vitamin D Supplementation on Serum Hepcidin Levels in Non-Diabetic Chronic Kidney Disease Patients. *Indian journal of nephrology*. 2023. 33(6), 444–448. https://doi.org/10.4103/ijn.ijn_28_23.
11. Apple, C. G., Miller, E. S., Kannan, K. B., Stortz, J. A., Cox, M., Loftus, T. J., Parvataneni, H. K., Patrick, M., Hagen, J. E., Brakenridge, S., Efron, P. A., & Mohr, A. M. Vitamin D status is associated with hepcidin and hemoglobin concentrations in patients with severe traumatic injury. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2020. 89(6). 1124–1130. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000002895>.
12. Szabo, R., Petrişor, C., & Trancă, S. Vitamin D and iron levels correlate weakly with hepcidin levels in postoperative patients with digestive neoplasms undergoing open abdominal surgery. *European review for medical and pharmacological sciences*. 2021. 25(9). 3530–3535. https://doi.org/10.26355/eurev_202105_25835.
13. Koren, Y., Lubetzky, R., Mandel, D., Ovental, A., Deutsch, V., Hadanny, A., & Moran-Lev, H. Anemia, Hepcidin, and Vitamin D in Healthy Preterm Infants: A Pilot Study. *American journal of perinatology*. 2023. 40(5). 508–512. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1729556>.
14. Declaration of Helsinki of the World Medical Association "Ethical principles of medical research with the participation of a person as an object of research". 2008. Document 990_005, edition dated 10.01.2008. [online]. Available from: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990_005. [Accessed 21.12.2025].
15. General Declaration on Bioethics and Human Rights. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization: Science and Technology Ethics Division: Social Sciences and Humanities Sector. [online]. 2005. Available from: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180r.pdf>. [Accessed 21.12.2025].

References

1. Alpakra, M., Hamed, N. F., Alfaki, A., & AlKabbani, D. M. Z. (2025). The Correlation Between Vitamin D Deficiency and Anemia: A Systematic Review. *Cureus*, 17(8), e89428. <https://doi.org/10.7759/cureus.89428>. [in English].
2. Xu, P., Liu, G., & Chen, B. (2025). Vitamin D supplementation ameliorates anemia of inflammation by reducing hepcidin levels and inactivating inflammatory signaling pathways. *Revista de investigacion clinica*, 77(4), 100017. <https://doi.org/10.1016/j.ric.2025.100017>. [in English].
3. Chambers, K., Ashraf, M. A., & Sharma, S. (2023). Physiology, Hepcidin. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30855845/>. [in English].
4. Rosson, S., & Pavord, S. (2025). Understanding hepcidin for iron management in pregnancy. *Transfusion medicine (Oxford, England)*, 35(2), 109–115. <https://doi.org/10.1111/tme.13125>. [in English].
5. Kozlova, D., & Kuchmenko, O. (2024). Zv'язok hematolohichnykh pokaznykiv z rivnem vitaminu D u zhinok v pershomu tryestri vahitnosti v riznykh vikovykh hrupakh [Correlation of hematological parameters with vitamin D levels in women in the first trimester of pregnancy in different age groups]. *Naukovi zapysky. Biolohichni nauky (Nizhynskyi derzhavnyi universytet imeni Mykoly Hoholia)*, (3), 16-24. <https://doi.org/10.31654/2786-8478-2024-BN-3-16-24> [in Ukrainian]
6. Braithwaite, V. S., Crozier, S. R., D'Angelo, S., Prentice, A., Cooper, C., Harvey, N. C., Jones, K. S., & MAVIDOS Trial Group (2019). The Effect of Vitamin D Supplementation on Hepcidin, Iron Status, and Inflammation in Pregnant Women in the United Kingdom. *Nutrients*, 11(1), 190. <https://doi.org/10.3390/nu11010190>. [in English].
7. Greenwood, A., von Hurst, P. R., Beck, K. L., Mazahery, H., Lim, K., & Badenhorst, C. E. (2023). Relationship between vitamin D, iron, and hepcidin in premenopausal females, potentially confounded by ethnicity. *European journal of nutrition*, 62(8), 3361–3368. <https://doi.org/10.1007/s00394-023-03240-7>. [in English].
8. Moran-Lev, H., Galai, T., Yerushalmy-Feler, A., Weisman, Y., Anafy, A., Deutsch, V., Cipok, M., Lubetzky, R., & Cohen, S. (2019). Vitamin D Decreases Hepcidin and Inflammatory

Markers in Newly Diagnosed Inflammatory Bowel Disease Paediatric Patients: A Prospective Study. *Journal of Crohn's & colitis*, 13(10), 1287–1291. <https://doi.org/10.1093/ecco-jcc/ijz056>. [in English].

9. Aka, S., Kilercik, M., Arapoglu, M., & Semiz, S. (2021). The Hepcidin and 25-OH-Vitamin D Levels in Obese Children as a Potential Mediator of the Iron Status. *Clinical laboratory*, 67(5). <https://doi.org/10.7754/Clin.Lab.2020.200813>. [in English].

10. Kamboj, K., Yadav, A. K., Kumar, V., & Jha, V. (2023). Effect of Vitamin D Supplementation on Serum Hepcidin Levels in Non-Diabetic Chronic Kidney Disease Patients. *Indian journal of nephrology*, 33(6), 444–448. https://doi.org/10.4103/ijn.ijn_28_23. [in English].

11. Apple, C. G., Miller, E. S., Kannan, K. B., Stortz, J. A., Cox, M., Loftus, T. J., Parvataneni, H. K., Patrick, M., Hagen, J. E., Brakenridge, S., Efron, P. A., & Mohr, A. M. (2020). Vitamin D status is associated with hepcidin and hemoglobin concentrations in patients with severe traumatic injury. *The journal of trauma and acute care surgery*, 89(6), 1124–1130. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000002895>. [in English].

12. Szabo, R., Petrișor, C., & Trancă, S. (2021). Vitamin D and iron levels correlate weakly with hepcidin levels in postoperative patients with digestive neoplasms undergoing open abdominal surgery. *European review for medical and pharmacological sciences*, 25(9), 3530–3535. https://doi.org/10.26355/eurrev_202105_25835. [in English].

13. Koren, Y., Lubetzky, R., Mandel, D., Ovental, A., Deutsch, V., Hadanny, A., & Moran-Lev, H. (2023). Anemia, Hepcidin, and Vitamin D in Healthy Preterm Infants: A Pilot Study. *American journal of perinatology*, 40(5), 508–512. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1729556>. [in English].

14. World Medical Association. (2008). Declaration of Helsinki "Ethical principles of medical research with the participation of a person as an object of research". Document 990_005, edition dated 10.01.2008. Available from: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990_005. [Accessed 21.12.2025].

15. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2005). General Declaration on Bioethics and Human Rights. Science and Technology Ethics Division: Social Sciences and Humanities Sector. Available from: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180r.pdf>. [Accessed 21.12.2025].

Yakymchuk D.

PhD student, Department of Biology,
Nizhyn Mykola Gogol State University
darynakozlova2023@gmail.com
orcid.org/0009-0009-6084-3601

Kuchmenko O.

Doctor of biological Sciences, Professor,
Head of the Biology Department, Nizhyn Mykola Gogol State University
kuchmeb@yahoo.com
orcid.org/0000-0002-3021-8583

HEPSIDIN LEVELS IN PREGNANT WOMEN DEPENDING ON VITAMIN D STATUS

Anemia in pregnancy remains a serious problem, with hepcidin acting as a major regulator of iron metabolism. Current evidence suggests the potential for vitamin D to suppress hepcidin expression, which may improve iron absorption. However, studies in pregnant women are inconsistent, requiring further clarification of the role of vitamin D in iron regulation at different stages of gestation. 62 pregnant women (9–25 weeks of gestation) were divided into two groups: vitamin D deficiency (< 20 ng/mL, n=34) and sufficiency (>

30 ng/mL, n=28). 23 non-pregnant women served as a control group. Serum hepcidin (ELISA) and iron levels (colorimetry) were measured. In the group of pregnant women with sufficient vitamin D levels, the mean hepcidin level was lower than in the deficient group, but no statistically significant difference was found. However, in the exclusion groups (with significantly higher hepcidin levels), hepcidin concentrations in the group with sufficient vitamin D levels were half that in the group with insufficient vitamin D levels ($U=3$, $p \leq 0.01$). No significant difference in serum iron concentrations was found between the study groups. Significant individual fluctuations in hepcidin were recorded in all groups (from 2 to 5668 pg/ml), which indicates complex processes of hormone regulation. A significant range of hepcidin concentrations was found (2–5668 pg/ml), confirming the complex multifactorial regulation of the hormone during pregnancy. In the group with sufficient vitamin D levels (>30 ng/ml), a lower mean level of hepcidin was recorded compared to the group with insufficient vitamin D levels (< 20 ng/ml), although overall statistical significance was not reached. In patients with hepcidin hyperproduction (“exclusion group”), sufficient vitamin D levels were associated with a significant decrease in hormone levels by half (1583 vs. 3369 pg/ml, $p \leq 0.01$). It is necessary to expand the sample and analyze additional markers (sTfR, ferritin) to clarify the dynamics of iron metabolism by trimester.

Key words: vitamin D, pregnancy, hepcidin, anemia, iron deficiency anemia, erythropoiesis.

Стаття до редакції надійшла 02.12.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 18.12.2025 року

НОРМАЛЬНА І ПАТОЛОГІЧНА АНАТОМІЯ ТА ФІЗІОЛОГІЯ ЛЮДИНИ І ТВАРИН

УДК 612.3:613.2

DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-4-70-78

Данченко О. О.

доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри харчових технологій та готельно-ресторанної справи Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
nndea@ukr.net
orcid.org/0000-0001-5049-3446

Кюрчева Л. М.

кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри харчових технологій та готельно-ресторанної справи Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
liudmila.kiurceva@tsatu.edu.ua
orcid.org/0000-0002-8225-3399

Данченко М. М.

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри вищої математики і фізики Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
nndea2@gmail.com
orcid.org/0000-0001-7555-6511

ПРОБЛЕМА ЗБАЛАНСОВАНОГО БІЛКА В ХАРЧУВАННІ УКРАЇНЦІВ ТА НАПРЯМИ ЇЇ ВИРІШЕННЯ

Проаналізовано особливості найгострішої проблеми світової охорони здоров'я, що пов'язана з недостатнім споживанням високоякісного білка окремими категоріями населення планети. Розглянуто основні світові проекти вирішення цієї проблеми, які включають удосконалення технологій отримання тваринного білка, повний перехід на рослинні білки та найбільш екологічно спрямований підхід, що полягає у «відновленні» балансу між людьми і природним середовищем. В межах найбільш перспективного для Європейських країн напряму удосконалення технологій тваринного білка проаналізовано інноваційні методи поліпшення білкової складової рослинних кормів для свійських тварин.

На тлі загальної світової проблеми забезпечення населення повноцінним білком розглядається стан цієї проблеми в Україні під час війни. Проаналізовано структурні зміни в харчуванні українців, рівень споживання білкових продуктів, зокрема тваринного походження, та їх відповідність фізіологічним нормам. Особливу увагу приділено впливу військових дій, економічної нестабільності та змін у продовольчій політиці на доступність якісного білка. Наведено огляд наукових досліджень щодо значення збалансованого білкового раціону та визначено ключові чинники, що гальмують оптимізацію харчування населення. Особливу увагу приділено аналізу сучасного стану виробництва, переробки та якості рослинних білків в Україні. Визначено основні проблеми, що стримують розвиток білкового

сектору, зокрема незбалансований амінокислотний профіль традиційних культур, недостатню biodоступність та обмеженість впровадження інноваційних технологій. Запропоновано напрями вдосконалення державної та освітньо-просвітницької політики, в тому числі стратегічні напрями підвищення поживної цінності та промислової ефективності рослинних білків: сучасні селекційні програми, біотехнологічні рішення, модернізація переробки та створення державної стратегії білкової безпеки. Підкреслено, що розвиток сектору рослинних білків може стати одним з ключових факторів продовольчої та економічної стійкості України.

Ключові слова: повноцінний білок, амінокислотний склад, тваринні і рослинні білки, дефіцит білків, напрями вирішення проблеми.

Вступ. Повноцінний білок є базовим компонентом раціону людини, критично важливим для росту, регенерації тканин, імунної відповіді та метаболічних процесів. У науковій літературі наголошується [1-3], що недостатнє або незбалансоване споживання білка впливає на фізичний розвиток дітей, працездатність дорослого населення та загальний стан здоров'я нації.

В Україні питання білкового забезпечення населення загострилися у зв'язку з економічними викликами, зниженням купівельної спроможності, логістичними обмеженнями та трансформаціями продовольчого ринку, спричиненими російською агресією. Це зумовлює необхідність наукового аналізу сучасних тенденцій і факторів, що впливають на білковий баланс у харчуванні українців.

Теоретичні засади збалансованого білкового харчування

Білки, як біологічно активна сполука складаються з амінокислот, частина з яких є незамінними і має надходити з їжею. Якість білка визначається за такими параметрами, як амінокислотний склад, коефіцієнт засвоєння, біологічна цінність тощо [2].

У сучасних дієтологічних рекомендаціях наголошується на необхідності поєднання білків тваринного та рослинного походження. Оптимальним вважається співвідношення від 50:50 до 60:40 на користь білків тваринного походження через їх повний амінокислотний профіль тощо [4].

Недостатність якісного білка призводить до порушення гормональної регуляції, зниження імунітету, уповільнення розумового та фізичного розвитку дітей, а також підвищення ризику хронічних захворювань [5].

