

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА І ПЕРЕРОБКИ ПРОДУКЦІЇ ТВАРИННИЦТВА

Збірник наукових праць

№ 2 (198) 2025

УДК 636/639(062.552):378.4(477.41)БНАУ
Т 38

Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва = Animal Husbandry Products Production and Processing: збірник наукових праць. № 2 (198) 2025. Білоцерківський національний аграрний університет. Біла Церква: БНАУ, 2025. 133 с. DOI 10.33245

Засновник, редакція, видавець і виготовлювач:
Білоцерківський національний аграрний університет (БНАУ)

Збірник розглянуто і затверджено до друку рішенням Вченої ради БНАУ
(Протокол № 11 від 27.11.2025 р.)

«Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва» («Animal Husbandry Products Production and Processing») – збірник наукових праць є фаховим виданням, який включено до Переліку наукових фахових видань України категорії «Б» (Наказ Міністерства освіти і науки України № 1643 від 28.12.2019 р.) і є продовженням «Вісника Білоцерківського державного аграрного університету», започаткованого 1992 року. Збірник представлено на порталі Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського, включено до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar, Crossref.

Редакційна колегія:

Ставецька Р.В., головний редактор, д-р с.-г. наук, професор, Білоцерківський НАУ, м. Біла Церква, Україна

Ластовська І.О., заступник головного редактора, канд. с.-г. наук, доцент, Білоцерківський НАУ, м. Біла Церква, Україна

Члени редакційної колегії:

Аріас Р., д-р філософії, доцент, Університет Аустрал де Чилі, Валдівія, Чилі

Бабенко О.І., канд. с.-г. наук, доцент, Білоцерківський НАУ, Біла Церква, Україна

Білл М., д-р філософії, професор, Державний університет штату Айова, «Дюпон Піонер», Айова, США

Бітюцький В.С., д-р с.-г. наук, професор, Білоцерківський НАУ, Біла Церква, Україна

Борщ О.О., д-р с.-г. наук, професор, Білоцерківський НАУ, Біла Церква, Україна

Бровенко Т.В., кандидата технічних наук, доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна

Ваврісінова К., д-р філософії, доцент, Словацький аграрний університет, Нітра, Словачія

Гассемі Нейжад Ж., д-р філософії, доцент, Коледж тваринництва та технологій, Університет Конкук, Сеул, Республіка Корея

Гриневич Н.С., д-р вет. наук, професор, Білоцерківський НАУ, м. Біла Церква, Україна

Димань Т.М., д-р с.-г. наук, професор, Білоцерківський НАУ, Біла Церква, Україна

Кацаньова М., д-р філософії, професор, Словацький аграрний університет, Нітра, Словачія

Лихач А.В., д-р с.-г. наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

Луговий С.І., д-р с.-г. наук, професор, Миколаївський НАУ, Миколаїв, Україна

Мачюк В., д-р філософії, професор, Університет аграрних наук та ветеринарної медицини, Яси, Румунія

Мерзлов С.В., д-р с.-г. наук, професор, Білоцерківський НАУ, Біла Церква, Україна

Недашківський В.М., д-р с.-г. наук, професор, Білоцерківський НАУ, Біла Церква, Україна

Ніколова Л., д-р філософії, доцент, Аграрний університет, Пловдив, Болгарія

Попова Т., д-р філософії, професор, Інститут тваринництва, Костинброд, Болгарія

Соболев О.І., д-р с.-г. наук, професор., Білоцерківський НАУ, Біла Церква, Україна
Федорович Є.І., д-р с.-г. наук, професор, член-кореспондент НААНУ, Інститут біології тварин, Львів, Україна
Цехмістренко О.С., д-р с.-г. наук, професор, Білоцерківський НАУ, Біла Церква, Україна
Цехмістренко С.І., д-р с.-г. наук, професор, Білоцерківський НАУ, Біла Церква, Україна

Editorial board:

Editor in chief – **Stavetska R.**, D. Sc., Prof., Bila Tserkva NAU, Bila Tserkva, Ukraine
Deputy Editor in chief – **Lastovska I.**, Candidate of Agricultural Sciences, Ass. Prof., Bila Tserkva NAU, Bila Tserkva, Ukraine

Members of editorial board:

Arias R., PhD, Ass. Prof., Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile
Babenko O., Candidate of Agricultural Sciences, Ass. Prof., Bila Tserkva NAU, Bila Tserkva, Ukraine
Bill M., PhD, Prof., Iowa State University, DuPont Pioneer, Iowa, USA
Bitiutskyi V., D. Sc., Prof., Bila Tserkva NAU, Bila Tserkva, Ukraine
Borshch O., D. Sc., Prof., Bila Tserkva NAU, Bila Tserkva, Ukraine
Brovenko T., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
Vavrisinova K., Ass. Prof., Slovak University of Agriculture, Nitra, Slovakia
Ghassemi Nejad J., PhD, Ass. Prof., College of Animal Bioscience and Technology, Konkuk University, Seoul, Republic of Korea
Grynevych N., D. Sc., Prof., Bila Tserkva NAU, Bila Tserkva, Ukraine
Dyman T., D. Sc., Prof., Bila Tserkva NAU, Bila Tserkva, Ukraine
Kacaniova M., PhD, Prof., Slovak University of Agriculture, Nitra, Slovakia
Lykhach A., D. Sc., Prof., National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
Luhovyi S., D. Sc., Prof., Mykolayiv National Agrarian University, Mykolayiv, Ukraine
Maciuc V., PhD, Prof., University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine of Iasi, Romania
Merzlov S., D. Sc., Prof., Bila Tserkva NAU, Bila Tserkva, Ukraine
Nedashkivskyi V., D. Sc., Prof., Bila Tserkva NAU, Bila Tserkva, Ukraine
Nikolova L., PhD, Ass. Prof., Agrarian University, Plovdiv, Bulgaria
Popova T., PhD, Prof., Institute of Animal Science, Kostinbrod, Bulgaria
Sobolev O., D. Sc., Prof., Bila Tserkva NAU, Bila Tserkva, Ukraine
Fedorovych Ye., D. Sc., Prof., Corresponding Member of NAAS, Institute of Animal Biology of the NAAS, Lviv, Ukraine
Tsekhmistrenko O., D. Sc., Prof., Bila Tserkva NAU, Bila Tserkva, Ukraine
Tsekhmistrenko S., D. Sc., Prof., Bila Tserkva NAU, Bila Tserkva, Ukraine

Адреса редакції: Білоцерківський національний аграрний університет, Соборна площа, 8/1,
м. Біла Церква, 09117, Україна, e-mail: redakciavidil@ukr.net.

ЗМІСТ

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА І ПЕРЕРОБКИ
ПРОДУКЦІЇ ТВАРИННИЦТВА

Шкарбан В.В., Сичов М.Ю. Вплив використання високопротеїнового соняшникового концентрату в годівлі курчат-бройлерів на перетравність та ефективність використання корму	6
Отченашко В.В., Черниш В.А. Перетравність поживних речовин та енергетична цінність гідролізованого пір'яного борошна у птиці	13
Ізраелян В.М. Голембовська Н.В. Хімічний склад та амінокислотний профіль м'яса африканського страуса	26
Шабля П.В., Шабля В.П. Пластичність і стабільність багатоплідності свиноматок порід ландрас та уельс за різних умов годівлі й утримання	38
Почукалін А.Є. Селекційні досягнення у рибництві України (минуле, сучасне)	50

БІОТЕХНОЛОГІЯ ТА БІОІНЖЕНЕРІЯ

Чернюк С.В., Крижак М.С. Сучасна біотехнологія у силосуванні	61
Бабенко С.П., Кузьменко О.А., Бомко В.С. Чернявський О.О., Титарьова О.М., Сломчинський М.М., Недашківський В.М., Соболева С.В. Згодовування молодняку гусей ферментного препарату Hemicell® НТ та його вплив на гематологічні показники, вихід і якість продуктів забою	73

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Димань Т. М., Димань Н. О., Задорожна Р. П. Екоінноваційні проєкти в харчовому секторі: інвестування в стале майбутнє	87
Нагорний С.А., Чалий О.І. Криворучко Ю.І., Скляренко О.В., Косенко С.Ю., Слинько В.Г. Удосконалення розрахунків суміші молока і закваски у виробництві кумису за рахунок виведених формул на основі методу «квадрат Пірсона»	101

ЕКОЛОГІЯ

Веред П.І., Герасименко В.Ю., Бітюцький В.С., Присяжнюк Н.М., Цехмістренко С.І., Куновський Ю.В. Оцінка стану водної екосистеми річки Кам'янка Білоцерківського району Київської області	111
Цехмістренко О.С., Цехмістренко С.І., Бітюцький В.С. Екотоксикологічна оцінка препаратів нанокристалічного церію діоксиду	121

CONTENT

TECHNOLOGY OF MANUFACTURE AND PROCESSING PRODUCTION OF ANIMALS

Shkarban V., Sychov M. The Effect of High-Protein Sunflower Concentrate Use in Broiler Chicken Feeding on Nutrient Digestibility and Feed Utilization Efficiency	6
Otchenashko V., Chernysh V. Nutrient digestibility and energy value of hydrolysed feather meal in poultry	13
Israelian V., Holembovska N. Chemical composition and amino acid profile of African ostrich meat	26
Shablia P., Shablia V. Plasticity and stability of prolificacy in Landrace and Welsh sows under different feeding and housing conditions	38
Pochukalin A. Selective Breeding Achievements in Ukrainian Aquaculture: Past and Present	50

BIOTECHNOLOGIES AND BIOENGINEERING

Chernyuk S., Kryzhak M. Modern biotechnology in ensiling	61
Babenko S., Bomko V., Kuzmenko O., Cherniavskiy O., Tytariova O., Slomchynskiy M., Nedashkivsky V., Sobolieva S. Feeding of young geese with the enzyme preparation Hemicell® HT and its influence on hematological indicators, yield and quality of slaughter products	73

FOOD TECHNOLOGY

Dyman T., Dyman N., Zadorozhna R. Eco-innovation projects in the food sector: investment in a sustainable future	87
Nahornyi S., Chalyi O., Kryvoruchko Yu., Sklyarenko O., Kosenko S., Slynko V. Improvement of the technological calculations in dairy industry based on the “Pearson square” method	101

ECOLOGY

Vered P., Herasymenko V., Bityutskyy V., Prysiashniuk N., Tsekhmistrenko S., Kunovsky Y. Assessment of the Status of the Kamianka River Aquatic Ecosystem in the Bila Tserkva District, Kyiv Region	111
Tsekhmistrenko O., Tsekhmistrenko S., Bityutskyy V. Ecotoxicological assessment of nanocrystalline cerium dioxide preparations	121

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА І ПЕРЕРОБКИ ПРОДУКЦІЇ ТВАРИННИЦТВА

УДК 636.52/.58:082.2

Вплив використання високопротеїнового соняшникового концентрату в годівлі курчат-бройлерів на перетравність та ефективність використання корму**Шкарбан В.В.** , **Сичов М.Ю.** *Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Сичов М.Ю. E-mail: sychov@ukr.net



Шкарбан В.В., Сичов М.Ю. Вплив використання високопротеїнового соняшникового концентрату в годівлі курчат-бройлерів на перетравність та ефективність використання корму. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2025. № 2. С. 6–12.

Shkarban V., Sychov M. The Effect of High-Protein Sunflower Concentrate Use in Broiler Chicken Feeding on Nutrient Digestibility and Feed Utilization Efficiency. «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2025. № 2. PP. 6–12.

Рукопис отримано: 28.09.2025 р.

Прийнято: 12.10.2025 р.

Затверджено до друку: 27.11.2025 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2025-198-2-6-12

Метою дослідження було експериментально обґрунтувати доцільність використання високопротеїнового соняшникового концентрату як альтернативного джерела рослинного протеїну в годівлі курчат-бройлерів та визначити його вплив на перетравність поживних речовин та ефективність використання ними корму. У дослідженні порівнювали чотири варіанти раціонів: базовий контрольний раціон із соєвою макухою, повну її заміну високопротеїновим соняшниковим концентратом, а також два варіанти часткової заміни – на рівні 50 % за сирим протеїном і 50 % за кількістю. Результати показали, що варіант із частковою заміною соєвої макухи високопротеїновим соняшниковим концентратом у кількості 50 % забезпечив найвищі показники перетравності поживних речовин. Перетравність сирого протеїну в цій групі була вищою на 3,8 % ($p < 0,01$), а сирого жиру – на 1,4 % ($p < 0,05$) порівняно з контролем. При цьому перетравність БЕР і клітковини залишалася на рівні контрольної групи. Курчата, які споживали комбікорм із заміною соєвої макухи на 50 % за кількістю, відзначалися стабільно вищим споживанням корму упродовж усього періоду вирощування, зокрема середньодобове споживання збільшилося на 4,3 г, а загальне споживання корму – на 180 г, що відповідає приросту на 3,5 %, без погіршення конверсії корму. У варіанті заміни 50 % соєвої макухи за сирим протеїном конверсія корму залишалася на рівні контрольної групи, що свідчить про збереження енергетичної ефективності раціону. Натомість повна заміна соєвої макухи високопротеїновим соняшниковим концентратом призвела до підвищення витрат корму на 1 кг приросту живої маси на 3,3 % без покращення перетравності поживних речовин, що вказує на недоцільність повної заміни без додаткової корекції амінокислотного складу. Отримані результати підтверджують ефективність використання високопротеїнового соняшникового концентрату на рівні 50 % за кількістю як екологічно доцільної та економічно вигідної альтернативи соєвій макусі, що дає змогу підвищити перетравність протеїну і жиру та зберегти ефективність використання корму.

Ключові слова: курчата-бройлери, високопротеїновий соняшниковий концентрат, перетравність, конверсія корму, споживання корму, енергетична ефективність, альтернативні джерела протеїну, годівля птиці.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Соевий шрот традиційно розглядають як основне джерело високоякісного протеїну у годівлі бройлерів у світовій практиці [1–3]. Цей інгредієнт вирізняється високим умістом сирого протеїну (~ 48 %), метаболізованої енергії (~2200 ккал/кг), низьким рівнем клітковини (~3,6 %) та збалансованим амінокислотним профілем, який у більшості випадків відповідає потребам організму птиці, за винятком метіоніну [4]. Крім того, соєвий шрот характеризується високою біологічною цінністю та коефіцієнтом перетравності поживних речовин [5]. Попри це, його використання стикається з низкою економічних і логістичних обмежень: постійним зростанням вартості, коливаннями на світовому ринку та зниженням доступності, що зумовлено геополітичними конфліктами та пандемічними кризами [3]. Водночас спостерігається зростання інтересу до впровадження у годівлю курей альтернативних протеїнових ресурсів, які забезпечують менший вуглецевий слід і позитивніше впливають на екологічну сталість виробництва [6, 7]. У цьому контексті перспективними вважаються місцеві рослинні джерела протеїну, зокрема продукти переробки насіння соняшнику, що привертають дедалі більшу увагу дослідників і практиків [8, 9].

За сучасними літературними даними [10, 11], встановлено, що введення до раціонів бройлерів віком 21–42 днів приблизно 15 % насіння соняшнику сприяє поліпшенню низки господарськи корисних показників, зокрема підвищенню кінцевої живої маси, збільшенню середньодобового споживання корму, а також приросту маси грудних, гомілкових м'язів і шлунка [10]. Такий ефект є особливо цікавим, оскільки за умов раціонів із збалансованим енергетичним та протеїновим складом зазвичай складно досягти суттєвих варіацій у базових продуктивних параметрах, таких як маса тіла чи добове споживання корму. Ймовірно, позитивна дія пов'язана з особливостями жирнокислотного складу насіння соняшнику, яке може активізувати метаболічні процеси, стимулюючи ріст і розвиток тканин та органів птиці [12].

Нещодавні результати досліджень Pirgozliev V.R. та співавт. [13] свідчать, що заміна 67 % протеїнової частини раціону, сформованого на основі соєвого шроту, сумішшю соняшникового та ріпакового шротів не призвела до достовірного зниження маси тіла, несучості чи ефективності використання кор-

му у курей у віці 75–83 тижнів. Незважаючи на те, що соєвий раціон має дещо вищу метаболізовану енергію, птиця, яка споживала корм із альтернативними джерелами протеїну, отримувала аналогічну кількість енергії, що підтверджує їх потенційну поживну та фізіологічну еквівалентність.

Таким чином, у науковій літературі існують суперечливі дані щодо ефективності включення соняшникових продуктів до раціонів бройлерів, що пояснюється впливом численних супутніх чинників, зокрема рівнем протеїну, амінокислотного складу, якістю жиру та технологічними особливостями годівлі [11]. Зокрема, за повідомленнями окремих авторів [14], підвищення частки соняшникового шроту в кормах для бройлерів супроводжувалося поступовим зниженням ефективності використання корму порівняно з раціонами, що містили кукурудзу та соєвий шрот. Водночас результати досліджень Gerzilov V. і Petrov P. B. [15] свідчать про те, що використання підвищених рівнів високопротеїнового соняшникового шроту в поєднанні зі зменшенням частки соєвого шроту та збалансуванням вмісту L-лізину може бути цілком успішним у годівлі бройлерів. Автори рекомендують включати високопротеїновий соняшниковий шрот у кількості до 10 % у стартовий період, до 20 % – у період росту та до 23 % – у фінішний. За таких умов у фазі гроверного та фінішного вирощування цей компонент може забезпечувати понад половину потреби бройлерів у сирому протеїні, не погіршуючи основних показників продуктивності.

Повна заміна соєвого шроту в раціонах бройлерів залишається складним завданням, оскільки більшість рослинних протеїнових альтернатив характеризуються підвищеним умістом сирого клітковини [3, 16], а також асоційованих з нею некрохмальних полісахаридів. Надлишок цих компонентів зумовлює зниження засвоюваності енергії, органічних речовин і азоту [17], що, у свою чергу, може негативно впливати на споживання корму та темпи росту птиці [18]. Використання технологій термічної обробки сировини частково нівелює вплив антипоживних факторів, однак ефективність такого підходу варіює залежно від виду зернових чи бобових культур, а надмірна або тривала обробка може, навпаки, зменшити біологічну доступність протеїну [19].

Отже, подальше вивчення можливостей використання високопротеїнового соняшникового концентрату як альтернативного

джерела протеїну у годівлі курчат-бройлерів є науково обґрунтованим, своєчасним і має практичне значення для підвищення ефективності м'ясного птахівництва.

Мета дослідження – дослідити перетравність поживних речовин раціонів у курчат бройлерів за різних рівнів заміни соєвого шроту на високопротеїновий соняшниковий концентрат.

Матеріали і методи досліджень. Експерименти з дослідними тваринами проводили відповідно до правил Європейської конвенції про захист хребетних тварин (Офіційний журнал Європейського Союзу L276/33, 2010) та Наказу Міністерства економіки України «Про затвердження вимог щодо добробуту сільськогосподарських тварин під час їх утримання» від 18 лютого 2021 року.

Дослідження проводили у науково-дослідній лабораторії «Кормових добавок» і ННВЛ «Живлення тварин та якості кормів» кафедри годівлі тварин та технології кормів ім. П. Д. Пшеничного Національного університету біоресурсів і природокористування України в рамках державної наукової теми Міністерства освіти і науки України 04493706 № 0124U000924

Як об'єкт дослідження використовували курчат-бройлерів промислового стада кросу «Кобб-500». Експеримент тривав 42 доби від посадки добових курчат на вирощування до забою. Упродовж вирощування курчат-бройлерів утримували відповідно до рекомендацій розробника кросу [20].

У добовому віці курчат-бройлерів було розділено на чотири групи по 100 голів у кожній. Відмінності між групами були зумовлені лише складом раціону.

Для визначення перетравності у курчат-бройлерів з кожної групи було відібрано по 6 голів птиці віком 32 доби (табл. 1). Курчат утримували в індивідуальних клітках. Площа на одну голову становила 0,2 м², фронт годівлі – 15 см, напування – 3 см.

Фізіологічний дослід тривав 10 діб і складався з підготовчого і основного періодів. У підготовчий період дослід тривав 5 діб птицю привчали до споживання досліджуваного корму і нових умов утримання, встановлювали рівень споживання корму.

Зокрема, різниця в годівлі птиці контрольної і дослідних груп зумовлювалася повною або частковою заміною у раціоні соєвої макухи на високопротеїновий соняшниковий концентрат. Бройлери контрольної групи отримували повнораціонний комбікорм лише на основі соєвої макухи, без додавання високопротеїнового соняшникового концентрату. У раціоні бройлерів другої групи соєва макуха була повністю замінена на соняшниковий концентрат. У курей 3 групи заміна становила 50 % з сиром протеїном, а у курчат 4 групи раціон було сформовано у такий спосіб, щоб заміна соєвої макухи становила 50 % за кількістю. Комбікорми використовували у сухому розсипчастому вигляді.

Для визначення перетравності поживних речовин корму в обліковий період вели ретельний облік спожитого кожною твариною корму, його решток, а також виділеного посліду. Послід збирали від кожної тварини окремо у відповідну ємність, зважували й зберігали у скляних банках, консервуючи їх розчином соляної кислоти. Щодня відбирали зразки спожитих кормів і з'їдів у банки, що зберігались у холодильнику. Коефіцієнти перетравності сирих протеїну, жиру, клітковини, БЕР обчислювали за формулою:

$$КП = \frac{ППР}{ПР_{корму}} \times 100$$

де КП – коефіцієнт перетравності, %; ППР – перетравна поживна речовина корму, г; ПР корму – вміст поживної речовини в спожитому кормі, г.

Таблиця 1 – Схема дослід з вивчення перетравності поживних речовин раціонів у курчат-бройлерів

Група	Характеристика годівлі
1 контрольна	Раціон з соєвим шротом без використання високопротеїнового соняшникового концентрату
2	Раціон з повною заміною соєвої макухи високопротеїновим соняшниковим концентратом
3	Раціон із заміною 50 % соєвої макухи, за сирим протеїном, високопротеїновим соняшниковим концентратом
4	Раціон із заміною 50 % соєвої макухи, за масою, високопротеїновим соняшниковим концентратом

Біометричну обробку даних здійснювали на ПК за допомогою програмного забезпечення MS Excel з використанням вбудованих статистичних функцій. Достовірність різниці між групами оцінювали за t-критерієм Ст'юдента, а також з використанням однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) та критерію множинних порівнянь Тьюкі-Крамера як інструмента post-hoc тестування. Перевірку розподілу даних вибірки на нормальність проводили за критерієм Шапіро-Уилка. У випадку якщо розподіл даних вірогідно відрізнявся від нормального, використовували непараметричний U-критерій Манна-Уїтні. Відмінності між групами вважали достовірними за $p < 0,05$.

Результати дослідження та обговорення. Дослідним курчатам-бройлерам згодовували повнораціонні комбікорми, збалансовані за всіма поживними речовинами згідно з рекомендованими нормами. Склад комбікорму, що використовувався для годівлі курчат-бройлерів у період проведення фізіологічного досліду, наведено у таблиці 2.

Таким чином, різниця в годівлі птиці контрольної і дослідних груп зумовлювалася повною або частковою заміною у раціоні соєвої макухи на високопротеїновий соняшниковий концентрат.

Виявлено, що заміна у раціоні курчат-бройлерів соєвої макухи високопротеїновим соняшниковим концентратом вплинула на перетравність поживних речовин корму в їх організмі (табл. 3). Зокрема, 50 %-ва заміна за кількістю соєвої макухи високопротеїновим соняшниковим концентратом сприяла підвищенню перетравності в організмі курчат-бройлерів сирого протеїну на 3,8 % ($p < 0,01$) та сирого жиру – на 1,4 % ($p < 0,05$) порівняно з контрольною групою, птиця якої отримувала стандартний збалансований раціон. Слід відмітити, що повна та часткова у концентрації 50 % за сирим протеїном заміна соєвої макухи високопротеїновим соняшниковим концентратом не вплинула на перетравність поживних речовин корму в організмі курчат-бройлерів.

Таблиця 2 – Склад фінішного раціону для курчат-бройлерів, %

Показник	Група курчат-бройлерів / % заміни соєвої макухи			
	1	2	3	4
	0	100	50 за сирим протеїном	50 за кількістю
Кукурудза	49,247	54,687	54,096	53,236
Концентрат соняшниковий СП44	–	25,313	20,450	13,370
Макуха соєва СП 41	28,868	–	5,454	13,394
Пшениця	15,000	15,000	15,000	15,000
Борошно вапнякове Са 35 %	1,234	1,177	1,189	1,207
Кукурудзяне борошно	2,672	2,238	2,320	2,438
Монокальцій фосфат	0,061	0,186	0,161	0,124
Метіонін 99,5 %	0,215	0,113	0,132	0,160
Лізин гідрохлорид	0,202	0,546	0,482	0,388
Сіль	0,291	0,091	0,129	0,183
Треонін 99 %	0,040	0,087	0,078	0,065
Суміш мікроелементів	0,100	0,100	0,100	0,100
Excential Toxin Plus 20 (абсорбент)	0,100	0,100	0,100	0,100
Бета-Кі (бетаїн)	0,026	0,026	0,026	0,026
Суміш вітамінів для бройлерів	0,030	0,030	0,030	0,030
Axtra PHU 10000 TPT (150g/MT of CFeed) – фітаза	0,015	0,015	0,015	0,015
Ноксифід (антиоксидант 125–250 г/т)	0,013	0,013	0,013	0,013
Соєва олія	1,885	–	–	–
Натрій сульфат		0,278	0,226	0,150
Разом	100,000	100,000	100,000	100,000

Таблиця 3 – Перетравність поживних речовин корму залежно від рівня заміни у раціоні соєвої макухи на високопротеїновий соняшниковий концентрат, %, n=6/група

Поживні речовини корму	Група курчат-бройлерів / % заміни соєвої макухи			
	1	2	3	4
	0	100	50 за сирим протеїном	50 за кількістю
Сирий протеїн	83,8±0,51	83,3±0,45	84,2±0,49	87,6±0,54**
Сирий жир	81,2±0,37	80,4±0,31	80,7±0,36	82,6±0,34*
Сира клітковина	16,7±0,18	16,3±0,21	16,5±0,22	17,1±0,19
БЕР	87,5±0,41	86,9±0,43	86,8±0,46	87,6±0,41

Примітки: *p<0,05; **p<0,01; – порівняно з 1-ю (контрольною) групою.

Споживання корму у курчат-бройлерів було різним залежно від застосування часткової заміни соєвої макухи у раціоні на високопротеїновий соняшниковий концентрат (табл.4). Зокрема, бройлери 4-ї групи, у раціоні яких заміна соєвої макухи становила 50 % за кількістю, характеризувалися вищим споживанням корму упродовж першого тижня вирощування на 2,9 г або 11,0 %, другого – на 4,1 г або 7,0 %, третього – на 3,4 г або 3,3 %, четвертого – на 5,1 г або 3,5 %, п'ятого – на 7,2 г або 4,0 %, що зумовило вище середньодобове споживання корму за увесь період вирощування на 4,3 г або 3,5 %, порівняно з птицею контрольної групи, раціон якої містив лише соєву макуху.

Загалом заміна у раціоні 50 % соєвої макухи за кількістю зумовила вище споживання корму курчатами-бройлерами 4-ї групи за увесь період на 180,6 г або 3,5 %, порівняно з птицею контрольної групи.

Витрати корму на 1 кг приростів живої маси у курчат-бройлерів також різнилися за-

лежно від складу раціону (табл. 5). Зокрема, бройлери 2-ї групи, для годівлі яких використовували раціон з повною заміною соєвої макухи на високопротеїновий соняшниковий концентрат, характеризувалися вищими витратами корму на 1 кг приростів живої маси упродовж першого тижня вирощування на 0,05 кг або 5,0 %, другого – на 0,06 кг або 5,0 %, третього – на 0,05 кг або 4,2 % та п'ятого – на 0,08 кг або 4,8 %, що зумовило вищі витрати корму за увесь період вирощування на 0,05 кг або 3,3 %, порівняно з контрольною групою.

Курчата-бройлери 3-ї групи, для годівлі яких використовували раціон із 50 % заміною соєвої макухи на високопротеїновий соняшниковий концентрат, характеризувалися вищими витратами корму на 1 кг приростів живої маси упродовж першого тижня вирощування на 0,06 кг або 6,0 % та п'ятого – на 0,09 кг або 4,7 %, однак загалом за період вирощування конверсія корму в них не відрізнялася від контрольної групи.

Таблиця 4 – Споживання корму курчатами-бройлерами залежно від рівня заміни у раціоні соєвої макухи на високопротеїновий соняшниковий концентрат, г/гол/добу, n=100/група

Віковий період, діб	Група курчат-бройлерів / % заміни соєвої макухи			
	1	2	3	4
	0	100	50 за сирим протеїном	50 за кількістю
1–7	26,3	26,7	27,9	29,2
8–14	58,7	57,5	59,3	62,8
15–21	104,3	104,9	106,1	107,7
22–28	147,3	148,2	149,7	152,4
29–35	182,1	182,6	184,3	189,3
36–42	208,3	208,6	210,6	211,4
1–42	121,2	121,4	123,0	125,5
Спожитого корму разом, г	5089,0	5099,5	5165,3	5269,6

Таблиця 5 – Витрати корму на 1 кг приросту курчатами-бройлерами залежно від рівня заміни у раціоні соєвої макухи на високопротеїновий соняшниковий концентрат, кг, n=100/група

Віковий період, днів	Група курчат-бройлерів / % заміни соєвої макухи			
	1	2	3	4
	0	100	50 за сирим протеїном	50 за кількістю
1–7	1,00	1,05	1,06	1,09
8–14	1,19	1,25	1,21	1,25
15–21	1,18	1,23	1,19	1,14
22–28	1,60	1,61	1,60	1,50
29–35	1,67	1,75	1,76	1,76
36–42	1,90	1,91	1,93	1,93
1–42	1,53	1,58	1,57	1,53

Курчата 4-ї групи, у раціоні яких заміна соєвої макухи становила 50 % за кількістю, характеризувалися вищим витратами корму на 1 кг приростів живої маси упродовж першого тижня вирощування на 0,09 кг або 9,0 %, другого – на 0,06 кг або 5,0 % та п'ятого – на 0,09 кг або 5,4 %, порівняно з контрольною групою. Водночас упродовж третього та четвертого тижня вирощування витрати корму на 1 кг приростів живої маси у них були нижчими на 0,04 кг або 3,4 % та 0,1 кг або 6,3 % відповідно, що забезпечило однакову конверсію корму порівняно з контрольною групою за увесь період вирощування.

Висновки. Високопротеїновий соняшниковий концентрат може бути ефективно використаний як часткова альтернатива соєвій макусі у годівлі курчат-бройлерів. Встановлено, що заміна 50 % соєвої макухи високопротеїновим соняшниковим концентратом за кількістю сприяє поліпшенню перетравності основних поживних речовин – сирого протеїну (на 3,8 %, $p<0,01$) і сирого жиру (на 1,4 %, $p<0,05$) – без негативного впливу на перетравність клітковини та БЕР. Такий варіант годівлі забезпечує стабільно вище споживання корму (на 3,5 %) за незмінної конверсії корму, що свідчить про збереження енергетичної ефективності раціону. Повна заміна соєвої макухи призводила до підвищення витрат корму на 1 кг приросту живої маси на 3,3 % без покращення перетравності, що вказує на недоцільність такого рівня заміни без амінокислотного балансування.

Таким чином, високопротеїновий соняшниковий концентрат доцільно використовувати на рівні 50 % за кількістю до соєвої макухи, як екологічно безпечну, економічно вигідну та технологічно ефективну альтернативу

соєвій макусі у годівлі бройлерів, оскільки він забезпечує поліпшення перетравності протеїну й жиру та не погіршує ефективності використання корму.