Війна на сході України (з 2014 року) та особливо повномасштабне вторгнення у 2022 році значно погіршили продовольчу безпеку та якість харчування населення [6-8]. Багато українців стали споживати менше високоякісного білка, ніж потребують фізіологічні норми, через фізичну недоступність та високу вартість м'ясних, рибних, молочних продуктів та бобових [9-13]. За оцінками Всесвітньої продовольчої програми ООН у 2022 році близько чверті населення України зіткнулися з продовольчою незахищеністю – тобто недостатнім поточним харчуванням та виснаженням ресурсів для підтримки раціону. Найбільш уразливими виявилися мешканці зон бойових дій, вимушені переселенці, сім'ї з низькими доходами, діти та люди похилого віку. Держава та міжнародні організації вжили заходів щодо збереження виробництва продовольства, стримування цін та прямої продовольчої допомоги, проте проблема білкового дефіциту залишається гострою. І хоча екологи усього світу проявляють все більшу занепокоєність щодо кліматичних змін на нашій планеті, спричинених розвитком тваринництва [14-15], продукція якого є традиційним джерелом білка, головним завданням українських науковців сьогодні є забезпечення здоров'я і виживання нації в умовах війни.

Шляхи вирішення проблеми забезпечення людства повноцінним білком

Аналіз можливих шляхів вирішення проблеми забезпечення людства повноцінним білком призвів до виникнення проектів різних напрямів вирішення цієї проблеми.

Перша група науковців вважає за найбільш доцільне удосконалення тваринництва, втілення інноваційних технологій, що мінімізують викиди метану, енергетичні та ресурсні витрати тваринництва. Вони вважають, що рослинним білком не можна

прогодувати зростаюче населення світу, стверджують, що більшість країн світу не сприйме рослинні дієти [4, 16-18].

Другий підхід, протилежний по суті, полягає у повному заміщенні тваринних білків різними формами рослинних білків та новими білковими продуктами. Деякі з цих науковців підтримують перспективу лабораторного вирощування м'яса, вважаючи, що це захистить природне середовище від багатьох шкідливих зовнішніх впливів, створених фермами свійських тварин. Представниками цього напрямку також підтримується поїдання комах – ентомофагія, що вже наразі є достатньо поширеною в багатьох країнах світу [4, 19-21].

Третій, найбільш екологічно спрямований підхід, полягає у «відновленні» балансу між людьми і природним середовищем. Ці науковці стурбовані надмірною індустріалізацією сільського господарства, що призвело до надмірно оброблених, поживно недійсних, географічно невідповідних харчових продуктів [4, 22].

На даний момент у нашому різноманітному суспільстві реалізуються всі три шляхи залежно від уподобань і спроможностей населення. Найбільш ймовірно, що і в майбутньому ця можливість для людини обирати і вживати свій білок збережеться. Країни ЄС є такими, що переважно зорієнтовані на перший напрям вирішення проблеми забезпечення населення повноцінним тваринним білком [4, 19].

Інноваційні напрями поліпшення білкової складової рослинних кормів для свійських тварин включають (табл. 1):

- **Біотехнологічні підходи** (ферментацію рослинної сировини за допомогою грибів чи бактерій, що підвищує вміст легкозасвоюваних амінокислот і зменшує антипоживні фактори (фітати, інгібітори трипсину); вирощування мікробних білків (Single Cell Protein, SCP) дріжджів, водоростей чи бактерій на відходах агровиробництва для отримання високобілкової добавки; ферментативний гідроліз – розщеплення білків на пептиди, що краще засвоюються) [4].

Таблиця 1

Порівняння методів підвищення білкової складової рослинних кормів

Підхід	Традиційні методи	Інноваційні методи	Приклади	Ефективність / Результат
Сировина	Соє, горох, люпин, ріпаковий шрот	Мікрородорості, мікопротеїни, гриби	Соєвий шрот vs. спіруліна	35–45% vs. 60–70% білка
Обробка білків	Теплова обробка	Ферментація, ферментативний гідроліз	Ферментація сої	+15–30% засвоюваності
Покращення якості	Змішування культур	Генна модифікація (лізин, метіонін)	QPM-кукурудза	Профіль близький до тваринного білка
Концентрація білка	Макуха, шроти	Ізоляти та концентрати	Гороховий ізолят	До 80–90% протеїну
Засвоюваність	Мінеральні премікси	Пробіотики, ферментні комплекси	Фітаза, <i>Bacillus subtilis</i>	+10–20% засвоюваності
Використання відходів	Агровідходи (лушпиння, жом)	SCP (мікробний білок)	Дріжджі, бактерії	50–70% білка

• **Селекцію та генну інженерію рослин** (створення сортів зернобобових (соя, горох, нут, люпин) з підвищеним вмістом білка та поліпшеним амінокислотним профілем; використання біофортифікації (наприклад, підвищення вмісту метіоніну чи лізину); розробка гібридних культур (наприклад, кукурудза з підвищеним вмістом білка – QPM, Quality Protein Maize) [23].

• **Альтернативні рослинні та природні джерела білка** (мікрводорості (спіруліна, хлорела) багаті на білок і біоактивні речовини; водоростеві біомаси як концентрати для підвищення протеїну; гриби і мікопротеїни як добавки до основних кормів [4].

• **Комбінування та балансування** (білкові ізоляти з гороху, сої, картоплі для концентрованого додавання; оптимальне поєднання різних рослинних білків (наприклад, зернові + бобові) для отримання повного амінокислотного спектру; використання протеїнових концентратів з олійних культур (соняшник, ріпак) після вдосконаленої обробки [22].

• **Технологічні інновації у виробництві кормів** (екструзія з ферментами – зменшує антипоживні речовини, підвищує засвоюваність білків: нанотехнології – інкапсуляція білків чи амінокислот для кращого всмоктування; біоактивні кормові добавки (пребіотики, пробіотики, симбіотики), які підвищують ефективність використання рослинного білка [4].

Цьогорічний проект PRECI-FEED, що стартував в межах Європейської програми Horizon, завдяки своєму інноваційному підходу, спрямований на підвищення самозабезпеченості ЄС рослинним білком, що використовується для корму тварин, у часи глобальних екологічних та політичних викликів. Метою проекту є зміцнення сталості та стійкості європейських сільськогосподарських систем шляхом поєднання агрологічних практик.

Проблема збалансованого білка в Україні і способи її вирішення

Війна в Україні спричинила скорочення тваринництва: виробництво м'яса скоротилось на 28,7 %, а молока – на 25,4 [9,12]. І хоча Україна традиційно вважається однією з провідних аграрних країн Європи, проте її експортна орієнтація спрямована переважно на сировину (зернові, олійні), а не на продукти високої доданої вартості. На тлі глобальних трендів – попиту на альтернативні білки, необхідності екологічно сталого харчування та зростання ролі здорового способу життя – постає питання оптимізації якості рослинних білків, що мають заповнити дефіцит тваринного білка в раціоні українців.

Джерелом рослинних білків, що домінують у виробництві, є соя, горох, квасоля, насіння соняшнику, пшениця та інші зернові. Ці культури забезпечують значні обсяги рослинного білка, однак його якість залежить від амінокислотного профілю, біодоступності, відсутності антиживильних речовин і технологій переробки [4,23].

Ключовими недоліками сучасної ситуації забезпечення населення білком в Україні є низька біодоступність білка порівняно з тваринним, дисбаланс незамінних амінокислот (особливо лізину, метіоніну та триптофану), слабкий розвиток промислового виробництва протеїнових концентратів та ізолятів, відсутність системної державної програми «білкової безпеки», переробка переважно експортоорієнтована, а готова високобілкова продукція імпортується [4].

На тлі зростання дефіциту тваринних білків для населення України ще більш важливого значення набувають стратегічні напрями покращення рослинних білків [23-26].

Селекція високобілкових та амінокислотно-збалансованих сортів

Україна має для цього потужні наукові інституції (Інститут рослинництва, НААН, аграрні університети), здатні розвивати сорти з високим вмістом протеїну; культури з покращеним амінокислотним профілем; рослини, стійкі до шкідників і кліматичних змін, що зменшує потребу в хімічних засобах. На особливу увагу заслуговують горох, соя, нут, сочевиця, амарант, коноплі технічні, люпин.

Розвиток нішевих культур із природно високоякісним білком

Перспективними культурами є: амарант (до 18% білка, збалансований профіль); конопляне насіння (до 25% білка, відсутні алергени); сочевиця (високий вміст лізину); нут (збалансований білок, висока біодоступність); люпин солодкий (до 40% білка) [13, 14].

Україна може стати лідером у Європі з виробництва цих культур, якщо забезпечити підтримку фермерів та інвесторів.

Біотехнологічні рішення для покращення білка включають ферментацію білків мікробами, яка підвищує їх біодоступність; ферментативні методи руйнування антиживильних речовин (фітати, лектини); біоінженерні селекційні методи, що дозволяють покращити амінокислотний профіль; технології текстурування рослинних білків, що наближають їх до м'яса чи молочних продуктів [15,23,26].

Удосконалення промислової переробки. Найбільший потенціал – у створенні підприємств для виробництва: протеїнових концентратів (50–70%), ізолятів (90%), конопляного, соєвого, горохового білків, функціональних білкових інгредієнтів для харчової промисловості. Україна має надлишок сировини, але виробництво власних ізолятів нині недостатнє. Це стримує розвиток здорового харчування і переробки.

Створення національної програми «Білкова безпека України» та популяризація здорового споживання рослинних білків. Перехід до виробництва високоякісних рослинних білків дає зростання доданої вартості продукції у 5–10 разів порівняно з сировинним експортом; розвиток малої та середньої переробки; можливість створення українських брендів у секторі здорових продуктів; зміцнення національної продовольчої безпеки; залучення інвестицій у біотехнології та агропереробку.

Висновки. Покращення якості рослинних білків в Україні є стратегічним напрямом, що об'єднує економічні, наукові, продовольчі та соціальні аспекти.

Нині Україна має значний потенціал: потужну аграрну базу, наукові ресурси та зростання попиту на якісні білкові продукти.

Основні кроки повинні включати розвиток нішевих культур, модернізацію переробки, впровадження біотехнологій, селекційні інновації та створення державної політики білкової безпеки.

Реалізація цих заходів дозволить Україні стати конкурентним виробником високоякісних рослинних білків на світовому ринку.

Література

1. Huangfu P., Pearson F., Abu Hijleh F. M., Wahlich C., Willis K., Awad S. F., Abu Raddad L. J., Critchley J. A. Impact of price reductions, subsidies, or financial incentives on healthy food purchases and consumption: a systematic review and meta analysis. *The Lancet Planetary Health*. 2024. 8 (3). P. 197-212. DOI:[10.1016/S2542-5196\(24\)00004-4](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(24)00004-4)
2. Joseph J Matthews. Understanding Dietary Protein Quality: Digestible Indispensable Amino Acid Scores and Beyond/*The Journal of Nutrition*. 2025. V. 155, Issue 10, P. 3152-3167. <https://doi.org/10.1016/j.tjnut.2025.07.005>
3. Агакерімова Р. Вплив війни в Україні на національну та глобальну продовольчу безпеку. *Економіка та суспільство*. 2023. № 50. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-50-53>
4. Голембовська Н. В. Використання альтернативних джерел білка для розробки нових харчових продуктів/ *Таврійський науковий вісник*. 2025, № 4, частина 2. S. 26-38. DOI:[10.32782/tnv-tech.2025.4.2.3](https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.4.2.3)
5. Стеценко Н. The problem of protein deficiency in the nutrition of the Ukrainian population and the ways of its solution. *Modern Engineering and Innovative Technologies*, 2023, 1(28-01), С. 41-45. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2023-28-01-028>.
6. Гавріков А., Телебенєва Є. Територіальні особливості забезпечення основними продуктами харчування в Україні в умовах війни // *Регіональна економіка*. 2024. № 2. С. 58-67.
7. Палапа Н., Дем'янюк О., Нагорнюк О. Продовольча безпека України: стан та актуальні проблеми сьогодення // *Економіка та прогнозування*. – 2022. №2. С. 33-40.
8. Петренко О., Гулич М. П. Ретроспективний аналіз споживання основних груп харчових продуктів населенням України // *Соціально-економічні проблеми і держава*. 2024. №1. С. 90-98.

9. Кормишкіна І. Забезпечення продовольчої безпеки громад в умовах воєнних викликів // Регіональна економіка. 2025. №1, С. 44-53.
10. Лисенко Г. П. Вплив цін та доходів на рівень споживання м'яса та м'ясних продуктів в Україні. Продовольчі ресурси, 2024, 12(22), 249-258. <https://doi.org/10.31073/foodresources2024-22-24>
11. Kukhaleishvili H. Ukrainian market: Milk production volumes are decreasing. General overview of the milk market. Milkua. Retrieved November 2, 2025, from <https://milkua.info/uk/post/ukrainskij-rinok-obsagi-virobnictva-moloka-skorocutsa1>
12. Kapustina K. How the 2022 war is changing the milk market in Ukraine. Zemliak.com, 2022. <https://zemliak.com/biznes/2590-yak-viyina-2022-zminyuye-rinok-moloka-v-ukrajini>
13. Ivashyna L., Byshovets L., & Oliferchuk O. The dairy market in Ukraine: Assortment and quality. Innovations and Technologies in the Sphere of Services and Nutrition, 2024. 4(14), P.16-29.
14. Tulush L. Tendencies of the dairy industry development in Ukraine in the fourth year of the Russian military invasion. The Ukrainian Farmer, 2025. (10). <https://agrotimes.ua/article/u-rezhymi-dynamichnyh-zmin/>
15. Thompson L. R. Invited review: methane sources, quantification, and mitigation in grazing systems. *Appl. Anim. Sci.* 2020. 36, P. 556–573. DOI: 10.15232/aas.2019-01951
16. Wang T., Teague W., Park S., and Bevers S. GHG mitigation potential of different grazing strategies in the united states southern great plains. *Sustainability.* 2015. 7, 13500–13521. doi: 10.3390/su71013500
17. Kebreab E., Liedke A., Caro D., Deimling S., Binder M., and Finkbeiner M. Environmental impact of using specialty feed ingredients in swine and poultry production: a life cycle assessment. *J. Anim. Sci.* 2016. 94, 2664–2681. doi: 10.2527/jas.2015-9036
18. Kamilaris C., Dewhurst R. J., Sykes A. J., and Alexander P. Modelling alternative management scenarios of economic and environmental sustainability of beef finishing systems. *J. Clean. Prod.* 2020. 253:119888. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119888
19. Tongpool R., Phanichavalit N., Yuvaniyama C., and Mungcharoen T. (2012). Improvement of the environmental performance of broiler feeds: a study via life cycle assessment. *J. Clean. Prod.* 2012. 35, 16–24. doi: 10.1016/j.jclepro.2012.05.007
20. Gosnell H., Gill N., and Voyer M. Transformational adaptation on the farm: processes of change and persistence in transitions to 'climate-smart' regenerative agriculture. *Glob. Environ. 2019. Change* 59:101965. doi:10.1016/j.gloenvcha.2019.101965
21. Agarwal A., Rizwana Tripathi A. D., Kumar T., Sharma K. P., & Patel S. K. S. Nutritional and functional new perspectives and potential health benefits of quinoa and chia seeds. *Antioxidants* (Basel, Switzerland). 2023, 12(7), 1413. <https://doi.org/10.3390/antiox12071413>
22. Bolgova N. V. (2025). Method for producing bread from wheat flour with quinoa flour (Patent of Ukraine No. 159063). Ukrainian National Office for Intellectual Property and Innovations. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1852546/>
23. Gaikwad A., Shere P. D., Ghodke S. V., & Agrawal R. Comparative analysis of physical, functional, and nutritional properties of selected super seeds. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 2025. 10(1). <https://www.foodsciencejournal.com>
24. Петриченко В.Ф. Інститут кормів та сільського господарства Поділля НААН: становлення та сьогодення/ В.Ф. Петриченко, О.В. Корнійчук, І.С. Задорожна, В.С. Задорожний/. *Корми і кормовиробництво*, 2023. Випуск 95, с. 10-25. DOI: [10.31073/kormovyrobnytstvo202395-01](https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202395-01).
25. Gebremeskal Y. H., Nadtochii L. A., Ereemeeva N. B., Mensah E. O., Kazydub N. G., Soliman T. N., Baranenko D. A., El-Messery T. M., & Tantawy A. A. Comparative analysis of the nutritional composition, phytochemicals, and antioxidant activity of chia seeds, flax seeds, and psyllium husk. *Food Bioscience*, 2024. 61, 104889. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104889>
26. Kaprelyants L., Yehorova A., Trufkati L., & Pozhitkova L. Functional food products: Prospects in Ukraine. *Food Science and Technology.* 2019. 13(2). <https://doi.org/10.15673/fst.v13i2.1382>

References

1. Huangfu P., Pearson F., Abu Hijleh F. M., Wahlich C., Willis K., Awad S. F., Abu Raddad L. J, Critchley J. A. (2024) Impact of price reductions, subsidies, or financial incentives on healthy food purchases and consumption: a systematic review and meta analysis. *The Lancet Planetary Health*, 8(3). P. 197-212. DOI:[10.1016/S2542-5196\(24\)00004-4](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(24)00004-4) [in English].
2. Joseph J Matthews. (2025) Understanding Dietary Protein Quality: Digestible Indispensable Amino Acid Scores and Beyond/*The Journal of Nutrition*, V. 155, Issue 10. P. 3152-3167. <https://doi.org/10.1016/j.tjnut.2025.07.005>. [in English].
3. Ahakerimova R. (2023) Vplyv viiny v Ukraini na natsionalnu ta hlobalnu prodovolchu bezpeku. *Ekonomika ta suspilstvo*, № 50. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-50-53>. [in Ukrainian].
4. Holembovska N. V. (2025) Vykorystannia alternatyvnykh dzherel bilka dlia rozrobky novykh kharchovykh produktiv/ *Tavriyskiy naukovy visnyk*, № 4, chastyna 2. S. 26-38. DOI:[10.32782/tnv-tech.2025.4.2.3](https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.4.2.3). [in Ukrainian].
5. Stetsenko N. (2023) The problem of protein deficiency in the nutrition of the Ukrainian population and the ways of its solution. *Modern Engineering and Innovative Technologies*, 1(28-01), C. 41-45. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2023-28-01-028>. [in English].
6. Havrikov A., Telebienieva Ye. (2024) Terytorialni osoblyvosti zabezpechennia osnovnykh produktamy kharchuvannia v Ukraini v umovakh viiny // *Rehionalna ekonomika*, №2. S. 58-67. [in Ukrainian].
7. Palapa N., Demianiuk O., Nahorniuk O. (2022) Prodovolcha bezpeka Ukrainy: stan ta aktualni problemy sohodennia // *Ekonomika ta prohnozuvannia*, №2. S. 33-40. [in Ukrainian].
8. Petrenko O., Hulych M. P. (2024) Retrospektyvnyi analiz spozhyvannia osnovnykh hrup kharchovykh produktiv naseleнням Ukrainy // *Sotsialno-ekonomichni problemy i derzhava*, №1. S. 90-98. [in Ukrainian].
9. Kormyshkina I. (2025) Zabezpechennia prodovolchoi bezpeky hromad v umovakh voienykh vyklykiv // *Rehionalna ekonomika*, №1, S. 44-53. [in Ukrainian].
10. Lysenko H. P. (2024) Vplyv tsin ta dokhodiv na riven spozhyvannia miasa ta miasnykh produktiv v Ukraini. *Prodovolchi resursy*, 12(22), 249-258. <https://doi.org/10.31073/foodresources2024-22-24>. [in Ukrainian].
11. Kukhaleishvili H. (2025) Ukrainian market: Milk production volumes are decreasing. General overview of the milk market. Milkua. Retrieved November 12. <https://milkua.info/uk/post/ukrainskij-rinok-obsagi-virobnictva-moloka-skorocutsa1> [in English].
13. Kapustina K. (2022) How the 2022 war is changing the milk market in Ukraine. *Zemliak.com*. [in English].
14. <https://zemliak.com/biznes/2590-yak-viyna-2022-zminyuye-rinok-moloka-v-ukrajini>
15. Ivashyna L., Byshovets L., & Oliferchuk O. (2024) The dairy market in Ukraine: Assortment and quality. *Innovations and Technologies in the Sphere of Services and Nutrition*, 4(14), P.16-29. [in English].
16. Tulush L. (2025) Tendencies of the dairy industry development in Ukraine in the fourth year of the Russian military invasion. *The Ukrainian Farmer*, (10). <https://agrotimes.ua/article/u-rezhymi-dynamichnyh-zmin/> [in English].
17. Thompson L. R. (2020) Invited review: methane sources, quantification, and mitigation in grazing systems. *Appl. Anim. Sci.*, 36, P. 556–573. doi: 10.15232/aas.2019-01951. [in English].
19. Wang T., Teague W., Park S., and Bevers S. (2015) GHG mitigation potential of different grazing strategies in the united states southern great plains. *Sustainability*, 7, 13500–13521. doi: 10.3390/su71013500. [in English].
20. Kebreab E., Liedke A., Caro D., Deimling S., Binder M., and Finkbeiner M. (2016) Environmental impact of using specialty feed ingredients in swine and poultry production: a life cycle assessment. *J. Anim. Sci.*, 94, 2664–2681. doi: 10.2527/jas.2015-9036. [in English].
21. Kamilaris C., Dewhurst R. J., Sykes A. J., and Alexander P. (2020) Modelling alternative management scenarios of economic and environmental sustainability of beef finishing systems. *J. Clean. Prod.*, 253:119888. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119888 [in English].

23. Tongpool R., Phanichavalit N., Yuvaniyama C., and Mungcharoen T. (2012) Improvement of the environmental performance of broiler feeds: a study via life cycle assessment. *J. Clean. Prod.*, 35, 16–24.
24. doi: 10.1016/j.jclepro.2012.05.007 [in English].
25. Gosnell H., Gill N., and Voyer M. (2019) Transformational adaptation on the farm: processes of change and persistence in transitions to 'climate-smart' regenerative agriculture. *Glob. Environ., Change* 59:101965. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2019.101965 [in English].
26. Agarwal A., Rizwana, Tripathi A. D., Kumar T., Sharma K. P., & Patel S. K. S. (2023) Nutritional and functional new perspectives and potential health benefits of quinoa and chia seeds. *Antioxidants* (Basel, Switzerland), 12(7), 1413. <https://doi.org/10.3390/antiox12071413> [in English].
27. Bolgova N. V. (2025). Method for producing bread from wheat flour with quinoa flour (Patent of Ukraine No. 159063). Ukrainian National Office for Intellectual Property and Innovations.
28. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1852546/> [in English].
29. Gaikwad A., Shere P. D., Ghodke S. V., & Agrawal R. (2025) Comparative analysis of physical, functional, and nutritional properties of selected super seeds. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 10(1). <https://www.foodsciencejournal.com> [in English].
30. 24. Petrychenko V.F. (2023) Instytut kormiv ta silskoho hospodarstva Podillia NAAN: stanovlennia ta sohodennia/ V.F. Petrychenko, O.V. Kornichuk, I.S. Zadorozhna, V.S. Zadorozhnyi/. - *Kormy i kormovyrobnytstvo*, Vypusk 95, s. 10-25. DOI: 10.31073/kormovyrobnytstvo202395-01. [in Ukrainian].
31. 25. Gebremeskal Y. H., Nadtochii L. A., Eremeeva N. B., Mensah E. O., Kazydub N. G., Soliman T. N., Baranenko D. A., El-Messery T. M., & Tantawy A. A. (2024) Comparative analysis of the nutritional composition, phytochemicals, and antioxidant activity of chia seeds, flax seeds, and psyllium husk. *Food Bioscience*, 61, 104889. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104889> [in English].
32. 26. Kaprelyants L., Yehorova A., Trufkati L., & Pozhitkova L. (2019) Functional food products: Prospects in Ukraine. *Food Science and Technology*, 13(2). <https://doi.org/10.15673/fst.v13i2.1382> [in English].

Danchenko O.

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Food Technologies and Hotel and Restaurant Business
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University
nndea@ukr.net
orcid.org/0000-0001-5049-3446

Kyurcheva L.

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Food Technologies and Hotel and Restaurant Business
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University
liudmila.kiurcheva@tsatu.edu.ua
orcid.org/0000-0002-8225-3399

Danchenko M.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics and Physics
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University
nndea2@gmail.com
orcid.org/0000-0001-7555-6511

THE PROBLEM OF BALANCED PROTEIN IN THE NUTRITION OF UKRAINIANS AND DIRECTIONS FOR ITS SOLUTION

The article analyses the features of the most acute global health problem, which is associated with insufficient consumption of high-quality protein by certain categories of the world's population. The main global projects for solving this problem are considered, which include improving animal protein production technologies, a complete transition to plant proteins, and the most environmentally friendly approach, which consists in "restoring" the balance between people and the natural environment. Within the most promising direction for European countries in improving animal protein technologies, innovative methods for improving the protein component of plant feeds for domestic animals are analysed.

Against the background of the general global problem of providing the population with high-quality protein, the state of this problem in Ukraine during the war is considered. Structural changes in the nutrition of Ukrainians, the level of consumption of protein products, in particular of animal origin, and their compliance with physiological norms are analysed. Particular attention is paid to the impact of military operations, economic instability, and changes in food policy on the availability of high-quality protein. A review of scientific research on the importance of a balanced protein diet is presented and key factors that hinder the optimization of the population's nutrition are identified. Special attention is paid to the analysis of the current state of production, processing, and quality of vegetable proteins in Ukraine. The main problems that hinder the development of the protein sector are identified, in particular, the unbalanced amino acid profile of traditional crops, insufficient bioavailability and limited implementation of innovative technologies. Directions for improving state and educational policy are proposed, including strategic directions for increasing the nutritional value and industrial efficiency of plant proteins: modern breeding programs, biotechnological solutions, modernization of processing and creation of a state strategy for protein security. It is emphasized that the development of the plant protein sector can become one of the key factors in the food and economic sustainability of Ukraine.

Key words: complete protein, amino acid composition, animal and vegetable proteins, protein deficiency, directions for solving the problem.

**Стаття до редакції надійшла 28.11.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 15.12.2025 року**

УДК 612.62

DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-4-79-87

Комісова Т. Є.

кандидат біологічних наук, професор, завідувачка
кафедри анатомії і фізіології людини імені професора Я.Р. Синельникова
Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди
tatyanakomisova@gmail.com
orcid.org/0000-0003-3959-8575

Мамотенко А. В.

кандидат біологічних наук, старша викладачка
кафедри анатомії і фізіології людини імені професора Я.Р. Синельникова
Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди
allamamotenko@gmail.com
orcid.org/0000-0001-6101-9723

**ВІДНОВЛЕННЯ БАЛАНСУ СТАТЕВИХ ГОРМОНІВ
У САМОК ЩУРІВ ЗА УМОВ ЗМІН СВІТЛОВОГО РЕЖИМУ**

Стаття присвячена дослідженню впливу тривалих змін режиму освітлення на репродуктивну систему самок щурів та пошуку ефективних методів її фармакологічної корекції, що є актуальним на тлі прогресуючого зниження фертильності та зростання ендокринопатій, пов'язаних, зокрема, зі світловим забрудненням. Встановлено, що тривале штучне освітлення (моделювання 12-годинного та цілодобового фотоперіоду протягом 3,5 місяців) призводить до вираженої мелатонінової недостатності (гіпопінеалізму) у самок, що супроводжується глибоким гормональним дисбалансом у репродуктивній системі. Зокрема, у щурів спостерігалось статистично значуще зростання рівня вільного тестостерону (Т) на 75% при 12-годинному та на 116% – при цілодобовому освітленні, на тлі вірогідного падіння рівня естрадіолу (Е₂). Це призводило до різкого збільшення співвідношення Т/Е₂ (у 2,5 та майже в 4 рази відповідно), що вказує на розвиток домінуючої тестостеронемії та ознак маскулінізації, причому ступінь відхилень був прямо пропорційний тривалості світлового навантаження. З метою корекції цих порушень було застосовано курсове введення мелатоніну (М) та його комбінацію з біодобавкою «Spirulina» (С). Монотерапія мелатоніном чинила значний протективно-модеруючий ефект, частково відновлюючи рівень Е₂ та знижуючи Т, що призводило до нормалізації індексу Т/Е₂. Однак, найбільш ефективним виявилось сумісне застосування мелатоніну та спіруліни, що продемонструвало синергетичну дію: у групі тварин, яким на тлі зміненого фоторежиму вводили у ранковий час біодобавку «Spirulina», а ввечері «Віта-мелатонін» рівні Т та Е₂ практично не відрізнялися від контрольних, а в групі цілодобового освітлення, яким також за зазначеною схемою вводили біодобавку і «Віта-мелатонін» – індекс Т/Е₂ зменшився у 3,56 рази порівняно з групою без корекції, що свідчить про майже повне відновлення балансу статевих гормонів. Узагальнюючи, дослідження підтвердило деструктивний вплив світлового навантаження на репродуктивну функцію самок через механізм гіпопінеалізму та обґрунтувало ефективність розробленої схеми профілактичного курсового введення мелатоніну в комплексі зі спіруліною, яку можна рекомендувати для застосування у групах ризику світлового десинхронозу.