REFERENCES

1. Aguirre, L., Cámara, L., Smith, A., Fondevila, G., Mateos, G.G. (2024). Apparent metabolizable energy and ileal amino acid digestibility of commercial soybean meals of different origins in broilers. *Poultry Science*, Vol. 103 (7). DOI:10.1016/j.psj.2024.103786
2. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2023). Food and Agriculture Data. Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
3. Marchal, L., Bello, A., Archer, G., Sobotik, E.B., Dersjant-Li, Y. (2024). Total replacement of soybean meal with alternative plant-based ingredients and a combination of feed additives in broiler diets from 1 day of age during the whole growing period. *Poultry Science*, Vol. 103 (7). DOI:10.1016/j.psj.2024.103854
4. CVB, Centraal Veevoederbureau (Netherlands), 2021. (2021). CVB Feed Table Chemical composition and nutritional values of feedstuffs. Available at: <https://www.cvbdiervoeding.nl/be-stand/10741/cvb-feed-table-2021.pdf.ashx>
5. Najmadeen, S.K., Al-Dalawi, R.H. (2024). The Effect of Improving the Nutritional Value of Local Sunflower Meal Used in Broiler Diets by Adding a Mixture of Enzymes and Its Effect on Productive and Physiological Performance: 5th International Conference of Modern Technologies in Agricultural Sciences. Vol. 1371. DOI:10.1088/1755-1315/1371/9/092006
6. Fiorilla, E., Gariglio, M., Martinez-Miro, S., Rosique, C., Madrid, J., Montalban, A., Biasato, I., Bongiorno, V., Cappone, E.E., Soglia, D., Schiavone, A. (2024). Improving sustainability in autochthonous slow-growing chicken farming: Exploring new frontiers through the use of alternative dietary proteins. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 434. DOI:10.1016/j.jclepro.2023.140041

7. Montalbán, A., Madrid, J., Hernández, F., Schiavone, A., Ruiz, E., Sánchez, C.J., Ayala, L., Fiorilla, E., Martínez-Miró, S. (2024). The Influence of Alternative Diets and Whole Dry Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) on the Production Performance, Blood Status, and Egg Quality of Laying Hens. *Animals*. Vol. 14 (17), 2550 p. DOI:10.3390/ani14172550
8. Rakita, S., Kokić, B., Manoni M., Mazzoleni S., Lin P., Luciano A., Ottoboni M., Cheli F., Pinotti L. (2023). Cold-Pressed Oilseed Cakes as Alternative and Sustainable Feed Ingredients: A Review. *Foods*. Vol. 12. 432 p. DOI:10.3390/foods12030432
9. Lannuzel, C., Smith, A., Mary, A.L., Della Pia, E.A., Kabel, M.A., de Vries, S. (2022). Improving fiber utilization from rapeseed and sunflower seed meals to substitute soybean meal in pig and chicken diets: A review. *Animal Feed Science and Technology*. Vol. 285. DOI:10.1016/j.anifeeds.2022.115213
10. Zając, M., Kiczorowska, B., Samolińska, W., Klebaniuk, R. (2020). Inclusion of Camelina, Flax, and Sunflower Seeds in the Diets for Broiler Chickens: Apparent Digestibility of Nutrients, Growth Performance, Health Status, and Carcass and Meat Quality Traits. *Animals*. Vol. 10 (2), 321 p. DOI:10.3390/ani10020321
11. Mbukwane, M., Nkukwana, T., Plumstead, P., Snyman, N. (2022). Sunflower Meal Inclusion Rate and the Effect of Exogenous Enzymes on Growth Performance of Broiler Chickens. *Animals*. Vol. 12, 253 p. DOI:10.3390/ani12030253
12. Ashraf, M., Ahmad, F., Sindhu, Z.U.D., Asif, A.R., Farooq, U., Khalid, M.F., Muhammad, A., Sharif, M. (2019). Right choice and proportion can make blend of edible oils a good growth promoter and a potential source for designer meat production in chicken. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, Vol. 56, pp. 969–975. DOI:10.21162/PAKJAS/19.7565
13. Pirgozliev, V.R., Whiting, I.M., Mansbridge, S.C., Rose, S.P. (2023). Sunflower and rapeseed meal as alternative feed materials to soybean meal for sustainable egg production, using aged laying hens. *British Poultry Science*. Vol. 64 (5), pp. 634–640. DOI:10.1080/00071668.2023.2239176
14. Abbas, T.E.E., Yagoub, Y.M. (2008). Sunflower cake as a substitute for groundnut cake in commercial broiler chicks diets. *Pakistan Journal of Nutrition*, Vol. 7 (6), pp. 782–784. DOI:10.39 23/pjn.2008.782.784
15. Gerzilov, V., Petrov, P.B. (2022). Effects of partial substitution of soybean meal with high protein sunflower meal in broiler diets. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, Vol. 28 (1), pp. 151–157.
16. De Vries, S., Lannuzel, C. (2021). Fibres in a context of low-protein diets and alternatives to soybean Meal. *Animal - Science proceedings*. Vol. 12, pp. 265–266.
17. Haldar, S., Arora, S.S., Dhara, A.K., Debnath, A. (2025). Partial replacement of soybean meal with cottonseed meal in diets of broiler chicken sustains performance by upregulating the expression of nutrient transporter genes in small intestine. *Journal of Applied Poultry Research*, Vol. 34 (1). DOI:10.1016/j.japr.2024.100503
18. Yu, J., Yang, H., Wang, J., Chen, S., Huang, Z., Wang, J., Wang, Z. (2024). Effects of gossypol acetate on growth, serum biochemical parameters, and intestinal health of goslings. *Poultry Science*, Vol. 103. DOI:10.1016/j.psj.2024.104025
19. del Rio, A.R., Boom, R.M., Janssen, A.E.M. (2022). Effect of fractionation and processing conditions on the digestibility of plant proteins as food ingredients. *Journal of Food Process Engineering*, Vol. 11, 870 p. DOI:10.3390/foods11060870
20. Cobb Broiler Management Guide. 2022. Available at: <https://www.cobbgenetics.com/assets/Cobb-Files/2022-Cobb500-Broiler-Performance-Nutrition-Supplement.pdf>

The Effect of High-Protein Sunflower Concentrate Use in Broiler Chicken Feeding on Nutrient Digestibility and Feed Utilization Efficiency **Shkarban V., Syrov M.**

The study aimed to test the use of high-protein sunflower concentrate as an alternative plant protein in broiler chicken diets and to measure its effect on nutrient digestibility and feed efficiency. Four diets were compared: a control with soybean meal, a full replacement with sunflower concentrate, and two partial replacements—50% by crude protein and 50% by weight. The 50% replacement by weight had the highest nutrient digestibility, with crude protein and fat digestibility rates 3.8% ($p < 0.01$) and 1.4% ($p < 0.05$) higher than the control. Nitrogen-free extract and fiber digestibility were similar to the control. Broilers on the 50% quantitative replacement diet had higher feed intake throughout growth, with average daily feed intake up by 4.3 g and total feed intake up by 180 g (a 3.5% increase), without worsening feed conversion. In the 50% crude protein replacement group, feed conversion remained at control levels, indicating that energy efficiency was maintained. Full replacement increased feed needed per 1 kg gain by 3.3% without improving digestibility, making it impractical without amino acid adjustment. The findings show that a 50% quantitative replacement with sunflower concentrate is an environmentally sustainable and economically viable alternative, improving protein and fat digestibility and maintaining feed efficiency.

Keywords: broiler chickens, high-protein sunflower concentrate, digestibility, feed conversion ratio, feed intake, energy efficiency, alternative protein sources, poultry feeding.



Copyright: Шкарбан В.В., Сичов М.Ю. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Шкарбан В.В.

Сичов М.Ю.

<https://orcid.org/0009-0009-1539-8692>

<https://orcid.org/0000-0002-6319-9876>

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА І ПЕРЕРОБКИ ПРОДУКЦІЇ ТВАРИННИЦТВА

УДК 636.085.2.087.7

Перетравність поживних речовин та енергетична цінність гідролізованого пір'яного борошна у птиці

Отченашко В. В.^{1,2} , Черниш В. А.¹ ¹ Національний університет біоресурсів і природокористування України² Національна академія аграрних наук України Черниш В. А. vadimchernyshandr@gmail.com

Отченашко В. В., Черниш В. А. Перетравність поживних речовин та енергетична цінність гідролізованого пір'яного борошна у птиці. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2025. № 2. С. 13–25.

Otchenashko V., Chernysh V. Nutrient digestibility and energy value of hydrolysed feather meal in poultry. «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2025. № 2. PP. 13–25.

Рукопис отримано: 30.09.2025 р.

Прийнято: 13.10.2025 р.

Затверджено до друку: 27.11.2025 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2025-198-2-13-25

Гідролізоване пір'яне борошно є перспективним альтернативним білковим кормом для тварин, що може містити 75–90 % білка та може зменшити екологічні ризики утилізації відходів птахівництва. Ефективність та поживна цінність пір'яного борошна істотно залежать від якості вихідної сировини й технологічних особливостей його виробництва (температура, тиск та режим обробки, використання кислот, лугів або ферментів, ступінь очищення від домішок тощо). Попри значний потенціал заміни традиційних білкових кормів (соевого шроту, рибного борошна), однією з основних проблем залишається недостатня кількість досліджень та даних стосовно поживності гідролізованого пір'яного борошна для різних видів тварин, а також наявність законодавчих обмежень його використання в годівлі тварин (Регламент ЄС № 999/2001). Метою даної роботи було вивчити перетравність поживних речовин та енергетичну цінність гідролізованого пір'яного борошна у комерційних курчат-бройлерів та молодняку перепелів м'ясного напрямку продуктивності. Для дослідів відбирали по 4 голови типових курчат кросу Кобб-500 віком 24 доби (середня маса тіла 1400,8 г), молодняку перепелів породи Фараон віком 30 діб (середня маса тіла 225,0 г). Птицю утримували в індивідуальних клітках з використанням типових комбикормів для курчат-бройлерів та молодняку перепелів. Дослід з вивчення перетравності корму проведено за диференційованою схемою у два послідовні цикли тривалістю 7 діб, попередній та перехідний періоди становили три доби. Перетравність пір'яного борошна вивчали шляхом заміни частини основного раціону (10 %), в складі якого було 5 % досліджуваного борошна. Пір'яне борошно, виготовлене за технологією гідротермічного гідролізу з впливом електромагнітного поля, містило 75,6 % сирого протеїну, 1,9 % сирій клітковини, 1,9 % сирого жиру, 1,4 % БЕР та виготовлялося за технологією НУБіП України. В досліді на молодняку перепелів встановлено коефіцієнт перетравності сирого протеїну на рівні $79,7 \pm 9,48$ % із середнім рівнем варіації (23,7 %). Розраховані коефіцієнти перетравності сирого жиру ($72,3 \pm 15,80$ %, CV 30,9 %), сирій клітковини ($20,3 \pm 7,35$ %, CV 51,08 %), органічної речовини ($62,1 \pm 16,13$ %, CV 44,9 %) є менш надійними у зв'язку з високою варіацією значень. Коефіцієнти видимої перетравності поживних речовин гідролізованого пір'яного борошна, визначені у досліді на курчатах-бройлерах в більшості випадків виходили за межі 0–100 %. Розраховане значення уявної обмінної енергії (молодняк перепелів) в гідролізованому пір'яному борошні становить 11,38 МДж/кг.

Ключові слова: курчата-бройлери, перепели, гідролізоване пір'яне борошно, протеїн, перетравність, метаболічна енергія, поживні речовини.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Одними з важливих напрямів наукових досліджень та інноваційної діяльності для реалізації концепції сталого тваринництва є управління відходами та формування сталих ланцюгів виробництва й постачання кормових засобів. Ці пріоритети спрямовано на вирішення як екологічних аспектів виробництва тваринницької продукції, так і вирішення проблематики виробництва біогазу, біодизелю, органічних добрив та кормових добавок. Стосовно птахівництва актуальною екологічною проблемою залишається утилізація великої кількості продуктів переробки птиці на бійнях, одним з яких є пір'я [1].

Враховуючи, що пір'я становить 3–7 % ваги живої птиці [2, 3], а також статистичні дані щодо чисельності поголів'я птиці у світі [4], прогнозовані обсяги накопичення пір'я становлять приблизно 2,8 млн т на рік.

Пір'я сільськогосподарської птиці має високий вміст білка (приблизно 84 %), але через особливості його складу воно має низьку засвоюваність в організмі тварин (5 %) [5]. Основним компонентом пір'яного білка є високо полімеризований білок -кератин, що містить близько 8 % цистеїну, який утворює міцні дисульфідні зв'язки та робить пір'яний кератин фактично неперетравлюваним [2, 6, 7, 8]. Утилізація пір'я шляхом його спалювання чи закопування в ґрунт є неприйнятним через викидання парникових газів та продуктів горіння, а також через загрози забруднення ґрунтових вод [9, 10]. Саме тому основним варіантом використання пір'я у годівлі тварин у світі є виробництво гідролізованого пір'яного борошна [8, 11, 12, 13], що дає змогу значно збільшити доступність поживних речовин. Такий корм має високий вміст білка (80–90 % сухої речовини), за вмістом якого він перевершує соєвий шрот (42,5 %) і рибне борошно (66,5 %). Крім того, за хімічного аналізу курячого пір'я визначається вміст сирого жиру (0,83 %), сирого клітковини (2,15 %), золи (1,49 %), БЕР (1,02 %) [14, 15].

На відміну від багатьох інших продуктів тваринного походження, амінокислотний профіль пір'яного борошна має значний дефіцит лізину (приблизно 2,3 % до вмісту білка проти 7–8 % у рибному борошні, 4–6 % у м'ясо-кістковому борошні та до 10 % у кров'яному борошні). Воно багате на цистин (4,6 % до вмісту білка), але бідне на метіонін (0,7 % до вмісту білка), гістидин (0,9 % до вмісту білка) та, меншою мірою, триптофан (0,6 % до вмісту білка). Амінокислотний профіль також залежить від домішок, присутніх

у пір'яному борошні (наприклад, крові), та від ступеня деградації амінокислот, спричиненої параметрами обробки [4].

Аналітичні матеріали Data Bridge Market Research демонструють, що світовий ринок пір'яного борошна сегментований на декілька груп залежно від призначення (органічний чи звичайний), вмісту сирого протеїну (75–80 %, 80–90 %, понад 90 %), напрямку використання (корми для різних видів тварин, органічні добрива, агрохімія тощо) та каналу збуту (B2B, B2C, онлайн-магазини тощо). Експерти передбачають, що ринок пір'яного борошна зросте на 5,3 % у період з 2021 по 2028 рік та сягне приблизно 3,77 млрд доларів до 2028 року. Але водночас аналітики визначають, що відсутність в окремих випадках клінічних доказів засвоюваності тваринами поживних речовин пір'яного борошна певною мірою перешкоджає більшому зростанню ринку [15].

Слід зважати, що з кожним роком технології виготовлення гідролізованого пір'яного борошна вдосконалюються та розробляються нові методи [16]. Разом з тим, більшість методів має як переваги, так і недоліки.

Основними проблемами технологій виробництва гідролізованого пір'яного борошна є руйнування деяких амінокислот у процесі термічної обробки за кислотних і лужних методів гідролізу кератину, відсутність даних щодо поживності такого корму, досліджень щодо ефективності його застосування у годівлі різних видів тварин за заміни традиційних білкових кормів. Крім того, за хімічного методу гідролізу сировини нейтралізація кислоти відбувається за допомогою солей або гіпсу, що може призвести в деяких випадках до отримання кінцевого продукту з високим вмістом солі, що негативно впливає на кінцеву якість виготовленого продукту [17, 18, 19]. Ферментативний метод міг би бути найкращим за рахунок збереження більшої кількості амінокислот в кінцевому продукті, але такий метод виробництва важко масштабувати до промислового рівня через активність ферменту та вихід розчинного кератину, який є дуже низьким [7, 16, 20, 21, 22].

Вплив гідролізованого пір'яного борошна на тварин досліджувала досить велика кількість вчених з усього світу. Досліди проведено на жуйних тваринах [23, 24, 25], свинях [26, 27], птиці [28, 29, 30], рибах [31, 32], кролях [33] та собаках [34], в яких обґрунтовувалися ефективні рівні уведення гідролізованого пір'яного борошна у раціонах для забезпечення повноцінності живлення, заміни традиційних білкових кормів або досягнення стандартного рівня продуктивності тварин.

Наявні дані щодо вивчення поживності гідролізованого пір'яного борошна значною мірою змінюються залежно від якості вихідної сировини, наявності домішок, параметрів оброблення (температура, тривалість обробки, тиск, види кислотної обробки, видалення хімічних домішок, ферментні препарати, штами мікроорганізмів тощо). Перетравність протеїну для жуйних оцінюється в діапазоні 69–85 %, для молодняку свиней – приблизно 78 %, для кролів – 40 %, значення обмінної енергії для жуйних – 13,2 МДж/кг сухої речовини, для свиней – 16,5 МДж/кг, для птиці – 12,4 МДж/кг [4].

Значення розщеплюваного білка пір'яного борошна в рубці *in situ* коливаються від 40 до 60 % [35, 36]. За даними вчених з Нігерії перетравність білка гідролізованого пір'яного борошна *in vitro* за використання різних кислот становила від $62,30 \pm 1,0$ % до $73,10 \pm 1,3$ % та була значно ($p < 0,05$) вищою порівняно з сирим пір'ям ($23,80 \pm 0,5$ %) [37].

На молодняку свиней встановлено, що стандартизована засвоюваність амінокислот в клубовій кишці (SID) для гідролізованого пір'яного борошна може дуже коливатися: були зафіксовані як низькі (< 50 %), так і високі (> 70 %) значення [38].

Виходячи із проведеного аналізу, відзначимо, що гідролізоване пір'яне борошно є перспективним альтернативним білковим кормом для тварин, оскільки воно містить високий рівень протеїну та може зменшити екологічні ризики утилізації відходів птахівництва. Разом із тим, його ефективність та поживна цінність істотно залежать від якості

тварин (Регламент ЄС № 999/2001 [39]).

Метою дослідження було вивчити перетравність поживних речовин та енергетичну цінність гідролізованого пір'яного борошна у комерційних курчат-бройлерів та молодняку перепелів м'ясного напрямку продуктивності.

Матеріал і методи дослідження. Досліди з вивчення перетравності поживних речовин проводили на базі навчально-науково-виробничої лабораторії технологій виробництва продукції птахівництва НУБІП України (м. Київ) на самцях курчат-бройлерів кросу Кобб-500 та самцях перепелів породи Фараон. Для досліду відбирали по 4 голови типових курчат віком 24 доби (середня маса тіла 1400,8 г), молодняку перепелів віком 30 діб (середня маса тіла 225,0 г). Птицю утримували в індивідуальних клітках з використанням типових комбікормів для курчат-бройлерів та молодняку перепелів. Дослідних тварин годували двічі на добу з вільним доступом до води.

Дослід з вивчення перетравності поживних речовин гідролізованого пір'яного борошна (ГПБ) проведено за диференційованою схемою (табл. 1) у два послідовні цикли тривалістю 7 діб, попередній та перехідний періоди становили три доби [40]. Перетравність пір'яного борошна вивчали шляхом заміни частини основного раціону, в складі якого вже було 5 % такого борошна.

Досліджуваний корм виготовляли за експериментальною технологією НУБІП України, яка захищена патентами № 125774, № 127395, № 147388, № 158661. Суть даної технології полягає у гідротермічному гідролізі пухо-пір'яної сировини у тонкому шарі з

Таблиця 1 – Схема диференційованого дослід з вивчення перетравності поживних речовин гідролізованого пір'яного борошна

Цикл дослід	Тривалість періоду, діб	Особливості годівлі
Перший	Попередній – 5	ОР (повнораціонний комбікорм, в складі якого міститься 5 % ГПБ)
	Обліковий – 7	ОР
Другий	Перехідний – 3	90 % ОР + 10 % ГПБ
	Обліковий – 7	90 % ОР + 10 % ГПБ

сировини й технологічних особливостей його виробництва. Попри значний потенціал заміни традиційних білкових кормів (соєвого шроту, рибного борошна), однією з основних проблем залишається недостатня кількість досліджень та даних стосовно поживності гідролізованого пір'яного борошна для різних видів тварин, а також наявність законодавчих обмежень його використання в годівлі

впливом електромагнітного поля. Розроблено безперервний спосіб гідролізу перо-пухової сировини без попереднього подрібнення, яка забезпечує ефективний гідроліз кератину без використання хімічних реагентів: сировину з вологістю 60–80 % піддавали дії електромагнітного поля для видалення домішок та зневоднювали до 35–45 % за допомогою вакуум-фільтра; у шнековій установці реалізо-

вано ущільнення (1–20 МПа), нагрів (60 °С), дію магнітного поля (0,025 Тл), двоступеневу деаерацію, подальшу термообробку за температури 180–260 °С (110 с) та індукцію 0,065 Тл; завершальним етапом є вакуумне сушіння з інтервалами 10–60 с до вологості 8–12 % [13]. Досліджуване пір'яне борошно містило 75,6 % сирого протеїну, 1,9 % сирого клітковини, 1,9 % сирого жиру, 1,4 % БЕР.

Упродовж облікових періодів дослідів на курчатах-бройлерах та молодняку перепелів визначали кількість спожитого комбікорму, кількість виділеного посліду, нез'їдених решток (щоденно). Послід збирали в індивідуальні для кожної тварини скляні банки, після чого зразки посліду консервували 10 % розчином HCL та зберігали в прохолодному місці.

Зоотехнічний аналіз отриманих зразків посліду та кормів проводили на базі науково-дослідної лабораторії живлення тварин НУБІП України за загальноприйнятими методиками: первинну вологу визначали шляхом висушування зразка у сушильній шафі за температури 60–65 °С з наступним доведенням його до повітряно-сухого стану; гігроскопічну вологу – під час висушування зразка за температури 100 °С до постійної маси; загальний азот та сирий протеїн – за методом К'ельдаля; сирий жир – методом С. В. Рушківського за кількістю знежиреного залишку в апараті Сокслета, використовуючи бензол як розчинник; БЕР – розрахунковим шляхом [41]. Для визначення перетравності протеїну корму відділення азотистих речовин калу від сечової кислоти та її солей проводили хімічним шляхом за методикою М. І. Дьякова [42]. Перетравні речовини визначали за різницею між надходженням поживних речовин з кормом та виділенням їх з калом. Обрахунок перетравності поживних речовин у диференційованому досліді – за формою відповідно до «Практикуму з годівлі сільськогосподарських тварин» [43].

Для розрахунку значення уявної обмінної енергії (УОЕ) використано традиційну формулу [43]:

$$\text{УОЕ} = (17,84 \times \text{пП} + 39,78 \times \text{пЖ} + 17,71 \times \text{пК} + 17,71 \times \text{пБЕР}) \times 10^{-3},$$

де пП – перетравний протеїн, г; пЖ – перетравний жир, г; пК – перетравна клітковина, г; пБЕР – перетравні безазотисті екстрактивні речовини, г.

Статистичне узагальнення отриманих даних проведено із застосуванням показників дескриптивної статистики: середнього арифметичного (Mean), стандартного відхилення (SD), стандартної похибки середнього (SEM) та коефіцієнту варіації (CV) [44]. Для

малої вибірки ($n \leq 30$) за розрахунку стандартного відхилення використано виправлення Бесселя, яке коригує упередженість вибіркової дисперсії за малого обсягу вибірки.

Результати досліджень та обговорення. Дані відносно індивідуальних параметрів споживання кормів та виділення посліду у курчат-бройлерів та молодняку перепелів за циклами досліду наведено у таблиці 2.

Наведені дані свідчать про наявність індивідуальних реакцій птиці на згодовування експериментальних раціонів. Зокрема, у першому циклі досліду не спостерігалось помітних відмінностей у споживанні дослідною птицею основного раціону з невеликим умістом ГПБ (5 %): бройлери в середньому за добу його споживали на рівні 108,6 г, перепели – здебільшого по 40,0 г. Разом з тим, простежувався індивідуальний характер щодо кількості виділеного посліду. Так, діапазон у перший цикл для курчат-бройлерів становив за цим параметром 87,9–118,9 г, а в другий цикл – в межах 105,8–148,0 г. У перепелів відмінності були ще більшими: у першому циклі діапазон значень за добовою кількістю виділеного посліду становив 17,7–52,5 г, у другому циклі – 17,0–52,1 г.

Подальші розрахунки перетравності поживних речовин ГПБ з урахуванням результатів зоотехнічного аналізу кормів та калу птиці представлено у таблицях 3 і 4.

У досліді на курчатах-бройлерах фінальні розрахунки, які багаторазово перевірялися разом з даними хімічного аналізу зразків, показали наявність нетипових значень коефіцієнтів перетравності (понад 100 % та від'ємні). Подібна картина під час проведення дослідів з вивчення видимої перетравності (Apparent Digestibility) фіксується у науковій літературі та розглядається як артефакт відповідних фізіологічних дослідів, особливо за використання диференційованого методу.

В аналітичному огляді V. Ravindran [45] повідомляється, що під час перетравлення корму відбувається безперервне надходження ендогенних білків у вигляді секретії травних ферментів та жовчі, виділення слизу та десквамованих ентероцитів у просвіт кишечника. Це надходження ендогенних білків є значним і, за оцінками, в чотири-п'ять разів перевищує кількість спожитих білків. Ці ендогенні джерела змішуються з кормовим білком і перетравлюються, а отримані амінокислоти всмоктуються. Саме методологія визначення ендогенних втрат є фундаментальним та дискусійним питанням, яке у перспективі може розв'язати дихотомію понять «видима» та «справжня перетравність» [45, 46].

Таблиця 2 – Кількісні параметри проведених дослідів з вивчення перетравності ГПБ у птиці за диференційованою схемою

Показник	Птиця				Mean ± SEM
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	
Курчата-бройлери					
Перший цикл дослідів:					
середньодобове споживання комбікорму, г	108,6	108,6	108,6	108,6	108,6 ± 0,00
середньодобове виділення послів, г	118,9	93,2	87,9	108,7	102,2 ± 7,11
Другий цикл дослідів:					
середньодобове споживання комбікорму, г	124,4	121,6	124,9	140,9	127,9 ± 4,38
середньодобове виділення послів, г	130,6	128,7	105,8	148,0	128,3 ± 8,66
Молодняк перепелів					
Перший цикл дослідів:					
середньодобове споживання комбікорму, г	33,3	40,0	40,0	40,0	38,3 ± 1,68
середньодобове виділення послів, г	32,5	50,3	17,7	52,5	38,2 ± 8,18
Другий цикл дослідів:					
середньодобове споживання комбікорму, г	28,5	36,1	39,97	39,96	36,1 ± 2,70
середньодобове виділення послів, г	30,3	41,8	17,0	52,1	35,3 ± 7,55

Таблиця 3 – Фінальні розрахунки перетравності поживних речовин ГПБ у курчат-бройлерів (n=4)

Показник	Протеїн	Жир	Клітковина	БЕР
Спожито додатково з ГПБ птицею, г:				
№ 1	9,41	0,24	0,24	0,18
№ 2	9,19	0,24	0,24	0,18
№ 3	9,44	0,24	0,24	0,18
№ 4	10,65	0,27	0,27	0,20
Mean ± SEM	9,67 ± 0,33	0,25 ± 0,01	0,25 ± 0,01	0,18 ± 0,01
Перетравлено поживних речовин у другому циклі дослідів птицею, г:				
№ 1	22,02	3,61	0,80	49,21
№ 2	20,86	3,46	0,04	46,67
№ 3	22,32	3,48	0,67	50,78
№ 4	23,46	4,09	-0,03	55,70
Mean ± SEM	22,16 ± 0,53	3,66 ± 0,15	0,37 ± 0,21	50,59 ± 1,90
У тому числі за рахунок раціону першого циклу (90 %), г:				
№ 1	11,54	2,96	0,73	43,47
№ 2	12,90	3,00	1,07	44,81
№ 3	12,37	2,88	0,94	45,35
№ 4	11,26	2,99	0,43	44,33
Mean ± SEM	12,02 ± 0,38	2,96 ± 0,03	0,79 ± 0,14	44,49 ± 0,40
Перетравлено птицею у другому циклі за рахунок заміни (10 %) основного раціону ГПБ, г:				
№ 1	10,48	0,65	0,07	5,74
№ 2	7,96	0,46	-1,03	1,86
№ 3	9,94	0,59	-0,27	5,43
№ 4	12,20	1,09	-0,46	11,37
Mean ± SEM	10,14 ± 0,87	0,70 ± 0,14	-0,42 ± 0,23	6,10 ± 1,96
Коефіцієнти перетравності поживних речовин ГПБ, %:				
№ 1	111,4	267,3	29,3	3203,7
№ 2	86,5	194,7	-435,6	1061,9
№ 3	105,3	244,3	-110,8	3017,4
№ 4	114,5	399,5	-167,7	5605,5
Mean ± SEM	104,4 ± 6,27	276,4 ± 43,7	-171,2 ± 97,37	3222,1 ± 930,47

Таблиця 4 – Фінальні розрахунки перетравності поживних речовин ГПБ у молодняку перепелів (n=4)

Показник	Протеїн	Жир	Клітковина	БЕР	Органічна речовина
Спожито додатково з ГПБ птицею, г:					
№ 1	2,15	0,06	0,06	0,04	2,31
№ 2	2,73	0,07	0,07	0,05	2,92
№ 3	3,02	0,08	0,08	0,06	3,23
№ 4	3,02	0,08	0,08	0,06	3,23
Mean ± SEM	2,73 ± 0,21	0,07 ± 0,00	0,07 ± 0,00	0,05 ± 0,00	2,92 ± 0,22
Перетравлено поживних речовин у другому циклі досліді птицею, г:					
№ 1	5,56	1,08	0,12	7,76	14,51
№ 2	6,91	1,33	0,19	10,21	18,64
№ 3	9,23	1,65	1,46	14,11	26,46
№ 4	7,22	1,44	0,05	10,62	19,33
Mean ± SEM	7,23 ± 0,76	1,38 ± 0,12	0,46 ± 0,34	10,67 ± 1,31	19,73 ± 2,48
У тому числі за рахунок раціону першого циклу (90 %), г:					
№ 1	4,42	1,23	0,39	9,86	15,84
№ 2	4,71	1,40	0,18	11,38	17,67
№ 3	6,32	1,59	1,43	14,23	23,57
№ 4	4,55	1,39	0,19	11,14	17,27
Mean ± SEM	5,00 ± 0,44	1,40 ± 0,07	0,55 ± 0,30	11,65 ± 0,92	18,59 ± 1,71
Перетравлено птицею у другому циклі за рахунок заміни (10 %) основного раціону ГПБ, г:					
№ 1	1,14	-0,16	-0,27	-2,10	-1,38
№ 2	2,21	-0,07	0,01	-1,17	0,97
№ 3	2,91	0,07	0,02	-0,12	2,89
№ 4	2,68	0,04	-0,14	-0,52	2,06
Mean ± SEM	2,23 ± 0,39	-0,03 ± 0,05	-0,10 ± 0,07	-0,98 ± 0,43	1,14 ± 0,93
Коефіцієнти перетравності поживних речовин ГПБ, %:					
№ 1	52,9	-282,0	-483,4	-5118,8	-60,0
№ 2	80,8	-104,0	13,0	-2245,3	33,4
№ 3	96,4	88,1	27,7	-204,1	89,2
№ 4	88,6	56,5	-175,0	-911,7	63,7

На думку F. Zhang, O. Adeola [47], необхідно коригувати видиму перетравність на ендогенні втрати, оскільки стандартизована або справжня перетравність забезпечує точніше оцінювання інгредієнтів корму, а також значень, які є додатковими у формулі раціону. Необхідні подальші дослідження, щоб врахувати, як інші компоненти можуть впливати на засвоюваність досліджуваних компонентів, і як оптимізувати базовий раціон за використання прямої процедури.

Очевидним є також процеси мікробної деградації поживних речовин у товстому відділі кишечника, накопичення клітковини у сліпих відростках та потрапляння сирого жиру ендогенного походження у послід. Всі ці фактори та аналітичні особливості й чутливість визначення речовин у зоотехнічному аналізі суттєво впливають на тестування високобілкового корму.

Автори публікації вважають, що отримані значення коефіцієнтів видимої перетравності на курчатах-бройлерах, що виходять за межі 0–100 %, не свідчать про наявність технічної помилки проведення досліді чи аналітичних випробувань, а є результатом специфіки проведення досліді за диференційованою схемою: використання специфічного високобілкового корму з низьким вмістом жиру, клітковини та БЕР, а також властивостей непрямих методів оцінювання видимої перетравності у досліді саме на молодняку птиці. Подібні артефакти описано у літературі [48, 49].

У досліді на перепелах отримано більш оптимістичні результати. Слід відзначити, що значення споживання корму перепелами у другому циклі досліді, на відміну від курчат-бройлерів, не перевищували значення першого циклу.

Розрахунки дали змогу отримати релевантні значення щодо коефіцієнтів видимої перетравності сирого протеїну у всіх дослідних перепелів та по два варіанти значень перетравності жиру та клітковини, що дало можливість визначити умовну (приблизну) перетравність ГПБ (табл. 5).

є меншим на 8 % порівняно зі значенням для птиці, наведеним в аналітичному огляді – 12,4 МДж [4]. Це може пояснюватися біологічними характеристиками молодняку птиці, пов'язаними з віковою незрілістю травного каналу та мікробно-ферментативних систем організму [50].

Таблиця 5 – Умовна поживність гідролізованого пір'яного борошна у молодняку птиці

Показник	Кількість варіантів (n)	Mean $\pm$ SEM	SD	CV (%)	Інтерпретація стабільності
<i>Коефіцієнт перетравності, %:</i>					
сирого протеїну	4	79,7 $\pm$ 9,48	18,95	23,79	Середній рівень варіації (15-30 %)
сирого жиру	2	72,3 $\pm$ 15,80	22,34	30,91	Висока варіація (30-50 %)
сирої клітковини	2	20,3 $\pm$ 7,35	10,39	51,08	Дуже висока варіація (> 50 %)
органічної речовини	3	62,1 $\pm$ 16,13	27,93	44,98	Висока варіація (30-50 %)
UOE = 11,38 МДж/кг					

Враховуючи, що в сухій речовині гідролізованого пір'яного борошна переважає сирий протеїн, досить надійним видається отримане значення коефіцієнту перетравності сирого протеїну: 79,7 $\pm$ 9,48 % із середнім рівнем варіації (23,7 %).

Це узгоджується з інформацією, представлену в огляді щодо використання пір'яного борошна у годівлі тварин. Зокрема зазначається, що значення засвоюваності пепсину (Pepsin Digestibility Assay, Association of Official Analytical Chemists) як тестовий метод оцінювання перетравності протеїну *in vitro* на рівні 75 % вважається мінімальним значенням, яке гарантує, що пір'яне борошно було належним чином оброблено та може бути рекомендовано у годівлі тварин [4], а також з іншими дослідженнями за використання методів *in vitro* [35, 36, 37].

Референтні значення коефіцієнтів перетравності жиру, клітковини та БЕР по ГПБ для птиці, на жаль, не розроблено. В досліді отримано високу варіацію перетравності сирого жиру та органічної речовини (CV відповідно 30,9 та 44,9 %), а також дуже високу варіацію щодо перетравності сирої клітковини у перепелів (CV на рівні 51 %). З літературних джерел відомо, що у досліді на морських лящах видиму перетравність ліпідів ГПБ визначено на рівні 91 % [49].

Обчислене за даними експерименту на молодняку перепелів значення уявної обмінної енергії (УОЕ) на рівні 11,38 МДж/кг

У дискусії щодо застосування різних методів тестування кормів (*in vivo* vs *in vitro*) [46, 47, 50, 51] вважаємо, що метод *in vivo* за диференційованою схемою, попри певну трудомісткість, тривалість та методичну недосконалість, є доступним для більшості дослідників України та за отримання надійних даних може надати характеристику поживності тестованих кормів.

Водночас, розуміючи еволюцію аналітичних методів оцінювання якості кормів останніми десятиліттями, погоджуємося з висновками Dervan D.S.L. Bryan [51], що недоліки, пов'язані з методами *in vivo*, сприяють комерційному визнанню методів *in vitro* як золотого стандарту оцінювання якості білка. Ці методи використовуються для підвищення ефективності роботи користувача з великою кількістю зразків, а деякі імітують фізіологічні та хімічні характеристики травної системи тварини, якій буде згодовуватися інгредієнт. Незважаючи на всі переваги цих методів *in vitro*, вони не дають справжньої реплікації нормальних умов травлення *in vivo* через нездатність цих методів імітувати численні біологічні фактори, що беруть участь у травленні *in vivo*, та складною взаємодією з різними інгредієнтами. Користувачі даних про перетравність *in vitro* повинні знати про ці недоліки та вживати необхідних заходів для валідації методів *in vitro* та їх даних.

Висновок. Результати досліджу з вивчення видимої перетравності поживних речовин гідролізованого пір'яного борошна, виготовленого за патентованою технологією НУБіП України, дають змогу розглядати його як альтернативний білковий корм (75,6 % сирого протеїну, 1,9 % сирій клітковини, 1,9 % сирого жиру, 1,4 % БЕР). Підтвердженням цього є достатньо надійні дані, встановлені на молодняку перепелів м'ясного напрямку продуктивності щодо визначення коефіцієнту перетравності сирого протеїну: $79,7 \pm 9,48$ % із середнім рівнем варіації (23,7 %). Враховуючи специфіку диференційованого підходу до визначення перетравності окремих кормів, особливо високобілкових з низьким умістом сирих жиру, клітковини та БЕР, обчислені коефіцієнти перетравності сирого жиру ($72,3 \pm 15,80$ %, CV 30,9 %), сирій клітковини ($20,3 \pm 7,35$ %, CV 51,1 %), органічної речовини ($62,1 \pm 16,13$ %, CV 44,9 %) можна вважати менш надійними у зв'язку з високою варіацією значень. Коефіцієнти видимої перетравності поживних речовин гідролізованого пір'яного борошна, визначені у дослідках на курчатках-бройлерах в більшості випадків виходили за межі 0–100 % та, зважаючи на їхню релевантність та надійність, не дали змоги здійснити відповідне оцінювання поживності досліджуваного корму. За енергетичною цінністю, визначеної за рівнянням регресії, значення уявною обмінної енергії (молодняк перепелів) в гідролізованому пір'яному борошні становить 11,38 МДж/кг та є меншим на 8 % порівняно з відомим значенням для птиці – 12,4 МДж.