Ключові слова: репродуктивна система, самки щурів, режим освітлення, світлове забруднення, мелатонін, спіруліна, статеві гормони, тестостерон, естрадіол, світловий десинхроноз.

Вступ. В останні десятиріччя серед населення репродуктивного віку спостерігається прогресуюче зниження фертильності та зростання кількості захворювань органів репродуктивної системи, в тому числі – і ендокринного ґенезу [1, 2]. За сучасними уявленнями серед чинників, що суттєво впливають на стан репродуктивного здоров'я у соціумі не останню роль грають фактори оточуючого довкілля: незбалансоване харчування, хімічне, шумове та світлове забруднення та ін. На сьогодні в усьому світі неухильно зростає число людей, які перебувають тривалий час в умовах штучного освітлення (нічний режим роботи та дозвілля), в той же час, зростає розповсюдженість ендокринопатій невстановленого ґенезу (ідіопатичні форми) [3]. Ці захворювання значною мірою можуть бути пов'язані насамперед з пригніченням мелатонін-утворюючої функції епіфізу та нівелюванням нічного піка мелатоніну (М) [4, 5]. Існують причинно-наслідкові відносини між порушенням природного світлового режиму, розбалансуванням ритму секреції мелатоніну і репродуктивної системи. За сучасними уявленнями вплив світла вночі призводить до пригнічення синтезу й секреції мелатоніну, зниження репродуктивної функції у ссавців, зокрема індукування ановуляції та порушення сперматогенезу [6-10]. Пінеальна залоза, робота якої залежить від інтенсивності освітлення, регулює процеси статевого дозрівання і репродукції у тварин [11-14] і людей завдяки мелатоніну [15-18], хоча і досі немає єдиної точки зору щодо характеру цих змін.

У жінок спостерігається неоднозначний взаємозв'язок між статевими гормонами та секрецією у кровотоку мелатоніну. Пригнічення мелатонінутворюючої функції епіфізу при постійному освітленні призводить до посиленого виділення статевих стероїдів порушуючи при цьому жіночий репродуктивний цикл та згубно впливаючи на метаболізм в цілому [16, 19]. Вплив зміни режиму освітлення у бік збільшення тривалості фотоперіоду, особливо світло у нічні години, викликає ановуляцію і прискорене виключення репродуктивної функції у гризунів та дисменорю у жінок [14, 16]. Проте наслідки тривалого впливу зміни періоду освітлення на рівень статевих гормонів у самок у науковій літературі висвітлено недостатньо.

Таким чином, суперечливий характер сучасних даних щодо динаміки порушень добових ритмів гормональної активності жіночих статевих залоз обумовлює актуальність дослідження, спрямованого на визначення особливостей патологічних змін, що відбуваються у репродуктивній системі самок щурів на тлі змін режиму інсоляції, а також на розробку та обґрунтування нових підходів до нормалізації профілю їх статевих гормонів.

Метою роботи було встановлення наслідків деструктивного впливу тривалих змін режиму освітлення на репродуктивну систему самок щурів та пошук комплексних підходів до її фармакологічної корекції.

Методи та організація дослідження. Дослідження проведено на 140 самках щурів популяції Wistar з вихідною масою тіла 120–140 г та кінцевою 250–280 г. Дослідження проведено в літньо-осінній період, на тлі зменшення тривалості світлового дня (липень-жовтень). Щурів утримували в стандартних умовах віварію при природному та штучному освітленні. За характером дії та інтенсивності освітлення на початку експерименту сформовано 7 груп кожної статі по 20 особин:

Група К – інтактний контроль, тварини якої знаходилися в умовах природної зміни дня і ночі, світлий період зменшувався з 16 годин до 11-ти; група 12/12 – тварини знаходилися при штучному освітленні впродовж 12 годин на добу, з 6 години ранку до 18 години вечора протягом 3,5 міс.;

група 24/00 – щури утримувалися при цілодобовому штучному освітленні впродовж 3,5 міс.;

група 12/12+М – тварини отримували у вечірній час препарат «Віта-мелатонін» (М);

група 12/12+M+C – тваринам на тлі зміненого фоторежиму вводили у ранковий час біодобавку “Spirulina” (С), а ввечері «Віта-мелатонін» (М);

група 24/00+M – на тлі цілодобового освітлення тварини отримували у вечірній час препарат «Віта-мелатонін»;

група 24/00+M+C – тваринам на тлі зміненого фоторежиму вводили у ранковий час біодобавку “Spirulina” та «Віта-мелатонін».

Змінений фотоперіод для щурів моделювався впродовж 3,5 місяців шляхом застосування електричного освітлення, з використанням ламп розжарення потужністю 100 Вт, які розміщувалися над клітками на відстані 0,5 м. Препарати вводилися щурам внутрішньошлунково, за допомогою зонда, у 2% розчині крохмалю. Спіруліна («Spirulina», Solgar USA) вводилася тваринам щоденно, натщесерце, 1 раз на добу з 9 до 10 години ранку протягом усього експерименту у дозі 100 мг/кг м.т. «Віта-мелатонін» (виробництво Київського вітамінного заводу) вводився одноразово у дозі 0,15 мг/кг м.т., ввечері, з 19 до 20 год. курсами тривалістю 1 міс., з тижневою перервою, усього 3 курси.

Експериментальні дослідження та евтаназію тварин проводили відповідно до положень Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» (2006, ст. 230), «Загальних етичних принципів експериментів на тваринах», ухвалених Другим національним конгресом з біоетики (Київ, 2004).

Рівень гормонів в плазмі крові щурів визначали імуноферментним методом відповідно до інструкцій фірм-виробників: вільного тестостерону (Т) – за допомогою наборів «130202011M, free Testosterone» (виробник «Snibe Co., Ltd», China); естрадіолу (E2) – з використанням наборів реагентів «DRG Estradiol ELISA» фірми DRG (USA).

Отриманий цифровий матеріал обробили математично методами параметричної та непараметричної статистики. Перевірку на нормальний розподіл проводили з використанням критерію W Шапіро-Уїлка. Порівняння груп з нормальним розподілом ознак проводили з використанням критерію Стьюдента (t). При порівнянні двох груп з розподілом ознак, відмінних від нормального, використовували непараметричний U-критерій Манна-Уїтні. Розходження вважали статистично значущими при $p < 0,05$.

Результати досліджень та їх обговорення. У попередніх дослідженнях нами було показано, що штучне освітлення впродовж 12 год. призводило до гальмування мелатонін-утворюючої функції епіфізу [2, 19]. Так, у тварин групи 12/00 спостерігалось вірогідне зниження як денної, так і нічної концентрації гормону, а амплітуда між цими показниками зменшувалася з $138,7 \pm 13,2$ пмоль/л до $79,0 \pm 5,8$ пмоль/л (на 43% ($p < 0,05$) у порівнянні з контролем). У щурів, що знаходилися при цілодобовому освітленні спостерігалось більш виразне пригнічення гормональної активності епіфізу. У тварин хоча і зберігалися ознаки пікової секреції гормону, його амплітуда була практично нівельованною, вона зменшувалася практично у 10 разів відносно інтактних щурів (до $11,4 \pm 1,4$ пмоль/л). Отримані результати дозволяли зробити висновок про розвиток у щурів в умовах тривалого освітлення прогресуючої мелатонінової недостатності, тобто гіпопінеалізму.

У ході даного дослідження спостерігали значне зростання тестостеронемії на тлі вірогідного зниження рівня естрадіолу (E2) у самок всіх груп при зміні фотоперіоду. Рівень вільного тестостерону (Т) у самок, які знаходилися тривалий час при штучному освітленні 12 годин на добу (група 12/12) на 42,5% ($p < 0,05$) вищий за рівень контрольної групи; у самок, які підлягали дії цілодобового освітлення (група 24/00) – на 53,7% ($p < 0,05$). Слід зазначити, що у групі самок 24/00 спостерігалось статистично значиме підвищення рівня вільного тестостерону на 19,4% ($p < 0,05$) порівняно і з групою 12/12 (табл. 1).

Таблиця 1

Концентрація тестостерону (Т) та естрадіолу (E₂) та співвідношення Т/E₂ у самок щурів в умовах природного та штучно подовженого фотоперіоду (M ± m), n = 20

Умови дослідження	Статистичні характеристики	Показник		
		Тестостерон (Т), нмоль/л	Естрадіол (E ₂), нмоль/л	Співвідношення Т/E ₂
К-гр.	M ± m	9,9±0,5	0,52±0,01	19,3±1,1
12/12-гр.	M ± m p _{K-12/12} % _{K-12/12}	17,3±2,1 <0,05 +75	0,36±0,01 <0,05 -31	49,1±2,4 <0,05 +154
12/12+М	M ± m p _{K-12/12+M} p _{12/12-12/12+M} % _{12/12-12/12+M}	12,9±0,2 <0,05 <0,05 -25	0,45±0,07 <0,05 <0,05 +25	28,6±2,4 <0,05 <0,05 -42
12/12+М+С	M ± m P _{K-12/12+M+С} P _{12/12-12/12+M+С} % _{12/12-12/12+M+С}	10,2±0,1 - <0,05 -42	0,52 ± 0,04 - <0,05 +44	21,6±1,4 - <0,05 -56
24/00-гр.	M ± m p _{K-24/00} % _{K-24/00}	21,4±0,2 <0,05 +116	0,24±0,01 <0,05 -54	92,0±4,0 <0,05 +376
24/00+М	M ± m p _{K-24/24} p _{24/00-24/00+M} % _{24/00-24/00+M}	15,0±0,3 <0,05 <0,05 -30	0,42±0,03 <0,05 <0,05 +75	35,7±4,2 <0,05 <0,05 -61
24/00+М+С	M ± m p _{K-24/00+M+С} p _{24/24-24/24+M+С} % _{24/24-24/24+M+С}	12,2±1,0 - <0,05 -43	0,47±0,05 - <0,05 +95	25,8±1,8 <0,05 <0,05 -72

Паралельно, при зміні режиму освітлення рівень естрадіолу у плазмі крові самок статистично значимо знизився у порівнянні з інтактними групами, які знаходилися в умовах природного освітлення. У тварин 12/12-групи рівень E₂ зменшився на 30,8% (p<0,05), а у самок 24/00-групи – на 53,8% (p<0,05) у порівнянні з інтактними щурами (див. табл. 1). Відповідно у самок, які зазнали впливу зміни режиму фотоперіоду, спостерігалось вірогідне збільшення співвідношення Т/E₂, у порівнянні з контрольною групою, що вказувало на домінуючу тестостеронемію та маскулінізацію.

Так, у групі 12-годинного освітлення (12/12) індекс Т/E₂ вірогідно зріс у 2,5 рази (p<0,05), у порівнянні з інтактною групою самок, у групі цілодобового освітлення (24/00) – майже вчетверо (p<0,05) (див. табл. 1).

Ступінь виразності виявлених відхилень від норми був співвідносним з тривалістю часу світлового навантаження, в групі 24/00 ці зміни поглиблювалися відносно щурів, що перебували в умовах рівного освітлення день/ніч. Тобто, зниження насиченості організму естрогенами, а також зміна показника Т/E₂ у бік зростання тестостеронемії мали прогресуючий характер.

При оцінці ефективності застосованих заходів корекції негативних наслідків пролонгації світлового навантаження було показано, що курсове введення мелатоніну значною мірою запобігало розвитку обумовлених тривалим освітленням гормональних змін в репродуктивній системі самок щурів. Показано, що у тварин групи 12/12+М спостерігався значно менший приріст вмісту тестостерону в крові та гальмувалося падіння рівня естрадіолу. Відповідно співвідношення Т/Е₂, хоча і не досягало контрольних значень, було на 42,6% нижчим, ніж у щурів, що знаходилися в режимі 12-годинного освітлення (р<0,05) (див. табл. 1).

Хоча при режимі цілодобового освітлення і виявлявся більш глибокий дисбаланс статевих гормонів, самостійне застосування мелатоніну і в цьому випадку мало значний протективно-модеруючий ефект. Моноведення мелатоніну призвело до зниження рівня Т на третину та до зростання Е₂ на 75,7% від значень групи 24/00, на тлі чого спостерігали більш, ніж двократне падіння співвідношення Т/Е₂ (у всіх випадках р<0,05) (див. табл. 1).

Таким чином показано, що вже самостійне введення мелатоніну, яке вірогідно викликало відносно відновлення його рівня в крові піддослідних тварин, сприяло зменшенню негативних наслідків пролонгації часу освітлення в усіх групах дослідження. Тим не менш, повної компенсації патологічних порушень у щурів, які отримували тільки мелатонін, не спостерігали.

Слід зазначити, що крім проблеми світлового забруднення, незбалансоване харчування на сьогодні є одним з найважливіших чинників метаболічних розладів. При неадекватному харчуванні знижується імунітет і стійкість до впливу несприятливих факторів навколишнього середовища, порушується обмін речовин в організмі, що в підсумку призводить до розвитку різних захворювань, в тому числі – і ендокринного генезу. Введення в раціон харчування додаткових біологічно активних добавок дозволяє враховувати фізіологічні потреби організму в різні періоди життя. Однією з таких є синьо-зелена водорість *Spirulina platensis*. Результати досліджень, проведених за кордоном і в Україні, підтверджують унікальні лікувально-профілактичні властивості *Spirulina platensis*, зокрема, як адаптогена, при атеросклерозі, ішемічній хворобі серця, цукровому діабеті та ін. [20, 21].

Нами було протестована схема підсилення профілактичного ефекту введення мелатоніну за рахунок його комбінації з адаптогеном спіруліною.

В результаті проведених досліджень було показано, що сумісне введення мелатоніну у комплексі із спіруліною давало кращий результат. Визначено, що додаткове введення спіруліни в раціон харчування щурів, що утримувалися в умовах зміненого фотоперіоду, підсилювало протективні властивості мелатоніну. Так, рівень тестостерону в групі 12/12+М+С на 42,7 % був нижчим від показника в групі 12/00 (р<0,05), він практично не відрізнявся від контрольних величин. Пропорційно зростав і рівень естрогенемії (+44,5% від групи 12/12, р<0,05). Співвідношення Т/Е₂ у таких тварин, хоча і було на 11,9% вищим від контрольного показника, не мало від нього значущих відмінностей (див. табл. 1).

У щурів на тлі цілодобового освітлення при комплексному застосуванні мелатоніну із спіруліною рівень тестостерону, хоча і був на 23,3 % вищим, ніж у контрольних тварин, не мав значущих відмінностей від цієї групи (див. табл. 1). Цей показник знизився вдвічі у порівнянні з групою 24/00. Подібна закономірність спостерігалася відносно відновлення рівня естрадіолу: у сироватці крові щурів групи 24/00+М+С відмічено двократне його зростання порівняно з групою 24/00 (р<0,05), вірогідних відмінностей від інтактного контролю не спостерігалася. Завдяки такій ефективній нормалізації проаналізованих показників, відмітили значне відновлення балансу естрогену та андрогену в крові самок, що перебували при цілодобовому освітленні та отримували комплексні профілактичні засоби. У таких тварин індекс Т/Е₂ зменшився у 3,56 рази у порівнянні з групою 24/00 і у 1,38 рази відносно щурів групи 24/00+М.

Однак, слід відмітити, застосування означеної схеми профілактики виявлених патологічних змін, хоча і мало переваги перед самостійним введенням мелатоніну, все ж не призводило до повного остаточного відновлення проаналізованих показників, що вказувало на дуже глибокі розлади у більшості складових ланок репродуктивної системи, які розвивалися внаслідок довго триваючої зміни природного режиму освітлення.

Узагальнюючи усі отримані дані, слід наголосити на позитивному ефекті від самостійного введення мелатоніну. Він може розглядатися як ефективний засіб профілактики та корекції розладів репродуктивної системи в умовах світлового навантаження. В той же час, поєднане застосування з відомою своїми антиоксидантними та імунomodуючими властивостями біодобавкою спіруліною призводило до підсилення його позитивного ефекту, тобто спостерігалось явище синергії.

Відпрацьовану у роботі схему профілактичного курсового введення мелатоніну сумісно зі спіруліною, завдяки її безпечності та високому ступеню протективних ефектів, можна рекомендувати для застосування у групах ризику світлового десинхронозу.

Висновки. Підбиваючи результати гормональних досліджень, які дозволяли оцінити гормонпродукуючу активність репродуктивної системи самок щурів та ефективність заходів щодо її корекції, можна зробити наступні заключення:

1. Статистичне зростання рівня вільного тестостерону та падіння естрадіолу у плазмі крові самок, що утримувалися при зміні фотоперіоду, особливо при цілодобовому освітленні, значною мірою пов'язано зі зменшенням рівня мелатоніну.

2. Курсове введення мелатоніну у самок позитивно впливало на репродуктивну функцію. У них зростав рівень естрадіолу на тлі зменшення вмісту тестостерону в крові та, як наслідок цього – відбувалася нормалізація співвідношення Т/Е₂. Тим не менш, повної компенсації виявлених патологічних порушень у щурів, які отримували тільки мелатонін, не спостерігалось.

3. Сумісне введення мелатоніну та спіруліни у більшій мірі сприяло відновленню балансу статевих гормонів у самок на тлі зміненого фотоперіоду. Індекс співвідношення Т/Е₂, який відображає динаміку змін статевих гормонів, під їх синергетичною дією у тварин при рівному часі інсоляції та цілодобовому освітленні зменшувався відповідно у 2,27 та 3,55 рази тоді, як самостійне введення мелатоніну призводило до більш помірної нормалізації цього показника (у 1,71 та 2,57 рази відповідно).

Література

1. Кульчінська В. М. Оптимізація лікування та прогнозування гормональних порушень у жінок репродуктивного віку з аутоімунним тиреоїдитом : дис. доктора філософії : 222 «Медицина» (22 «Охорона здоров'я»). Тернопіль, 2023. 240 с.
2. Мамотенко А. В., Комісова Т. Є. Корекція профілю статевих гормонів самців щурів за умови зміни світлового режиму. *Ендокринологія*. 2021. Т. 26, № 2. С. 145–151.
3. Bozejko M., Tarski I., Małodobra-Mazur M. Outdoor artificial light at night and human health: A review of epidemiological studies. *Environmental Research*. 2023. No 218, P. 115049.
4. Chepesiuk R. Missing the Dark: Health Effects of Light Pollution. *Environ Health Perspect*. 2009. No 117. P. 20–27.
5. Miao C., Ting X., Daqiang Y. Understanding light pollution: Recent advances on its health threats and regulations. *Journal of Environmental Sciences*. 2023. No 127. P. 589–602.
6. Basini G., Grasselli F. Role of melatonin in ovarian function. *Animals*. 2024. Vol. 14, No 4. P. 644. <https://doi.org/10.3390/ani14040644>
7. Shao R., Wang Y., He C., Chen L. Melatonin and its emerging physiological role in reproduction: A review and update. *Current Molecular Medicine*. 2024 Vol. 24, No 4. P. 449–456
8. Heidarizadi S., Rashidi Z., Jalili C., Gholami M. Overview of biological effects of melatonin on testis: A review. *Andrologia*. 2022. No 54, e14597.
9. Dehdari Ebrahimi N., Sadeghi A., Ala M., Ebrahimi F., Pakbaz S., Azarpira N. Protective effects of melatonin against oxidative stress induced by metabolic disorders in the

male reproductive system: A systematic review and meta-analysis of rodent models. *Front. Endocrinol.* 2023. No 14. P. 1202560.

10. Пішак В. П. Фотоперіодизм і функціонування репродуктивної системи у свавців і людини. *Міжнародний ендокринологічний журнал.* 2013. № 2 (50). С. 77–80.

11. Yang Y., Chu M.X., Liu Q.Y. The mechanism of circadian clock and its influence on animal circannual rhythm. *Yi Chuan.* 2023. No 45. P. 409–424.

12. Kennaway D.J. Melatonin insufficiency in the follicular fluid of aged mice; is it real? *Redox Biol.* 2021. No 38. P. 101829.

13. Dodi A., Bussolati S., Grolli S., Grasselli F., Di Lecce R., Basini G. Melatonin modulates swine luteal and adipose stromal cell functions. *Reprod. Fertil. Dev.* 2021. No 33. P. 198–208.

14. Tao J., Zhang L., Zhang X., Chen Y., Chen Q., Shen M., Liu H., Deng S. Effect of Exogenous Melatonin on the Development of Mice Ovarian Follicles and Follicular Angiogenesis. *Int. J. Mol. Sci.* 2021. No 22. P. 11262.

15. Vine T., Brown G.M., Frey B.N. Melatonin use during pregnancy and lactation: A scoping review of human studies. *Braz. J. Psych.* 2022. No 44. P. 342–348.

16. Rai S., Ghosh H. Modulation of human ovarian function by melatonin. *Front. Biosci.* 2021. No 13. P. 140–157.

17. Li H., Liu M., Zhang C. Women with polycystic ovary syndrome (PCOS) have reduced melatonin concentrations in their follicles and have mild sleep disturbances. *BMC Womens Health.* 2022. No 22. P. 79–89.

18. Zhang H., Li, C., Wen D., Li R., Lu S., Xu R., Tang Y., Sun Y., Zhao X., Pan M., et al. Melatonin improves the quality of maternally aged oocytes by maintaining intercellular communication and antioxidant metabolite supply. *Redox Biol.* 2022. No 4., P. 102215.

19. Мамотенко А.В., Комісова Т.Є., Іонов І.А. Корекція розладів репродуктивної системи щурів за умов змін світлового режиму. *Проблеми ендокринної патології.* 2021. № 2 (76). С. 78–85.

20. Gupta C. Role of spirulina supplementation and other nutraceuticals in cardiovascular disease. In *Nutraceuticals in Cardiac Health Management.* Apple Academic Press. 2025. P. 267–296.

21. Ahda M., Suhendra, Permadi A. Spirulina platensis microalgae as high protein-based products for diabetes treatment. *Food Reviews International.* 2024. Vol. 40, No 6. P. 1796–1804.

References

1. Kulchinska V. M. (2023) Optyimizatsiia likuvannia ta prohnozuvannia hormonalnykh porushen u zhinok reproduktyvnoho viku z autoimunnym tyreoidytom : dys. doktora filosofii : 222 «Medytsyna» (22 «Okhorona zdorovia») [Optimization of treatment and prediction of hormonal disorders in women of reproductive age with autoimmune thyroiditis: PhD dissertation: 222 "Medicine" (22 "Health Care")] Ternopil, 240 s. [in Ukrainian].

2. Mamotenko A. V., Komisova T. Ye. (2021) Korektsiia profilii statevykh hormoniv samtsiv shchuriv za umovy zminy svitlovoho rezhymu. [Correction of the sex hormone profile of male rats under the condition of changing the light regime] *Endokrynolohiia – Endocrinology.* T. 26, № 2. S. 145–151. [in Ukrainian].

3. Božejko M., Tarski I., Małodobra-Mazur M. (2023) Outdoor artificial light at night and human health: A review of epidemiological studies. *Environmental Research.* No 218, P. 115049. [in English].

4. Chepesiuk R. (2009) Missing the Dark: Health Effects of Light Pollution. *Environ Health Perspect.* No 117. P. 20–27. [in English].

5. Miao C., Ting X., Daqiang Y. (2023) Understanding light pollution: Recent advances on its health threats and regulations. *Journal of Environmental Sciences.* No 127. P. 589–602. [in English].

6. Basini G., Grasselli F. (2024) Role of melatonin in ovarian function. *Animals.* Vol. 14, No 4. P. 644. <https://doi.org/10.3390/ani14040644>. [in English].

7. Shao R., Wang Y., He C., Chen L. (2024) Melatonin and its emerging physiological role in reproduction: A review and update. *Current Molecular Medicine*. Vol. 24, No 4. P. 449–456 [in English]
8. Heidarizadi S., Rashidi Z., Jalili C., Gholami M. (2022) Overview of biological effects of melatonin on testis: A review. *Andrologia*. No 54, e14597 [in English].
9. Dehdari Ebrahimi N., Sadeghi A., Ala M., Ebrahimi F., Pakbaz S., Azarpira N. (2023) Protective effects of melatonin against oxidative stress induced by metabolic disorders in the male reproductive system: A systematic review and meta-analysis of rodent models. *Front. Endocrinol.* No 14. P. 1202560 [in English].
10. Pishak V. P. (2013) Fotoperiodyzm i funktsionuvannya reproduktyvnoi systemy u ssavtsiv i liudyny [Photoperiodism and the functioning of the reproductive system in mammals and humans]. *Mizhnarodnyi endokrynolohichniy zhurnal - International Journal of Endocrinology*. № 2 (50). S. 77–80. [in Ukrainian].
11. Yang Y., Chu M.X., Liu Q.Y. (2023) The mechanism of circadian clock and its influence on animal circannual rhythm. *Yi Chuan*. No 45. P. 409–424. [in English].
12. Kennaway D.J. (2021) Melatonin insufficiency in the follicular fluid of aged mice; is it real? *Redox Biol.* No 38. P. 101829. [in English].
13. Dodi A., Bussolati S., Grolli S., Grasselli F., Di Lecce R., Basini G. (2021) Melatonin modulates swine luteal and adipose stromal cell functions. *Reprod. Fertil. Dev.* No 33. P. 198–208. [in English].
14. Tao J., Zhang L., Zhang X., Chen Y., Chen Q., Shen M., Liu H., Deng S. (2021) Effect of Exogenous Melatonin on the Development of Mice Ovarian Follicles and Follicular Angiogenesis. *Int. J. Mol. Sci.* No 22. P. 11262. [in English].
15. Vine T., Brown G.M., Frey B.N. (2022) Melatonin use during pregnancy and lactation: A scoping review of human studies. *Braz. J. Psych.* No 44. P. 342–348. [in English].
16. Rai S., Ghosh H. (2021) Modulation of human ovarian function by melatonin. *Front. Biosci.* No 13. P. 140–157. [in English].
17. Li H., Liu M., Zhang C. (2022) Women with polycystic ovary syndrome (PCOS) have reduced melatonin concentrations in their follicles and have mild sleep disturbances. *BMC Womens Health*. No 22. P. 79–89. [in English].
18. Zhang H., Li, C., Wen D., Li R., Lu S., Xu R., Tang Y., Sun Y., Zhao X., Pan M., et al. (2022) Melatonin improves the quality of maternally aged oocytes by maintaining intercellular communication and antioxidant metabolite supply. *Redox Biol.* No 4., P. 102215. [in English].
19. Mamotenko A.V., Komisova T. Ie., Ionov I. A. (2021) Korektsiia rozladiv reproduktyvnoi systemy shchuriv za umov zmin svitlovoho rezhymu [Correction of disorders of the reproductive system of rats under conditions of changing the light regime] *Problemy endokrynnoi patolohii - Problems of endocrine pathology*. № 2 (76). S. 78–85. [in Ukrainian].
20. Gupta C. (2025) Role of spirulina supplementation and other nutraceuticals in cardiovascular disease. In *Nutraceuticals in Cardiac Health Management*. Apple Academic Press. P. 267–296. [in English].
21. Ahda M., Suhendra, Permadi A. (2024) *Spirulina platensis* microalgae as high protein-based products for diabetes treatment. *Food Reviews International*. Vol. 40, No 6. P. 1796–1804. [in English].