Перспективи подальших досліджень полягають у деталізованому вивченні хімічного складу та безпечності гідролізованого пір'яного борошна, впливу різних рівнів його введення до складу повнораціонних комбікормів на продуктивність курчат-бройлерів та молодняку перепелів.

Подяки. Автори статті висловлюють вдячність професору кафедри електротехніки, електромеханіки та електротехнологій Миколі Заблоському за допомогу у виготовленні та наданні дослідної партії гідролізованого пір'яного борошна, завідувачу кафедри годівлі тварин та технології кормів – професору Михайлу Сичову, завідувачу кафедри технологій у тваринництві – професору Вадиму Лихачу, а також декану факультету тваринництва та водних біоресурсів НУБіП України Руслану Кононенку за сприяння в

організації досліджень та використанні дослідницької інфраструктури факультету.

Відомості про конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів щодо їхнього викладу та результатів досліджень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Antioxidant activity and in vitro protein digestibility of chicken feather protein hydrolysates / O.B. Akpor et al. Research Square. Preprint (Version 1). 2019. P. 1–4. DOI:10.21203/rs.2.14464/v1.
2. Soni A., Chand S., Talukder S. Feather meal and its nutritional impact. Poultry World, Misset Uitgeverij B.V. 2017. URL: <https://www.poultryworld.net/Nutrition/Articles/2017/2/ Feather-meal-and-its-nutritional-impact-95745E/>.
3. Growth, livability, feed consumption, and carcass composition of the Athens Canadian Random Bred 1955 meat-type chicken versus the 2012 high-yielding Cobb 500 broiler / K.E. Collins et al. Poult. Sci. 2014. Vol. 93. No 12. P. 2953–2962. DOI:10.3382/ps.2014-04224/.
4. Feather meal / V. Heuze et al. Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. 2020. URL: <https://earthwormexpress.com/future-processes-and-technology/feather-meal/>.
5. Akpor O.B., Deborah J.E., Oluba O.M. Comparative decolouration of crystal violet dye using Chicken Feather fibre, chemical oxidation and bacterial cells. Journal of Environmental Science and Technology. 2018. Vol. 11. No 5. P. 246–253. DOI:10.3923/JEST.2018.246.253.
6. Papadopoulos M.C. Processed chicken feathers as feedstuff for poultry and swine. A review. Agricultural Wastes. 1985. Vol. 14. No 4. P. 275–290. DOI:10.1016/S0141-4607(85) 80009-3.
7. Kornilowicz-Kowalska T., Bohacz J. Biodegradation of keratin waste: theory and practical aspects. Waste management. 2011. Vol. 31. No. 8. P. 1689–1700. DOI:10.1016/j. wasman.2011.03.024.
8. Crawshaw R. Co-product feeds in Europe: Animal feeds derived from industrial processing. Lulu.com. 2019. URL: <https://www.lulu.com/fr/ca/shop/robin-crawshaw/co-product-feeds-in-europe/paperback/product-24469721.html>.
9. Zaghloul T.I., Embaby A.M., Elmahdy A.R. Biodegradation of chicken feathers waste directed by *Bacillus subtilis* recombinant cells: Scaling up in a laboratory scale fermentor. Bioresource technology. 2011. Vol. 102. No 3. P. 2387–2393. DOI:10.1016/j. biortech.2010.10.106.
10. Fabrication and characterization of keratin starch biocomposite film from chicken feather waste and ginger starch / O.M. Oluba et al. Scientific Reports. 2021. Vol. 11. No. 1. 11 p. DOI:10. 1038/s41598-021-88002-3.
11. Вербицький П. Утилізація відходів тваринного походження в Україні. Тваринництво України. 2008. № 5. С. 2–6.

12. Сучасні технології переробки відходів птахівництва і виробництва високопротеїнових кормових добавок: вітчизняний і зарубіжний досвід / М.В. Гладій та ін. Розведення і генетика тварин. 2016. № 51. С. 302–310. URL:http://nbuv.gov.ua/UJRN/rgt_2016_51_43.
13. Ковальчук С.І. Електротехнологічний комплекс для гідролісної переробки побічних продуктів птахівництва під впливом магнітного поля: дис. ... канд. тех. наук: 141 / Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2023. 180 с. URL:https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u145/dis_kovalchuk.pdf.
14. Nursinatiro and Rudy Agung Nugroho Hydrolyzed Chicken Feather Meal as Protein Source for Red Tilapia (*Oreochromis* sp.) Aquafeeds. Pakistan Journal of Zoology. 2019. Vol. 51 (4). P. 1489–1496. DOI:10.17582/journal.pjz/2019.51.4.1489.1496.
15. Global Feather Meal Market – Industry Trends and Forecast to 2028. Data bridge market research. 2021. 320 p. URL:<https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-feather-meal-market>.
16. Черниш В.А., Отченашко В.В. Технології виробництва гідролізованого пір'яного борошна. Сучасні технології у тваринництві та рибництві: навколишнє середовище, виробництво продукції, екологічні проблеми: зб. матеріалів 79-ї міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 23–24 квіт. 2025. С. 185–187.
17. Csapó J., Albert C. Methods and procedures for the processing of feather from poultry slaughterhouses and the application of feather meal as antioxidant. Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria. 2018. Vol. 11. No 1. P. 81–96. DOI:10.2478/ausal-2018-0005.
18. Isolation and characterization of biofunctional keratin particles extracted from wool wastes / J. Zhang et al. Powder technology. 2013. Vol. 246. P. 356–362. DOI:10.1016/j.powtec.2013.05.037.
19. Coward-Kelly G., Chang V.S., Agbogbo F.K., Holtzapple M.T. Lime treatment of keratinous materials for the generation of highly digestible animal feed: 1. Chicken feathers. Journal of Bioresource Technology. 2006. Vol. 97. No. 11. P. 1337–1343. DOI:10.1016/j.biortech. 2005.05.021.
20. Thazeem B., Umesh M., Vikas O. V. Bio-conversion of poultry feather into feather meal using proteolytic *Bacillus* species: a comparative study. Int. J. Adv. Sci. Res. 2016. Vol. 1. P. 10–12. URL:<https://allscientificjournal.com/assets/archives/2016/vol1issue1/1-1-22-254.pdf>.
21. Kumar C. G., Takagi H. Microbial alkaline proteases: from a bioindustrial viewpoint. Biotechnology advances. 1999. Vol. 17. No. 7. P. 561–594. DOI:10.1016/S0734-9750(99)00027-0.
22. Sinkiewicz I., Śliwińska A., Staroszczyk H., Kołodziejska I. Alternative methods of preparation of soluble keratin from chicken feathers. Waste and biomass valorization. 2017. Vol. 8. P. 1043–1048. DOI:10.1007/s12649-016-9678-y.
23. Morris D.L., Judy J.V., Kononoff P.J. Use of indirect calorimetry to evaluate utilization of energy in lactating Jersey dairy cattle consuming diets with increasing inclusion of hydrolyzed feather meal. Journal of Dairy Science. 2020. Vol. 103. No. 5. P. 4206–4217. URL:[https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(21\)00863-8/fulltext](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(21)00863-8/fulltext).
24. Johnson K.A., Busdieker-Jesse N., McClain W.E., Lancaster P.A. Feeding strategies and shade type for growing cattle grazing endophyte-infected tall fescue. Livest. Sci. 2019. Vol. 230. DOI:10.1016/j.livsci.2019.103829.
25. Hydrolyzed feather meal in sheep diets / A.F. Branco et al. Rev. Bras. Zootec. 2003. Vol. 32. No 6. P. 1454–1460. DOI:10.1590/s1516-359820030006000020.
26. Nutritional value of expanded feather meal and its effect on the growth performance of weaned piglets / Z. Chen et al. Swine Prod. 2019. Vol. 3. No. 18. URL:<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20203021858>.
27. Protein digestibility of enzymatic hydrolysis feather meal in vitro and its application in growing pigs / X. Li et al. Chinese J. Anim. Nutr. 2012. Vol. 48. No. 15. P. 33–36. URL:<http://www.zgxmzz.cn/wkc3/WebPublication/paperDigest.aspx?paperID=e431afcb-45ca-4357-ac4b-bd627a147d8d>.
28. Ajayi H., Iyayi, E. Performance of broiler chickens fed hydrolysed feather meal. Proc. Int. Poult. Summ. 2015. P. 1–5. URL:https://www.researchgate.net/publication/279267385_PERFORMANCE_OF_BROILER_CHICKENS_FED_HYDROLYSED_FEATHER_MEAL.
29. Transforming Feather Meal Into a High-Performance Feed for Broilers / M. Salehizadeh et al. Veterinary Medicine and Science. 2025. Vol. 11. No. 1. DOI:10.1002/vms3.70199.
30. Pertiwi A., Widodo E., Nur Ikhsan M., Sundu B. The utilization of feather meal to increase duck production, carcass quality and feathers growth of local Bali ducks. Livest. Res. Rural Dev. 2017. Vol. 29. No. 12. 224 p. URL:<http://www.lrrd.org/lrrd29/12/sund29224.html>.
31. Campos I., Matos E., Marques A., Valente L.M.P. Hydrolyzed feather meal as a partial fishmeal replacement in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. Aquaculture. 2017. Vol. 476. P. 152–159. DOI:10.1016/j.aquaculture.2017.04.024.
32. The effects of partial replacement of fishmeal protein by hydrolysed feather meal protein in the diet with high inclusion of plant protein on growth performance, fillet and physiological parameters of Pengze crucian carp (*Carassius auratus* var. Pengze) / R. Yu et al. Aquacult. Res. 2020. Vol. 51. No. 2. P. 636–647. DOI:10.1111/are.14411.
33. Вакуленко І.С., Данець Л.М., Лучин І.С., Данілова Т.М. Технологія ефективного використання нетрадиційного високобілкового корму в годівлі кролів. Наук.-техн. бюл. Харків: НААН. Ін-т тваринництва, 2016. Вип. 115. С. 31–36.

34. Determination of the nutritional value of diet containing *Bacillus subtilis* hydrolyzed feather meal in adult dogs / G.S. Machado et al. *Animals*. 2021. Vol. 11. No. 12. DOI:10.3390/ani11123553.

35. Supplementation with degradable and undegradable protein sources in rumen on cows fed *Urochloa humidicola*. II. Ruminal fermentation, degradation of organic matter and blood chemistry on crossbred cows / R.E. Mora-Luna et al. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias*. 2015. Vol. 25. No. 1. P. 63–73. URL: https://www.researchgate.net/publication/272791359Supplementation_With_Degradable_and_Undegradable_Protein_Sources_in_Rumen_on_Cows_Fed_Urochloa_humidicola_II_Ruminal_Fermentation_Degradation_of_Organic_Matter_and_Blood_Chemistry_on_Crossbred_Cows.

36. Habib G., Khan N.A., Ali M., Bezabih M. *In situ* ruminal crude protein degradability of by-products from cereals, oilseeds and animal origin. *Lives. Sci.* 2013. Vol. 153. No. 1–3. P. 81–87. DOI:10.1016/j.livsci.2013.01.017.

37. In vitro antioxidant properties and digestibility of chicken feather protein hydrolysates / O.B. Akpor et al. *Food Research*. 2020. Vol. 4. No. 4. P. 1053–1059. DOI:10.26656/fr.2017.4(4).40.

38. Amino acid composition and digestible amino acid content in animal protein by-product meals fed to growing pigs / B.J. Kerr et al. *J. Anim. Sci.* 2019. Vol. 97. No. 11. P. 4540–4547. DOI:10.1093/jas/skz294.

39. Regulation (EC) No 999/2001 of the European Parliament and of the Council of 22 May 2001 laying down rules for the prevention, control and eradication of certain transmissible spongiform encephalopathies. *Journal officiel n° L 147 du 31/05/2001*. P. 1–40. URL: <http://data.europa.eu/eli/reg/2001/999/oj>.

40. Методологія та організація наукових досліджень у тваринництві / за ред. І.І. Ібатулліна, О.М. Жукорського. Київ: Аграр. наука, 2017. 328 с.

41. Лавринюк О.О., Бурлака В.А. Зоохімічний аналіз кормів. Хімічний та атомно-адсорбційний аналіз кормів: навч. практ. / за ред. В.А. Бурлаки. Житомир, 2016. 110 с. URL: http://ir.polissiauniv-er.edu.ua/bitstream/123456789/8665/1/Zoochemical%20analysis2016_2_110.PDF.

42. Отченашко В.В. Енергетична цінність кормів для дорослих м'ясних перепелів. 36. наук. праць Вінницького національного аграрного університету. 2011. Вип. 10 (50). С. 16–26. URL: <https://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/3334.pdf>.

43. Практикум з годівлі сільськогосподарських тварин: навч. пос. / І.І. Ібатуллін та ін. / за ред. І.І. Ібатулліна. Київ, 2015. 422 с.

44. Осадча Ю.В. Математичні методи в біології. Київ: «ЦП «КОМПРИНТ», 2017. 609 с.

45. Ravindran V. Progress in ileal endogenous amino acid flow research in poultry. *J Anim Sci Bio-*

technol. 2021. Vol. 12. No. 5. 11 p. DOI:10.1186/s40104-020-00526-2.

46. Parsons C.M. Unresolved issues for amino acid digestibility in poultry nutrition. *Journal of Applied Poultry Research*. 2020. Vol. 29. Issue 1. P. 1–10. DOI:10.1016/j.japr.2019.12.007.

47. Zhang F., Adeola O. Techniques for evaluating digestibility of energy, amino acids, phosphorus, and calcium in feed ingredients for pigs. *Anim Nutr.* 2017. Vol. 3 (4). P. 344–352. DOI:10.1016/j.aninu.2017.06.008.

48. Apparent digestibility of proteinaceous feed ingredients from animal and plant origin for two tropical species snubnose pompano *Trachinotus blochii* and mangrove red snapper *Lutjanus argentimaculatus* / A.A. Siddik et al. *Aquaculture Reports*. 2024. Vol. 39. 9 p. DOI:10.1016/j.aqrep.2024.102526.

49. Evaluation of Apparent Nutrient Digestibility of Novel and Conventional Feed Ingredients in Sobaiya Seabream (*Sparidentex hasta*) for Sustainable Aquaculture / S. Zehra et al. *Fishes*. 2025. Vol. 10. No. 6. 265 p. DOI:10.3390/fishes10060265.

50. Zewdie A.K. The Different Methods of Measuring Feed Digestibility: A Review. *EC Nutrition*. 2019. P. 68–74. URL: https://ecronicon.net/assets/ecnu/pdf/ECNU-14-00542.pdf?utm_source=chatgpt.com.

51. Bryan D.D.S.L., Classen H.L. In Vitro Methods of Assessing Protein Quality for Poultry. *Animals*. 2020. Vol. 10. No. 4. 551 p. DOI:10.3390/ani10040551.

REFERENCES

1. Akpor, O.B., Alabi, O.O., Shoyombo, A.J., Adeyonu, A.G. and Adebisi, F.D. (2019). Antioxidant activity and in vitro protein digestibility of chicken feather protein hydrolysates. *Research Square*, Preprint (Version 1), pp. 1–4. DOI:10.21203/rs.2.14464/v1.

2. Soni, A., Chand, S., Talukder, S. (2017). Feather meal and its nutritional impact. *Poultry World*, Misset Uitgeverij B.V. Available at: <https://www.poultryworld.net/Nutrition/Articles/2017/2/Feather-meal-and-its-nutritional-impact-95745E/>.

3. Collins, K.E., Kiepper, B.H., Ritz, C.W., Wilson, J.L. (2014). Growth, livability, feed consumption, and carcass composition of the Athens Canadian Random Bred 1955 meat-type chicken versus the 2012 high-yielding Cobb 500 broiler. *Poultry Sci.* Vol. 93, no. 12, pp. 2953–2962. DOI:10.3382/ps.2014-04224.

4. Heuzé, V., Tran, G., Nozière, P., Bastianelli, D., Lebas, F. (2020). Feather meal. *Feedipedia* (INRAE, CIRAD, AFZ and FAO). Available at: <https://earthwormexpress.com/future-processes-and-technology/feather-meal/>.

5. Akpor, O.B., Deborah, J.E., Oluba, O.M. (2018). Comparative decolouration of crystal violet dye using chicken feather fibre, chemical oxidation and bacterial cells. *Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 11, no. 5, pp. 246–253. DOI:10.3923/JEST.2018.246.253.

6. Papadopoulos, M.C. (1985). Processed chicken feathers as feedstuff for poultry and swine: A review. *Agricultural Wastes*. Vol. 14, no. 4, pp. 275–290. DOI:10.1016/S0141-4607(85)80009-3.
7. Korniłowicz-Kowalska, T., Bohacz, J. (2011). Biodegradation of keratin waste: theory and practical aspects. *Waste Management*, Vol. 31, no. 8, pp. 1689–1700. DOI:10.1016/j.wasman.2011.03.024.
8. Crawshaw, R. (2019). *Co-product feeds in Europe: Animal feeds derived from industrial processing*. Lulu.com. Available at: <https://www.lulu.com/fr/ca/shop/robin-crawshaw/co-product-feeds-in-europe/paperback/product-24469721.html>.
9. Zaghloul, T.I., Embaby, A.M., Elmahdy, A.R. (2011). Biodegradation of chicken feathers waste directed by *Bacillus subtilis* recombinant cells: Scaling up in a laboratory scale fermentor. *Biore-source Technology*, Vol. 102, no. 3, pp. 2387–2393. DOI:10.1016/j.biortech.2010.10.106.
10. Oluba, O.M., Obi, C.F., Akpor, O.B., Oje-aburu, S.I., Ogunrotimi, F.D., Adediran, A.A., Oki, M. (2021). Fabrication and characterization of keratin starch biocomposite film from chicken feather waste and ginger starch. *Scientific Reports*. Vol. 11, no. 1, 11 p. DOI:10.1038/s41598-021-88002-3.
11. Verbystkyi, P. (2008). Utylizatsiia vidkhodiv tvarynnoho pokhodzhennia v Ukraini [Utilization of animal waste in Ukraine]. *Tvarynnystvo Ukrainy [Livestock of Ukraine]*, no. 5, pp. 2–6. (In Ukrainian).
12. Hladii, M.V., Melnyk, Yu.F., Kebko, V.H., Polupan, Yu.P. and Murzha, I.I., 2016. Suchasni tekhnologii pererobky vidkhodiv ptakhivnytstva i vyrobnytstva vysokoproteinovykh kormovykh dobavok: vitchyzniani i zarubizhnyi dosvid [Modern technologies of poultry waste processing and production of high-protein feed additives: domestic and foreign experience]. *Rozvedennia i henetyka tvaryn [Animal breeding and genetics]*, no. 51, pp. 302–310. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/rgt_2016_51_43. (In Ukrainian).
13. Kovalchuk, S.I. (2023). Elektrotekhnologichniy kompleks dlia hidroliznoi pererobky pobichnykh produktiv ptakhivnytstva pid vplyvom mahnitnoho polia: dys. ... kand. tekhn. nauk: 141 / Natsionalnyi universytet biosursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy [Electrotechnological complex for hydrolysis processing of poultry by-products under the influence of a magnetic field: dissertation ... candidate of technical sciences: 141 / National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine]. Kyiv, 180 p. Available at: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u145/dis_kovalchuk.pdf. (In Ukrainian).
14. Nursinatrio and Nugroho, R.A. (2019). Hydrolyzed Chicken Feather Meal as Protein Source for Red Tilapia (*Oreochromis* sp.) Aquafeeds. *Pakistan Journal of Zoology*, Vol. 51 (4), pp. 1489–1496. DOI:10.17582/journal.pjz/2019.51.4.1489.1496.
15. *Global Feather Meal Market – Industry Trends and Forecast to 2028*. Data Bridge Market Research. 2021, 320 p. Available at: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-feather-meal-market>.
16. Chernysh, V.A., Otchenashko, V.V. (2025). Tekhnologii vyrobnytstva hidrolizovanoho pir'iano-ho borshna [Technologies of hydrolyzed feather meal production]. *Suchasni tekhnologii u tvarynnystvi ta rybnytvi: navkolyshnje seredovyshe, vyrobnytstvo produkci, ekologichni problemy: zb. materialiv 79-i' mizhnar. nauk.-prakt. konf., m. Kyi'v, 23–24 kvit [Modern technologies in animal husbandry and fish farming: environment, production, ecological problems: collection of materials of the 79th International Scientific-Practical Conference, Kyiv, April 23–24]*, pp. 185–187. (In Ukrainian).
17. Csapó, J., Albert, C. (2018). Methods and procedures for the processing of feather from poultry slaughterhouses and the application of feather meal as antioxidant. *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria*. Vol. 11, no. 1, pp. 81–96. DOI:10.2478/ausal-2018-0005.
18. Zhang, J., Li, Y., Li, J., Zhao, Z., Liu, X., Li, Z., Chen, A. (2013). Isolation and characterization of biofunctional keratin particles extracted from wool wastes. *Powder Technology*, Vol. 246, pp. 356–362. DOI:10.1016/j.powtec.2013.05.037.
19. Coward-Kelly, G., Chang, V.S., Agbogbo, F.K., Holtzapple, M.T. (2006). Lime treatment of keratinous materials for the generation of highly digestible animal feed: 1. Chicken feathers. *Biore-source Technology*, Vol. 97, no. 11, pp.1337–1343. DOI:10.1016/j.biortech.2005.05.021.
20. Thazeem, B., Umesh, M., Vikas, O.V. (2016). Bioconversion of poultry feather into feather meal using proteolytic *Bacillus* species: a comparative study. *International Journal of Advanced Science Research*, Vol. 1, pp. 10–12. Available at: <https://all-scientificjournal.com/assets/archives/2016/vol1issue1/1-1-22-254.pdf>.
21. Kumar, C.G., Takagi, H. (1999). Microbial alkaline proteases: from a bioindustrial viewpoint. *Biotechnology Advances*. Vol. 17, no. 7, pp. 561–594. DOI:10.1016/S0734-9750(99)00027-0.
22. Sinkiewicz, I., Śliwińska, A., Starszczyk, H., Kołodziejska, I. (2017). Alternative methods of preparation of soluble keratin from chicken feathers. *Waste and Biomass Valorization*. Vol. 8, pp. 1043–1048. DOI:10.1007/s12649-016-9678-y.
23. Morris, D.L., Judy, J.V., Kononoff, P.J. (2020). Use of indirect calorimetry to evaluate utilization of energy in lactating Jersey dairy cattle consuming diets with increasing inclusion of hydrolyzed feather meal. *Journal of Dairy Science*, Vol. 103, no. 5, pp. 4206–4217. Available at: [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(21\)00863-8/fulltext](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(21)00863-8/fulltext).
24. Johnson, K.A., Busdieker-Jesse, N., McClain, W.E., Lancaster, P.A. (2019). Feeding strategies and shade type for growing cattle grazing endophyte-infected tall fescue. *Livestock Science*, Vol. 230. DOI:10.1016/j.livsci.2019.103829.
25. Branco, A.F., Coneglian, S.M., Mouro, G.F., Dos Santos, G.T., Zeoula, L.M., Bumbieris, V.H. (2003). Hydrolyzed feather meal in sheep diets. *Revista Brasileira de Zootecnia*. Vol. 32,

no. 6, pp. 1454–1460. DOI:10.1590/s1516-35982003000600020.

26. Chen, Z., Chu, D., Chang, W., Zheng, A., Cai, H., Liu, G. (2019). Nutritional value of expanded feather meal and its effect on the growth performance of weaned piglets. *Swine Production*. Vol. 3, no. 18. Available at: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20203021858>.

27. Li, X., Yu, Y., Xiao, Y., Jin, M., Hong, Q., Chen, A., Yang, C. (2012). Protein digestibility of enzymatic hydrolysis feather meal in vitro and its application in growing pigs. *Chinese J. Anim. Nutrit.*, Vol. 48, no. 15, pp. 33–36. Available at: <http://www.zgx-mzz.cn/wkc3/WebPublication/paperDigest.aspx?paperID=e431afcb-45ca-4357-ac4b-bd627a147d8d>.

28. Ajayi, H., Iyayi, E. (2015). Performance of broiler chickens fed hydrolysed feather meal. *Proc. Int. Poult. Summ.*, pp. 1–5. Available at: https://www.researchgate.net/publication/279267385_PERFORMANCE_OF_BROILER_CHICKENS_FED_HYDROLYSED_FEATHER_MEAL.

29. Salehizadeh, M., Tajabadi Ebrahimi, M., Mousavi, S.N., Sepahi, A.A., Orooji, R. (2025). Transforming feather meal into a high-performance feed for broilers. *Veterinary Medicine and Science*. Vol. 11, no. 1. DOI:10.1002/vms3.70199.

30. Pertiwi, A., Widodo, E., Nur Ikhsan, M., Sundu, B. (2017). The utilization of feather meal to increase duck production, carcass quality and feathers growth of local Bali ducks. *Livest. Res. Rural Dev.* Vol. 29, no. 12, 224 p. Available at: <http://www.lrrd.org/lrrd29/12/sund29224.html>.

31. Campos, I., Matos, E., Marques, A., Valente, L.M.P. (2017). Hydrolyzed feather meal as a partial fishmeal replacement in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture*, Vol. 476, pp. 152–159. DOI:10.1016/j.aquaculture.2017.04.024.

32. Yu, R., Cao, H., Huang, Y., Peng, M., Kajbaf, K., Vikas, K., Tao, Z., Yang, C., Wen, C. (2020). The effects of partial replacement of fishmeal protein by hydrolysed feather meal protein in the diet with high inclusion of plant protein on growth performance, fillet and physiological parameters of Pengze crucian carp (*Carassius auratus* var. Pengze). *Aquaculture Research*. Vol. 51, no. 2, pp. 636–647. DOI:10.1111/are.14411.

33. Vakulenko, I.S., Danets, L.M., Luchyn, I.S., Danilova, T.M. (2016). Tekhnolohiia efektyvnoho vykorystannia netradytsiinoho vysokobilkovoho kormu v hodivli kroliv [Technology of effective use of unconventional high-protein feed in rabbit feeding]. *Naukovo-tekhnichnyi biuleten [Scientific and technical bulletin]*. Kharkiv: NAAS. Institute of Animal Husbandry, Issue 115, pp. 31–36. (In Ukrainian).

34. Machado, G.S., Correa, A.P.F., Pires, P.G.D.S., Marconatto, L., Brandelli, A., Kessler, A.D.M., Trevizan, L. (2021). Determination of the nutritional value of diet containing *Bacillus subtilis* hydrolyzed feather meal in adult dogs. *Animals*, Vol. 11, no. 12. DOI:10.3390/ani11123553.

35. Mora-Luna, R.E., Chicco, C.F., Herrera-Angulo, A.M., Godoy, S., Garmendia, J. (2015). Supplementation with degradable and undegradable protein sources in rumen on cows fed *Urochloa humidicola*. II. Ruminal fermentation, degradation of organic matter and blood chemistry on crossbred cows. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias*. Vol. 25, no. 1, pp. 63–73. Available at: https://www.researchgate.net/publication/272791359_Supplementation_With_Degradable_and_Undegradable_Protein_Sources_in_Rumen_on_Cows_Fed_Urochloa_humidicola_II_Ruminal_Fermentation_Degradation_of_Organic_Matter_and_Blood_Chemistry_on_Crossbred_Cows.

36. Habib, G., Khan, N.A., Ali, M., Bezabih, M. (2013). In situ ruminal crude protein degradability of by-products from cereals, oilseeds and animal origin. *Lives. Sci.*, Vol. 153, no. 1–3, pp. 81–87. DOI:10.1016/j.livsci.2013.01.017.

37. Akpor, O.B., Shoyombo, A.J., Alabi, O.O., Adebisi, F.D., Oluba, O.M., Adeyolu, A.G. (2020). In vitro antioxidant properties and digestibility of chicken feather protein hydrolysates. *Food Research*. Vol. 4, no. 4, pp. 1053–1059. DOI:10.26656/fr.2017.4(4).40.

38. Kerr, B.J., Urriola, P.E., Jha, R., Thomson, J.E., Curry, S.M., Shurson, G.C. (2019). Amino acid composition and digestible amino acid content in animal protein by-product meals fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.*, Vol. 97, no. 11, pp. 4540–4547. DOI:10.1093/jas/skz294.

39. Regulation (EC) No 999/2001 of the European Parliament and of the Council of 22 May 2001 laying down rules for the prevention, control and eradication of certain transmissible spongiform encephalopathies. *Journal officiel n° L 147 du 31/05/2001*, pp. 1–40. Available at: <http://data.europa.eu/eli/reg/2001/999/oj>.

40. Ibatullin, I.I., Zhukorskyi, O.M. (2017). *Metodolohiia ta orhanizatsiia naukovykh doslidzhen u tvarynnystvi* [Methodology and organization of scientific research in animal husbandry]. Kyiv: Agrarian Science, 328 p. (In Ukrainian).

41. Lavryniuk, O.O., Burlaka, V.A. (2016). Zoohimichnyy analiz kormiv [Zoochemical analysis of feeds]. Himichnyy ta atomno-adsorbciynnyy analiz kormiv: navch. prakt. / za red. V.A. Burlaky [Chemical and atomic adsorption analysis of feeds: teaching and practical / edited by V.A. Burlaka]. Zhytomyr, 110 p. Available at: http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/8665/1/Zoochemical%20analysis_2016_2_110.PDF. (In Ukrainian).

42. Otchenashko, V.V. (2011). Enerhetychna tsinnist kormiv dlia doroslykh m'iasnykh perepeliv [Energy value of feeds for adult meat quails]. *Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu* [Collection of scientific works of Vinnytsia National Agrarian University], Issue 10 (50), pp. 16–26. Available at: <https://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/3334.pdf>. (In Ukrainian).

43. Ibatullin, I.I. (2015). *Praktykum z hodivli silskohospodarskykh tvaryn* [Practicum on feeding of farm animals]. Kyiv, 422 p. (In Ukrainian).

44. Osadcha, Yu.V. 2017. *Matematychni metody v biologii* [Mathematical methods in biology]. Kyiv: "CP "COMPRINT", 609 p. (In Ukrainian).
45. Ravindran, V. (2021). Progress in ileal endogenous amino acid flow research in poultry. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, Vol. 12, no. 5, 11 p. DOI:10.1186/s40104-020-00526-2.
46. Parsons, C.M. (2020). Unresolved issues for amino acid digestibility in poultry nutrition. *Journal of Applied Poultry Research*, Vol. 29, Issue 1, pp. 1–10. DOI:10.1016/j.japr.2019.12.007.
47. Zhang, F., Adeola, O. (2017). Techniques for evaluating digestibility of energy, amino acids, phosphorus, and calcium in feed ingredients for pigs. *Anim Nutr*, Vol. 3 (4), pp. 344–352. DOI:10.1016/j.aninu.2017.06.008
48. Siddik, A.A., Saleh, R., Zehra, S., De Mello, P.H., Laranja, J.L.Q., Al Shaikhi, A., Al Hafedh, Y., Glencross, B.D., Mohamed, A.H.W. (2024). Apparent digestibility of proteinaceous feed ingredients from animal and plant origin for two tropical species: snubnose pompano (*Trachinotus blochii*) and mangrove red snapper (*Lutjanus argentimaculatus*). *Aquaculture Reports*, Vol. 39, 9 p. Available at: DOI:10.1016/j.aqrep.2024.102526.
49. Zehra, S., Abul Kasim, A.S., Saleh, R., De Mello, P., Alshaikhi, A., Laranja, J., Alhafedh, Y., Glencross, B.D., Alghamdi, M.A., Mohamed, A.W. (2025). Evaluation of apparent nutrient digestibility of novel and conventional feed ingredients in sobaity seabream (*Sparidentex hasta*) for sustainable aquaculture. *Fishes*, Vol. 10, no. 6, 265 p. DOI:10.3390/fishes10060265.
50. Zewdie, A.K. (2019). The different methods of measuring feed digestibility: A review. *EC Nutrition*, pp. 68–74. Available at: <https://ecronicon.net/assets/ecnu/pdf/ECNU-14-00542.pdf>.
51. Bryan, D.D.S.L., Classen, H.L. (2020). In vitro methods of assessing protein quality for poultry. *Animals*, Vol. 10, no. 4, 551 p. DOI:10.3390/ani10040551.

Nutrient digestibility and energy value of hydrolysed feather meal in poultry

Otchenashko V., Chernysh V.

Hydrolysed feather meal is a promising alternative protein feed for animals, containing 75–90% protein and helping reduce the environmental risks of poultry waste disposal. The effectiveness

and nutritional value of feather meal depend significantly on the quality of the starting material and the technological features of its production (temperature, pressure, processing mode, use of acids, alkalis, or enzymes, degree of purification from impurities, etc.). Despite the significant potential for replacing traditional protein feeds (soybean meal, fish meal), one of the main problems remains the insufficient number of reliable studies and data on the nutritional value of hydrolysed feather meal for different animal species, as well as the presence of legislative restrictions on its use in animal nutrition (EU Regulation No. 999/2001). The aim of this work was to study the digestibility of nutrients and the energy value of hydrolysed feather meal in commercial broiler chickens and young quails for meat production. For the experiment, 4 heads of typical Cobb-500 cross chickens aged 24 days (average body weight 1400.8 g) and 4 young Pharaoh quails aged 30 days (average body weight 225.0 g) were selected. The birds were kept in individual cages using typical compound feeds for broiler chickens and young quails. The experiment to study feed digestibility was carried out according to a differentiated scheme in two consecutive cycles lasting 7 days; the preliminary and transitional periods were 3 days each. The digestibility of feather meal was studied by replacing 10% of the main diet with the studied flour (5%). Feather meal, produced by the technology of hydrothermal hydrolysis with the influence of an electromagnetic field, contained 75.6% crude protein, 1.9% crude fibre, 1.9% crude fat, and 1.4% NFE. In experiments on young quails, the digestibility coefficient of crude protein was determined at $79.7 \pm 9.48\%$ with an average level of variation (23.7%). The calculated digestibility coefficients of crude fat ($72.3 \pm 15.80\%$, CV 30.9%), crude fibre ($20.3 \pm 7.35\%$, CV 51.08%) and organic matter ($62.1 \pm 16.13\%$, CV 44.9%) are less reliable due to the high variation in the values. The apparent digestibility coefficients of nutrients from hydrolysed feather meal, determined in experiments on broiler chickens, in most cases exceeded the 0–100% range. The calculated value of the apparent metabolizable energy (young quails) in hydrolysed feather meal is 11.38 MJ/kg.

Keywords: broilers, quails, hydrolysed feather meal, protein, digestibility, metabolizable energy, nutrients.



Copyright: Отченашко В. В., Черниш В. А. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Отченашко В. В.

Черниш В. А.

<https://orcid.org/0000-0003-0336-9340>

<https://orcid.org/0009-0006-1483-1982>

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА І ПЕРЕРОБКИ ПРОДУКЦІЇ ТВАРИННИЦТВА

УДК 637.5.05:577.112.7:636.5

**Комплексне дослідження хімічного складу
та амінокислотного профілю м'яса африканського страуса**Ізраєлян В.М. , Голембовська Н.В. 

Національний університет біоресурсів і природокористування України



Ізраєлян В.М., Голембовська Н.В. Комплексне дослідження хімічного складу та амінокислотного профілю м'яса африканського страуса. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2025. № 2. С. 26–37.

Israelian V., Holembovska N. Chemical composition and amino acid profile of African ostrich meat. «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2025. № 2. PP. 26–37.

Рукопис отримано: 08.06.2025 р.

Прийнято: 21.06.2025 р.

Затверджено до друку: 27.11.2025 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2025-198-2-26-37

У роботі наведено комплексний аналіз хімічного, амінокислотного профілю та функціонально-технологічних властивостей м'яса африканського страуса (*Struthio camelus*) українського виробництва у порівнянні з традиційними видами м'ясної сировини, такими як курчата-бройлери, індюшатина, яловичина та свинина, з метою оцінювання його харчової цінності та перспектив використання у дієтичному й функціональному харчуванні.

Досліджено вміст білка, жиру, холестерину, амінокислот, а також азотистих екстрактивних речовин (карнозин, ансерин, карнітин, креатин, таурин), які відіграють важливу роль у формуванні харчової та біологічної цінності м'ясної продукції. Ці сполуки беруть участь у регуляції обміну речовин, підвищують витривалість організму та відіграють важливу роль у формуванні смакових характеристик продукції.

Встановлено, що страусине м'ясо має високу біологічну цінність білка, близьку або вищу за «ідеальний» білок за шкалою ФАО/ВООЗ, з гармонійним амінокислотним профілем, достатнім вмістом незамінних амінокислот, таких як лейцин, ізолейцин, валін, метіонін, а також низьким умістом жиру і холестерину, що є перевагою у контексті формування раціонів здорового харчування. З'ясовано, що амінокислотний склад може варіюватися залежно від умов утримання і годівлі птиці, що є важливим фактором під час стандартизації м'ясної сировини та визначенні її придатності до подальшої переробки.

Отримані результати дають змогу охарактеризувати м'ясо страуса як дієтичний, високоякісний продукт, який за рядом біохімічних і структурних показників перевищує традиційні види м'ясної сировини. Його можна рекомендувати як перспективну альтернативу для розроблення як традиційних м'ясних виробів, так і функціональних харчових продуктів профілактичного спрямування, призначених для людей з підвищеними вимогами до якості білка, низькокалорійної дієти, а також для спеціального медичного або дитячого харчування.

Ключові слова: африканський страус, м'ясо, хімічний склад, амінокислотний склад, гістологія, біологічна цінність білка, дієтичне м'ясо, харчова цінність, функціональні продукти.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. На сучасному етапі розвитку харчової промисловості дедалі більше уваги приділяється альтернативним джерелам м'ясної сировини, зокрема нетрадиційним видам м'яса, які можуть замінити традиційні продукти тваринного походження. Одним із таких перспективних напрямів є використання м'я-

са африканського страуса (*Struthio camelus*), що вирізняється високою поживною цінністю та незначним умістом жиру [1]. Його м'ясо характеризується збалансованим амінокислотним профілем, що забезпечує значну біологічну цінність, а також особливою гістологічною структурою, яка впливає на текстурні властивості та загальну якість продукції [2].

Останнім часом м'ясо африканського страуса (*Struthio camelus*) дедалі частіше розглядають як потенційну заміну традиційному червоному м'ясу, зокрема яловичині та свинині. Його головна перевага полягає у високому вмісті якісного білка – приблизно 22–24 г на 100 г продукту – за водночас низького рівня жиру (1,2–2,0 г), що надає цьому м'ясу дієтичних властивостей [3, 4].

Харчова цінність страусинового м'яса зумовлена добре збалансованим амінокислотним складом, насамперед значною кількістю незамінних амінокислот, таких як лейцин, ізолейцин, валін, лізин і треонін. За цими показниками страусине м'ясо не лише порівнянне з яловичиною та курятиною, а іноді й перевершує їх [5, 6]. Завдяки такому складу його рекомендують включати до раціону осіб, які мають підвищену потребу в білку: спортсменів, дітей, людей похилого віку, а також пацієнтів із серцево-судинними захворюваннями, оскільки продукт характеризується низьким вмістом насичених жирів і холестерину [7].

Окрім високої білкової цінності, м'ясо страуса є важливим джерелом мікроелементів, таких як залізо (приблизно 3,6 мг на 100 г продукту), цинк, а також вітаміни групи В, зокрема В₁₂, що має значення для профілактики анемічних станів і підтримання нормального енергетичного обміну в організмі [8].

Завдяки привабливим органолептичним характеристикам – інтенсивному темно-червоному забарвленню, ніжній консистенції та приємному запаху – страусине м'ясо набуває популярності серед споживачів, особливо у категорії продукції преміум-класу [9]. Його кулінарна гнучкість дає змогу використовувати цей продукт у виробництві різноманітних м'ясних виробів, що відкриває можливості для розроблення корисних і функціональних харчових продуктів.

Дослідження хімічного складу та амінокислотного профілю м'яса африканського страуса має велике значення для оцінювання його харчової цінності та потенційного використання в дієтичному та функціональному харчуванні [10, 11].

Сучасні дослідження також акцентують на екологічних перевагах страусинового виробництва: вирощування страусів потребує менше води, кормів та земельних ресурсів порівняно з великою рогатою худобою, що робить виробництво цього виду м'яса більш сталим у контексті зменшення вуглецевого сліду [12].

Додатково відзначаються сприятливі ліпідні характеристики страусинового м'яса.

Співвідношення омега-6/омега-3 поліненасичених жирних кислот є нижчим, ніж у яловичини, що позитивно впливає на профілактику запальних процесів та серцево-судинних розладів [13]. Крім того, страусине м'ясо містить значну кількість біоактивних сполук – ансерину, карнозину та таурину, що надає йому потенційних антиоксидантних і функціональних властивостей [14].

Вченими Японії доведено, що споживання страусинового м'яса впродовж одного тижня сприяє підвищенню рівня амінокислот з розгалуженим ланцюгом у плазмі, таких як лізин, гістидин і таурин. Це, своєю чергою, активує синтез м'язового білка та позитивно впливає на секрецію гормону росту після фізичних навантажень [15].

Таким чином, комплексний аналіз хімічних, біохімічних і морфологічних особливостей м'яса африканського страуса є актуальним напрямом наукових досліджень, що сприятиме розширенню асортименту якісних харчових продуктів і підвищенню ефективності м'ясної галузі.

Мета дослідження – провести комплексний аналіз хімічного складу та амінокислотного профілю м'яса африканського страуса (*Struthio camelus*) з метою оцінювання його харчової цінності та потенційного використання у дієтичному і функціональному харчуванні.

Матеріал і методи дослідження. Підготовка зразків для проведення органолептичних, функціонально-технологічних та фізико-хімічних досліджень здійснювалася згідно з вимогами ДСТУ 7992:2015 [16].

Визначення рівня pH виконували потенціометричним методом за стандартом ДСТУ ISO 2917:2001 [17]. Для визначення вмісту вологи застосовували метод сушіння зразка до сталої маси за температури 100–105 °C згідно з ДСТУ ISO 1442:2005 [18].

Здатність зразка утримувати воду оцінювали методом пресування, дослідження вологоутримувальної здатності проводили центрифугуванням [19].

Пластичність зразка визначали шляхом пресування після оцінювання його здатності утримувати вологу [20].

Вміст золи визначали гравіметричним способом після проведення мінералізації зразка в муфельній печі за температури 500–600 °C згідно з вимогами ДСТУ ISO 936:2008 [21].

Масову частку білка встановлювали відповідно до ДСТУ ISO 937:2005 на основі визначення загального азоту методом К'ельдаля [22].

Масову частку загального вмісту жиру визначали методом Сокслета згідно з ДСТУ 8380:2015 [23]. Амінокислотний склад білків визначали за допомогою іонообмінної хроматографії [20]. Підготовку зразків проводили кислотним гідролізом, вільні амінокислоти екстрагували розведеною хлоридною кислотою, осаджували сульфосаліциловою кислотою та відокремлювали фільтруванням.

Визначення біологічної цінності білків здійснювали шляхом оцінювання амінокислотного складу досліджуваного зразка та обчислення коефіцієнтів амінокислотного скору відносно еталонного білка за рекомендаціями ФАО/ВООЗ [19].

Вміст холестерину визначали ензиматичним методом. Процедура аналізу включала попередню екстракцію ліпідів методом Фолча і подальшу реакцію з холестеролоксидазою.

Вміст азотистих екстрактивних речовин визначали хроматографічним методом на хроматографі Kipol 55 [20].

Сумарну енергетичну цінність обчислювали за сумою величин для 100 г продукту, виходячи з наступних співвідношень: 1 г білка – 4 ккал (16,7 кДж), 1 г жиру – 9 ккал (37,7 кДж), 1 г вуглеводів – 3,75 (15,7 кДж).

Комп'ютерне моделювання, обробка отриманих даних і створення графіків виконувалися з використанням Microsoft Excel для Windows 2010. Для аналізу експериментальних результатів застосовували методи математичної статистики. Дані досліджень оброблялися за допомогою інструменту Data Analysis у Microsoft Excel. Кожен експеримент повторювали щонайменше тричі, максимум п'ять разів. Результати подано у вигляді середніх значень із зазначенням стандартної

помилки середнього ($\pm$ SEM). Для статистичної оцінки використовували t-тест Стьюдента, при цьому різницю вважали статистично значущою за умови $p < 0,05$.

Результати дослідження та обговорення. Страусине м'ясо вирізняється насиченим хімічним складом і містить усі необхідні компоненти, що сприяють росту, розвитку та забезпеченню нормального функціонування організму людини. Встановлено, що його хімічні характеристики частково формуються під впливом умов утримання птиці та якості кормів. З метою наочності результати наших досліджень зіставлені з даними, наведеними в інших наукових роботах. У таблиці 1 представлено порівняння хімічного складу страусино м'яса вітчизняного виробництва з типовими показниками традиційних видів м'ясної сировини, які мають високу поживну цінність.

Аналіз даних, наведених у таблиці 1, свідчить, що за білковим складом м'ясо африканського страуса не поступається традиційним видам високоякісної м'ясної продукції. Водночас воно вирізняється найнижчим вмістом міжм'язового жиру, що зумовлює його порівняно невисоку калорійність.

Особливої уваги заслуговує концентрація холестерину в страусиному м'ясі, яка, згідно з результатами порівняльного аналізу, може суттєво варіюватися. Цей факт підтверджується результатами іноземних наукових досліджень. Вміст холестерину в сирому м'ясі страуса за даними досліджень становить приблизно 53–54 мг/100 г, що значно нижче, ніж у яловичині або курятині [24]. Однак у залежності від конкретної м'язової групи вміст холестерину у м'ясі коливається від 83 мг/100 г до 95 мг/100 г [25,26].

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз загального хімічного складу м'яса страуса і традиційної м'ясної сировини ($n=3$, $p \leq 0,95$)

Вид сировини	Вміст, %				Холестерин, мг/100 г м'яса	Енергетична цінність, Ккал
	волога	білок	жир	зола		
М'ясо страуса*	75,3 $\pm$ 2,16	22,5 $\pm$ 1,84	0,90 $\pm$ 0,03	1,10 $\pm$ 0,01	43,0 $\pm$ 3,8	98,2
М'ясо страуса [21]	75,4	21,7	1,2	-	51,3	104,6
М'ясо курчат-бройлерів	75,3	20,6	2,60	0,90	60,0	106
М'ясо індички	74,1	21,6	2,10	1,10	70,0	110
Телятина	77,5	20,4	0,90	1,10	80,0	90
Яловичина	73,7	21,0	4,20	1,00	70,0	121
Свинина беконна	54,2	17,0	27,8	1,00	60,0	318

Примітка: * - власні дані.

Відомо, що одним із головних показників біологічної цінності м'яса є вміст і співвідношення амінокислот, які входять до його складу. Результати наших досліджень у порівнянні з літературними даними наведено в таблиці 2.

Згідно з отриманими результатами, амінокислотний склад страусино м'яса, зокрема вміст як незамінних, так і замінних амінокислот, має певні відмінності від показників, наведених у науковій літературі [26]. Це може бути зумовлено різницею у складі кормів і фізіологічним станом птиці.

Проведене порівняння показало, що за вмістом таких амінокислот, як лейцин, треонін, лізин, метіонін, ізолейцин, валін, цистин, аланін і глутамінова кислота, м'ясо страуса не поступається традиційним видам м'ясної сировини (табл. 3).

Важливим показником біологічної цінності білків є відповідність вмісту незамінних амінокислот ідеальному білку (табл. 4).

Загальна концентрація незамінних амінокислот у білку страусино м'яса перевищує їх уміст у так званому ідеальному білку. Водночас встановлено знижений рівень триптофану, що вказує на його обмежувальну функцію у складі амінокислотного профілю. Разом з тим, у страусиному м'ясі фіксується підвищений вміст таких біологічно важливих амінокислот, як лейцин, метіонін

із цистином, треонін, фенілаланін із тирозином, а також лізин.

Лейцин, зокрема, виконує важливу функцію у збереженні м'язової тканини, забезпечує енергетичну підтримку організму, сприяє відновленню кісткової, м'язової та шкірної тканин, знижує рівень глюкози у крові та активізує вироблення гормону росту [27].

Валін – важлива амінокислота, що бере участь у м'язовому обміні, процесах відновлення тканин після ушкоджень та підтриманні стабільного азотного балансу в організмі. Окрім цього, він може використовуватися м'язами як джерело енергії. Водночас надлишок валіну здатен викликати неприємні відчуття, зокрема поколювання шкіри – парестезію [27].

Лізин необхідний для правильного формування кісткової системи, сприяє росту дітей, покращує засвоєння кальцію та забезпечує азотний обмін у дорослому віці. Крім того, він бере участь у синтезі антитіл, гормонів, ферментів, утворенні колагену й у процесах відновлення тканин.

Треонін підтримує нормальний білковий обмін, бере участь у синтезі еластину та колагену, сприяє нормальній роботі печінки та бере участь у метаболізмі жирів [28]. Отже, співвідношення незамінних амінокислот у страусиному м'ясі свідчить про його високу біологічну цінність.

Таблиця 2 – Амінокислотний склад білків м'ясної сировини, г на 100 г продукту (n=3, p ≤ 0,95)

Назва амінокислот	М'ясо страуса*	М'ясо страуса [28]
Незамінні амінокислоти:	10,08	8,1
Валін	1,20±36,3	0,97
Ізолейцин	1,00±22,1	0,92
Лейцин	1,96±39,9	1,70
Лізин	2,00±42,3	1,65
Метіонін+Цистин	0,95±28,8	0,55
Треонін	1,15±31,9	0,76
Фенілаланін +Тирозин	1,82±48,6	1,55
Триптофан	Сліди	-
Замінні амінокислоти:	11,82	8,63
Аланін	1,35±41,1	1,06
Аргінін	1,40±52,3	1,36
Гістидин	0,50±16,6	0,39
Пролін	1,10±40,4	-
Серін	0,95±32,2	0,59
Глутамінова кислота	3,35±72,6	2,51
Аспарагінова кислота	2,20±48,1	1,90
Гліцин	0,97±26,4	0,82
Всього	21,90	16,73

Примітка: * - власні дані.

Таблиця 3 – Порівняльний аналіз амінокислотного складу м'яса страуса і традиційної м'ясної сировини (n=3, p ≤ 0,95)

Амінокислота	Вміст, г / 100 г м'яса					
	М'ясо страуса*	М'ясо страуса [28]	Курчата бройлери	Індичка	Яловичина	Свинина
Незамінні амінокислоти:	10,08	8,1	8,18	9,29	9,20	8,77
Валін	1,20±36,3	0,97	0,95	1,02	1,15	1,13
Ізолейцин	1,00±22,1	0,92	0,76	1,03	0,94	0,97
Лейцин	1,96±39,9	1,70	1,50	1,82	1,62	1,54
Лізин	2,00±42,3	1,65	1,70	1,93	1,74	1,63
Метіонін + Цистин	0,95±28,8	0,55	0,72	0,62	0,90	0,76
Треонін	1,15±31,9	0,76	0,85	0,96	0,88	0,96
Фенілаланін + Тирозин	1,82±48,6	1,55	1,38	1,56	1,70	1,51
Триптофан	сліди	-	0,32	0,35	0,27	0,27
Замінні амінокислоти:	11,82	8,63	11,21	12,05	11,77	10,61
Аланін	1,35±41,1	1,06	1,24	1,32	1,36	1,21
Аргінін	1,40±52,3	1,36	1,28	1,40	1,30	1,22
Гістидин	0,50±16,6	0,39	0,57	0,44	0,77	0,77
Пролін	1,10±40,4	-	0,96	0,91	0,66	0,53
Серін	0,95±32,2	0,59	0,86	0,86	0,90	0,73
Глютамінова кислота	3,35±72,6	2,51	3,12	3,71	3,60	3,39
Аспарагінова кислота	2,20±48,1	1,90	1,83	2,10	2,3	1,90
Гліцин	0,97±26,4	0,82	1,35	1,31	0,88	0,86
Всього	21,90	16,73	19,39	21,34	20,97	19,38

Примітка: * - власні дані.

Таблиця 4 – Оцінка відповідності амінокислотного складу м'яса страуса ідеальному білку зі шкалою ФАО/ВООЗ, г/100 г білка (n=3, p ≤ 0,95)

Амінокислота	М'ясо страуса*	М'ясо страуса [28]	Ідеальний білок за ФАО/ВООЗ
Валін	3,08	2,49	3,90
Ізолейцин	3,33	3,08	3,00
Лейцин	3,32	2,88	5,90
Метіонін+Цистин	4,32	2,50	2,20
Треонін	5,01	3,30	2,30
Фенілаланін+Тирозин	4,79	4,08	3,80
Триптофан	Сліди	-	6,00
Лізин	4,44	3,68	4,50
Всього	28,29	22,01	31,6

Примітка: * - власні дані.

Додатково оцінювання білкових компонентів проводили за низкою показників, зокрема біологічною цінністю, коефіцієнтом варіації амінокислотного скору, коефіцієнтом утилітарності амінокислотного профілю, а також рівнем «надлишку» незамінних амінокислот (таблиця 5).

Визначений коефіцієнт рівноваги амінокислотного складу (КРАС) свідчить, що 11,71 % незамінних амінокислот є дефіцитними, що вказує на певну диспропорцію у складі амінокислот м'язової тканини страусинового м'яса. Це також підтверджується значенням коефіцієнта утилітарності (U), яке

становить 0,80, тоді як референтне значення дорівнює 1,0, що відповідає повністю збалансованому білку.

Показник порівняльної надлишковості амінокислотного складу дає змогу оцінити кількість незамінних амінокислот, які не можуть бути засвоєні організмом у межах білкової кількості, еквівалентної 100 г еталонного білка. Для страусино м'яса цей показник становить лише 7,87 г/100 г білка, що свідчить про високий ступінь збалансованості амінокислотного складу й підтверджує добру якість цього виду м'ясної сировини як джерела незамінних амінокислот.

Оскільки засвоєння білка організмом відбувається лише за наявності оптимального співвідношення незамінних амінокислот, м'ясо страуса може слугувати перспективною сировиною для виготовлення м'ясопродуктів. При цьому доцільним є його поєднання з іншими компонентами з метою досягнення більш збалансованого амінокислотного складу кінцевого продукту.

Важливо також враховувати присутність у страусиному м'ясі стійких азотистих екстрактивних речовин, таких як карнозин, ансерин, карнітин, креатин і таурин. Ці сполуки не лише впливають на смак та аромат готової продукції, а й виконують важливі біологічні функції. Аналіз їх умісту в м'ясі аф-

риканського страуса дає змогу глибше охарактеризувати його харчову цінність.

Отримані результати у порівнянні з довідковими даними щодо традиційних видів м'яса сільськогосподарських тварин наведено в таблиці 6 [29,30].

Аналізуючи дані таблиці 6, можна зробити висновок, що за вмістом таких азотистих екстрактивних речовин, як карнозин, карнітин, креатин і таурин, м'ясо страуса не поступається, а іноді навіть перевищує відповідні показники м'яса традиційних сільськогосподарських тварин, зокрема яловичини та свинини.

Карнозин виконує роль антиоксиданту, буфера рН у м'язах і нейропротектора. У страусиному м'ясі його вміст становить 184 мг/100 г, що вдвічі менше, ніж у яловичині та свинині, однак цей показник залишається високим порівняно з більшістю інших дієтичних продуктів і сприяє позитивному впливу на окисно-відновний гомеостаз організму. Ансерин має аналогічні до карнозину властивості, у страусиному м'ясі міститься у концентрації приблизно 21 мг/100 г, що дещо нижче за рівень у яловичині (24–84 мг), при цьому дані щодо свинини відсутні. Завдяки синергічній дії ансерину та карнозину сумарний антиоксидантний потенціал страусино м'яса є вираженим і функціонально значущим.

Таблиця 5 – Показники біологічної цінності білків м'яса страуса

Показник	М'ясо страуса*	М'ясо страуса [28]
Потенціальна біологічна цінність (БЦп) білка, %	88,29	84.16
Коефіцієнт відмінності амінокислотного скору (КРАС), %	11,71	15,84
Коефіцієнт утилітарності АК складу білка U, частки один.	0,80	0,75
Коефіцієнт порівняльної надлишковості ос, г/100 г білка еталону	7,87	-

Примітка: * - власні дані.

Таблиця 6 – Порівняльний аналіз вмісту азотистих екстрактивних речовин (n=3, p ≤ 0,95)

Екстрактивні речовини	Вид м'яса		
	М'ясо страуса, мг/100 г м'яса	Яловичина, мг/100 г м'яса [29]	Свинина, мг/100 г м'яса [29]
Карнозин	184±3,17	444-458	469
Ансерин	20,8±1,04	24-84	-
Карнітин	35,2±2,12	139-143	25-60,8
Креатин	428±5,14	350	400
Таурин	117±4,08	43,1	61,2

Не менш важливим компонентом є карнітин, який забезпечує транспорт жирних кислот до мітохондрій і відіграє ключову роль в енергетичному метаболізмі; у страусиному м'ясі його вміст становить 35,2 мг/100 г, що поступається яловичині (139–143 мг), проте перевищує рівень у більшості видів м'яса птиці та відповідає дієтичним нормам профілактичного харчування. Особливо варто відзначити високий вміст креатину — 428 мг/100 г, що перевищує аналогічні показники у яловичині (≈ 350 мг) і свинині (≈ 400 мг). Це свідчить про доцільність включення страусиного м'яса до раціону спортсменів та осіб з підвищеним рівнем фізичного навантаження.

Крім того, страусине м'ясо містить значну кількість таурину — 117 мг/100 г, що майже втричі більше, ніж у яловичині (43,1 мг) і вдвічі більше, ніж у свинині (61,2 мг), і надає продукту додаткових функціональних переваг.

Враховуючи ці результати, можна стверджувати, що страусине м'ясо за харчовими властивостями, зокрема біологічною цінністю, є не лише повноцінною альтернативою, а й за низкою параметрів перевищує якісну м'ясну сировину, традиційно вживану в нашій країні. За хімічним складом воно найбільше схоже на біле м'ясо птиці, яке вважають дієтичним продуктом.

За даними дослідників Perederko та Stefuriak [31], однією з характерних особливостей страусиного м'яса є швидке зниження рівня рН у м'язах після забою, а також від-

носно високе кінцеве значення рН через 24 години. Початковий показник рН становить приблизно 7,2, а через добу знижується до приблизно 6,0. Водночас у страусів остаточне значення рН формується вже протягом 2–6 годин після знекровлення, тоді як у свиней, овець і великої рогатої худоби цей процес триває значно довше — відповідно 8–12, 24 та 36–48 годин за аналогічних умов [32, 33].

Під час власних експериментів було встановлено, що через 2 години після забою рівень рН страусиного м'яса варіює в межах 6,19–6,23, а через 24 години зберігання знижується до 6,12. Починаючи з другої доби, спостерігається поступове підвищення цього показника, що, ймовірно, пов'язано з органічним протеолізом білкових структур і збільшенням кількості вільних полярних та заряджених функціональних груп, здатних зв'язувати іони водню (див. рисунок 1).

Оскільки м'язова і сполучна тканини є основними структурними елементами м'яса, саме їх здатність утримувати воду має найбільше практичне значення. Ключову роль у цьому процесі відіграють білкові сполуки, які становлять головний структурний матеріал тканин. Стан і властивості білків безпосередньо впливають на здатність м'яса зв'язувати та утримувати вологу [34].

Під час дозрівання м'яса відбувається збільшення гідратації та розчинності білків м'язової тканини. Це пов'язано з накопиченням вільного міозину — одного з найбільш ефективних білків за здатністю до зв'язування води (див. табл. 7, 8).

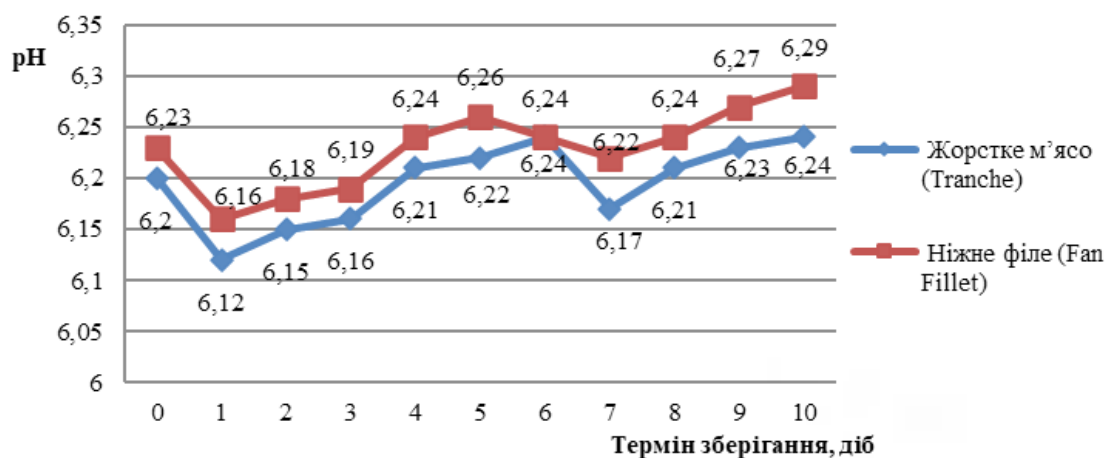


Рис. 1. Зміна рН м'яса страуса залежно від терміну зберігання.

Таблиця 7 – Функціонально-технологічні показники зміни жорсткого м'яса (Tranche) м'яса страусів у процесі зберігання, $t = 4^{\circ}\text{C}$ ($n=3$, $p \leq 0,95$)

Показник	Термін зберігання, діб					
	Парне м'ясо	12 год	24 год	3 доби	7 діб	10 діб
ВЗЗ, %	52,37±2,14	38,62±1,74	36,44±2,03	37,18±1,96	42,63±1,84	48,58±2,11
ВУЗ, %	71,41±3,24	60,19±2,48	62,73±2,21	64,58±3,18	67,45±2,04	68,80±1,91
Пластичність, cm^2/kg	26,64±1,04	16,82±0,98	11,67±1,01	13,79±1,04	16,15±0,97	18,84±1,05

Таблиця 8 – Функціонально-технологічні показники зміни ніжного філе (Fan Fillet) м'яса страуса в процесі зберігання, $t = 4^{\circ}\text{C}$ ($n=3$, $p \leq 0,95$)

Показник	Термін зберігання, діб					
	Парне м'ясо	12 год	24 год	3 доби	7 діб	10 діб
ВЗЗ ¹ , %	52,89 ±1,86	39,11 ±2,02	37,52 ±1,74	40,77 ±2,10	43,56 ±1,94	49,23 ±2,04
ВУЗ ² , %	71,94 ±2,14	60,87 ±1,85	63,33 ±1,93	65,49 ±1,98	68,14 ±2,04	69,17 ±2,07
Пластичність, cm^2/kg	27,46 ±0,97	18,12 ±1,02	12,34 ±1,04	14,47 ±0,94	17,59 ±0,98	19,43 ±0,96

¹ВЗЗ – вологов'язувальна здатність²ВУЗ – вологоутримувальна здатність

Дослідження показали, що під час холодильного зберігання ($t = 4^{\circ}\text{C}$) протягом 10 днів у двох видів м'яса відбувається підвищення вологов'язувальної (ВЗЗ) та вологоутримувальної здатності (ВУЗ). Зокрема, у ніжному філе цей показник коливався в межах 39,11–49,23 %, а у більш жорсткому м'ясі – від 38,62 до 48,58 %.

Отже, на основі отриманих результатів можна зробити висновок, що м'ясо африканського страуса є перспективною сировиною не лише для виробництва традиційних м'ясних продуктів, а й для створення функціональних харчових продуктів профілактичного спрямування, які можуть сприяти запобіганню серцево-судинних захворювань, залізодефіцитної анемії та ожиріння.

Висновок. Проведені дослідження засвідчили, що м'ясо африканського страуса є високоякісним білковим продуктом з цінним хімічним та амінокислотним складом. Його висока частка білка (21,2–22,5 %) та низький вміст жиру (1,2–2,0 %) визначають дієтичні властивості даного м'яса і доцільність його включення до раціонів харчування осіб із захворюваннями серцево-судинної системи, метаболічними порушеннями та зайвою вагою.

Аналіз амінокислотного складу показав наявність широкого спектру незамінних

амінокислот, зокрема лейцину, треоніну, ізолейцину, фенілаланіну та валіну, що мають важливе значення для фізіологічного функціонування організму. Отримані значення амінокислотного складу свідчать про те, що білки страусино м'яса здатні повною мірою забезпечити потреби організму в незамінних амінокислотах, не поступаючись за цим показником білкам традиційних видів м'яса.

Значення коефіцієнта утилітарності амінокислотного складу, індексу амінокислотного складу, а також біологічної цінності підтверджують високу якість білка страусино м'яса. Порівняння з традиційними видами м'яса засвідчило переваги страусино м'яса щодо амінокислотної збалансованості, легкозасвоюваності та нижчого вмісту насичених жирів.

З огляду на отримані результати, м'ясо африканського страуса можна рекомендувати як перспективну сировину для виробництва продуктів функціонального, дитячого, спортивного та лікувально-профілактичного харчування. У подальшому доцільно зосередити увагу на дослідженні впливу технологічних процесів на збереження його харчової цінності, а також розробленні інноваційних харчових продуктів на основі цієї сировини.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Development of meat products for the nutrition of older people / S. Abzhanova et al. *Human Nutrition & Metabolism*. 2023. No 33. P. 200–201. DOI:10.1016/j.hnm.2023.200201
2. Ведмеденко О. Вплив типу годівлі на м'ясну продуктивність чорного африканського страуса за його промислового вирощування. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 133. С. 200–206. DOI:10.32782/2226-0099.2023.133.27
3. Brassó D.L., Béri B., Komlósi I. Studies on ostrich (*Struthio Camelus*)-review. *Acta Agraria Debreceniensis*. 2020. No 1. P. 15–22. DOI:10.34101/actaagrar/1/3772
4. Степченко Л.М., Галузіна Л.І., Лосєва Є.О., Михайленко Є.О. Ефективність застосування кормових добавок на основі біологічно активних речовин гуминової природи у птахівництві: монографія. Дніпро: Ліра, 2021. С. 609–623. URL:<http://dspace.dsau.dp.ua/jspui/handle/123456789/6321>
5. Brassó L.D., Komlósi I. Studies on ostrich (*Struthio camelus*) meat-review. *Ciencias Agropecuarias*. 2021. Vol. 7. No 2. P. 83–91. DOI:10.36436/24223484.520
6. Shtonda O., Israelian V. Changes in functional and technological indicators of african ostrich meat under the action of vegetable enzymes in the composition of salting brine. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*. 2021. Vol. 17. No 1. P. 43–52. DOI:10.31548/dopovidi2021.01.004
7. Effects of nutrient medium on various-age larvae of *Hermetia illucens* (Diptera, Stratiomyidae) / O.I. Statkevych et al. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2024. Vol. 15. No 4. P. 907–911. DOI:10.15421/0224131
8. Optimization of the proteolysis process of connective tissue proteins in ostrich meat / E.A. Rogozina et al. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 866. No 1. DOI:10.1088/1755-1315/866/1/012024
9. Ulbad T.P., Abdoul-Razack T., André T. Technological Quality and Proximate Composition of Ostrich Meat (*Struthio Camelus Australis*) Reared in Captivity on Natural Pasture in North Benin. *International Journal of Food Science and Agriculture*. 2025. Vol. 9. No 2. DOI:10.26855/ijfsa.2025.06.001
10. Effects of ostrich meat intake on amino acid metabolism and growth hormone secretion: A clinical trial by repeated measurement / Y. Yonei et al. *Glycative Stress Research*. 2024. Vol. 11. No 1. P. 51–59. DOI:10.24659/gsr.11.151
11. Manap K., Serikkyzy M. Production of ostrich meat pâtés: Design of a food safety management system. *Food Science and Technology International*. 2023. Vol. 29. No 8. P. 847–856. DOI:10.1177/1082013222112419
12. Comparative analysis of purine release in ostrich meat under different food heating techniques / C. Hou et al. *International Journal of Food Science and Technology*. 2025. Vol. 60. No 1. DOI:10.1093/ijfood/vvae087
13. Ostrich meat: A review on nutritional properties and health benefits / M.A. Arain et al. *Food Science of Animal Resources*. 2025. Vol. 45. No 4. P. 965–980. DOI:10.5851/kosfa.2025.e30
14. Henry S.G., Abou-El-Hawa S.H., Ramadan B.R., Khalifa A.H. Nutritional Quality of Ostrich Meat, Edible Offal, and Fat Tissue. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*. 2024. Vol. 55. No 2. P. 125–143. DOI:10.21608/ajas.2024.271781.1339
15. Effects of ostrich meat intake on amino acid metabolism and growth hormone secretion: A clinical trial by repeated measurement / Y. Yonei et al. *Glycative Stress Research*. 2024. Vol. 11. No 1. P. 51–59. DOI:10.24659/gsr.11.151
16. ДСТУ 7992:2015. М'ясо та м'ясна сировина. Методи відбирання проб та органолептичного оцінювання свіжості. [Чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2016. 10 с.
17. ДСТУ ISO 2917-2001. М'ясо та м'ясні продукти. Визначення pH (Контрольний метод). [Чинний від 2003-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2001. 10 с.
18. ДСТУ ISO 1442:2005. М'ясо та м'ясні продукти. Метод визначення вмісту вологи (контрольний метод) [Чинний від 2007-04-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 9 с.
19. Технологія переробки риби / Н.М. Слободянюк та ін. Київ: ЦП «Компринт», 2018. 264 с.
20. Приліпко Т.М., Косташ В.Б. Технологія м'яса і м'ясних продуктів. 2019. 181 с. URL:<http://188.190.43.194:7980/jspui/bitstream/123456789/7480/1/lp2019.pdf>
21. ДСТУ ISO 936:2008. М'ясо та м'ясні продукти. Метод визначення масової частки загальної золи. [Чинний від 2008-09-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 10 с.
22. ДСТУ ISO 937:2005. М'ясо та м'ясні продукти. Визначення вмісту азоту (контрольний метод) [Чинний від 2007-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 11 с.
23. ДСТУ 8380:2015. М'ясо та м'ясні продукти. Метод вимірювання масової частки жиру. [Чинний від 2017-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2017. 10 с.
24. Содом Р.І., Янишин Я.С., Марків Г.В., Шматковська Т. Міжнародний досвід та перспективи розвитку страусівництва для України. *Аграрна економіка*. 2020. Т. 13. № 3–4. С. 52–61. DOI:10.31734/agrarecon2020.03-04.052
25. Olaf K. Horbańczuk, Agnieszka Wierzbicka. Technological and nutritional properties of ostrich, emu, and rhea meat qualit. *Journal of Veterinary Research*. 2016. Vol. 60. No 3. P. 279–286. DOI:10.1515/jvetres-2016-0043
26. The ostrich meat – An updated review. II. Nutritive value / E. Polawska et al. *Animal Science Papers and Reports*. 2011. Vol. 29. No 2. P. 89–97.
27. Ципріяні В.І. Гігієна харчування з основами нутриціології: підручник 2-ге видання. Київ: Медицина, 2007. 544 с.