Komisova T.

Candidate of Biological Sciences, Professor,
 Head of Ya.R. Synelnikov Department of Human Anatomy and Physiology,
 H. S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University
 tatyana.komisova@gmail.com
 orcid.org/0000-0003-3959-8575

Mamotenko A.

Candidate of Biological Sciences,
Senior Lecturer at the Ya.R. Synelnikov Department of Human Anatomy and Physiology
H. S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University
allamamotenko@gmail.com
orcid.org/0000-0001-6101-9723

**RESTORATION OF SEX HORMONES BALANCE IN FEMALE RATS
UNDER CHANGES IN LIGHTING**

The article is devoted to the study of the impact of long-term changes in the lighting regime on the reproductive system of female rats and the search for effective methods of its pharmacological correction, which is relevant against the background of a progressive decrease in fertility and the growth of endocrinopathies associated, in particular, with light pollution. It was established that long-term artificial lighting (simulation of a 12-hour and 24-hour photoperiod for 3.5 months) leads to a pronounced melatonin deficiency (hypopinealism) in females, which is accompanied by a profound hormonal imbalance in the reproductive system. In particular, in rats, a statistically significant increase in the level of free testosterone (T) by 75% was observed with 12-hour and 116% with 24-hour lighting, against the background of a probable decrease in the level of estradiol (E2). This led to a sharp increase in the T/E2 ratio (by 2.5 and almost 4 times, respectively), indicating the development of dominant testosterone and signs of masculinization, and the degree of deviations was directly proportional to the duration of light exposure. In order to correct these disorders, course administration of melatonin (M) and its combination with the bioadditive «Spirulina» (C) was used. Melatonin monotherapy had a significant protective-moderating effect, partially restoring the level of E2 and reducing T, which led to the normalization of the T/E2 index. However, the most effective was the combined use of melatonin and spirulina, which demonstrated a synergistic effect: in the group of animals that, against the background of a changed photoperiod, were administered the bioadditive «Spirulina» in the morning and «Vita-melatonin» in the evening, the levels of T and E2 practically did not differ from the control ones, and in the group with 24-hour lighting, which was also administered the bioadditive and «Vita-melatonin» according to the specified scheme, the T/E2 index decreased by 3.56 times compared to the group without correction, which indicates an almost complete restoration of the balance of sex hormones. In summary, the study confirmed the destructive effect of light stress on the reproductive function of females through the mechanism of hypopinealism and substantiated the effectiveness of the developed scheme of prophylactic course administration of melatonin in combination with spirulina, which can be recommended for use in groups at risk of light desynchronization.

Key words: reproductive system, female rats, lighting regime, light pollution, melatonin, spirulina, sex hormones, testosterone, estradiol, light desynchronization.

**Стаття до редакції надійшла 02.12.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 18.12.2025 року**

УДК 612.122

DOI 10.31654/2786-8478-2025-BN-4-88-94

Шейко В. І.

доктор біологічних наук, професор,
професор кафедри загальної біології та
методики навчання природничих дисциплін,
Тернопільського національного педагогічного університету
імені Володимира Гнатюка
interlycin@ukr.net
orcid.org/0000-0001-7932-4478

Коломойцев М.

аспірант кафедри біології
Ніжинського державного університету
імені Миколи Гоголя,
kol.max231199@gmail.com

**ЦЕНТРАЛЬНА ГЕМОДИНАМІКА ТА
ТИПИ ВИЩОЇ НЕРВОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ**

Визначення функціонального стану організму та адаптаційних резервів до впливу ендогенних та екзогенних факторів середовища базується на дослідженні показників діяльності серцево-судинної системи. Наукові публікації в галузі фізіології містять достатньо глибокий аналіз кількісних та якісних змін в показниках периферійної крові на фоні стресових реакцій різного генезису. Враховуючи вище викладене можна припустити, що тип вищої нервової діяльності (ВНД) впливає не лише показники крові, а й на інші функціональні показники організму, серед яких є показники центральної гемодинаміки.

Метою нашого дослідження є проведення порівняльного аналізу показників центральної гемодинаміки та інтегративних гемодинамічних індексів у представників різних типів ВНД.

Робота виконувалась у відповідності до біоетичних норм з дотриманням відповідних принципів Гельсінської декларації прав людини, Конвенції ради Європи про права людини і біомедицини та відповідних законів України.

При порівнянні показників центральної гемодинаміки слід відмітити максимальні значення були притаманні сангвініками (пульс 98,8 уд/хв, артеріальний тиск 139/76 мм.рт.ст., хвилинний об'єм крові 6,9 л/хв., потужність роботи лівого шлуночка 1,7 Вт.); мінімальні адаптаційні резерви були характерні для меланхоліків (вегетативний індекс Кердо -3,9 у.о.) максимальні адаптаційні резерви – для холериків (вегетативний індекс Кердо -8,18 у.о.) та сангвініків (вегетативний індекс Кердо -7,44 у.о.); мінімальні енергетичні затрати для забезпечення кровообігу характерні для флегматиків (4443,28 у.о.), а максимальні для сангвініків (6340,3 у.о.) та меланхоліків (4704,57 у.о.).

Таким чином показники центральної гемодинаміки вказували на формування ознак функціонального навантаження в діяльності серця у сангвініків з незначною тенденцією компенсації судинного русла для полегшення роботи серця; мінімальні адаптаційні можливості та резерви були характерні для меланхоліків. Флегматики та холерики мали менші енергетичні затрати для забезпечення кровообігу в порівнянні з сангвініками та меланхоліками.

Ключові слова: центральна гемодинаміка, гемодинамічні індекси, артеріальний тиск, СОК, ХОК, потужність роботи, регуляція діяльності серця та серцево-судинної системи, економічність кровообігу, адаптація та адаптаційні резерви.

Вступ. Визначення функціонального стану організму та адаптаційних резервів до впливу ендогенних та екзогенних факторів середовища базується на дослідженні показників діяльності серцево-судинної системи (показників центральної гемодинаміки та інтегрованих гемодинамічних індексів). Саме серцево-судинна система виступає одним із індикаторів, який характеризує адаптаційний потенціал та адаптаційно-функціональні резерви організму, а саме вегетативних функцій цілісного організму та може вказувати на певний рівень адаптаційно-приспосувальних реакцій [3; 10].

Наукові публікації в галузі фізіології містять достатньо глибокий аналіз кількісних та якісних змін в показниках периферійної крові на фоні стресових реакцій різного генезису. Так кількість еритроцитів та концентрація гемоглобіну мають кореляційну залежність від сили нервових процесів та лабільності нервових процесів (зміна процесу збудження процесом гальмування, або процесом збудження з іншим вектором дії відносно попереднього процесу збудження), що є основними характеристиками типів вищої нервової діяльності. Так кількість еритроцитів зменшувалась на 5 % на фоні сильного та врівноваженого типу ВНД, сильного врівноваженого інертного типу, – зменшувалась на 6 % на фоні сильного не врівноваженого типу ВНД, та на 7 % на фоні слабого типу ВНД при формуванні адаптаційно-компенсаторних реакціях. У представників сильного урівноваженого типу ВНД адаптаційні реакції супроводжувалися вираженими процесом еритроцитопоезу в порівнянні з представниками інших типів ВНД. Мінімальні зміни в концентрації гемоглобіну при формуванні адаптаційних реакцій спостерігались у представників сильного врівноваженого інертного типу, максимальне зменшення концентрації гемоглобіну було у представників слабого типу ВНД [2; 9].

Враховуючи вище викладене можна припустити, що тип вищої нервової діяльності (ВНД) впливає не лише показники крові, а й на інші функціональні показники організму, серед яких є показники центральної гемодинаміки.

Таким чином, метою нашого дослідження є проведення порівняльного аналізу показників центральної гемодинаміки та інтегративних гемодинамічних індексів у представників різних типів ВНД.

Методи та організація дослідження. В нашому дослідженні взяла участь група волонтерів загальною кількістю 180 осіб (чоловічої та жіночої статі 51 % та 49 % відповідно), середній вік яких становив $21,6 \pm 1,4$ рік. Волонтери були поділені за типом ВНД на 4 групи в кожній групі по 45 осіб. Всі волонтери давали письмову згоду на участь в нашому дослідженні.

Тип вищої нервової діяльності визначали за допомогою тестового-опитувальника [5; 7]. Стан показників центральної гемодинаміки визначали за такими показниками: частота серцевих скорочень (ЧСС), середня тривалість серцевого циклу, артеріальний тиск (систоличний та діастолічний), пульсовий тиск (ПАТ або ПТ), середній артеріальний тиск, систолічний об'єм крові (СОК), хвилинний об'єм крові (ХОК), секундний об'єм крові, серцевий індекс (СІ), коефіцієнт економичності кровообігу (КЕК), потужність роботи лівого шлуночка серця ($W_{лш}$), індекс Робінсона (ІР), вегетативний індекс Кердо (ВІК), загальний периферійний опір судин (ЗПО) [3; 6; 8].

Для вимірювання ЧСС, систолічного та діастолічного тиску (САр. та ДАр.тиск) проводили за допомогою автоматичного вимірювача артеріального тиску Gamma control (Велика Британія) [11]. Всі вимірювання проводилися тричі в статистичну обробку бралися середньоарифметичні значення.

Статистичну обробку матеріалу здійснювали з допомогою програми Microsoft Excel. Визначали середнє значення та його похибку. Різницю між різними групами визначали за t-критерієм Стьюдента.

Робота виконувалась у відповідності до біоетичних норм з дотриманням відповідних принципів Гельсінської декларації прав людини, Конвенції ради Європи про права людини і біомедицини та відповідних законів України [1; 4].

Результати досліджень та їх обговорення. Результати досліджень представлені в таблиці 1. Значення ЧСС у всіх типів ВНД, крім сангвініків були в межах референтних значень. У сангвініків ЧСС біла достовірно більша ніж у холериків, меланхоліків та флегматиків на 17 % (14,5 уд/хв.), 15 % (12,8 уд/хв.) та 9,8 % (8,8 уд/хв.) відповідно. При цьому середня тривалість серцевого циклу в усіх типах ВНД не виходила за межі референтних значень. У сангвініків середня тривалість серцевого циклу була достовірно менша в порівнянні з холериками на 18 % (0,13 мс.), а в порівнянні з меланхоліками та флегматиками достовірної різниці не було виявлено.

Таблиця 1

Показники центральної гемодинаміки та інтегративних гемодинамічних індексів з урахуванням типу ВНД (M±m)

Показники	Референтні значення	Холерики	Сангвініки	Меланхоліки	Флегматики
ЧСС, уд/хв	50-90	84,3±1,7	98,8±2,9* [^]	86±4,1	90±4,5#
Середня тривалість серцевого циклу, мс.	1,2-0,66	0,73±0,03	0,6±0,08*	0,7±0,06	0,67±0,04
САр. тиск, мм.рт.ст.	110-120	122,5±1,17	139,0±2,6* [^]	120,0±3,42	122,8±1,15#
ДАр. тиск, мм.рт.ст.	70-80	68,32±1,2	76,0±2,7* [^]	67,6±2,12	72,25±2,4* [^]
ПАТ (ПТ), мм.рт.ст.	40-60	54,33±2,77	63,0±1,6* [^]	52,43±2,9	50,5±2,24#
САР. тиск, мм.рт.ст.	80,0-100	86,28±2,28	91,1±2,32* [^]	85,04±2,35	89,85±2,38
СОК, мл.	44-60	72,6±2,3	70,1±1,5	69,7±1,6	66,32±2,14*#
ХОК, мл/хв	3000-4000	6115,9±31,37	6925,9±22,2* [^]	5994,4±16,9*	5868,9±26,8#
Секундний об'єм крові, мл/с.	50-66,66	101,9±1,7	115,43±1,2* [^]	99,91±1,6	97,82±2,1#
СІ, у.о.	-	8,24±0,29	9,1±0,31* [^]	7,83±0,27	8,39±0,55#
W _{лш} , Вт.	-	1,24±0,04	1,7±0,05* [^]	1,23±0,04	1,17±0,34#
КЕК, у.о.	2600	4587,8±30,6	6340,3±46,5* [^]	4704,57±34,23*	4443,28±24,1* [^] #
ІР, у.о.	-	103,5±3,3	129,82±5,37*	105,5±3,81	110,04±3,4*#
ВІК, у.о.	-	- 8,18±0,11	- 7,44±0,12* [^]	-3,9±0,15*#	-4,38±0,168* [^]
ЗПО, у.о.	-	1130,9±32,5	1122,2±29,8	1131,8±21,2	1204,8±27,5

* - достовірна відмінність в порівнянні з холериками

[^] - достовірна різниця в порівнянні з меланхоліками

- достовірна різниця в порівнянні з сангвініками

Величина САр. тиску у холериків, меланхоліків та флегматиків не виходили за межі референтних значень. Сангвініки мали достовірно більший САр. тиск в порівнянні з холериками, меланхоліками та флегматиками на 13,5 % (16,5 мм.рт.ст.), 15,8 % (19,0мм.рт.ст.), 13,2 % (16,2 мм.рт.ст.) відповідно. Така ж сама закономірність спостерігалась в показниках ДАр. тиску, сангвініки мали достовірно більші показники

в порівнянні з холериками, меланхоліками та флегматиками на 11,2 % (7,7 мм.рт.ст.), 12,4 % (8,4 мм.рт.ст.) та 5,2 % (3,8 мм.рт.ст.) відповідно. У флегматиків ДАр. тиск був достовірно більший в порівнянні з холериками та меланхоліками на 5,8 % (4,0 мм.рт.ст.) та 6,9 % (4,7 мм.рт.ст.) відповідно.