28. Effects of ostrich meat intake on amino acid metabolism and growth hormone secretion: A comparative clinical study / M. Ogura et al. *Glycative Stress Research*. 2020. Vol. 7. No 1. P. 29–41. DOI:10.24659/gsr.7.1_29

29. Quantitative analysis of carnosine and anserine in foods by performing high performance liquid chromatography / M. Mori et al. *Biomedical Research on Trace Elements*. 2015. Vol. 26. No 3. P. 147–152. DOI:10.11299/btrte.26.147

30. Bioactive compounds in meat: Their roles in modulating palatability and nutritional value / G. Jairath et al. *Meat and Muscle Biology*. 2024. Vol. 8. No 1. DOI:10.22175/mmb.16992

31. Передерко Л.П., Стефуряк В.П. Перспективи розведення африканських страусів. Ефективне птахівництво. 2011. (4). С. 34–37.

32. Wolmarans W.J. The effect of transport on live weight loss, meat quality and blood haematology in slaughter ostriches. Doctoral dissertation, Stellenbosch: University of Stellenbosch. 2011. 151 p.

33. Clean label extraction of bioactive compounds from *Chenopodium album* and their role in the characterization and stability of ostrich meat / M.Z. Khalid et al. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2024. No 8. DOI:10.3389/fsufs.2024.1472110

34. Najafi S., Ghasemi H.A., Hajkhodadadi I., Khodaei-Motlagh M. Nutritional value of whole date waste and evaluating its application in ostrich diets. *Animal*. 2021. Vol. 15. No 3. DOI:10.1016/j.animal.2020.100165

REFERENCES

1. Abzhanova, S., Baybolova, L., Zhaksylykova, G., Tayeva, A., Kulazhanov, T. (2023). Development of meat products for the nutrition of older people. *Human Nutrition & Metabolism*, no. 33, pp. 200–201. DOI:10.1016/j.hnm.2023.200201

2. Vedmedenko, O. (2023). Vplyv typu hodivli na miasnu produktivnist chornoho afrykanskooho strausa za yoho promyslovoho vyroshchuvannia [The influence of feeding type on meat productivity of the black African ostrich during its industrial breeding] *Tavriyskyi naukovyi visnyk [Tavria Scientific Bulletin]*, no. 133, pp. 200–206. DOI:10.32782/2226-0099.2023.133.27 (In Ukrainian).

3. Brassó, D.L., Béri, B., Komlósi, I. (2020). Studies on ostrich (*Struthio Camelus*)-review. *Acta Agraria Debreceniensis*. no. 1, pp. 15–22. DOI:10.34101/actaagrar/1/3772

4. Stepchenko, L.M., Haluzina, L.I., Losieva, Ye.O., Mykhailenko, Ye.O. (2021). Efektyvnist zastosuvannia kormovykh dobavok na osnovi biolohichno aktyvnykh rehovyn huminovoi pryrody u ptakhivnytstvi: monohrafiia [The effectiveness of the use of feed additives based on biologically active substances of humic nature in poultry farming: monograph]. Dnipro: Lira, pp. 609–623. Available at: <http://dspace.dsau.dp.ua/jspui/handle/123456789/6321> (In Ukrainian).

5. Brassó, L.D., Komlósi, I. (2021). Studies on ostrich (*Struthio camelus*) meat-review.

Ciencias Agropecuarias, Vol. 7, no. 2, pp. 83–91. DOI:10.36436/24223484.520

6. Shtonda, O., Israeli, V. (2021). Changes in functional and technological indicators of african ostrich meat under the action of vegetable enzymes in the composition of salting brine. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*. Vol. 17, no. 1, pp. 43–52. DOI:10.31548/dopovid2021.01.004

7. Statkevych, O.I., Kolomiets, Y.V., Holembovska, N.V., Israeli, V.M., Babych O.A., Slobodyanyuk, N.M., Babytskiy, A.I., Statkevych, A.O. (2024). Effects of nutrient medium on various-age larvae of *Hermetia illucens* (Diptera, Stratiomyidae). *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. Vol. 15, no. 4. pp. 907–911. DOI:10.15421/0224131

8. Rogozina, E.A., Kolodyaznaya, V.S., Shestopalova, I.A., Kiprushkina, E.I., Rumiantceva, O.N., Broyko, Y.B. (2021). Optimization of the proteolysis process of connective tissue proteins in ostrich meat. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 866, no. 1. DOI:10.1088/1755-1315/866/1/012024

9. Ulbad, T.P., Abdoul-Razack, T., André, T. (2025). Technological Quality and Proximate Composition of Ostrich Meat (*Struthio Camelus Australis*) Reared in Captivity on Natural Pasture in North Benin. *International Journal of Food Science and Agriculture*, Vol. 9, no. 2. DOI:10.26855/ijf-sa.2025.06.001

10. Yonei, Y., Ogura, M., Yagi, M., Kawasaki, I., Sakiyama, C., Kawaguchi, Y., Tsuji, T. (2024). Effects of ostrich meat intake on amino acid metabolism and growth hormone secretion: A clinical trial by repeated measurement. *Glycative Stress Research*. Vol. 11, no. 1, pp. 51–59. DOI:10.24659/gsr.11.151

11. Manap, K., Serikkyzy, M. (2023). Production of ostrich meat pâtés: Design of a food safety management system. *Food Science and Technology International*. Vol. 29, no. 8, pp. 847–856. DOI:10.1177/1082013222112419

12. Hou, C., Xiao, L., Sha, W., Liu, H., Wang, Y., Ren, J. (2025). Comparative analysis of purine release in ostrich meat under different food heating techniques. *International Journal of Food Science and Technology*, Vol. 60, no. 1. DOI:10.1093/ijfood/vvae087

13. Arain, M.A., Hassan, F.U., Ozdemir, F.A., Khaskheli, G.B., Malik, Z., Buzdar, J.A., Fazlani, S.A. (2025). Ostrich meat: A review on nutritional properties and health benefits. *Food Science of Animal Resources*. Vol. 45, no. 4, pp. 965–980. DOI:10.5851/kosfa.2025.e30

14. Henry, S.G., Abou-El-Hawa, S.H., Ramadan, B.R., Khalifa, A.H. (2024). Nutritional Quality of Ostrich Meat, Edible Offal, and Fat Tissue. *Assiut Journal of Agricultural Sciences*, Vol. 55, no. 2, pp. 125–143. DOI:10.21608/ajas.2024.271781.1339

15. Yonei, Y., Ogura, M., Yagi, M., Kawasaki, I., Sakiyama, C., Kawaguchi, Y., Tsuji, T. (2024). Effects of ostrich meat intake on amino acid metabolism and growth hormone secretion: A clinical trial

- by repeated measurement. *Glycative Stress Research*. Vol. 11, no. 1, pp. 51–59. DOI:10.24659/gsr.11.1_51
16. DSTU 7992:2015. M'jaso ta m'jasna syrovyna. Metody vidbyrannja prob ta organoleptychnogo ocinjuvannja svizhosti. [Chynnyi vid 2017-01-01] [DSTU 7992:2015. Meat and meat raw materials. Methods of sampling and organoleptic evaluation of freshness. [Valid from 2017-01-01]]. Official publication Kyiv: State Consumer Standard of Ukraine, 2016, 10 p. (In Ukrainian).
17. DSTU ISO 2917-2001. M'jaso ta m'jasni produkty. Vyznachennja rN (Kontrol'nyj metod). [Chynnyi vid 2003-01-01] [DSTU ISO 2917-2001. Meat and meat products. Determination of pH (Control method). [Valid from 2003-01-01]]. Official publication Kyiv: State Consumer Standard of Ukraine, 2001, 10 p. (In Ukrainian).
18. DSTU ISO 1442:2005. M'jaso ta m'jasni produkty. Metod vyznachennja vmistu vology (Kontrol'nyj metod). [Chynnyi vid 2007-04-01]. [DSTU ISO 1442:2005. Meat and meat products. Method for determining moisture content (control method) [Valid from 2007-04-01]]. Official publication Kyiv: State Consumer Standard of Ukraine, 2007, 9 p. (In Ukrainian).
19. Slobodianiuk, N.M., Golembowska, N.V., Menchynska, A.A., Androshchuk, O.S., Tulub, D.O. (2018). *Tehnologija pererobky ryby* [Fish processing technology]. Kyiv: CP "Komprint", 264 p. (In Ukrainian).
20. Prylipko, T.M., Kostash, V.B. (2019). *Tekhnolohiia miasa i miasnykh produktiv* [Technology of meat and meat products], 181 p. Available at: http://188.190.43.194:7980/jspui/bitstream/123456789/7480/1/lp_2019.pdf (In Ukrainian).
21. DSTU ISO 936:2008. M'jaso ta m'jasni produkty. Metod vyznachennja masovoi' chastky zagal'noi' zoly. [Chynnyi vid 2008-09-01] [DSTU ISO 936:2008. Meat and meat products. Method for determining the mass fraction of total ash. [Valid from 2008-09-01]]. Official publication Kyiv: State Consumer Standard of Ukraine, 2008, 10 p. (In Ukrainian).
22. DSTU ISO 937:2005. M'jaso ta m'jasni produkty. Vyznachennja vmistu azotu. [Chynnyi vid 2007-07-01] [DSTU ISO 937:2005. Meat and meat products. Determination of nitrogen content (control method) [Valid from 2007-07-01]]. Official publication Kyiv: State Consumer Standard of Ukraine, 2005, 11 p. (In Ukrainian).
23. DSTU 8380:2015. M'jaso ta m'jasni produkty. Metod vymirjuvannja masovoi' chastky zhyru. [Chynnyi vid 2017-07-01] [DSTU 8380:2015. Meat and meat products. Method for measuring the mass fraction of fat. [Valid from 2017-07-01]]. Official publication Kyiv: State Consumer Standard of Ukraine, 2017, 10 p. (In Ukrainian).
24. Sodoma, R.I., Yanyshyn, Ya.S., Markiv, H.V., Shmatkovska, T. (2020). *Mizhnarodnyi dosvid ta perspektyvy rozvytku strausivnytstva dlia Ukrainy* [International experience and prospects for the development of ostrich farming for Ukraine]. *Ahrarna ekonomika* [Agrarian economy], Vol. 13, no. 3–4, pp. 52–61. DOI:10.31734/agrarencon2020.03-04.052 (In Ukrainian).
25. Horbańczuk, O.K., Wierzbicka, A. (2016). Technological and nutritional properties of ostrich, emu, and rhea meat quality. *Journal of Veterinary Research*, Vol. 60, no. 3, pp. 279–286. DOI:10.1515/jvetres-2016-0043
26. Polawska, E., Marchewka, J., Cooper, R.G., Pomianowski, J.F., Jóźwik, A., Strzałkowska, N., Horbańczuk, J.O., Sartowska-Żygowska, K. (2011). The ostrich meat – An updated review. II. Nutritive value. *Animal Science Papers and Report*. Vol. 29, no. 2, pp. 89–97.
27. Cyprian, V.I. (2007). *Gigijena harchuvannja z osnovamy nutryciologii'*: pidruchnyk 2-ge vydannja [Food hygiene with the basics of nutrition: textbook 2nd edition]. Kyiv: Medicine, 544 p. (In Ukrainian).
28. Ogura, M., Morita, Y., Takabe, W., Yagi, M., Okuda, F., Kon, M., Yonei, Y. (2020). Effects of ostrich meat intake on amino acid metabolism and growth hormone secretion: A comparative clinical study. *Glycative Stress Research*. Vol. 7, no. 1, pp. 29–41. DOI:10.24659/gsr.7.1_29
29. Mori, M., Mizuno, D., Konoha-Mizuno, K., Sadakane, Y., Kawahara, M. (2015). Quantitative analysis of carnosine and anserine in foods by performing high performance liquid chromatography. *Biomedical Research on Trace Elements*. Vol. 26, no. 3, pp. 147–152. DOI:10.11299/btrte.26.147
30. Jairath, G., Biswas, A.K., Mal, G., Suman, S.P., Suman, S.P. (2024). Bioactive compounds in meat: Their roles in modulating palatability and nutritional value. *Meat and Muscle Biology*. Vol. 8, no. 1. DOI:10.22175/mmb.16992
31. Perederko, L.P., Stefuriak, V.P. (2011). *Perspektyvy rozvedennia afrykanskyykh strausiv* [Prospects for breeding African ostriches]. *Efektivne ptakhivnytstvo* [Efficient poultry farming]. no. 4, pp. 34–37. (In Ukrainian).
32. Wolmarans, W.J. (2011). The effect of transport on live weight loss, meat quality and blood haematology in slaughter ostriches. Doctoral dissertation, Stellenbosch: University of Stellenbosch, 151 p.
33. Khalid, M. Z., Saima, H., Nadeem, M. T., Saeed, K., Arshad, M. S., Khalid, W., Alzahrani, A. (2024). Clean label extraction of bioactive compounds from *Chenopodium album* and their role in the characterization and stability of ostrich meat. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. no. 8. DOI:10.3389/fsufs.2024.1472110
34. Najafi, S., Ghasemi, H.A., Hajkhodadadi, I., Khodaei-Motlagh, M. (2021). Nutritional value of whole date waste and evaluating its application in ostrich diets. *Animal*, Vol. 15, no. 3. DOI:10.1016/j.animal.2020.100165

Chemical composition and amino acid profile of African ostrich meat

Israeli V., Holembovska N.

The article presents a comprehensive analysis of the chemical composition, amino acid profile, and histological features of Ukrainian-produced African ostrich meat compared with traditional meat raw

materials (broiler chicken, turkey, beef, pork). The content of protein, fat, cholesterol, amino acids, as well as nitrogenous extractives (carnosine, anserine, carnitine, creatine, taurine), which play an essential role in the nutritional and biological value of meat products, was studied. Histological studies of the structure of ostrich muscle tissue were conducted, which allowed us to assess its microscopic features, in particular the thickness of muscle fibers, the degree of differentiation of connective tissue, and the number of intracellular inclusions, which directly affect the texture, juiciness, and overall quality of meat during cooking.

It was found that ostrich meat has a high biological value of protein, close to or higher than the «ideal» protein according to the FAO/WHO scale, with a harmonious amino acid profile, a sufficient content of essential amino acids, such as leucine, isoleucine, valine, methionine, as well as a low content of fat and cholesterol, which is an advantage in the context of

forming healthy diets. It was found that the amino acid composition and histological structure can vary depending on the conditions of bird care and feeding, which are essential factors in standardizing meat raw materials and determining their suitability for further processing.

The results obtained allow us to characterize ostrich meat as a dietary, high-quality product that exceeds traditional types of meat raw materials in several biochemical and structural indicators. It can be recommended as a promising alternative for the development of both conventional meat products and functional preventive foods, intended for people with increased protein quality requirements, for low-calorie diets, as well as for exceptional medical or baby foods.

Keywords: African ostrich, meat, chemical composition, amino acid composition, histology, biological value of protein, dietary meat, nutritional value, functional products.



Copyright: Ізраєлян В.М., Голембовська Н.В. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Ізраєлян В.М.

Голембовська Н.В.

<https://orcid.org/0000-0002-7242-3227>

<https://orcid.org/0000-0001-8159-4020>

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА І ПЕРЕРОБКИ ПРОДУКЦІЇ ТВАРИННИЦТВА

УДК 636.4.082.2:636.082.4

Пластичність і стабільність багатоплідності свиноматок порід ландрас та уельс за різних умов годівлі й утримання**Шабля П.В.¹ , Шабля В.П.^{1,2} **¹ Інститут свинарства і агропромислового виробництва НААН² Державний біотехнологічний університет, Інститут свинарства і агропромислового виробництва НААН

Шабля В.П. E-mail: shabliavladimir@gmail.com



Шабля П.В., Шабля В.П. Пластичність і стабільність багатоплідності свиноматок порід ландрас та уельс за різних умов годівлі й утримання. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2025. № 2. С. 38–49.

Shablia P., Shablia V. Plasticity and stability of prolificacy in Landrace and Welsh sows under different feeding and housing conditions. «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2025. № 2. PP. 38–49.

Рукопис отримано: 04.08.2025 р.

Прийнято: 17.08.2025 р.

Затверджено до друку: 27.11.2025 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2025-198-2-38-49

У статті висвітлено результати дослідження адаптивної здатності свиноматок порід ландрас і уельс до змінних умов годівлі та утримання в умовах нестабільного виробничого середовища. Метою роботи було оцінити ступінь пластичності та стабільності показника багатоплідності свиноматок з використанням регресійного аналізу за методом Ебергарт-Рассела. Як індекси середовища застосовано багатоплідність свиноматок протягом шести поколінь. У дослідженні використано дані про відтворювальну здатність 822 свиноматок, які за період їх племінного використання перебували в умовах коливань годівлі, умов утримання, мікроклімату та рівня догляду. За результатами аналізу встановлено, що свиноматки породи ландрас характеризуються вищою пластичністю ($b_i = 1,464$) та нижчою залишковою дисперсією ($S^2d_i = 1,926$), відтак меншою варіабельністю та більшою стабільністю багатоплідності порівняно з породою уельс. Розроблена нами регресійна модель для ландрасів статистично вірогідна ($p = 0,004$), що свідчить про надійність і точність оцінювання їх адаптивних властивостей. Натомість, у свиноматок породи уельс коефіцієнт пластичності становив лише $b_i = 0,605$ за високої залишкової дисперсії ($S^2d_i = 2,227$), а сама розроблена модель виявилася статистично невірогідною ($p > 0,05$), що ускладнює практичне застосування отриманих результатів для прогнозування. Результати дослідження узгоджуються з літературними даними про генетичну детермінованість адаптивної реакції у свиней різних порід. Порода ландрас виявила кращий баланс між реактивністю до змін середовища і стабільністю відтворювальної функції, що робить її перспективною для використання у нестабільних або стресогенних умовах. Отримані дані можуть бути використані у селекційній роботі для формування адаптованого маточного поголів'я з підвищеним рівнем багатоплідності в умовах непередбачуваних змін умов годівлі й утримання.

Ключові слова: свиноматки, багатоплідність, стабільність, пластичність, годівля, утримання, порода ландрас, порода уельс.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Сучасні підходи до оцінювання відтворювальної здатності свиноматок забезпечують можливість визначення адаптивних резервів генотипів до зміни середовища. Зокрема, показники пластичності та стабільності відтворювальних ознак дають змогу оцінювати реакцію генотипів на різні годівельно-технологічні умови та стресори. Це особливо актуально в умовах воєнних дій, котрі суттєво впливають на годівлю й утримання тварин.

Низка закордонних досліджень доводять, що рівень і якість годівлі має безпосередній вплив на показники відтворювальної здатності свиноматок [1–4]. Зокрема, відповідне забезпечення тварин енергією, білком, мінералами та вітамінами у критичні періоди (лактація, осіменіння, поросність) покращує багатоплідність, виживаність поросят і тривалість продуктивного використання [5–8].

Вітчизняні дослідники також підкреслюють, що зниження рівня годівлі, порушення режиму годівлення, дефіцит амінокислот та енергетичних компонентів призводять до значних коливань у відтворювальних ознаках [9–11].

У цьому контексті важливим є вивчення реакції свиноматок різних порід на варіації умов годівлі та утримання, що дає змогу встановити їх пластичність і стабільність за репродуктивними ознаками з метою оптимізації системи розведення, розмноження, вирощування й обслуговування у складних виробничих умовах.

Багато вчених [12–16] підкреслюють, що умови годівлі та утримання визначають пластичні реакції свиноматок.

Peltoniemi et al. [4], Mallmann et al. [17] встановили, що енергетичне забезпечення свиноматок безпосередньо впливає на багатоплідність та інтервал між опоросами.

Koketsu et al. [6], а також Rodríguez Francisco et al. [18] у своїх дослідженнях відзначили, що підвищення якості й покращення технології годівлі позитивно корелює з відтворювальними якістьми і тривалістю використання свиноматок.

Серед вітчизняних робіт, Халак зі співавторами [19] показали, що оптимальне співвідношення протеїну до енергії у раціоні позитивно впливає на показники плодючості та масу поросят при народженні. Автори зазначають, що за умов дефіциту поживних речовин свиноматки демонструють значні відхилення у відтворювальних показниках.

Шабля П.В і Шабля В.П. [15] зазначають про зв'язок між годівлею та реалізацією

генетичного потенціалу багатоплідності у кнурів-плідників і свиноматок різних порід.

Праці низки вітчизняних та закордонних дослідників [5, 12, 20–23] деталізують зміну відтворювальних ознак у відповідь на технологічні стресори та дефіцити кормових інгредієнтів за промислових умов.

Додатково, роботи Bloemhof et al. [24], Beaulieu et al. [25], Ткаченко Л.П., Седіло Г.М. [20], Pouillet N., et al. [26], Chou & Parsons [27], Verdon et al. [13], Hemsworth et al. [28], Broom et al. [29], Wei Mingxin et al. [30] підтверджують вплив мікроклімату, щільності посадки та соціального стресу на відтворювальні показники свиней.

Проведені українськими авторами дослідження [10, 11, 20] доводять породні різниці у прояві відтворювальних ознак за різних систем утримання.

Крім того, в роботі Le et al. [32] акцентовано, що систематичні порушення умов утримання здатні змінювати прояв навіть тих господарсько-корисних ознак, які мають високий ступінь спадкової обумовленості.

Впливає на багатоплідність також стан самої тварини, наприклад вік, здоров'я та інші характеристики [33].

Деякі автори в умовах України підкреслюють негативний ефект воєнного стану, перебоїв з електропостачанням, відсутності ветеринарного супроводу на стабільність низки господарсько-корисних ознак свиней, включно з відтворювальними [15].

Таким чином, для комплексного оцінювання продуктивності, відтворювальних якостей та адаптивності свиноматок різних порід необхідне врахування як внутрішньогосподарських технологічних умов годівлі й утримання, так і загальнодержавних кризових чинників.

Мета дослідження – порівняти породи ландрас та уельс за пластичністю і стабільністю ознаки багатоплідності свиноматок у змінних умовах годівлі й утримання.

Матеріал і методи дослідження. Матеріалом для досліджень слугували 822 свиноматки порід ландрас і уельс, що утримувались у ТОВ «ФГ «Шубське» Харківської області. Дані щодо багатоплідності свиноматок охоплювали період 2015–2024 років. За цей період умови годівлі та утримання істотно змінювалися, що зумовлено як господарсько-економічними обставинами, так і зовнішніми чинниками, зокрема воєнними діями.

Незважаючи на те, що годівля здійснювалася повноцінними комбікормами, їх склад та співвідношення інгредієнтів періодично під-

давалися коригуванню. При цьому фактичне споживання тваринами обмінної енергії, протеїну, окремих амінокислот тощо періодично коливалося як у бік зменшення, так і збільшення. Крім того, постійно удосконалювалася технологія, організаційні аспекти тощо. Разом з цим певні форс-мажорні чинники, такі як військові дії, призводили до погіршення як годівлі, так і технології утримання. Зрештою, на тварин впливали (як позитивно, так і негативно) також кліматичні та сезонні фактори. Зазначені коливання середовищних умов годівлі та утримання в наших дослідженнях контролювалися шляхом визначення «індексу середовища», який характеризував середню багатоплідність свиноматок певного покоління незалежно від породної належності.

Для оцінювання адаптивної здатності свиноматок порід ландрас і уельс використовували методику Ебергарт-Рассела [34], яка передбачає побудову лінійної регресії індивідуальних показників об'єктів дослідження на середні значення за кожним середовищем (індексу середовища). Цей підхід дає змогу обчислити:

- коефіцієнт регресії (b_i) – міру пластичності, тобто реакції генотипу на зміну умов;
- залишкову дисперсію (S^2d_i) – показник стабільності, що характеризує непередбачуваність реакції генотипу.

Подібні підходи використовувались і в інших дослідженнях у галузі тваринництва. Зокрема, методика Ебергарт-Рассела була адаптована до оцінювання стабільності надойів у корів [35], а також вивчення продуктивності качок за змінного клімату [36].

У галузі свинарства цю методику застосовували для визначення стабільності багатоплідності та маси гнізда в умовах комерційного вирощування [37].

Інтерпретуючи пластичність та стабільність багатоплідності, базувалися на підходах, започаткованих розробниками моделі Ебергарт-Рассела [34].

Зокрема, згідно з цією методикою, коефіцієнт регресії (пластичності) b_i в моделі Ебергарт-Рассела є показником здатності генотипу (в даному випадку – породи свиноматок) змінювати свою продуктивність (багатоплідність) у відповідь на зміну середовища. Інакше кажучи, він показує, наскільки сильно реагує порода на поліпшення або погіршення умов годівлі й утримання. При цьому:

– Якщо b_i породи приблизно дорівнює одиниці ($b_i \approx 1$), то такий генотип вважається середньопластичним: його продуктивність

(багатоплідність) пропорційно змінюється разом зі змінами середовища. Така порода добре адаптується в середньому діапазоні умов годівлі й утримання.

– Якщо b_i вищий за одиницю ($b_i > 1$) – генотип (порода) є високопластичним: його продуктивність (багатоплідність) різкіше (порівняно з середнім рівнем) зростає у разі покращення умов годівлі й утримання, але може більшою мірою знижуватися у разі їх погіршення. Такий генотип вигідно використовувати у високотехнологічних умовах, де годівля й утримання сприятливі для прояву та реалізації генетичного потенціалу.

– Якщо b_i породи нижчий за одиницю ($b_i < 1$), то цей генотип (порода) є слабо пластичним: має меншу змінюваність продуктивності (багатоплідності) залежно від умов. Зазвичай він менш вибагливий, і його продуктивність менше знижується в несприятливому середовищі, але й не зростає істотно у разі покращення умов годівлі й утримання.

Інтерпретація стабільності багатоплідності базується на значенні залишкової дисперсії цієї ознаки (S^2d_i) у моделі Ебергарт-Рассела [34]. Цей критерій відображає міру непередбачуваності реакції генотипу (в нашому випадку – породи свиней) на зміну умов середовища. При цьому застосовуються такі підходи щодо тлумачення результатів оцінювання:

– Чим нижче значення залишкової дисперсії S^2d_i , тим вища стабільність, тобто порода демонструє послідовну, передбачувану реакцію на зміну умов годівлі та утримання – менше коливань багатоплідності, наприклад, від покоління до покоління, тобто між різними умовами годівлі й утримання.

– Чим вище значення S^2d_i , тим менша стабільність, тобто реакція породи є більш варіабельною (непередбачуваною), що ускладнює прогнозування результатів у різних середовищах.

Слід зауважити, що оскільки показник залишкової дисперсії (S^2d_i) є функцією масштабів варіації оцінюваної ознаки, його доцільно використовувати лише для порівняння стабільності однієї й тієї самої ознаки між різними генотипами. Саме таким методологічно обґрунтованим виглядає порівняння S^2d_i багатоплідності між породами ландрас і уельс у нашому випадку. Однак у разі порівняння стабільності різних ознак коректно користуватись, наприклад, відносними показниками.

В наших дослідженнях для побудови індексу середовища використовували середні показники багатоплідності за шістьма по-

слідовними поколіннями свиноматок. При цьому багатоплідність кожної свиноматки оцінювали за середнім значенням цієї ознаки у всіх наявних опоросах. Впливом віку свиноматки і кількості її опоросів на зазначену відтворну ознаку при цьому нехтували.

Статистичну обробку даних проводили в середовищах SPSS Statistics та Table Curve, використовуючи функції аналізу регресії та дисперсії. Для кожної породи обчислювали значення коефіцієнтів пластичності b_i та стабільності S^2d_i , які використовували для порівняння.

Результати дослідження та обговорення. У процесі дослідження встановлено суттєві міжпородні відмінності у пластичності та стабільності багатоплідності свиноматок аналізованих порід (рис. 1). Так, порода ландрас характеризувалася підвищеним значенням коефіцієнта пластичності ($b_i = 1,464$).

Відповідно до отриманих нами результатів, породу ландрас за ознакою багатоплідності свиноматок можна схарактеризувати як високопластичний генотип, оскільки коефіцієнт регресії b_i у цієї породи суттєво вищий за одиницю. Відтак, свиноматки породи ландрас добре реагують на покращення умов – їх багатоплідність істотно зростає за кращого менеджменту, утримання, годівлі тощо.

Однак у гірших середовищних умовах у маток цієї породи може спостерігатися значне зниження багатоплідності.

Така порода доцільна для використання в умовах інтенсивного виробництва, де забезпечується високий рівень обслуговування, годівлі й утримання.

Під час аналізу багатоплідності свиноматок породи уельс отримано суттєво нижчий показник пластичності ($b_i = 0,605$). Відтак, це низькопластичний генотип. Оскільки зазначений коефіцієнт регресії значно менший за одиницю, можна констатувати, що свиноматки цієї породи менше реагують своєю багатоплідністю на зміни середовища – як позитивні, так і негативні.

Це означає, що їх багатоплідність стабільніша в умовах коливань рівнів годівлі й утримання, включно зі стресами або обмеженими ресурсами. Втім, вона менше піддається і зростанню у разі покращення умов.

Отже, порода уельс більше підходить для екстенсивних або нестабільних систем виробництва, де важлива витривалість, а не максимальна продуктивність (багатоплідність).

На графіку (рис. 2) відображено регресійні лінії для обох аналізованих порід: лінія для породи ландрас має вищий нахил (підтверджуючи більшу пластичність). Водночас для породи уельс спостерігається слабша залежність показників від індексу середовища i , відповідно, менший нахил лінії регресії.

Окрім коефіцієнта пластичності, важливою характеристикою реакцій генотипів на змінювання умов зовнішнього середовища є показник стабільності.

Нашими дослідженнями встановлено, що у свиноматок породи уельс спостерігалася вища залишкова дисперсія багатоплідності ($S^2d_i = 2,227$) порівняно з ландрасами ($S^2d_i = 1,926$). Це вказує на більші індивідуальні відхилення фактичної багатоплідності свиноматок породи уельс від лінії регресії та нижчу точність прогнозування.

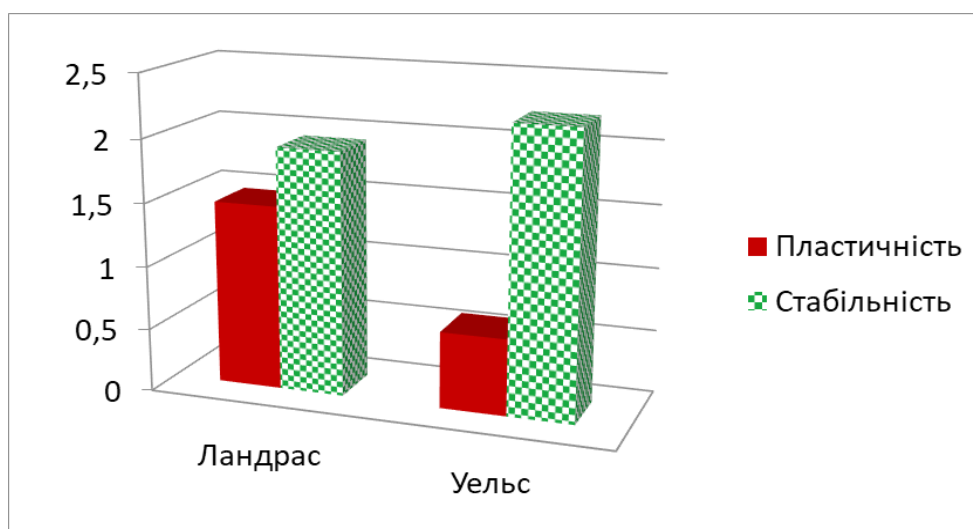


Рис. 1. Залежності багатоплідності свиноматок порід ландрас та уельс від індексу середовища (поколінь).

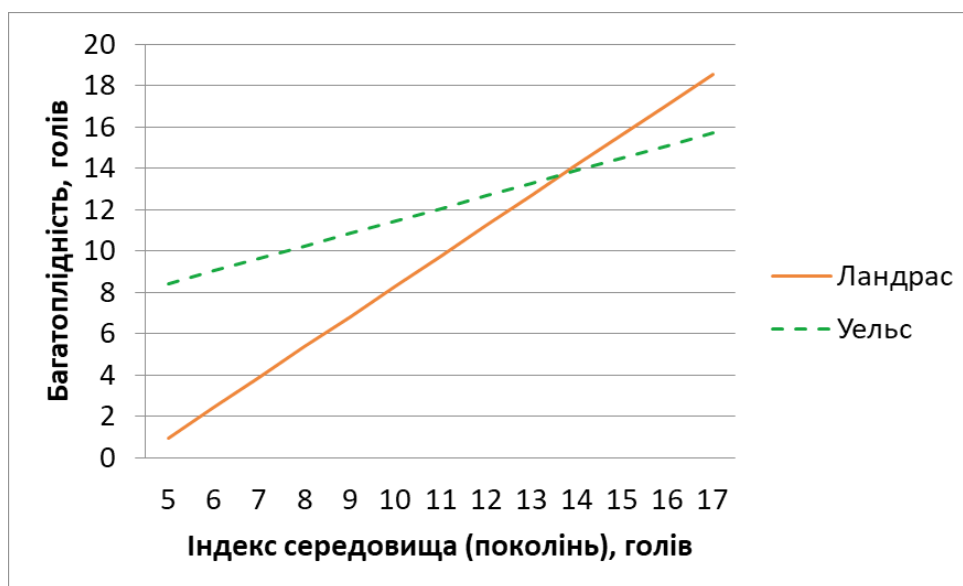


Рис. 2. Залежність багатоплідності свиноматок порід ландрас та уельс від індексу середовища (поколінь).

Відтак, можна констатувати більшу непередбачуваність реакцій свиноматок цієї породи на зміну умов середовища. Уельські свиноматки сильніше "коливаються" у своїй багатоплідності у разі змін середовища. Така ситуація може вказувати на більший вплив неконтрольованих факторів на дану породу або на нестійкість її генотипу до змін умов.

Таким чином, нами встановлено, що свиноматки породи ландрас характеризуються високою здатністю гнучко та інтенсивно реагувати змінюванням багатоплідності на зміну умов годівлі та утримання, водночас вони проявляють порівняно високу стабільність вказаної відтворювальної ознаки.

Завдяки такій сприятливій комбінації адаптивних показників удалося побудувати вірогідну регресійну модель оцінювання багатоплідності для породи ландрас (табл. 1). Розроблена модель характеризувалася високою достовірністю ($p = 0,004$) та помірним коефіцієнтом детермінації ($R^2 = 0,022$).

Такі характеристики дають можливість застосовувати дану модель для оцінювання впливу зміни умов середовища на багатоплідність свиноматок породи ландрас, а також з метою прогнозування цієї відтворювальної ознаки в умовах мінливого середовища за його відмітними очікуваними характеристиками.

Натомість свиноматки породи уельс демонстрували нижчу пластичність багатоплідності (коефіцієнт регресії $b_i = 0,605$) та вищу залишкову дисперсію ($S^2d_i = 2,227$).

Понад це, доцільно відмітити, що під час порівняння відповідних стандартизованих коефіцієнтів регресії для порід ландрас і уельс виявляється, що за оцінювання регресій в стандартних відхиленнях ознак s_y і s_x , перевага ландрасів у пластичності багатоплідності стає ще більш показовою. Так, у цьому варіанті аналізу стандартизований коефіцієнт регресії багатоплідності ландрасів на індекс середовища перевищує аналогічний показник уельсів у 2,57 раза, тоді як за урахування простих коефіцієнтів регресії перевищення становить лише 2,38 раза.

Таблиця 1 – Модель оцінювання багатоплідності свиноматок породи ландрас

Предиктор (x)	Коефіцієнт регресії			t-критерій Стьюдента	Рівень значимості p	95,0% довірчий інтервал для b	
	Простий b (гол./гол.)	Стандартна помилка b (гол./гол.)	Стандартизований β , (s_y/s_x)			Нижня межа	Верхня межа
Константа	-6,351	6,785	-	-0,936	0,350	-19,693	6,991
Індекс середовища (поколінь), гол.	1,464	0,500	0,149	2,927	0,004	0,480	2,447

Отримані результати демонструють слабшу (порівняно з ландрасами) реакцію породи уельс у відповідь на погіршення або покращення умов. Водночас уельські свиноматки характеризуються більшою варіабельністю багатоплідності, а, отже, менш визначеним характером реакцій тварин цієї породи на зміну умов годівлі й утримання.

Як наслідок такої не надто сприятливої комбінації пластичності та стабільності, розроблена для породи уельс регресійна модель (табл. 2) виявилася статистично невірогідною ($p > 0,05$) і мала низький рівень детермінації ($R^2 = 0,003$), що обмежує її практичне використання.

Порівняльний аналіз розсіювання індивідуальних значень багатоплідності свиноматок аналізованих порід навколо ліній регресії (рис. 3, 4) наочно ілюструє відмінності між

ландрасами й уельсами щодо надійності застосування моделей залежностей багатоплідності свиноматок від індексу середовища.

Зокрема, вже візуальний аналіз графіків показує, що у свиноматок породи ландрас індивідуальні точки багатоплідності щільніше згруповані вздовж регресійної прямої, тоді як в уельсів спостерігається ширше розсіювання значень.

У процесі цього аналізу обчислено стандартні помилки оцінки багатоплідності (SE) за моделями. Встановлено, що у породи уельс SE була вищою та становила 1,492 поросят, тоді як у ландрасів – 1,387 поросят. Вищі значення SE у уельсів додатково підтверджують меншу стабільність багатоплідності свиноматок цієї породи в мінливих умовах середовища, а також більшу спонтанність реакцій індивідуумів на зовнішні фактори.

Таблиця 2 – Модель оцінювання багатоплідності свиноматок породи уельс

Предиктор (x)	Коефіцієнт регресії			t-критерій Стьюдента	Рівень значимості p	95,0% довірчий інтервал для b	
	Простий b (гол./гол.)	Стандартна помилка b (гол./гол.)	Стандартизований β , (s_y/s_x)			Нижня межа	Верхня межа
Константа	5,407	6,734	-	0,803	0,422	-7,827	18,641
Індекс середовища (покоління), гол.	0,605	0,496	0,058	1,220	0,223	-0,370	1,581

$$y = 5,407 + 0,605 * x$$

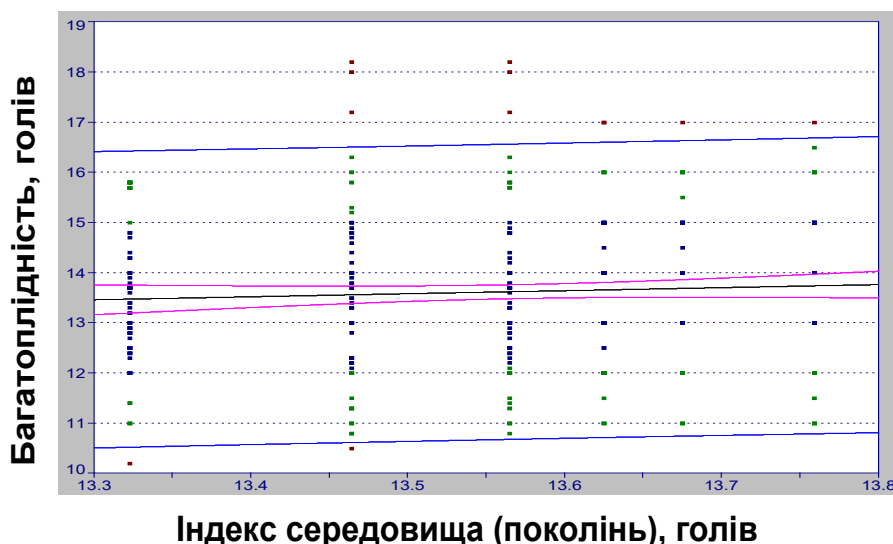


Рис. 3. Відхилення індивідуальних значень багатоплідності свиноматок породи уельс (точки) від розрахованих за моделлю (чорна лінія) із зазначенням 95 %-ого довірчого інтервалу (рожеві лінії) та 95 %-ого інтервалу передбачення (сині лінії).

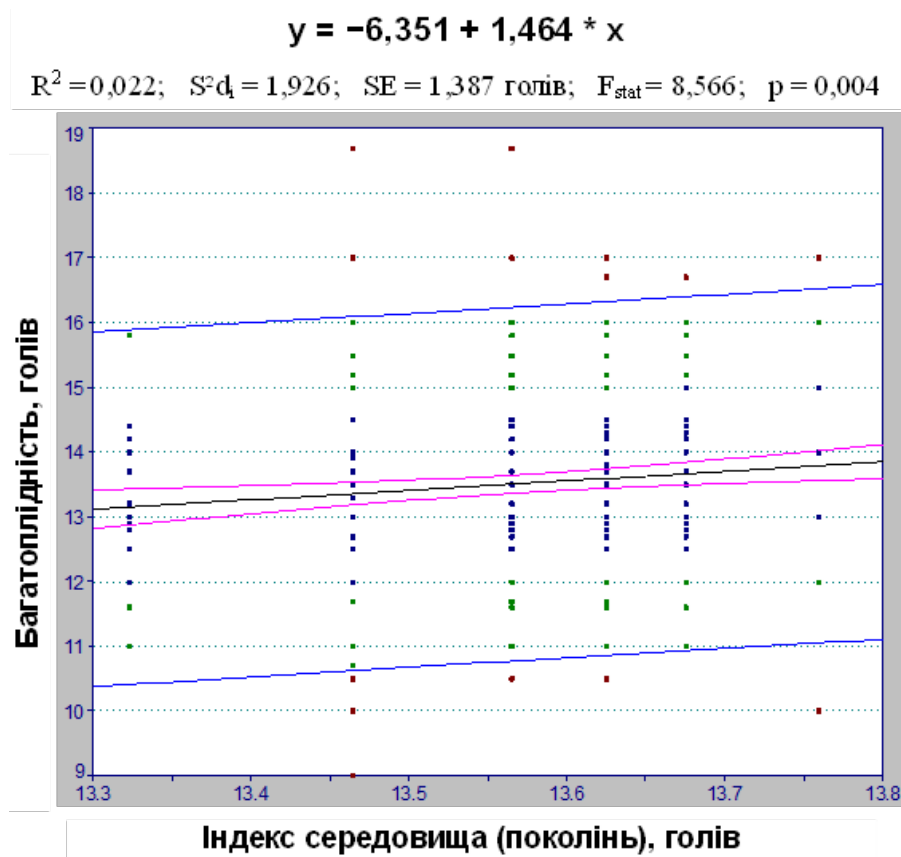


Рис. 4. Відхилення індивідуальних значень багатоплідності свиноматок породи ландрас (точки) від розрахованих за моделлю (чорна лінія) із зазначенням 95 %-ого довірчого інтервалу (рожеві лінії) та 95 %-ого інтервалу передбачення (сині лінії).

Отримані результати свідчать про суттєві відмінності у здатності свиноматок породи ландрас і уельс адаптуватися до змін умов утримання та годівлі. Вище значення коефіцієнта регресії у ландрасів ($b_i = 1,464$) свідчить про їх підвищену пластичність, тобто здатність гнучко реагувати на покращення або погіршення умов годівлі й утримання. Така характеристика є надзвичайно важливою в умовах воєнного часу, коли виробнича ситуація змінюється швидко й непередбачувано.

Натомість, свиноматки породи уельс виявили нижчу пластичність ($b_i = 0,605$), що може свідчити про більшу сталість генетично зумовленого рівня багатоплідності, однак у поєднанні з вищою залишковою дисперсією ($S^2 d_i = 2,227$) така ознака вказує радше на нестабільність і непередбачуваність реакцій свиноматок цієї породи на зміну середовища. Це підтверджується також вищим значенням стандартної помилки оцінки ($SE = 1,492$ проти $1,387$ у ландрасів), що вказує на меншу точність прогнозу багатоплідності у свиноматок породи уельс.

Порівняно вища точність і вірогідність регресійної моделі для породи ландрас ($p = 0,004$; $R^2 = 0,022$) дає змогу використовувати її для оперативного моніторингу відтворювальної здатності за зміни умов. У той же час, регресійна модель для породи уельс виявилася статистично невірогідною ($p > 0,05$), що суттєво обмежує її практичне значення.

Отримані результати узгоджуються з даними інших дослідників. Так, у проведених Camargo et al. [37] дослідженнях було показано, що свиноматки породи ландрас вирізняються високими як стабільністю, так і пластичністю продуктивної ознаки багатоплідності. Зокрема, було проведено оцінювання успадкованості та варіабельності приплоду у 2787 послідах від 893 свиноматок породи ландрас. Автори виявили низьку варіацію показника однорідності приплоду (коефіцієнт варіації приблизно 18 %), а також помірні значення успадкованості для багатоплідності ($h^2 \approx 0,09$). Висока генетична однорідність і низька внутріпослідова дисперсія свідчать про стабільну адаптацію ландрасів до різних

середовищних умов, включаючи коливання якості годівлі, мікроклімату й рівня менеджменту. Це підтверджує їхню генетичну здатність зберігати стабільно передбачуваний рівень багатоплідності в умовах виробничої нестабільності.

Наведені вище відмінності можуть бути зумовлені як генетичними особливостями порід, так і різними реакціями на стресові чинники, включно з порушеннями режимів годівлі, змінами у складі раціону, температурними коливаннями та соціальним стресом у періоди підвищеної щільності посадки. Ці чинники, за даними Bloemhof et al. [24], Beaulieu et al. [25], Le et al. [32] та Tummaruk et al. [38] здатні по-різному впливати на тварин різних порід, змінюючи прояв навіть значною мірою спадково зумовлених ознак.

З практичної точки зору, свиноматки породи ландрас демонструють кращий баланс між пластичністю та стабільністю, що дає їм змогу підтримувати вищий рівень багатоплідності навіть в умовах коливань середовища. Це дає підстави для успішного використання цієї породи або її поєднань у кросах під час формування маточного поголів'я в нестабільних виробничих умовах.

Висновки. У ході дослідження встановлено суттєві міжпородні відмінності у пластичності та стабільності багатоплідності свиноматок порід ландрас і уельс в умовах змінного середовища.

Свиноматки породи ландрас продемонстрували вищу пластичність (коефіцієнт регресії $b_1 = 1,464$) та нижчу стабільність (залишкова дисперсія $S^2d_i = 1,926$) багатоплідності, що вказує на здатність ефективно реагувати на поліпшення умов утримання та годівлі.

Встановлено, що свиноматки породи уельс характеризуються меншою чутливістю багатоплідності до змін середовища (коефіцієнт регресії $b_1 = 0,605$) порівняно з ландрасами та водночас більшою варіабельністю й нижчою передбачуваністю показників багатоплідності (залишкова дисперсія $S^2d_i = 2,227$).

Розроблено вірогідну ($p = 0,004$) регресійну модель оцінювання багатоплідності свиноматок породи ландрас на основі індексу середовища, яка описує 2,2 % мінливості вказаної відтворювальної ознаки. Ця модель може бути використана на практиці. Відповідна модель для породи уельс виявилася невірогідною ($p > 0,05$), що ускладнює її застосування.

Підвищена пластичність у поєднанні з нижчою залишковою дисперсією багатоплідності свиноматок породи ландрас забезпечує

їх адаптивну перевагу в умовах виробничої нестабільності, що є цінною характеристикою для ведення свинарства в умовах економічної та технологічної невизначеності.

Отримані результати підтверджують доцільність використання методики Ебергарт-Рассела для оцінювання адаптивних властивостей свиноматок різних порід, а також створюють основу для подальшої селекції на стійкість і продуктивність у стресогенних умовах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Fanwen Z., Shouquan Z. Impacts of sow behaviour on reproductive performance: current understanding. *Journal of Applied Animal Research*. 2023. Vol. 51. P. 256–264. DOI:10.1080/09712119.2023.2185624.
2. Use of Precision Feeding during Lactation Improves the Productive Yields of Sows and Their Piglets under Commercial Farm / M. Aparicio et al. *Conditions Animals*. 2024. Vol. 14 (19). 2863 p. DOI:10.3390/ani14192863.
3. The importance of a high feed intake during lactation of primiparous sows nursing large litters / J. Eissen et al. *Journal of animal science*. 2003. Vol. 81. P. 594–603. DOI:10.2527/2003.813594x.
4. Peltoniemi O.A., Oliviero C., Hälli O., Heinonen M. Feeding affects reproductive performance and reproductive endocrinology in the gilt and sow. *Acta Vet Scand*. 2007. Vol. 49. 6 p. DOI:10.1186/1751-0147-49-S1-S6.
5. Boyle L.A., Leonard F.C., Lynch P.B., Brophy P. Sow performance and welfare in dynamic group housing systems in comparison to stalls. *Applied Animal Behaviour Science*. 1998. Vol. 60. No 2. P. 103–115.
6. Koketsu Y., Iida R., Piñeiro C. A 20-year review of reproductive performance in sow herds: Productivity trends and future outlook. *Animal Reproduction Science*. 2013. Vol. 140. No 3–4. P. 94–111. DOI:10.1016/j.anireprosci.2013.05.004.
7. Baidoo S.K., Aherne F.X., Kirkwood R.N., Foxcroft G.R. Effect of feed intake during lactation and after weaning on sow reproductive performance. *Canadian Journal of Animal Science*. Vol. 72. No 4. 1992. P. 911–917. DOI:10.4141/cjas92-103.
8. Association of inadequate feed intake during lactation with removal of sows from the breeding herd / S.S. Anil et al. *J Swine Health Prod*. 2006. Vol. 14 (6). P. 296–301. URL: <https://www.aasv.org/shap/issues/v14n6/v14n6p296.html> (date of application: 12.07.2025).
9. Вплив умов годівлі на продуктивність молодняку свиней / Ю.В. Засуха та ін. Наукові доповіді НУБіП України. № 1 (95). 2022. URL: <https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/uk/article/view/dopovidi2022.01.012> (дата звернення: 12.07.2025).
10. Біологічні основи застосування ефекту гетерозису за породно-лінійної гібридизації та промислового схрещування у свинарстві (оглядо-

ва). Свиначство і агропромислове виробництво: міжвід. темат. наук. зб. / В.П. Шабля та ін. Інститут свиначства і агропромислового виробництва НААН. 2023. Вип. 2 (80). Полтава. С. 144–168. DOI:10.37 143/2786-7730-2023-2(80)10.

11. Шабля П.В. Оптимізація витрат і результативності гібридизації у галузі свиначства: обмеження та перспективи впровадження. Сільське господарство і зміни клімату: наукові підходи та інновації для стійкого майбутнього: міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, 16 травня 2025 р. Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН. 2025. С. 166–169. URL: <https://icsanaas.com.ua/wp-content/uploads/2025/05/36iprnik-Final.pdf> <https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/uk/article/view/dopovidi2022.01.012> (дата звернення: 12.07.2025).

12. Einarsson S., Brandt Y., Lundeheim N., Madej A. Stress and its influence on reproduction in pigs: a review. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 2008. Vol. 50. No 1. 48 p. DOI:10.1186/1751-0147-50-48.

13. Effects of group housing on sow welfare: a review / M. Verdon et al. *Journal of Animal Science*. 2015. Vol. 93. No 5. P. 1999–2017. DOI:10.2527/jas.2014-8742.

14. Відтворювальні якості свиноматок різних типів адаптації / О.М. Бордун та ін. Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. 2024. Вип. 3 (44). С. 20–27. URL: https://journals.pdu.khmelnitskiy.ua/index.php/podilian_bulletin/article/view/395 <https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/uk/article/view/dopovidi2022.01.012> (дата звернення: 12.07.2025).

15. Шабля П.В., Шабля В.П. Динаміка господарсько-корисних ознак полтавської м'ясної породи свиней. *Ветеринарія, технології тваринництва та природокористування: науково-практичний журнал*. Харків: ДБТУ, 2025. № 11. С. 19–31.

16. Вплив кортико-вегетативних механізмів регуляції на вміст лактату, пірувату та їх співвідношення у крові свиноматок / Р.В. Постой та ін. *Scientific Progress & Innovations*. 2019. Вип. 4. С. 205–211. DOI:10.31210/visnyk2019.04.26.

17. Impact of feed intake during late gestation on piglet birth weight and reproductive performance: A dose-response study performed in gilts / A.L. Mallmann et al. *Journal of Animal Science*. 2019. Vol. 97. DOI:10.1093/jas/skz017.

18. Feed intake patterns of modern genetics lactating sows: characterization and effect of the reproductive parameters / R. Francisco et al. *Porcine health management*. 2023. Vol. 9. 6 p. DOI:10.1186/s40813-022-00300-y

19. Халак В.І., Майстренко А.Н., Дімчя Г.Г. Балансуючі кормові добавки у раціоні свиноматок та поросят. *Агробізнес сьогодні*. 2021. URL: <https://agro-business.com.ua/agro-suchasne-tvarynyystvo/item/8108-balansuyuchi-kormovidobavki-u-ratsioni-svinomatok-ta-porosityat.html> (дата звернення: 12.07.2025).

20. Ткаченко Л.П., Седіло Г.М. Вплив тривало-

сті лактації, пори року, віку та породних поєднань на відтворювальні показники свиноматок. *Вісник Сумського НАУ*. 2021. № 3 (46). С. 107–120.

21. Седіло Г.М., Пундик В.П., Каплінський В.В., Тесак Г.В. Раннє відлучення поросят: переваги та проблеми. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2013. Вип. 55(2). С. 174–180. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/pgzt_2013_55\(2\)_31](http://nbuv.gov.ua/UJRN/pgzt_2013_55(2)_31) (дата звернення: 12.07.2025).

22. Мартинюк І.М., Церенюк О.М., Акімов О.В. Заплідненість та багатоплідність свиноматок залежно від кратності осіменіння і пори року. *Науково-технічний бюлетень Інституту тваринництва НААН*. № 121. 2019. С. 156–162. DOI:10.32900/2312-8402-2019-121-156-162.

23. Housing During Early Pregnancy Affects Fertility and Behaviour of Sows. Reproduction in domestic animal / C. Munsterhjelm et al. *Zuchthygiene*. 2008. Vol. 43. P. 584–591. DOI:10.1111/j.1439-0531.2007.00956.x.

24. Effect of daily environmental temperature on farrowing rate and total born in dam line sows / S. Bloemhof et al. *Journal of Animal Science*. 2013. Vol. 91 (6). P. 2667–2679. DOI:10.2527/jas.2012-5902.

25. Beaulieu A.D., Aalhus J.L., Williams N.H., Patience J.F. Impact of pig genotype and housing system on growth performance, carcass characteristics and meat quality. *Meat Science*. 2010. Vol. 85. No 2. P. 228–235. DOI:10.1016/j.meatsci.2010.01.001.

26. Plasticity of feeding behaviour traits in response to production environment (temperate vs. tropical) in group-housed growing pigs / N. Pouillet et al. *Sci Rep*. 2022. Vol. 12 (1). 847 p. DOI:10.1038/s41598-021-04752-0.

27. Chou J.Y., Parsons T.D. A systematic review of the impact of housing on sow welfare during post-weaning and early pregnancy periods. *Front Vet Sci*. 2022. Vol. 9. DOI:10.3389/fvets.2022.903822.

28. Effects of group size and floor space allowance on grouped sows: Aggression, stress, skin injuries, and reproductive performance / P. Hemsworth et al. *Journal of animal science*. 2013. Vol. 91. DOI:10.2527/jas.2012-5807.

29. Broom D., Mendl M., Zanella A. A comparison of the welfare of sows in different housing conditions. *Animal Science*. 1995. Vol. 61. P. 369–385. DOI:10.1017/S1357729800013 928.

30. Modeling and Optimal Control of Thermal Environment in Pig Houses / W. Mingxin et al. 2025. DOI:10.48550/arXiv.2506.00502.

31. Луценко А.А. Вплив багатоплідності на продуктивні й відтворювальні якості порід. *Студентський науковий вісник [МНАУ]. Сільськогосподарські науки*. 2017. Вип. 2 (13). Ч. 2. С. 141–146. URL: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/2910/1/student-researchjournal22.pdf> (дата звернення: 12.07.2025).

32. Le V., Rohmer T., David I. Impact of environmental disturbances on estimated genetic parameters and breeding values for growth traits in pigs. *Animal: an international journal of animal*

bioscience. 2022. Vol. 16 (4). 100496. DOI:10.1016/j.animal.2022.100496.

33. Гераніна Л.А. Вплив віку свиноматок на багатоплідність та масу гнізда при відлученні поросят. Зернові культури. 2020. Том 4. № 2. С. 404–409. DOI:10.31867/2523-4544/0150.

34. Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966. Vol. 6. No 1. P. 36–40.

35. Zalud L., Krupova Z. Stability of milk production and reproduction traits in dairy cattle. *Czech Journal of Animal Science*. 2014. Vol. 59. No 7. P. 293–300.

36. Wang Y., Zhang X., Zhao Y. Environmental sensitivity and production stability of laying ducks under climate change. *Poultry Science*. 2021. Vol. 100. No 7. 101090 p. DOI:10.1016/j.psj.2021.101090.

37. Genetic study of litter size and litter uniformity in Landrace pigs / E.G. Camargo et al. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2020. No 49. e20180295. DOI:10.37496/rbz4920180295.

38. Tummaruk P., Tantasuparuk W., Techakumphu M., Kunavongkrit A. Seasonal influences on the litter size at birth of pigs are more pronounced in the gilt than sow litters. *The Journal of Agricultural Science*. 2010. Vol. 148 (4). P. 421–432. DOI:10.1017/S0021859610000110.

REFERENCES

1. Fanwen, Z., Shouquan, Z. (2023). Impacts of sow behaviour on reproductive performance: current understanding. *Journal of Applied Animal Research*, Vol. 51, pp. 256–264. DOI:10.1080/09712119.2023.2185624.

2. Aparicio, M., Yeste-Vizcaíno, N., Morales, J., Soria, N., Isabel, B., Piñeiro, C., González-Bulnes, A. (2024). Use of Precision Feeding during Lactation Improves the Productive Yields of Sows and Their Piglets under Commercial Farm. *Conditions Animals*. Vol. 14 (19), 2863 p. DOI:10.3390/ani14192863

3. Eissen, J., Apeldoorn, E., Kanis, E., Verstegen, M., Greef, K. (2003). The importance of a high feed intake during lactation of primiparous sows nursing large litters. *Journal of animal science*, Vol. 81, pp. 594–603. DOI:10.2527/2003.813594x

4. Peltoniemi, O.A., Oliviero, C., Hälli, O., Heinonen, M. (2007). Feeding affects reproductive performance and reproductive endocrinology in the gilt and sow. *Acta Vet Scand*. Vol. 49, 6 p. DOI:10.1186/1751-0147-49-S1-S6

5. Boyle, L.A., Leonard, F.C., Lynch, P.B., Brophy, P. (1998). Sow performance and welfare in dynamic group housing systems in comparison to stalls. *Applied Animal Behaviour Science*. Vol. 60, no. 2, pp. 103–115.

6. Koketsu, Y., Iida, R., Piñeiro, C. (2013). A 20-year review of reproductive performance in sow herds: Productivity trends and future outlook. *Animal Reproduction Science*, Vol. 140, no. 3–4, pp. 94–111. DOI:10.1016/j.anireprosci.2013.05.004

7. Baidoo, S.K., Aherne, F.X., Kirkwood, R.N., Foxcroft, G.R. (1992). Effect of feed intake during lactation and after weaning on sow reproductive per-

formanc. *Canadian Journal of Animal Science*, Vol. 72, no. 4, pp. 911–917. DOI:10.4141/cjas92-103

8. Sukumarannair, S., Anil, L., Anil, J., Deen, Samuel K., Baidoo, Roger D. Walker. (2006). Association of inadequate feed intake during lactation with removal of sows from the breeding herd. *J Swine Health Prod*, Vol. 14 (6), pp. 296–301. Available at: <https://www.aasv.org/shap/issues/v14n6/v14n6p296.html>

9. Zasukha, Yu.V., Povochnikov, M.H., Otchenashko, V.V., Hryshchenko, S.M., Hryshchenko, N.P. (2022). Vplyv umov hodivli na produktyvnist' molodnyaku svynei [The influence of feeding conditions on the productivity of young pigs]. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy* [Scientific reports of the NUBiP of Ukraine]. no. 1 (95). Available at: <https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/uk/article/view/dopovidi2022.01.012> (In Ukrainian).

10. Shablia, V.P., Tkachenko, G.M., Tsereniuk, O.M., Shablia, P.V., Bugay, I.O., Skrypyuk, V.O. (2023). Biologichni osnovy zastosuvannya efektu heterozyosu za porodno-liniynoyi hibrydyzatsiyi ta promyslovoho skhreshchuvannya u svynarstvi (ohlyadova) [Biological bases of application of heterosis effect in breed-line hybridization and industrial crossing in pig breeding (review)]. *Svynarstvo i ahropromyslove vyrobnytstvo: mizhvidomchyy tematychnyy naukovyy zbirnyk* [Pig breeding and agro-industrial production: interdepartmental thematic scientific collection]. *Instytut svynarstva i ahropromyslovoho vyrobnytstva NAAN* [Institute of Pig Breeding and Agro-industrial Production of NAAS]. *Poltava, Issue 2* (80), pp. 144–168. DOI:10.37143/2786-7730-2023-2(80)10 (In Ukrainian).

11. Shablia, P.V. (2025). Optyimizacija vytrat i rezul'tatyvnosti gibrydyzatsii u galuzi svynarstva: obmezhenja ta perspektyvy vprovadzhennja [Optimization of costs and efficiency of hybridization in the pig industry: limitations and prospects for implementation]. *Sil'ske gospodarstvo i zminy klimatu: naukovy pidhody ta innovacii dlja stijkogo majbutn'ogo: mizhnar. nauk.-prakt. konf. molodyh vchenyh*, 16 travnja 2025 r [Agriculture and climate change: scientific approaches and innovations for a sustainable future: international scientific-practical conference of young scientists, May 16, 2025]. *Instytut klimatychno orijentovanogo sil'skogo gospodarstva NAAN* [Institute of Climate-oriented Agriculture of the National Academy of Sciences of Ukraine], pp. 166–169. Available at: <https://icsanaas.com.ua/wp-content/uploads/2025/05/36irnyk-Final.pdf> <https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/uk/article/view/dopovidi2022.01.012> (date of application: 12.07.2025). (In Ukrainian).

12. Einarsson, S., Brandt, Y., Lundeheim, N., Madej, A. (2008). Stress and its influence on reproduction in pigs: a review. *Acta Veterinaria Scandinavica*. Vol. 50, no. 1, 48 p. DOI:10.1186/1751-0147-50-48

13. Verdon, M., Hansen, C.F., Rault, J.-L., Jongman, E., Hansen, L.U., Plush, K., Hemsworth, P.H. (2015). Effects of group housing on sow welfare: a

- review. *Journal of Animal Science*, Vol. 93, no. 5, pp. 1999–2017. DOI:10.2527/jas.2014-8742
14. Bordun, O.M., Khalak, V.I., Hutyy, B.V., Il'chenko, M.O., Shaferivsky, B.S. (2024). Vidtvoryuval'ni yakosti svynomatok riznykh typiv adaptatsiyi [Reproductive qualities of sows of different types of adaptation]. *Podil's'kyi visnyk: sil's'ke hospodarstvo, tekhnika, ekonomika* [Podolskyi visnyk: agriculture, technology, economics], Issue 3 (44), pp. 20–27. Available at: https://journals.pdu.khmelnytskyi.ua/index.php/podilian_bulletin/article/view/395 (In Ukrainian).
15. Shablia, P.V., Shablia, V.P. (2025). Dynamika hospodars'ko-korysnykh oznak poltavs'koyi m"yasnoyi porody svynei [Dynamics of economic and useful traits of the Poltava meat breed of pigs]. *Veterynariya, tekhnolohiyi tvarynnystva ta pryrodokorystuvannya: naukovopraktychnyy zhurnal* [Veterinary medicine, animal husbandry technologies and nature management: scientific and practical journal], Kharkiv: DBTU, no. 11, pp. 19–31. (In Ukrainian).
16. Postoy, R.V., Karpovsky, V.I., Shostya, A.M., Usenko, S.O., Karunna, T.I., Shaferivsky, B.S. (2019). Vplyv kortyko-vehetatyvnykh mekhanizmiv rehulyatsiyi na vmist laktatu, piruvatu ta yikh spivvidnoshennya u krovi svynomatok [The influence of cortico-vegetative regulatory mechanisms on the content of lactate, pyruvate and their ratio in the blood of sows]. *Scientific Progress & Innovations*. Issue 4, pp. 205–211. DOI:10.31210/visnyk2019.04.26 (In Ukrainian).
17. Mallmann, A.L., Camilotti, E., Fagundes, D., Vier, C., Mellagi, A.P., Ulguim, R., Bernardi, M., Orlando, U., Gonçalves, M., Kummer, R., Bortolozzo, F. (2019). Impact of feed intake during late gestation on piglet birth weight and reproductive performance: A dose-response study performed in gilts. *Journal of Animal Science*, Vol. 97. DOI:10.1093/jas/skz017
18. Francisco, R., Díaz-Amor, M., Morales, G., Yuzo, J.K., Carlos, P. (2023). Feed intake patterns of modern genetics lactating sows: characterization and effect of the reproductive parameters. *Porcine health management*. Vol. 9, 6 p. DOI:10.1186/s40813-022-00300-y
19. Khalak, V.I., Maystrenko, A.N., Dimchya, H.H. (2021). Balansuyuchi kormovi dobavky u ratsioni svynomatok ta porosyat [Balancing feed additives in the diet of sows and piglets]. *Ahrobiznes s'ohodni* [Agribusiness Today]. Available at: <https://agro-business.com.ua/agro/suchasne-tvarynnystvo/item/8108-balansuyuchi-kormovi-dobavky-u-ratsioni-svinomatok-ta-porosyat.html> (date of application: 12.07.2025). (In Ukrainian).
20. Tkachenko, L.P., Sedilo, H.M. (2021). Vplyv tryvalosti laktatsiyi, pory roku, viku ta porodnykh poyednan' na vidtvoryuval'ni pokaznyky svynomatok [The influence of lactation duration, season, age and breed combinations on reproductive performance of sows]. *Visnyk Sums'koho NAU* [Bulletin of Sumy National University]. no. 3 (46), pp. 107–120. (In Ukrainian).
21. Sedilo, H.M., Pundyk, V.P., Kaplins'kyi, V.V., Tesak, H.V. (2013). Rannye vidluchennya porosyat: perevahy ta problemy [Early weaning of piglets: advantages and problems]. *Peredhirne ta hirs'ke zemlerobstvo i tvarynnystvo* [Foothill and mountain agriculture and animal husbandry]. Issue 55 (2), pp. 174–180. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/pgzt_2013_55\(2\)_31](http://nbuv.gov.ua/UJRN/pgzt_2013_55(2)_31) (date of application: 12.07.2025). (In Ukrainian).
22. Martynyuk, I.M., Tserenyuk, O.M., Akinov, O.V. (2019). Zaplidnenist' ta bahatoplidnist' svynomatok zalezho vid kratnosti osimeninnya i pory roku [Fertility and multiparity of sows depending on the number of inseminations and the season]. *Naukovo-tekhnichnyy byuleten' Instytutu tvarynnystva NAAN* [Scientific and technical bulletin of the Institute of Animal Husbandry of the NAAS]. no. 121, pp. 156–162. DOI:10.32900/2312-8402-2019-121-156-162 (In Ukrainian).
23. Munsterhjelm, C., Valros, A., Heinonen, M., Häll, O., Peltoniemi, O. (2008). Housing During Early Pregnancy Affects Fertility and Behaviour of Sows. *Reproduction in domestic animals. Zuchthygiene*, Vol. 43, pp. 584–591. DOI:10.1111/j.1439-0531.2007.00956.x
24. Bloemhof, S., Mathur, P. K., Knol, E. F., Van der Waaij, E. H. (2013). Effect of daily environmental temperature on farrowing rate and total born in dam line sows. *Journal of Animal Science*, Vol. 91 (6), pp. 2667–2679. DOI:10.2527/jas.2012-5902
25. Beaulieu, A.D., Aalhus, J.L., Williams, N.H., Patience, J.F. (2010). Impact of pig genotype and housing system on growth performance, carcass characteristics and meat quality. *Meat Science*. Vol. 85. No. 2. pp. 228–235. DOI: 10.1016/j.meatsci.2010.01.001
26. Pouillet, N., Rauw, W. M., Renaudeau, D., Riquet, J., Giorgi, M., Billon, Y., Gilbert, H., Gourdiere, J.L. (2022). Plasticity of feeding behaviour traits in response to production environment (temperate vs. tropical) in group-housed growing pigs. *Sci Rep*. Vol. 12 (1), 847 p. DOI:10.1038/s41598-021-04752-0.
27. Chou, J.Y., Parsons, T.D. (2022). A systematic review of the impact of housing on sow welfare during post-weaning and early pregnancy periods. *Front Vet Sci*, Vol. 9. DOI:10.3389/fvets.2022.903822
28. Hemsworth, P., Rice, M., Nash, J., Giri, K., Butler, K., Tilbrook, A.J., Morrison, R. (2013). Effects of group size and floor space allowance on grouped sows: Aggression, stress, skin injuries, and reproductive performance. *Journal of animal science*, Vol. 91. DOI:10.2527/jas.2012-5807
29. Broom, D., Mendl, M., Zanella, A. (1995). A comparison of the welfare of sows in different housing conditions. *Animal Science*. Vol. 61, pp. 369–385. DOI:10.1017/S1357729800013928

30. Mingxin, W., Groot, J.Z., Koerkamp, P.W.G., Aarnink, P., Congcong, A.S. (2025). Modeling and Optimal Control of Thermal Environment in Pig Houses. DOI:10.48550/arXiv. 2506.00502

31. Lutsenko, A.A. (2017). Vplyv bahatoplidnosti na produktyvni y vidtvoryuval'ni yakosti porid [The influence of multiplicity on the productive and reproductive qualities of breeds]. Student-s'kyi naukovy visnyk [MNAU] [Student Scientific Bulletin [MNAU]. Sil's'kohospodars'ki nauky [Agricultural Sciences]. Issue 2 (13), Part 2, pp. 141–146. Available at: <https://dspace.mnau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/2910/1/studentresearchjournal22.pdf> (In Ukrainian).