Показники ПАТ у холериків, меланхоліків та флегматиків були в межах референтних значень, а у сангвініків були більші референтних значень. Так величина ПАТ у сангвініків була достовірно більшою в порівнянні з холериками, меланхоліками та флегматиками на 16 % (8,7 мм.рт.ст.), 20 % (10,6 мм.рт.ст.) та 24,8 % (12,5 мм.рт.ст.) відповідно.

Величини САР тиску у всіх типів ВНД була в межах референтних значень. Сангвініки мали достовірно вищі значення САР тиску в порівнянні з холериками та меланхоліками на 5,6 % (4,8 мм.рт.ст.) та 7,0 % (6,1 мм.рт.ст.) відповідно. В показниках САР тиску між сангвініками та флегматиками не відмічалось достовірної різниці.

У флегматиків значення СОК біли достовірно менші в порівнянні з холериками та сангвініками на 8,7 % (6,3 мл.) та 5,4 % (3,8 мл.) відповідно. Значення СОК у холериків, сангвініків та меланхоліків не мали достовірної різниці. У флегматиків СОК був достовірно меншим в порівнянні з холериками.

ХОК у сангвініків був достовірно більший в порівнянні з холериками, меланхоліками та флегматиками на 11,7 % (810 мл/хв.), 13,4 % (931,5 мл/хв.) та 15,3 % (1057 мл/хв.) відповідно. Збільшення ХОК у сангвініків зумовлено значною частотою серцевих скорочень в порівнянні з іншими типами ВНД.

Секундний об'єм крові у сангвініків був достовірно більший в порівнянні з холериками, меланхоліками та флегматиками на 13,3 % (13,5 мл/с), 15,5 % (15,5 мл/с) та 18,0 % (17,6 мл/с) відповідно.

Значення СІ були достовірно більші у сангвініків в порівнянні з холериками, меланхоліками та флегматиками на 10,4 % (0,86 у.о.), 16,2 % (1,27 у.о.) та 8,5 % (0,71 у.о.) відповідно. Така ж сама закономірність спостерігалась в показниках $W_{лш}$. У сангвініків $W_{лш}$ була достовірно більша в порівнянні з холериками, меланхоліками та флегматиками на 37,1 % (0,46 Вт.), 38,2 % (0,47 Вт.) та 45,3 % (0,53 Вт.) відповідно. Отримані результати вказують на формування ознак функціонального напруження в діяльності серця у сангвініків.

КЕК у сангвініків був достовірно більший в порівнянні з холериками, меланхоліками та флегматиками на 38,2 % (1752,5 у.о.), 34,8 % (1635,7 у.о.) та 42,7 % (1897,0 у.о.) відповідно. Таким чином, у сангвініків кровообіг характеризується максимальними енергетичними затратами в порівнянні з холериками, меланхоліками та флегматиками. Мінімальні енергетичні затрати для забезпечення кровообігу спостерігались у флегматиків та холериків. Значення КЕК переукуються із значеннями $W_{лш}$.

У сангвініків ІР мав достовірно більші значення в порівнянні з холериками, меланхоліками та флегматиками, а саме був більший на 25,4 % (26,3 у.о.), 23,1 % (24,3 у.о.) та 18,0 % (19,8 у.о.) відповідно. Так згідно значень ІР можна припустити, що у сангвініків формуються виражені ознаки порушення регуляції діяльності серцево-судинної системи. У холериків та меланхоліків спостерігається не значне функціональне навантаження в діяльності серцево-судинної системи. ІР у флегматиків вказує на формування ознак функціонального порушення в регуляції діяльності серцево-судинної системи.

Значення ВІК у холериків було найменше, що говорить про значну активацію парасимпатичної складової вегетативної нервової системи. Так ВІК у меланхоліків був достовірно більший в порівнянні з холериками, сангвініками та флегматиками на 52,3 % (4,28 у.о.), 47,6 % (3,54 у.о.) та 11,0 % (0,48 у.о.) відповідно. Таким чином значення ВІК вказує на активацію парасимпатичної складової вегетативної нервової системи в усіх типів ВНД, але слід зазначити, що у меланхоліків активація парасимпатичної нервової системи значно менша в порівнянні з холериками та сангвініками. Отриманий результат вказує на менші адаптаційні резерви у меланхоліків в порівнянні з холериками та сангвініками.

ЗПО у представників всіх типів ВНД не мав достовірних відмінностей, але слід відмітити, що у флегматиків ЗПО мав тенденцію до збільшення. Отримані нами результати вказують на відсутність компенсаторних реакцій кровонесних судин на фоні ознак функціонального навантаження в діяльності серця на самперед у сангвініків.

Висновок. При порівнянні показників центральної гемодинаміки слід відмітити максимальні значення були притаманні сангвініками (пульс 98,8 уд/хв, артеріальний тиск 139/76 мм.рт.ст., хвилинний об'єм крові 6,9 л/хв., потужність роботи лівого шлуночка 1,7 Вт.); мінімальні адаптаційні резерви були характерні для меланхоліків (вегетативний індекс Кердо -3,9 у.о.) максимальні адаптаційні резерви – для холериків (вегетативний індекс Кердо -8,18 у.о.) та сангвініків (вегетативний індекс Кердо – 7,44 у.о.); мінімальні енергетичні затрати для забезпечення кровообігу характерні для флегматиків (4443,28 у.о.), а максимальні для сангвініків (6340,3 у.о.) та меланхоліків (4704,57 у.о.).

Таким чином показники центральної гемодинаміки вказували на формування ознак функціонального навантаження в діяльності серця у сангвініків з незначною тенденцією компенсації судинного русла для полегшення роботи серця; мінімальні адаптаційні можливості та резерви були характерні для меланхоліків. Флегматики та холерики мали менші енергетичні затрати для забезпечення кровообігу в порівнянні з сангвініками та меланхоліками.

Література

1. Гельсінська декларація Всесвітньої медичної асоціації «Етичні принципи медичних досліджень за участю людини у якості об'єкта дослідження». [Інтернет]. Документ 990_005, редакція від 01.10.2008. Доступно на: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990_005. (дата звернення 05.11.2024).
2. Григор'єв В. Гематологічні показники собак з різними типами вищої нервової діяльності за короткотривалої харчової депривації. / Григор'єв В., Кориневська Т., Паневник І., Данчук О., Карповський В., Трач В. *Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral*. – 2022, - Issue 102-103. – с. 118-122. DOI: 10.37000/abbsl.2022.102.20
3. Жарінова О. Функціональна діагностика (за редакцією О. Жарінова, Ю. Іваніва, В. Куця. Київ., «Четверта хвиля», 2021. 784 с.
4. Загальна декларація про біоетику та права людини. Організація Об'єднаних Націй з питань освіти, науки і культури: відділ етики науки і технології: сектор соціальних і гуманітарних наук [Інтернет]. 2005 жов. 19; 12 с. Доступно на: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180r.pdf>. (дата звернення 05.11.2024).
5. Іонов І. А. Фізіологія вищої нервової діяльності (ВНД): навчальний посібник / І. А. Іонов, Т. Є. Комісова, А. В. Мамотенко, С. О. Шаповалов, Сукач О. М., Теремецька Н. Ф., Катеринич О. О. – Х. : ФОП Петров В. В., 2017. – 143 с.
6. Мальцева О. Б., Ляховець Л. О. Функціональна та клініко-лабораторна діагностика: навчальний посібник м. Ужгород, Вид. ТОВ Прінтлайн, 2022. - 213 С.
7. Нейробиологія розвитку та навчання: навчальний посібник / А. А. Ковальова, О. В. Ковальова, О. В. Ковальова, О. М. Бурка, О. А. Присяжнюк. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2022. 325 с.
8. Функціональна діагностика при фізичній реабілітації та оцінці її ефективності: Навчальний посібник / В. В. Клапчук, А. В. Єрмолаєва. – Запоріжжя: Національний університет «Запорізька політехніка», 2022. 75 с.
9. Черепніна А., Карповський В., Постой Р., Василів А., Данчук О. Обмін білка в організмі свиней з різними параметрами нервової системи (огляд). *Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral*. – 2020, – Issue 97. – с.79-93. DOI: 10.37000/abbsl.2020.97.10
10. Шейко В. І., Коломойцев М. Показники центральної гемодинаміки та інтегративних гемодинамічних індексів у меланхоліків та флегматиків. *Наукові записки. Біологічні науки (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя)*, 2025. № 3. С. 69-77. DOI10.31654/2786-8478-2025-BN-3-69-77.
11. <https://surl.li/fqmxqg>

References

1. Gelsinska dtklaracij Vsesvitnoi medicnoi asociacii (2008). «Etichni principi medicnih doslidgen za uchastj lydini u ykosti obekta doslidgen» ["Ethical principles of medical research involving a person as a research object"] document 990_005. dostup https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/990_005 (05.11.2024) [in Ukrainian].
2. Grigoriev V. (2022) Gematologichni pokazniki sobak p riznim tipami vischoi nervovoi dijlnosti za korotkoi harchovoi dtprivacii [Hematological parameters of dogs with different types of higher nervous activity during short-term food deprivation] Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral. Issue 102-103. P. 118-122. DOI: 10.37000/abbsl.2022.102.20 [in Ukrainian].
3. Garinova O., Ivaniv Y., Kucj V. (2021) Funkcionalna diagnostika [Functional diagnostics] Kyiv. Chetverta hvilij - Kyiv «Fourth wave» [in Ukrainian].
4. Zagalna deklaracij pro bioetiku ta prava lydini (2005). [General Declaration on Bioethics and Human Rights]. Organizacij Obednanih Nacii z pitan osviti, nauki I kulturi: viddil etiki nauki I tehnologii: stktor socialnih I gumanitarnih nauk. Dostup: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001461/146180r.pdf> (05.11.2024) [in Ukrainian].
5. Ionov I. A. (2017) Fiziologij vischoi nervovoi dijlnosti (VND): navchalnii posibnik [Physiology of higher nervous activity (HNA)] – Harkiv. FOB Petrov – Kharkiv FOP Petrov V.V. [in Ukrainian].
6. Malceva O. B., Ljhovec L. O. (2022) Funkcionalna ta kliniko-laboratorna diagnostika [Functional and clinical laboratory diagnostics] – Uggorod TOV Printlain – Uzhhorod, Publisher: Printline LLC, 213 p. [in Ukrainian].
7. Kovalova A. A. (2022) Nejrobiologij rozvitku ta navchannj [Developmental Neurobiology and Learning: A Study Guide] – Zaporiggj NU "Zaporizcka politehnika" – Zaporizhzhia: National University "Zaporizhzhia Polytechnic" 325 p. [in Ukrainian].
8. Klapchuk V. V., Ermolaeva A. V. (2022) Funkcionalna diagnostika pri fizichnoi reabilitacii ta ocinci ii efektivnosti [Functional diagnostics in physical rehabilitation and assessment of its effectiveness] Zaporiggj NU "Zaporizcka politehnika" – Zaporizhzhia: National University "Zaporizhzhia Polytechnic" 75 p. [in Ukrainian].
9. Cherepnin A. (2020) Obmin bilka v organizmi sviniv z riznimi parametrami nervovoi sistemi (oglyd) [Protein metabolism in pigs with different nervous system parameters (review)] / A. Cherepnin, V. Karpovskiy, R. Postoi, A. Vasiliy, O. Danchuk. Agrarian Bulletin of tte Black Sea Littoral. – Issue 97. – P.79-93. DOI: 10.37000/abbsl.2020.97.10. [in Ukrainian].
10. Sheiko V. I(H)., Kolomoitsev M. (2025) Pokazniki centralnoj gemodibamiki ta integrativnih gemodinamicheskikh indeksov u melanholikov ta fkegmatikov [Indicators of central hemodynamics and integrativehemodynamic indexes in melancholics and phlegmatics]. Naukovi zapiski. Biologichni nauki (Niginskiy dergavniy universitet imeni Mikoli Gogolj) – Proceedings. Biological Sciences (Mykola Gogol Nizhyn State University) № 3. C. 69-77. DOI10.31654/2786-8478-2025-BN-3-69-77. [in Ukrainian].
11. <https://surl.li/fgmxxq>

Sheiko V.

Doctor of Biological Sciences, Professor,
 Professor of the Department of General Biology and
 Methodology of Teaching Natural Sciences,
 Ternopil National Pedagogical University
 named after Volodymyr Hnatyuk
 interlycin@ukr.net
 orcid.org/0000-0001-7932-4478

Kolomoitsev M.

Postgraduate student of the Department of Biology
 Nizhyn Mykola Gogol State University
 kol.max231199@gmail.com

CENTRAL HEMODYNAMICS AND TYPES OF HIGHER NERVOUS ACTIVITY

Determination of the functional state of the organism and adaptive reserves to the influence of endogenous and exogenous environmental factors is based on the study of indicators of the cardiovascular system. Scientific publications in the field of physiology contain a sufficiently deep analysis of quantitative and qualitative changes in peripheral blood indicators against the background of stress reactions of various genesis. Taking into account the above, it can be assumed that the type of higher nervous activity (HNA) affects not only blood indicators, but also other functional indicators of the organism, including indicators of central hemodynamics.

The purpose of our study is to conduct a comparative analysis of central hemodynamic indicators and integrative hemodynamic indices in representatives of different types of higher nervous activity.

The work was performed in accordance with bioethical standards, observing the relevant principles of the Helsinki Declaration of Human Rights, the Council of Europe Convention on Human Rights and Biomedicine, and the relevant laws of Ukraine.