32. Le, V., Rohmer, T., David, I. (2022). Impact of environmental disturbances on estimated genetic parameters and breeding values for growth traits in pigs. *Animal: an international journal of animal bioscience*, Vol. 16 (4), 100496. DOI:10.1016/j.animal.2022.100496

33. Heranina, L.A. (2020). Vplyv viku svynomatok na bahatoplidnist' ta masu hnzda pry vidluchen-ni porosyat [The influence of sow age on multiparity and litter weight at weaning of piglets]. *Zernovi kul'tury [Cereal crops]*. Vol. 4, no. 2, pp. 404–409. DOI:10.31867/2523-4544/0150 (In Ukrainian).

34. Eberhart, S.A., Russell, W.A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. Vol. 6, no. 1, pp. 36–40.

35. Zalud, L., Krupova, Z. (2014). Stability of milk production and reproduction traits in dairy cattle. *Czech Journal of Animal Science*, Vol. 59, no. 7, pp. 293–300.

36. Wang, Y., Zhang, X., Zhao, Y. (2021). Environmental sensitivity and production stability of laying ducks under climate change. *Poultry Science*, Vol. 100, no. 7, 101090 p. DOI:10.1016/j.psj.2021.101090

37. Camargo, E.G., Bergsma, R., Mathur, P.K., Lopes, P.S., Knol, E.F. (2020). Genetic study of litter size and litter uniformity in Landrace pigs. *Revista Brasileira de Zootecnia*, no. 49: e20180295. DOI:10.37496/rbz4920180295

38. Tummaruk, P., Tantasuparuk, W., Techakumphu, M., Kunavongkrit, A. (2010). Seasonal influences on the litter size at birth of pigs are more pronounced in the gilt than sow litters. *The Journal of Agricultural Science*, Vol. 148 (4), pp. 421–432. DOI:10.1017/S0021859610000110

Plasticity and stability of prolificacy in Landrace and Welsh sows under different feeding and housing conditions

Shablia P., Shablia V.

This article presents the results of a study on the adaptive capacity of Landrace and Welsh sows to variable feeding and housing conditions in an unstable production environment. The aim of the study was to assess the plasticity and stability of sow prolificacy using regression analysis based on the Eberhart-Russell method. Prolificacy of sows over six generations was used as an environmental index. The study used data on the reproductive capacity of 822 sows, which, during their breeding period, were subject to fluctuations in feeding, housing conditions, microclimate, and level of care.

The analysis revealed that Landrace sows are characterized by higher plasticity ($b_1 = 1.464$) and lower residual variance ($S^2d_i = 1.926$) compared to the Welsh breed. And therefore they have lower variability and greater stability of prolificacy. The regression model for the Landrace breed was statistically significant ($p = 0.004$), confirming its reliability and predictive value in assessing adaptive traits. In contrast, Welsh sows showed a lower plasticity coefficient ($b_1 = 0.605$), higher residual variance ($S^2d_i = 2.227$), and a statistically insignificant regression model ($p > 0.05$), which complicates the practical application of this model for prediction.

The results are consistent with previous findings on the genetic determination of adaptive responses in pigs of different breeds. The Landrace breed showed a better balance between reactivity to environmental changes and stability of reproductive function, which makes it promising for use in unstable or stressful conditions. The obtained data can be used in breeding work to produce adapted breeding stock with increased prolificacy under unpredictable changes in feeding and housing conditions.

Keywords: sows, prolificacy, stability, plasticity, feeding, housing, Landrace breed, Welsh breed.



Copyright: Шабля П.В., Шабля В.П. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Шабля П.В.

Шабля В.П.

<https://orcid.org/0009-0006-1248-9925>

<https://orcid.org/0000-0001-6510-5397>

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА І ПЕРЕРОБКИ ПРОДУКЦІЇ ТВАРИННИЦТВА

УДК 639.3.082.2(477)

Селекційні досягнення у рибництві України
(минуле, сучасне)Почукалін А.Є. 

Інститут розведення і генетики тварин імені ім. М.В. Зубця НААН України



Почукалін А.Є. E-mail: poanye@ukr.net



Почукалін А.Є. Селекційні досягнення у рибництві України (минуле, сучасне). Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2025. № 2. С. 50–60.

Pochukalin A. Selective Breeding Achievements in Ukrainian Aquaculture: Past and Present. «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2025. № 2. PP. 50–60.

Рукопис отримано: 01.05.2025 р.

Прийнято: 14.05.2025 р.

Затверджено до друку: 27.11.2025 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2025-198-2-50-60

Створення нових популяцій – процес актуальний, оскільки змінюються соціально-економічні та природні умови, удосконалюються технології утримання і годівлі. Тому постійно ведеться пошук бажаних генотипів, які відповідають сучасним викликам. Українська селекція у тваринництві має довгу історію, завдяки чому затверджувались нові породи, які за показниками продуктивності не поступалися закордонним. Метою досліджень був аналіз селекційних досягнень у рибництві і ставовому коропа вівництві зокрема. Для цього як першоджерело використано нормативно-правові акти та джерелознавчий метод. Оцінювання селекційних досягнень проводили за даними динаміки племінного поголів'я згідно Державного племінного реєстру (нині Державний реєстр суб'єктів племінної справи у тваринництві) протягом 2002 ... 2023 років. В Україні селекційний процес удосконалення коропа розпочався у 30-х роках ХХ-го століття за керівництва А.І. Кузьми Українським науково-дослідним інститутом рибного господарства (нині Інститут рибного господарства НААН). Створені дві породи коропа, зокрема український лускатий і український рамчастий, які у сучасних реаліях не втратили перспективності для виробництва. Завдяки широкій мережі рибних господарств за безпосередньої участі профільних науково-дослідних інститутів створено сучасну генеалогічну структуру українських рамчастих та лускатих форм коропа. В українській лускатій породі апробовано і затверджено наступні внутрішньопородні типи – нивківський (поліське та лісостепову відгалуження), любінський (миколаївське та любінське відгалуження), антонінсько-зозуленецький, несвицький, а в українській рамчастій породі – відповідно любінський, малолускатий (нивківська, лебединська, закарпатська заводські лінії), антонінсько-зозуленецький, галицький та несвицький. Сьогодні племінна база лускатої та рамчастої форм коропа становить 6 та 8 господарств, в яких утримується відповідно 4023 та 4261 голів риби.

Ключові слова: коропа, селекційні досягнення, породи, внутрішньопородні типи, заводські лінії, чисельність, самки, самці, селекційні ознаки.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Селекційні досягнення у тваринництві і рибництві зокрема є невід'ємною ланкою апробації тварин, які значно переважають попередні покоління за показниками

продуктивності та мають нові генетичні ознаки, що стійко успадковуються. Створення порід, зональних типів, заводських ліній і родин стало можливим завдяки програмам виведення, цільовим стандартам, які розроблено

авторськими колективами провідних наукових установ за безпосередньої участі базових суб'єктів господарювання.

У рибистві селекційне досягнення підлягає апробації за умови перевищення показників порівняно з нормативами: зимостійкість на першому році життя – 5–7 %; продуктивність цьоголіток – 7–10 %; плодючість – 10 %; затрати корму на одиницю приросту маси цьоголіток – нижче 10 %; позитивна реакція самок на гормональну стимуляцію (не нижче 90 %). Селекційні досягнення у тваринництві реєструється відповідно до Положення у Державному реєстрі селекційних досягнень у тваринництві. До Державного реєстру селекційних досягнень у тваринництві включено внутрішньопородні типи і заводські лінії української лускатої та української рамчастої порід коропів [1, 2].

Слід зазначити, що сучасна генеалогічна структура українських коропів – це результат багаторічної праці науковців провідних установ. Так, якщо не брати до уваги, що перші породи коропів виведено у Західній Європі приблизно чотири століття тому, в Україні селекційний процес удосконалення коропа розпочався у 30-х роках ХХ-го століття за керівництва А.І. Кузьоми Українським науково-дослідним інститутом рибного господарства (Інститут рибного господарства НААН) [3]. Зазначена наукова робота продовжується у рамках серії праць з аналізу та сучасного стану селекційних досягнень у тваринництві [4, 5].

Мета дослідження. Встановити хронологічно селекційні досягнення у рибистві України, а також проаналізувати минулий і сучасний стан українських порід коропів.

Матеріал і методи дослідження. На основі нормативно-правових актів та за використанням джерелознавчого методу було визначено основні напрями селекційно-племінної роботи з українськими породами коропів. Оскільки підставою для визнання селекційного досягнення у тваринництві є мінімальна чисельність тварин, за основу розвитку та перспектив вже апробованих і затверджених генеалогічних формувань українських порід коропів було взято показник наявності племінного поголів'я відповідно до Державного племінного реєстру (нині Державний реєстр суб'єктів племінної справи у тваринництві) за 2002–2023 роки.

Результати дослідження та обговорення. Як відомо, предком ставового коропа в Європі є дикий сазан (європейсько-кавказький підвид), який пройшов тривалий шлях domestикації під впливом комбінаційної та

мутаційної мінливості. Галичина стала місцем, де у XIV ст. виведено дзеркального коропа, який у подальшому отримав назву галицький [6].

Українську лускату породу коропа затверджено наказом Державного комітету по рибному господарству № 45 від 11 березня 1963 року. Автори породи – О. І. Кузьома, В. Л. Рошук, В. О. Кононов, С. І. Гриневич, С. І. Яроцький, А. А. Божок, А. Я. Бошовець. Породу створено методом відтворювального схрещування малолускатих і лускатих коропів галицького походження за покращених умов утримання. На час породовипробування лускаті коропи переважали галицьких за темпом росту на 17 %, виходом з нагулу – на 24 % та добре використовували природну кормову базу. Покрив риб суцільний лускатий з правильними рядами луски і нагадує сазана. Оскільки лускатий короп мав вищу пошукову здатність порівняно з рамчастим, добре використовував природну кормову базу, його рекомендували для екстенсивного рибиства. Станом на 1 січня 1996 року загальна чисельність української лускатої породи коропа становила 15 тис. гнізд плідників та 100 тис. ремонтного молодняку [3, 7].

За даними Державного реєстру (ДР), протягом 2002 ... 2023 років чисельність племінного поголів'я української лускатої породи коропа мала коливальний характер (рис. 1). Так, з 2004 року відмічено збільшення поголів'я до 2009 року (пік) зі стрімким зменшенням до 2012 року. Саме у період з 2007 року до 2010 року відмічено найбільшу (від 10 до 13) кількість племінних статусів даної породи. Надалі це значення мало стабільний характер і станом на 2023 рік становило 6 племінних репродукторів у Київській, Одеській, Харківській, Черкаській та Чернігівській областях. Останній племінний завод датовано 2017 роком – ПАТ «Донрибкомбінат» Донецької області, у якому утримувалось 159 голів, у тому числі 73 самки.

Українську рамчасту породу коропів затверджено наказом Державного комітету по рибному господарству № 45 від 11 березня 1963 року. Автори породи – О. І. Кузьома, В. Л. Рошук, В. О. Кононов, С. І. Гриневич, С. І. Яроцький, А. А. Божко, А. Я. Бошовець. Породу створено методом відтворювального схрещування малолускатих і лускатих коропів галицького походження з подальшою селекцією рамчастих форм. Дзеркальні луски утворюють своєрідну «рамку», яка проходить уздовж спини, біля голови і плавців. Селекцію з цієї породою проводили на ефективне

використання штучних кормів за ущільненої посадки. Її рекомендували для інтенсивного ставового рибництва.

Надалі, у процесі інтенсифікації рибництва, відмінності між українськими породами короїв зменшувались, оскільки застосовувались спільні напрями селекції, що спричинило їх використання на кормових сумішах за ущільненої посадки. Чисельність племінної частини української рамчастої породи коропа на 1 січня 1996 року становила 8761 гніздо та 108 тис. ремонтного молодняку [3, 8].

Активна частина популяції рамчастої породи коропа за характером динаміки поголів'я на ранніх етапах дослідження схожа з лускатою породою (рис. 2). Відмічено його збільшення з 2004 року (хоча і не таке стрімке) до 2009 року. Далі спостерігається стабільне незначне зменшення до 2016 року з подальшим збільшенням. Нині поголів'я становить понад 4 тис. голів. Зазначене поголів'я сконцентровано у 8 племінних репродукторах 6-ти (Київської, Львівської, Одеської, Харківської, Черкаської та Чернігівської) областей України.

Наказ № 201 від 27.06.1996 року «Про виведення *нивківського внутрішньопородного типу* коропа лускатої породи» (акт про результати апробації типу від 17 листопада 1995 року). Оригінатори – Інститут рибного господарства УААН та ДГ «Нивка» ІРГ УААН. Автори селекційного досягнення – Томіленко В.Г., Кучеренко А.П. Структурні формування: поліське і лісостепове відгалуження. Марки типу НЛК. Чисельність на момент апробації нивківського ВТ української лускатої породи коропа становила 1896 гнізд плідників [9].

У чотири етапи методом ввідного схрещування української лускатої та ропшинського короїв було створено нивківський внутрішньопородний тип (ВТ). Він вирізняється високою технологічністю та зимостійкістю [10].

Піковими періодами з утримання максимальної кількості племінних риб нивківського типу можна вважати 2013 та 2022 роки з чисельністю понад 1000 голів (рис. 3). За досліджуваний період селекційно-племінну роботу проводили 6 господарств (2007 рік, 2009–2011 роки). Сучасний стан внутрішньопородного типу – це 4 господарства, у тому числі 2 племінні заводи Київської та Сумської та 2 племінні репродуктори Одеської та Черкаської областей.

Наказ № 52 від 29.01.1999 року «Про виведення *любінського рамчастого та любін-*

ського лускатоного внутрішньопородного типу української рамчастої породи коропа» (апробація типів від 16 вересня 1997 року №39/9/9). Оригінатори: Інститут рибного господарства УААН та Львівське відділення ІРГ «Великий Любін». Авторам селекційного досягнення: Борис В. Ю., Гринжевський М. В., Грициняк І. І., Ковальчук О. М., Сярий Б. Г., Томіленко В. Г., Тучапський Я. В. Структурні формування: любінське та миколаївське відгалуження. Марки типів: ЛРК (любінський ВТ рамчастої породи коропа), ЛЛК (любінський ВТ лускатої породи коропа)

На момент апробації чисельність любінського ВТ української рамчастої та української лускатої порід короїв становила відповідно 378 гнізд плідників і 2257 екземплярів ремонтного молодняку старших вікових груп та 513 гнізд плідників та 2877 екземплярів. Основними селекційними ознаками є плодючість плідників – 143,9 та 166,8 %, продуктивність – 38,9 та 143,4 %, економія корму – 23,4 та 6,5 % відповідно [11].

Любінський внутрішньопородний тип лускатої та рамчастої форм створено у західних областях України. Робота проводилась на базі дослідного господарства «Великий Любін» Львівського відділення Інституту рибного господарства УААН з 1969 року. Було залучено плідників рамчастого та лускатоного короїв городоцького масиву несвицького зонального типу та ропшинської породної групи. Формування бажаних генотипів проводили за допомогою складного відтворного схрещування [12, 13].

За даними Державного реєстру протягом 2002–2006 років у динаміці любінського внутрішньопородного типу української лускатої породи коропа відбулось два пікових збільшення чисельності племінного поголів'я, яке у подальшому мало стабільний характер з незначними коливаннями (рис. 4).

Нині популяція не перевищує 700 голів і сконцентрована у племінному заводі (ДП «ДГ Львівської ДС Інституту рибного господарства НААН») та двох репродукторах Львівської та Чернівецької областей.

Поголів'я любінського внутрішньопородного типу української рамчастої породи коропа за досліджуваний період не перевищувало 2 тисячі голів, але й не зменшувалось нижче 1 тисячі (виняток 2003 та 2004 роки) (рис. 5). Найбільшу кількість самок зафіксовано у 2006 році самців – у 2012 році.

За 2023 рік ВТ розміщено у 6 господарствах Львівської, Одеської, Рівненської та Чернівецької областей.

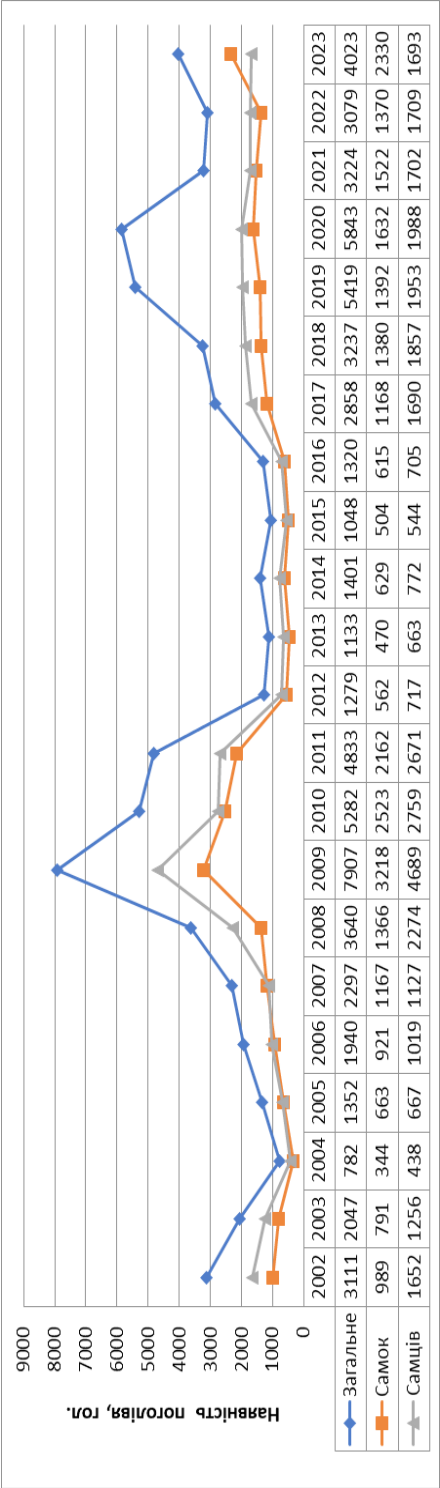


Рис. 1. Динаміка племінного поголів'я української лускатої породи корона.

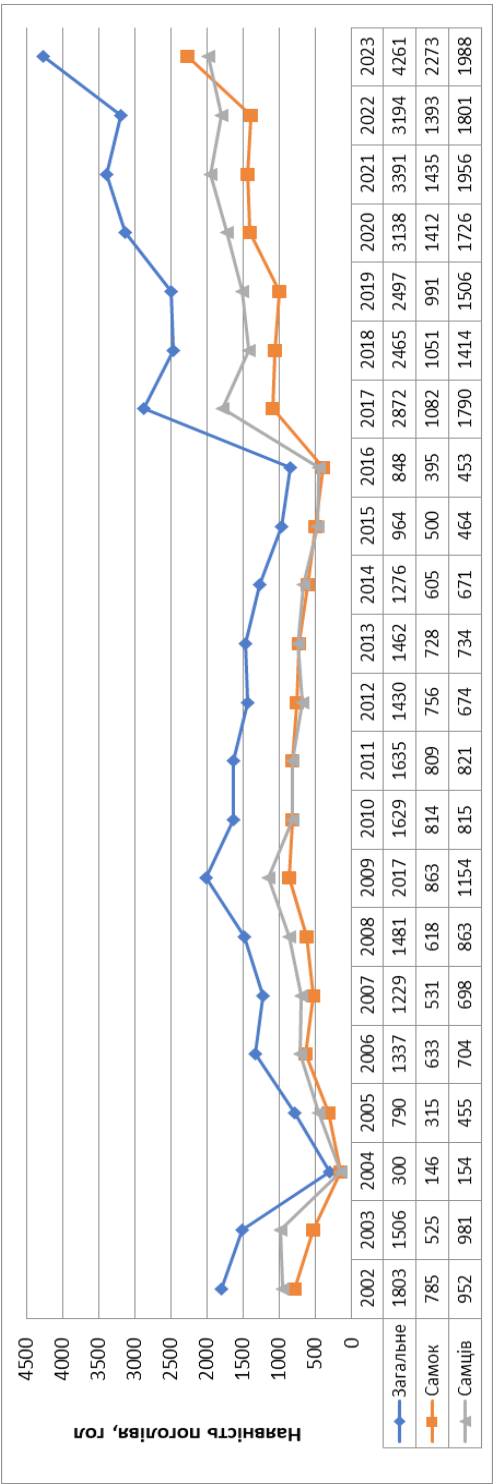


Рис. 2. Динаміка племінного поголів'я української рамчатої породи корона.

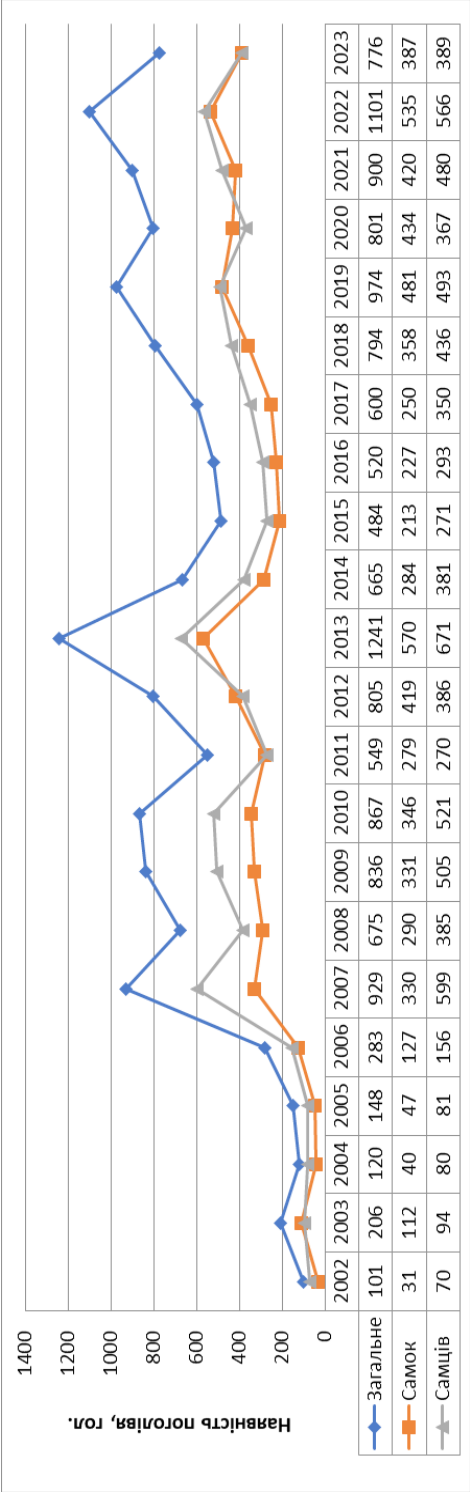


Рис. 3. Динаміка поголів'я нивківського внутрішньопородного типу української лускатої породи коропи.

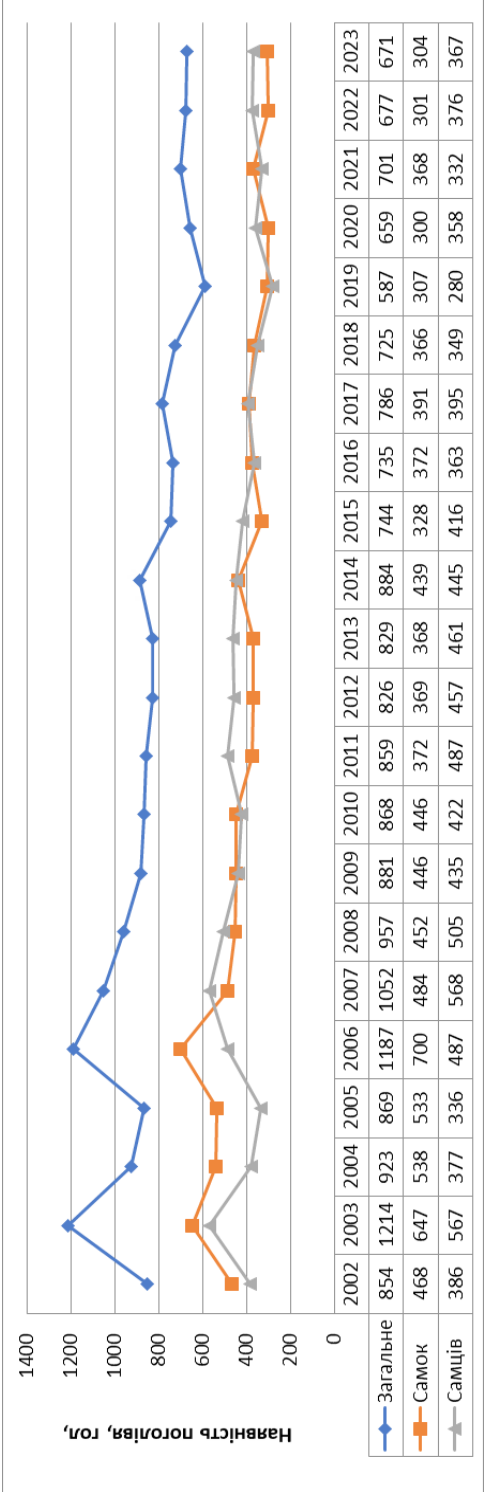


Рис. 4. Динаміка поголів'я любінського внутрішньопородного типу української лускатої породи коропи.

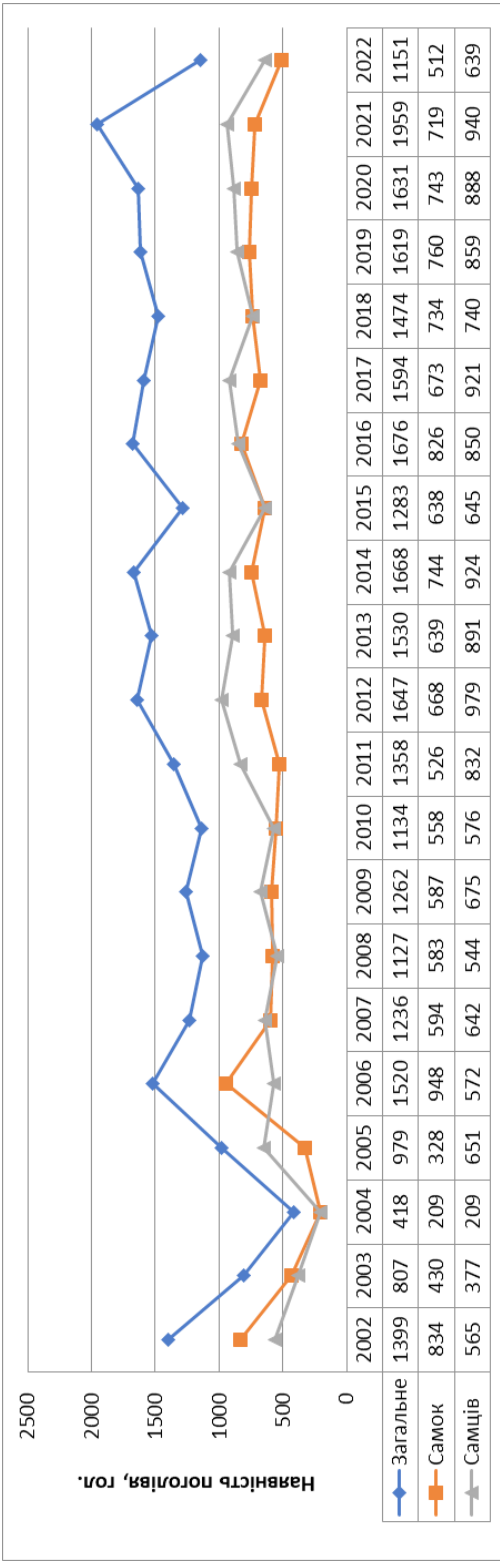


Рис. 5. Динаміка поголів'я любінського внутрішньопородного типу української рамчастої породи коропи.

Наказ № 24/4 від 27.01.2010 року «Про затвердження *малолускатого внутрішньопородного типу* української рамчастої породи коропа» (експертна комісія затверджена від 17 березня 2008 року). Оригінатори: Інститут рибного господарства УААН. Автори селекційного досягнення: Бех В. В., Кучеренко А. П., Томіленко В. Г., Гринжевський М. В., Грициняк І. І., Павліщенко В. М., Осіпенко М. І., Шапошник В. Г., Олексик В. І., Марценюк В. П. Структурні формування: нивківська, лебединська, закарпатська заводські лінії. Марки типу МК.

Чисельність на момент апробації малолускатого ВТ української рамчастої породи коропа становила 756 гнізд плідників і понад 5000 екземплярів ремонтного молодняку старших вікових груп. За зимостійкістю перевага однорічок нового селекційного становила до 14 %, за рибопродуктивністю – від 28,9 до 42,4 % [14].

Створення ВТ розпочалось у 1993 році на базі дослідного господарства «Нивка» схрещуванням української рамчастої породи коропа з румунською рамчастою породою фресинет та подальшим схрещуванням помісних форм (нивківська заводська лінія). На базі ВАТ «Лебединська РМС» у 1999 році розпочато схрещування отриманих помісних форм у різних поєднаннях, що у подальшому стало основою створення лебединської заводської лінії.

Роботу зі створення закарпатської заводської лінії проводили у ВАТ «Закарпатський рибокомбінат», де схрещували помісні форми F1 з плідниками любінського ВТ рамчастої породи коропа [15, 16].

Щодо наявного племінного поголів'я формувань української рамчастої породи коропа, лебединська заводська лінія у 2009 та 2010 роках, згідно з Державним реєстром суб'єктів племінної справи у тваринництві, було представлено двома господарствами Дніпропетровської та Сумської областей з відповідними показниками 410 голів, у тому числі 180 самок та 230 самців.

У подальшому і дотепер їх кількість становить 150 голів, у тому числі 50 самок та 100 самців ТОВ «Лебединська РМС» Сумської області. Селекційну роботу з закарпатською заводською лінією проводили протягом 2009–2018 років у ПАТ «Закарпатський рибокомбінат». Чисельність лінії за цей час не перевищувала 90 голів (45 самок та 45 самців). Удосконаленням нивківської заводської лінії займаються племінний завод ДП ДГ «Нивка» ІРГ НААН України (Київська обл.) племінний репродуктор ДП Іркліївський рибороз-

плідник (Черкаська обл.). З 2009 до 2023 року чисельність нивківської заводської лінії не перевищувала 261 голову (159 самок та 102 самці). У 2023 р. поголів'я лінії становило 182 гол. (109 самок та 73 самці).

Наказ № 24 від 06.01.2021 року «Про затвердження *антонінсько-зозуленецьких внутрішньопородних типів* української рамчастої та української лускатої порід коропа» (акт рішення експертної комісії Мінагрополітики з проведення апробації від 29 жовтня 2020 року). Оригінатори: ПАТ Хмельницьке виробниче сільськогосподарсько-рибоведине підприємство» Хмельницької, ТОВ «Рибне господарство «Меркурій» Вінницької областей. Автори селекційного досягнення: Олексієнко О. О., Грициняк І. В., Бех В. В., Тарасюк С. І., Осіпенко М. І., Оборський В. П.

Основні селекційні ознаки: плодючість у віці 6–8 років – 700–1000 тис. ікринок, продуктивність цьоголіток – 39,3–58,6 г, затрати корму на одиницю приросту маси цьоголіток – 3,2 к. од., зимостійкість на першому році життя – 85,3 %, позитивна реакція самок на гормональну стимуляцію – 95 % [17].

Схемою створення внутрішньопородного типу передбачалось застосувати метод відтворного схрещування на місцевих коропів Антонінського держрибзаповідника (ВАТ «Хмельницькрибгосп») з дзеркальним галицьким. У результаті отримано генотипи, які несли 50 % «частки крові» місцевих коропів та 50 % галицького коропа [18–20].

Антонінсько-зозуленецький ВТ лускатої форми представлено племінним репродуктором ПАТ «Хмельницькрибгосп» Хмельницької області, де у 2022 та 2023 роках утримувалось відповідно 296 гол (98 самок та 198 самців) та 236 гол. (102 самки та 134 самці). Рамчаста форма цього типу зосереджена у зазначеному вище господарстві Хмельницької області та племінному репродукторі ТОВ «Рибне господарство «Меркурій» Вінницької області з загальним поголів'ям у 2023 році 533 гол., у тому числі 218 самок.

Наказ № 377 від 23.11.2021 року «Про затвердження *галицького внутрішньопородного типу* української рамчастої породи коропа» (акт рішення експертної комісії Мінагрополітики з проведення апробації від 24 вересня 2021 року). Оригінатори: Інститут рибного господарства НААН України, ТОВ «СФГ «Джерела» Рівненської, ДП ДГ Львівської дослідної станції ІРГ НААН України Львівської областей. Автори селекційного досягнення: Стрілецький О. І., Грициняк І. І., Ткачук В. Л., Гурбик В. В., Тучапський Я. В., Куріненко Г. А., Черник Ю. П.

Основні селекційні ознаки: плодючість у віці 6–8 років – 1181 тис. ікринок, продуктивність цьоголіток – 100 г, затрати корму на одиницю приросту маси цьоголіток – 3 к. од., зимостійкість на першому році життя – 87 %, позитивна реакція самок на гормональну стимуляцію – 92 % [21].

Сучасний стан племінної бази галицького внутрішньопородного типу української рамчастої породи зосереджено у племінному репродукторі СФГ «Короп» Львівської області, де у 2022 та 2023 роках відповідно їх чисельність становила 275 голів (85 самок та 190 самців) та 360 голів (120 самок та 240 самців).

Наказ № 1753 від 04.10.2023 року «Про затвердження *несвицького рамчастого та несвицького лускатого внутрішньопородних типів* української рамчастої та української лускатої порід коропа» (акт рішення експертної комісії Мінагрополітики з проведення апробації від 07 вересня 2023 року). Оригінатори: Інститут рибного господарства НААН України, ТОВ «Карпатський водограй», ДП ДГ Львівської дослідної станції ІРГ НААН України. Автори селекційного досягнення: Грициняк І. В., Куріненко Г. А., Черник Ю. П., Попик Л. П.