When comparing the indicators of central hemodynamics, it should be noted that the maximum values were characteristic of sanguine people (pulse 98.8 beats/min, blood pressure 139/76 mmHg, minute blood volume 6.9 l/min, left ventricular output 1.7 W); the minimum adaptive reserves were characteristic of melancholics (vegetative Kerdo index -3.9 c.u.), the maximum adaptive reserves were characteristic of choleric people (vegetative Kerdo index -8.18 c.u.) and sanguine people (vegetative Kerdo index -7.44 c.u.); The minimum energy expenditure for ensuring blood circulation is characteristic of phlegmatics (4443.28 c.u.), and the maximum is characteristic of sanguine people (6340.3 c.u.) and melancholic people (4704.57 c.u.).

Thus, the indicators of central hemodynamics indicated the formation of signs of functional load in the activity of the heart in sanguine people with a slight tendency to compensate the vascular bed to facilitate the work of the heart; minimal adaptive capabilities and reserves were characteristic of melancholics. Phlegmatics and choleric people had lower energy costs to ensure blood circulation compared to sanguine people and melancholics.

Key words: central hemodynamics, hemodynamic indices, blood pressure, systolic and minute blood volume, work capacity, regulation of the heart and cardiovascular system, circulatory efficiency, adaptation and adaptive reserves.

**Стаття до редакції надійшла 28.11.2025 року
Рецензія на статтю надійшла 15.12.2025 року**



«НАУКОВІ ЗАПИСКИ. БІОЛОГІЧНІ НАУКИ»
(НІЖИНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИКОЛИ ГОГОЛЯ) /
RESEARCH NOTES. BIOLOGY RESEARCH
(NIZHYN MYKOLA GOGOL STATE UNIVERSITY)

Науковий журнал «Наукові записки. Біологічні науки» (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя) – це наукове видання з біологічних наук, засноване у 2023 році Ніжинським державним університетом імені Миколи Гоголя.

Свідоцтво про реєстрацію: КВ № 25398-15338 Р від 20 січня 2023 р.

Періодичність: 4 рази на рік.

На підставі Наказу Міністерства освіти і науки України № 582 від 24.04.2024 (додаток 2) науковий журнал «Наукові записки. Біологічні науки» (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя) внесений до переліку **наукових фахових видань України (категорії «Б»)** у галузі біологічних наук (091 «Біологія та біохімія»).

Зареєстрований Національною радою України з питань телебачення та радіомовлення (рішення № 1180, протокол № 13 від 11.04.2024 р., ідентифікатор медіа R30-03790).

У науковому журналі висвітлюються актуальні питання біологічної науки.

Редакція здійснює присвоєння кожному опублікованому матеріалу міжнародного цифрового ідентифікатора DOI.

До друку приймаються статті докторів наук, кандидатів наук, молодих науковців (аспірантів, здобувачів), а також інших осіб, які мають вищу освіту та займаються науковою діяльністю. Редакція залишає за собою право на редагування і відхилення статей. За достовірність фактів, статистичних даних та іншої інформації відповідальність несе автор. Передрук матеріалів збірника дозволяється тільки з дозволу автора і редакції.

РУБРИКИ ЖУРНАЛУ

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 091 БІОЛОГІЯ ТА БІОХІМІЯ

- | | |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 1. Ботаніка | 2. Зоологія |
| 3. Біохімія | 4. Фізіологія рослин |
| 5. Нормальна та патологічна анатомія та фізіологія людини і тварин | |

Мова публікації: українська, англійська.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТЕКСТУ РУКОПISУ

1. Формат А4; орієнтація – книжкова, матеріали збережені та підготовлені у форматі Microsoft Word (*.doc або *.docx). Поля з усіх сторін – 20 мм; шрифт – 14, основний шрифт – Times New Roman, *Arial* і *Courier New* для *текстових фрагментів*; інтервал між рядками – 1,5; вирівнювання тексту – по ширині; автоматична розстановка переносів – включена; абзацний відступ – 1,25 см; нумерація сторінок – не ведеться.

2. Малюнки та таблиці необхідно подавати в статті безпосередньо після тексту, де вони згадуються вперше, або на наступній сторінці. Розмір шрифта табличного тексту зазвичай на 2 пункти менше основного шрифту. Кількість таблиць, формул та ілюстрацій має бути мінімальною та доречною. Рисунки і таблиці на альбомних сторінках не приймаються.

3. *Нерозривний пробіл (Ctrl+Shift+пробіл) ставиться обов'язково: між ініціалами та прізвищем (С. Русова); після географічних скорочень (м. Київ); між знаками номера (№) та параграфа і числами, які до них відносяться; у посиланнях на літературу [14, с. 60]; всередині таких скорочень: і т. д., і т. п. тощо; між внутрішньо-текстовими пунктами й інформацією, яка йде після них, між числами й одиницями виміру (20 кг), а також дат (XX ст., 2002 р.).*

4. Посилання на літературу подаються у тексті тільки у квадратних дужках до прикладу: [1, с. 2], бібліографічний список у кінці тексту. Посторінкові виноска та посилання не допускаються.

5. Г. Славтіч приділяє увагу проблемі формування психологічної культури навичок ділового спілкування, обґрунтовує зміст та умови її формування [1, с. 2]. Вчена визначає такі особливості розвитку психологічної культури ділового спілкування як «якісна характеристика потреби у спілкуванні, рівень її розвитку, мотиви спілкування, операційний компонент спілкування, рівень знань про професії бізнесу, техніка спілкування» [1; 6, с. 9–10].

6. Бібліографічний опис списку використаних джерел оформлюється з урахуванням розробленого в 2015 році Національного стандарту України **ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання» (ДСТУ 8302:2015 р.)**.

7. References. Оформлюється відповідно до стандарту APA (APA Style Reference Citations). Автор (трансліт), назва статті (трансліт), назва статті (в квадратних дужках переклад англійською мовою), назва джерела (трансліт), вихідні дані (місто з позначенням англійською мовою), видавництво (трансліт).

Для складення списку за стандартом APA пропонуємо скористатися одним із генераторів посилань: <https://openscience.in.ua/references.html>, <https://www.sciencehunter.net/Services/Bibliography>.

Наприклад:

1. Danchuk, O.V. (2018). Peroksydne okysnennia lipidiv ta aktyvnist systemy antyoksydantnoho zakhystu v orhanizmi svynei z riznymy typamy vyshchoi nervovoi diialnosti [Peroxide oxidation of lipids and activation of the antioxidant defense system in the body of pigs with different types of higher nervous activity]. *Candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].

2. Klevets, M.Yu., Manko, V.V. & Halkiv, M.O. (2011). Fiziolohiia liudyny i tvaryn (fiziolohiia nervovoi, miazovoi i sensorykh system) [Human and animal physiology (physiology of nervous, muscular and sensory systems)]. Lviv: LNU imeni Ivana Franka [in Ukrainian].

3. *Транслітерація імен та прізвищ з української мови здійснюється відповідно до вимог Постанови Кабінету Міністрів України «Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею» від 27 січня 2010 р. № 55.* <http://ukrlit.org/transliteratsiia>.

4. Реферат англійською мовою має бути оформлений згідно міжнародних вимог до наукових видань і мати: обсяг 1800–2000 знаків; інформативність (не містити загальних слів); оригінальність (не бути калькою анотації українською або російською мовою); змістовність (відобразити головний зміст статті та результати досліджень), структурованість (*наявність обов'язкових елементів*: мета, методика, результати, наукова новизна, практична значущість, ключові слова).

5. Обсяг статті – 10–25 сторінок.

За достовірність фактів, цитат, власних імен, географічних назв та інших відомостей відповідають автори публікації.

Відповідальність за дотримання академічної доброчесності під час здійснення освітньо-наукової діяльності несуть автори поданих наукових статей. Відповідно до статті 42 Закону України «Про освіту» (05.09.2017 № 2145-VIII) академічною доброчесністю визначається сукупність етичних принципів та визначених законом правил, якими мають керуватися учасники освітнього процесу під час навчання, викладання та провадження наукової (творчої) діяльності з метою забезпечення довіри до результатів навчання та / або наукових (творчих) досягнень.

Дотримання академічної доброчесності педагогічними, науково-педагогічними та науковими працівниками передбачає:

- посилення на джерела інформації у разі використання ідей, розробок, тверджень, відомостей;
- дотримання норм законодавства про авторське право і суміжні права;
- надання достовірної інформації про методики і результати досліджень, джерела використаної інформації та власну педагогічну (науково-педагогічну, творчу) діяльність тощо.

Порушенням академічної доброчесності вважається:

- *академічний плагіат* – оприлюднення (частково або повністю) наукових (творчих) результатів, отриманих іншими особами, як результатів власного дослідження (творчості) та / або відтворення опублікованих текстів (оприлюднених творів мистецтва) інших авторів без зазначення авторства;

- *самоплагіат* – оприлюднення (частково або повністю) власних раніше опублікованих наукових результатів як нових наукових результатів;

- *фабрикація* – вигадкування даних чи фактів, що використовуються в освітньому процесі або наукових дослідженнях;

- *фальсифікація* – свідомо зміна чи модифікація вже наявних даних, що стосуються освітнього процесу чи наукових досліджень;

- *обман* – надання завідомо неправдивої інформації щодо власної освітньої (наукової, творчої) діяльності чи організації освітнього процесу; формами обману є, зокрема, академічний плагіат, самоплагіат, фабрикація, фальсифікація та списування тощо.

Рукописи, що не відповідають вимогам, редакція не реєструє й не розглядає з метою публікації.

УМОВИ ОПЛАТИ

Редакційний збір становить **70 гривень** за одну сторінку. До друку приймаються статті обсягом від 10 до 25 сторінок. Редакційний збір покриває витрати, пов'язані з редагуванням статей, макетуванням та друком журналу. Поштова пересилка журналу авторам здійснюється на вказане ним поштове відділення Нової Пошти за рахунок автора.

Редакційна колегія наукового вісника здійснює внутрішнє анонімне рецензування та перевіряє їх на плагіат. У разі вдалого проходження перевірки авторам надсилаються реквізити для оплати публікаційного внеску. В іншому випадку стаття повертається на доопрацювання.

ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ

УДК 378:14

1. Фізіологія та біохімія

ІМУНОЛОГІЧНИЙ ТА БІОХІМІЧНИЙ СТАТУС НА ТЛІ ФОРМУВАННЯ АДАПТАЦІЙНОГО СИНДРОМУ

Шевченко Сергій Миколайович,

кандидат біологічних наук,

доцент кафедри біології

Ніжинського державного університету імені Миколи Гоголя

shevchenko@gmail.com

orcid.org/_____

Анотація українською мовою.

Обсяг: 1800-2000 знаків без пробілів.

Ключові слова: 5–10 слів чи словосполучень.

IMMUNOLOGICAL AND BIOCHEMICAL STATUS ON THE BACKGROUND OF THE FORMATION OF THE ADAPTATION SYNDROME

Shevchenko Serhiy Mykolayovych

Candidate of biological Sciences,

Associate Professor at the Department of Biology

Nizhyn Mykola Gogol State University

shevchenko@gmail.com

orcid.org/_____

Анотація англійською мовою.

Обсяг: 1800-2000 знаків без пробілів.

Key words: 5–10 слів чи словосполучень.

РОЗДІЛИ СТАТТІ

Вступ. Актуальність дослідження, критичний аналіз літературних джерел за темою статті.

Формулювання мети статті.

Методи та організація дослідження. Опис схеми дослідження, методів дослідження, дотримання норм біоетики.

Результати досліджень та їх обговорення.

Висновки з дослідження та перспективи подальшого дослідження згідно матеріалу, поданому в статті.

Література

1. Мойбенко О. О., Сагач В. Ф., Ткаченко М. М. Фундаментальні механізми дії оксиду азоту на серцево-судинну систему як основи патогенетичного лікування її захворювань. *Фізіологічний журнал*. 2004. Т. 50. № 1. С. 11–30.

References

1. Moibenko, O.O., Sahach, V.F., Tkachenko, M.M. (2004). Fundamentalni mekhanizmy dii oksydu azotu na sertsevo-sudynnu systemu yak osnovy patohenetychnoho likuvannia ii zakhvoriuvan [Fundamental mechanisms of action of nitric oxide on the cardiovascular system as the basis of pathogenetic treatment and diseases]. *Fiziolohichniy zhurnal – Physiological journal*. Issue 50 (1). P. 11–30 [in Ukrainian].

ПОРЯДОК ПОДАННЯ МАТЕРІАЛІВ

Для опублікування статті у науковому журналі «Наукові записки. Біологічні науки» (Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя) необхідно надіслати електронною поштою на адресу pv.naukovizapiski@gmail.com наступні матеріали:

- 1) довідку про автора: прізвище, ім'я, по батькові, місце роботи (для аспірантів – місце навчання), посада, науковий ступінь, вчене звання, *orcid*, *e-mail*, домашня адреса (індекс обов'язково), адреса електронної пошти, контактні телефони;
- 2) статтю.

У разі успішного рецензування статті необхідно надіслати відскановану електронну копію підтвердження сплати редакційного збору.

Без попередньої оплати стаття до друку не допускається.

Приклад підпису файлів: Іванченко_стаття, Іванченко_квитанція.

КОНТАКТНА ІНФОРМАЦІЯ

Кафедра біології
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя,
вул. Графська, 2,
м. Ніжин, Чернігівська обл., Україна, 16602

Електронна адреса: pv.naukovizapiski@gmail.com
Телефон: +38 067 266 70 99

**У РАЗІ НЕДОТРИМАННЯ АВТОРАМИ ВСІХ ВИЩЕЗАЗНАЧЕНИХ УМОВ
РЕДАКЦІЯ МАЄ ПРАВО ПОВЕРНУТИ СТАТТЮ
НА ДООПРАЦЮВАННЯ ЧИ ВІДМОВИТИ В ЇЇ ДРУКУВАННІ**