Основні селекційні ознаки: плодючість у віці 6–8 років – 600–1100 тис. ікринок, продуктивність цьоголіток – 39,3–58,6 г, затрати корму на одиницю приросту маси цьоголіток – 3,2 к. од., зимостійкість на першому році життя – 85,6 %, позитивна реакція самок на гормональну стимуляцію – 95 % [22].

Створення несвицького ВТ лускатої і рамчастої форми відбувалось у рибгоспі «Несвич» Волинського облрибкомбінату Волинської області. Завдяки складному відтворювальному схрещуванню антонінсько-зозуленецького типу української рамчастої та української лускатої та дзеркальних галицьких коропів було створено стадо, у якому поєднувалось 75 % галицького коропа та 25 % антонінсько-зозуленецького типу української лускатої породи [3].

Висновки. Селекційні досягнення у рибництві України представлено генеалогічними формуваннями української лускатої та української рамчастої порід коропа. Апробаційний процес та їх затвердження охоплює період з 1996 до 2023 року. За цей час затверджено в українській лускатій породі коропа – нивківський (1996 рік затвердження), любінський (1999 рік), антонінсько-зозуленецький (2021 рік) та несвицький (2023 рік) внутрішньопородні типи, а в українській рамчастій породі

– любінський (1999), малолускатий (2010 р.), антонінсько-зозуленецький (2021 рік), галицький (2021 рік) та несвицький (2023 рік).

Сучасну племінну базу української лускатої породи коропа представлено 6 господарствами, у яких утримують 4023 голови, у тому числі 2330 самок та 1693 самця. Удосконалення продуктивних ознак української рамчастої породи коропа проводиться у 8 господарствах на поголів'ї 4261 голова, у тому числі 2273 самки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Про затвердження положень щодо проведення апробації та реєстрації селекційних досягнень у тваринництві: наказ № 385 від 02.07.2012 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1217-12#Text>
2. Положення про Державний реєстр селекційних досягнень у тваринництві. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1218-12#Text>
3. Краснопольська О. В. Селекція, як основний напрямок наукових досліджень та основні етапи селекційно-племінної роботи в Україні (огляд). Рибогосподарська наука України. 2021. 4. С. 115–131. DOI:10.15407/fsu2022. 04.115
4. Почукалін А. Є., Прийма С. В., Романова О. В. Селекційні досягнення України (минуле, сучасне): породи, типи і лінії сільськогосподарських тварин. Розведення і генетика тварин. 2024. Вип. 67. С. 140–163. DOI:10.31073/abg. 67.14
5. Почукалін А. Є. Племінні ресурси України у бджільництві: здобутки та сучасність. Бджільництво України. 2024. Вип. 12. С. 78–82. DOI:10.46913/beekeepingjournal.2024.12.10
6. Томіленко В. Г., Бех В. В., Олексієнко О. О., Павліщенко В. М. Структуризація українських порід коропа. Рибогосподарська наука України. Київ, 2012. 2. 83–87.
7. Томіленко В. Г., Кучеренко А. П. Українська луската порода коропа. Племінні ресурси України. Київ: Аграрна наука, 1998. С. 261–262.
8. Томіленко В. Г., Кучеренко А. П. Українська рамчаста порода коропа. Племінні ресурси України. Київ: Аграрна наука, 1998. С. 266–267.
9. Про виведення нивківського внутрішньопородного типу коропа української лускатої породи: наказ № 201 від 27.06.1996 року.
10. Томиленко В., Кучеренко А., Кучер М. Нивківський внутрішньопородний тип коропа української лускатої породи. Тваринництво України. 1996. № 6. С. 7–8.
11. Про виведення любінського рамчастого та любінського лускатого внутрішньопородних типів української рамчастої та української лускатої порід коропа: наказ № 52 від 29.01.1999 року.
12. Виведення нових внутрішньопородних типів коропа української рамчастої та української лускатої порід / В. Г. Томіленко та ін. Науковий вісник національного аграрного університету. Київ, 2000. Вип. 21. С. 165–166.

13. Олексієнко О.О., Грициняк І.І. Внутрішньопорідна структура українських короїв. Рибогосподарська наука України. Київ, 2007. 1. С. 21–27.

14. Про затвердження малолускатого внутрішньопородного типу української рамчастої породи коропа: наказ № 24/4 від 27.01.2010 року.

15. Бех В.В. Схема схрещування та методичні підходи при виведенні нового типу малолускатого коропа української рамчастої породи. Рибогосподарська наука України. Київ, 2008. 3. С. 76–81.

16. Бех В.В., Грициняк І.І. Малолускатий короп — аналіз основних результатів досліджень та селекційної роботи. Рибогосподарська наука України. Київ, 2011. 4. С. 94–98.

17. Про затвердження антонінсько-зозуленецьких внутрішньопородних типів української рамчастої та української лускатої порід коропа: наказ № 24 від 06.01.2021 року.

18. Роль антонінсько-зозуленецького коропа в селекційно-племінній справі України (огляд) / В.П. Оборський та ін. Рибогосподарська наука України. Київ, 2022. 3. С. 31–52. DOI:10.15407/fsu2022.03.031

19. Куріненко Г.А., Куць У.С., Остапчук М.С., Юрчак С.Ю. Антонінсько-зозуленецький внутрішньопородний тип українських порід коропа як перспективна ланка аквакультури Прикарпаття. Рибогосподарська наука України. Київ, 2024. 3. С. 82–93. DOI:10.61976/fsu2024.03.082

20. До питання апробації антонінсько-зозуленецьких короїв українських порід / О.О. Олексієнко та ін. Рибогосподарська наука України. Київ, 2015. 4. С. 65–77. DOI:10.15407/fsu2015.04.065

21. Про затвердження галицького внутрішньопородного типу української рамчастої породи коропа: наказ № 377 від 23.11.2021 року.

22. Про затвердження несвицького рамчастого та несвицького лускатого внутрішньопородних типів української рамчастої та української лускатої порід коропа: наказ № 1753 від 04.10.2023 року.

REFERENCES

1. Pro zatverdzhennia polozhen shchodo provedennia aprobatsii ta reiestratsii selektsiinykh dosiahnen u tvarynnytstvi: nakaz № 385 vid 02.07.2012 roku [On approval of the provisions on the testing and registration of breeding achievements in animal husbandry: Order No. 385 of 02.07.2012.]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1217-12#Text> (In Ukrainian).

2. Polozhennia pro Derzhavnyi reiestr selektsiinykh dosiahnen u tvarynnytstvi [Regulations on the State Register of Breeding Achievements in Animal Husbandry]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1218-12#Text> (In Ukrainian).

3. Krasnopol'ska, O.V. (2021). Seleksiia, yak osnovnyi napriamok naukovykh doslidzhen ta osnovni etapy selektsiino-pleminnoi roboty v Ukraini (ohliad) [Breeding as the main direction of scientific research and the main stages of breeding work in Ukraine (review)]. Rybohospodarska nauka Ukrainy [Fisheries Science of Ukraine], 4, pp. 115–131. DOI:10.15407/fsu2022.04.115 (In Ukrainian).

4. Pochukalin, A.Ye., Pryima, S.V., Romanova, O.V. (2024). Seleksiini dosiahnennia Ukrainy (my-nule, suchasne): porody, typy i linii silskohospodarskykh tvaryn [Breeding achievements of Ukraine (past, present): breeds, types and lines of agricultural animals]. Rozvedennia i henetyka tvaryn [Animal breeding and genetics]. Issue 67, pp. 140–163. DOI:10.31073/abg.67.14 (In Ukrainian).

5. Pochukalin, A.Ye. (2024). Pleminni resursy Ukrainy u bdzhilnytstvi: zdobutky ta suchasnist [Breeding resources of Ukraine in beekeeping: achievements and modernity]. Bdzhilnytstvo Ukrainy [Beekeeping of Ukraine], Issue 12, pp. 78–82. DOI:10.46913/beekeepingjournal.2024.12.10 (In Ukrainian).

6. Tomilenko, V.H., Bekh, V.V., Oleksiienko, O.O., Pavlishchenko, V.M. (2012). Strukturyzatsiia ukrainskykh porid koropa [Structuring of Ukrainian carp breeds]. Rybohospodarska nauka Ukrainy [Fisheries Science of Ukraine]. Kyiv, 2, pp. 83–87. (In Ukrainian).

7. Tomilenko, V.H., Kucherenko, A.P. (1998). Ukrainska luskata poroda koropa [Ukrainian scaly carp breed]. Pleminni resursy Ukrainy [Breeding resources of Ukraine]. Kyiv: Agrarian Science, pp. 261–262. (In Ukrainian).

8. Tomilenko, V.H., Kucherenko, A.P. (1998). Ukrainska ramchasta poroda koropa [Ukrainian framed carp breed]. Pleminni resursy Ukrainy [Breeding resources of Ukraine]. Kyiv: Agrarian Science, pp. 266–267. (In Ukrainian).

9. Pro vyvedennia nyvkivskoho vnutrishnoporodnoho typu koropa ukrainskoi luskatoi porody: nakaz № 201 vid 27.06.1996 roku [On the breeding of the Nivkivsk intrabreed type of carp of the Ukrainian scaly breed: Order No. 201 of June 27, 1996]. (In Ukrainian).

10. Tomylenko, V., Kucherenko, A., Kucher, M. (1996). Nyvkivskyi vnutrishnoporodnyi typ koropa ukrainskoi luskatoi porody [Nyvkivskyi intrabreed type of carp of the Ukrainian scaly breed]. Tvarynnytstvo Ukrainy [Livestock of Ukraine], no. 6, pp. 7–8. (In Ukrainian).

11. Pro vyvedennia liubinskoho ramchastoho ta liubinskoho luskatoho vnutrishnoporodnykh typiv ukrainskoi ramchatoi ta ukrainskoi luskatoi porid koropa: nakaz № 52 vid 29.01.1999 roku [On the breeding of the Lubinsky framed and Lubinsky scaly intrabreed types of the Ukrainian framed and Ukrainian scaly carp breeds: Order No. 52 of January 29, 1999]. (In Ukrainian).

12. Tomilenko, V.H., Hrynzhevskiy, M.V., Hrytsyniak, I.I., Tuchapskyi, Ya.V., Siaryi, B.H., Borys, V.Yu., Kovalchuk, O.M. (2000). Vyvedennia novykh vnutrishnoporidnykh typiv koropa ukrainskoi ramchastoi ta ukrainskoi luskatoi porid [Breeding new intrabreed types of carp of the Ukrainian frame and Ukrainian scaly breeds]. *Naukovyi visnyk Natsionalnogo ahrarnoho universytetu [Scientific Bulletin of the National Agrarian University]*. Kyiv, Issue 21, pp. 165–166. (In Ukrainian).
13. Oleksiienko, O.O., Hrytsyniak, I.I. (2007). Vnutrishnoporidna struktura ukrainskykh koropiv [Intraspecific structure of Ukrainian carps]. *Rybohospodarska nauka Ukrainy [Fisheries Science of Ukraine]*. Kyiv, 1, pp. 21–27. (In Ukrainian).
14. Pro zatverdzhennia maloluskatoho vnutrishnoporodnogo typu ukrainskoi ramchastoi porody koropa: nakaz № 24/4 vid 27.01.2010 roku [On approval of the small-scale intrabreed type of the Ukrainian framed carp breed: Order No. 24/4 of January 27, 2010]. (In Ukrainian).
15. Bekh, V.V. (2008). Skhema skhreshchuvania ta metodychni pidkhody pry vyvedenni novoho typu maloluskatoho koropa ukrainskoi ramchastoi porody [Crossbreeding scheme and methodological approaches in breeding a new type of small-scale carp of the Ukrainian frame breed]. *Rybohospodarska nauka Ukrainy [Fisheries Science of Ukraine]*. Kyiv, 3, pp. 76–81. (In Ukrainian).
16. Bekh, V.V., Hrytsyniak, I. I. (2011). Maloluskatyi korop – analiz osnovnykh rezultativ doslidzhen ta selektsiinoi roboty [Small-scaled carp — analysis of the main results of research and breeding work]. *Rybohospodarska nauka Ukrainy [Fisheries Science of Ukraine]*. Kyiv, 4, pp. 94–98. (In Ukrainian).
17. Pro zatverdzhennia antoninsko-zozulenetskykh vnutrishnoporodnykh typiv ukrainskoi ramchastoi ta ukrainskoi luskatoi porid koropa: nakaz № 24 vid 06.01.2021 roku [On approval of the Antonino-Zozulenets intrabreed types of the Ukrainian framed and Ukrainian scaly carp breeds: Order No. 24 of 06.01.2021]. (In Ukrainian).
18. Oborskyi, V.P., Hrytsyniak, I.I., Osipenko, M.I., Hrishyn, B.O., Nahorniuk, T.A., Kurinenko, H.A. (2022). Rol antoninsko-zozulenetskoho koropa v selektsiino-pleminnii spravi Ukrainy (ohliad) [The role of Antonino-Zozulenetsky carp in the breeding and breeding of Ukraine (review)]. *Rybohospodarska nauka Ukrainy [Fisheries Science of Ukraine]*. Kyiv, 3, pp. 31–52. DOI:10.15407/fsu2022.03.031 (In Ukrainian).
19. Kurinenko, H.A., Kuts, U.S., Ostapchuk, M.S., Yurchak, S.Yu. (2024). Antoninsko-zozulenetskyi vnutrishnoporodnyi typ ukrainskykh porid koropa yak perspektyvna lanka akvakultury Prykarpattia [Antoninsko-Zozulenetskyi intrabreed type of Ukrainian carp breeds as a promising link in aquaculture in the Carpathian region]. *Rybohospodarska nauka Ukrainy [Fisheries Science of Ukraine]*. Kyiv, 3, pp. 82–93. DOI:10.61976/fsu2024.03.082 (In Ukrainian).
20. Oleksiienko, O.O., Bekh, V.V., Hrytsyniak, I.I., Hrishyn, B.O., Volianskyi, L.S., Osipenko, M.I. (2015). Do pytannia aprobatsii antoninsko-zozulenetskykh koropiv ukrainskykh porid [On the issue of approbation of Antonino-Zozulenetskyi carps of Ukrainian breeds]. *Rybohospodarska nauka Ukrainy [Fisheries Science of Ukraine]*. Kyiv, 4, pp. 65–77. DOI:10.15407/fsu2015.04.065 (In Ukrainian).
21. Pro zatverdzhennia halytskoho vnutrishnoporodnogo typu ukrainskoi ramchastoi porody koropa: nakaz № 377 vid 23.11.2021 roku [On approval of the Galician intrabreed type of the Ukrainian framed carp breed: Order No. 377 of November 23, 2021]. (In Ukrainian).
22. Pro zatverdzhennia nesvytskoho ramchastoho ta nesvytskoho luskatoho vnutrishnoporodnykh typiv ukrainskoi ramchastoi ta ukrainskoi luskatoi porid koropa: nakaz № 1753 vid 04.10.2023 roku [On approval of the Nesvytskyi framed and Nesvytskyi scaly intrabreed types of the Ukrainian framed and Ukrainian scaly carp breeds: Order No. 1753 of October 4, 2023]. (In Ukrainian).

Selective Breeding Achievements in Ukrainian Aquaculture: Past and Present

Pochukalin A.

The creation of new populations is a relevant process as socio-economic and natural conditions change, and as keeping and feeding technologies improve. Therefore, a constant search is underway for desirable genotypes that meet modern challenges. Ukrainian selection in livestock breeding has a long history, during which new breeds were established that, in terms of productivity, were not inferior to foreign ones. Therefore, the purpose of the research was to analyze selection achievements in fish farming, with particular focus on pond carp farming. For this purpose, regulatory legal acts and the source method were used as the primary source. The assessment of breeding achievements was based on data on the dynamics of the breeding stock from the State Breeding Register (now the State Register of Breeding Subjects in Animal Husbandry) for 2002 ... 2023. In Ukraine, the breeding program to improve carp began in the 1930s under the leadership of A.I. Kuzyoma at the Ukrainian Research Institute of Fisheries (now the Institute of Fisheries of the National Academy of Sciences of Ukraine). Two breeds of carp were created, namely the Ukrainian scaly and the Ukrainian frame, which have not lost their potential for production in modern realities. Thanks to a wide network of fish farms and the direct participation of specialized research institutes, a modern genealogical structure of Ukrainian carp, both frame and scaly, has been created. The following intrabreed types have been tested and approved in the Ukrainian Scalloped breed:

Nyvkivsky (Polissya and Forest-Steppe branches), Lyubinsky (Mykolaiv and Lyubinsky branches), Antoninsky-Zozulenetsky, and Nesvytsky; and in the Ukrainian Frame breed, respectively, Lyubinsky, Maloskalsky (Nyvkivsky, Lebedynsky, and Zakarpattia factory lines), Antoninsky-Zozulenetsky,

Galician, and Nesvytsky. Today, the breeding base of scaly and frame forms of carp consists of 6 and 8 farms, which keep 4,023 and 4,261 fish, respectively.

Keywords: breeding achievements, breeds, intrabreed types, factory lines, numbers, females, males, breeding traits.



Copyright: Почукалін А.Є. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Почукалін А.Є.

<https://orcid.org/0000-0003-2280-5371>

БІОТЕХНОЛОГІЯ ТА БІОІНЖЕНЕРІЯ

УДК 631.27:66.011

Сучасна біотехнологія у силосуванні

Чернюк С.В. , Крижак М.С. 

Білоцерківський національний аграрний університет



E-mail: Чернюк С.В. chernuksergiy@gmail.com; Крижак М.С. california2656@gmail.com



Чернюк С.В., Крижак М.С. Сучасна біотехнологія у силосуванні. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2025. № 2. С. 61–72.

Chernyuk S., Kryzhak M. Modern biotechnology in ensiling. «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2025. № 2. PP. 61–72.

Рукопис отримано: 09.04.2025 р.

Прийнято: 22.04.2025 р.

Затверджено до друку: 27.11.2025 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2025-198-2-61-72

У статті проаналізовано роботи українських та зарубіжних науковців, які приділяють увагу дослідженню та вдосконаленню технологій силосування. Їхні наукові роботи охоплюють широкий спектр питань – від вибору рослинних культур до розроблення нових методів консервації. Досліджено мікробіологічний процес, який використовується для збереження якості свіжого корму на тваринницьких фермах. Біохімічні та мікробіологічні зміни, які відбуваються під час силосування, сприяють пошуку нових силосних добавок, вивченню потенціалу певних мікробних штамів, які є більш ефективними у біоконсервуванні. Види молочнокислих бактерій широко відомі своїм різноманітним застосуванням як добавок у ферментації сільськогосподарських культур або фуражної біомаси під час силосування. Однак невідповідність якості силосу останнім часом можна пояснити відсутністю інформації про експресію генів і молекулярні механізми мікробіоти, задіяної у виробництві силосу. Сучасні дослідження зосереджено на розробленні багатих поживними речовинами кормів для тварин із покращеними інокулянтами лактобактерій. Сучасні біотехнологічні інструменти, такі як метагеноміка, геноміка та протеоміка, дають змогу ідентифікувати, покращувати та розробляти високопродуктивні штами лактобактерій для використання в силосуванні. Ці штами сприяють зниженню рН, покращують ферментаційні характеристики та аеробну стабільність силосу, забезпечуючи його високу якість і сприяючи сталому розвитку сільського господарства. Введення спеціальних бактеріальних культур (інокулянтів) значно покращить якість силосу, прискорюючи процес ферментації, створюючи сприятливе середовище для корисних мікроорганізмів та пригнічуючи ріст шкідливих.

У статті з'ясовано роль інокулянтів лактобактерій у виробництві силосу, а також сучасні біотехнологічні підходи, які є потужними інструментами для ідентифікації, покращення та розвитку високопродуктивних штамів лактобактерій.

Ключові слова: силосування, лактобактерії, штами інокулянтів, ферментація, біологічні добавки, поживна цінність.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Силосування – це мікробіологічний процес, який використовують для збереження свіжого корму у формі силосу для застосування на фермерських господарствах у виробництві кормів для тварин. Силос отриму-

ють із рослинних залишків, фуражної біомаси або інших сільськогосподарських і промислових побічних продуктів, які зберігаються шляхом природного або штучного підкислення, без кисню та часто використовуються як корм для тварин у періоди недостатнього корму [1, 2].

Силос виробляється шляхом бродіння рослинної біомаси з вмістом вологи зазвичай понад 50 % і залишається популярним на молочних фермах, оскільки зменшує втрати поживних речовин під час зберігання [3]. Біомаса фуражів або сільськогосподарських культур зберігається як заміник або під час дефіциту через зниження росту пасовищ або погані умови пасовища для годівлі тварин [4, 5].

Силосування є фундаментальним біологічним процесом, що є результатом спонтанної ферментації в анаеробних умовах після збирання кормових культур на найвищій стадії зрілості, подрібнення, упаковки в силос, роздавлення та ущільнення для видалення пилу, зберігання та згодовування. Численні біологічні та технологічні фактори впливають на якість силосу після ферментації рослинної біомаси молочнокислими бактеріями для виробництва молочної кислоти та інших корисних органічних кислот і зниження рН до рівнів, що запобігають розвитку мікроорганізмів псування [6].

Спочатку було припущено, що виробництво молочної кислоти пов'язане лише з неспоровими бактеріями, які зазвичай називають лактобактеріями, через їх ферментативний спосіб життя, в основному синтезуючи різноманітні вуглеводи в молочну кислоту. У кількох напрямках біотехнології, пов'язаних з харчовими продуктами, лактобактерії відіграють ключову роль через їх безпеку для харчування людей і тварин, метаболічну гнучкість і широку екологічну адаптацію, викликаючи також інтерес для нових застосувань (включаючи промислове бродіння) [7].

Молочнокислі бактерії – це мікроорганізми, які зазвичай використовуються для збереження якості силосованих кормів. Крім того, види культур молочнокислих бактерій, застосовуваних у виробництві силосу, належать до *Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Lactococcus*, *Weissella* та *Bacillus* [8].

Сьогодні використання культур молочнокислих бактерій у сталому сільському господарстві зумовлено їх потенціалом для покращення здоров'я людини та тварин [9]. Крім того, консервація силосу за допомогою інокулянтів культур молочнокислих бактерій вважають надійним і зручним способом зберігання свіжого корму на фермерських господарствах та в тваринництві. Однак невідповідність якості силосу останнім часом можна пояснити відсутністю інформації про експресію генів і молекулярні механізми мікробіоти, задіяної у виробництві силосу [10].

З розвитком сучасних біотехнологій, зокрема технології секвенування наступного покоління (NGS), було виявлено кілька потенційно цінних мутантів. Деякі з них було успішно перенесено на корисні мікроорганізми, які покращують якість силосу [11]. Нещодавно досягнення біотехнологій зробили можливим проведення метагеномного секвенування мікробної ДНК у силосі за допомогою різних молекулярних методів [12]. Ці методи сприяли формуванню нового уявлення про складність застосування мікробів для покращеного силосування, характеризуючи роль популяцій лактобактерій у силосі та те, як інокулянти лактобактерій можуть розвивати мікробіому, сприятливіші для виробництва високоякісного силосу [12]. Крім того, високоефективні штами для виробництва та збереження силосу можуть бути створені за допомогою зусиль щодо вдосконалення штамів, які виявилися потужними інструментами для характеристики та конструювання нових штамів лактобактерій з бажаними характеристиками [13–15]. Сьогодні важливо переглянути роль культур лактобактерій у виробництві та збереженні силосу, розробити нові підходи до покращення лактобактерій, вдосконалити технології переробки силосу для сталого сільського господарства.

Мета дослідження – обґрунтувати та сформулювати теоретичні передумови та майбутні перспективи розвитку молочнокислих бактерій для покращення силосу в кормах для сільськогосподарських тварин у господарстві.

Матеріал і методи дослідження. Під час досліджень було використано наступні методи: метод аналізу та синтезу – під час вивчення джерел наукової літератури з тематики дослідження; систематичний аналіз отриманих даних, виявлення загальних тенденцій та суперечностей; синтез результатів: формулювання висновків на основі аналізу отриманих даних.

Результати дослідження та обговорення.

1. Технологічні аспекти та біохімізм у силосуванні.

Чітке уявлення про біохімічні зміни, які відбуваються під час силосування, допомогло в пошуку нових силосних добавок, зокрема на основі унікальних штамів [14]. Певні силосні добавки можуть допомогти зменшити невідворотні втрати, особливо ті, що стосуються рослинних ферментів, мікроорганізмів або польових втрат. Силосні добавки – хімічні (сорбінова, оцтова, пропіонова та бензойна

мурашина кислоти та їх солі) та біологічні (целюлаза, гомо- та гетероферментативні лактобактерії) – а також їх різні ефекти були повністю досліджені [15, 16].

Ці силосні добавки додають до корму або біомаси сільськогосподарських культур для посилення процесу силосування (ферментації), зменшення втрат сухої речовини, зменшення аеробного погіршення під час згодовування, покращення гігієнічної якості силосу, обмеження вторинної ферментації, покращення аеробної стабільності. Це підвищує поживну цінність силосу, пригнічує діяльність патогенів і збільшує продуктивність тваринництва, забезпечуючи фермеру при-

буток більший, ніж вартість добавки. Однак біологічні добавки, особливо лактобактерії, вважають більш придатними для інокуляції силосу, ніж інші добавки, через їх безпеку та доцільність, відсутність корозії, екологічність, покращене відновлення сухої речовини, характеристики бродіння та продуктивність тварин [17].

У таблиці 1 наведено склад інокулянтів лактобактерій та інших добавок для виробництва силосу.

Рівень лактобактерій у силосі сильно варіюється, і відповідний вибір і застосування інокулянтів є вирішальними для гарної якості силосу [18].

Таблиця 1 – Композиції інокулянтів лактобактерій та інших добавок у виробництві силосу та їх вплив на збереження силосу

Силосний тип	Композиція інокулянту лактобактерій	Склад добавки	Тривалість силосування (діб)	Суша речовина (%)
Гібрид кукурудзи	<i>L. buchneri</i> (4×10^5 КУО/г), <i>P. pentosaceus</i> (1×10^5 КУО/г)	Меляса (3%)	7	39
Жито цільнозернове	<i>L. buchneri</i> + <i>P. acidilactici</i> ($1,67 \times 10^5$ КУО/г)	NHS* (195 г L^{-1}), гексаметилентетрамін (71 г L^{-1}), сорбат калію (2 мл кг^{-1}), BSP* (257 г L^{-1}), сорбат калію (154 г L^{-1}), пропіонат амонію ($1,5 \text{ мл кг}^{-1}$)	53	49
Стебло кукурудзи	<i>L. plantarum</i> (5×10^6 КУО/г)	Акремоніум целюлаза (0,03%)	60	45
Люцерна	<i>L. plantarum</i> (1×10^6 КУО/г)	Целюлаза (20 мг/кг)	60	41,83
Кукурудза цільного врожаю	<i>L. plantarum</i> , <i>L. paracasei</i> , <i>P. pentosaceus</i> ($1,5 \times 10^{11}$ КУО/г)	Мурашина кислота (42,5%), пропіонова кислота (10,0%), форміат амонію (30,3%), бензойна кислота (2,2%)	90	33,63
Жито раннього скосу	<i>L. plantarum</i> , <i>L. paracasei</i> ($1,5 \times 10^5$ КУО/г), <i>L. buchneri</i> + <i>P. acidilactici</i> ($1,67 \times 10^5$ КУО/г)	SNHE* (2 мл кг^{-1}), (SNHEPS* (2 мл кг^{-1}))	64	25
Кукурудза цільного врожаю	<i>L. acidophilus</i> + <i>L. plantarum</i> (1×10^6 КУО/г)	Мурашина кислота, оцтова кислота, пропіонова кислота (6 млг^{-1})	90	32,74
Просо просо, кукурудза на силос, сорго-суданський злаковий гібрид	<i>L. plantarum</i> (1×10^6 КУО/г)	Мурашина кислота (5 мл кг^{-1})	60	30,34, 27,73, 19,28

Примітки: NHS* – водна суміш нітриту натрію; BSP* – водна суміш, що містить бензоат натрію; SNHE* – нітрит натрію і гексаметилентетрамін; SNHEPS* – нітрит натрію, гексаметилентетрамін і сорбат калію.

Перед вибором відповідного інокулянту лактобактерій для виробництва силосу враховуються певні умови. Інокулянти лактобактерій відбирають для виробництва силосу після виділення відповідних штамів з наступним скринінгом, який включає визначення здатності продукувати органічну кислоту, розщеплення білка та швидкість росту за різних рН і температур, а також перевірку ефективності. Інші критерії вибору інокулянту включають природне середовище існування рослин, швидкий ріст у зрізаній або нарізаній рослинній біомасі, нечутливість до бактеріофагів, сумісність зі спільними культурами, генетичну стабільність, стійкість до стресу та інгібування цвілі та дріжджів [19, 20]. Середовище силосування та здатність лактобактерій швидко адаптуватися та метаболізувати доступні поживні речовини є критично важливими для ферментації рослинної біомаси [9, 19, 21]. На основі природної ферментації рослинної біомаси дві категорії інокулянтів лактобактерій, гомоферментативний і гетероферментативний, здебільшого розглядаються для виробництва силосу.

2. Гомоферментативні лактобактерії у виробництві силосу.

Гомоферментативні лактобактерії – найстаріші та найпоширеніші інокулянти лактобактерій для виробництва силосу [4]. Гомоферментативні лактобактерії, такі як *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Enterococcus* і *Lactobacillus*, часто застосовують у виробництві силосу через їх здатність виробляти високі концентрації молочної кислоти під час бродіння [15]. Примітно, що гомоферментативні інокулянти лактобактерій зазвичай є кращими для силосу з бобових, оскільки вони мінімізують втрати сухої речовини за рахунок більшого виробництва молочної кислоти. Відомо, що інокуляція силосу є одним із найбільш часто використовуваних гомоферментативних видів лактобактерій *Lactobacillus plantarum* швидко знижує рН, пригнічує ріст патогенних мікроорганізмів і зберігає рослинні білки [22, 23, 24]. Це пояснюється стійкістю та унікальними пробіотичними властивостями *L. plantarum*, включаючи високу толерантність до кислого та жовчного середовища та антагоністичну активність. Однак інокуляція *P. Pentosaceus* у силос зумовила вищу перетравність сухої речовини, ніж *L. plantarum* [25]. Крім того, багато видів *Pediococcus* було рекомендовано для використання пробіотиками через їх антиоксидантні, протизапальні, детоксикаційні та гіполіпідемічні властивості [26]. Тим не менш,

повідомляється, що силос, заготовлений з використанням інокулянтів, в яких переважають гомоферментативні лактобактерії, покращує продуктивність тварин на 3–5 % завдяки виробленню мінімальних концентрацій етанолу, оцтової та масляної кислот, а також сприяє меншим втратам у ньому сухої речовини – на 2–3 % порівняно з інокуляцією гетероферментативними лактобактеріями [27].

3. Гетероферментативні лактобактерії у виробництві силосу.

Гетероферментативні лактобактерії здебільшого належать до родів *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Weissella* та *Lactobacillus*. Ця категорія лактобактерій утворює додаткові сполуки з гексоз, крім молочної кислоти, таких як оцтова кислота, етанол і CO_2 [27], і вважається найпоширенішою популяцією лактобактерій, яка виробляє значні концентрації оцтової кислоти шляхом перетворення молочної кислоти під час бродіння. Оскільки помірне утворення оцтової кислоти має потенціал для інгібування дріжджів і цвілі, які ініціюють псування у разі контакту з повітрям, гетероферментативні інокулянти лактобактерій є цінними для зменшення втрат DM, покращення аеробної стабільності та зменшення втрат у разі виведення [27]. Однак лише деякі види з групи *Lactobacillus* було вивчено щодо їх ефективності у виробництві силосу, включаючи *L. buchneri* і набагато рідше *L. kefir*, *L. diolivorans*, *L. brevis*, *L. hilgardii* та *L. parafarraginis* [27]. *L. buchneri* є чудовим інокулянтом для отримання якісного силосу з незначними втратами сухої речовини. Штами *L. buchneri* мають високу стійкість щодо впливу на них кислот (в т. ч. жовчних), а також є антагоністами щодо гнильної мікрофлори. Виявляють стійкість під час коливань температур у процесі зберігання корму та годівлі тварин [5]. Кілька досліджень виявили, що штам має дозозалежний вплив на якість силосу [28, 27]. Крім того, *L. hilgardii* зменшує кількість дріжджів і покращує аеробну стабільність силосу завдяки своїй здатності виробляти оцтову кислоту під час тривалого силосування [29]. Однак для гетероферментативних інокулянтів лактобактерій характерне утворення змішаної органічної кислоти [30, 31, 16].

4. Використання лактобактерій в виробництві.

Лактобактерії мають цікаву та довгу історію – це справжні „ветерани” на планеті Земля. Вони супроводжують людство тисячоліттями, відіграючи важливу роль у харчуванні та збереженні здоров'я. Лактобактерії – здавна

використовуються людством для створення різноманітних харчових продуктів. Їх здатність перетворювати цукри на молочну кислоту активно використовують у харчовій промисловості для виробництва кисломолочних продуктів, сирів, квашених овочів, сиров'ялених ковбас та інших ферментованих продуктів. Молочна кислота як продукт життєдіяльності лактобактерій посідає особливе місце в сучасному світі. Широке застосування у різних галузях обумовлено унікальними властивостями та корисними ефектами, які набувають дедалі більшого застосування в сільському господарстві. Її використання дає змогу підвищити врожайність, покращити якість продукції та зберегти здоров'я рослин і тварин. При цьому молочна кислота є екологічно чистим і безпечним засобом.

Водночас лактобактерії – перспективні кандидати для синтезу інших сполук, включаючи підсолоджувачі, вітаміни, бактеріоцини, екзополісахариди, лігноцелюлозні ферменти та ін. [32]. Ці сполуки відомі своїми різноманітними ролями, включаючи біоконсервацію та покращення поживних компонентів силосу. Це поліпшення годівлі розширює використання інокулянтів лактобактерій, які синтезують специфічні вітаміни у ферментованих продуктах. Лактобактерії використовують для синтезу метаболітів, L-аланін, діацетил, маніт, сорбіт, вітаміни та екзополісахариди. Ці метаболіти покращують поживний вміст, зменшують небезпечні хімічні речовини, подовжують термін зберігання та покращують смак ферментованих продуктів.

Вітаміни – це складні органічні молекули, необхідні в визначених кількостях як добавки та кормові добавки. Такі вітаміни як піридоксин, фолієва кислота, вітамін С і рибофлавін, синтезовані під час ферментації лактобактерій, покращують поживну цінність харчових продуктів. Наприклад, лактобактерії *L. plantarum*, *L. fermentum*, *L. acidophilus* і *L. Lactis*, що виробляють рибофлавін, підвищили поживний вміст ферментованих продуктів, що свідчить про їх потенціал покращувати поживну цінність харчових продуктів шляхом усунення потреби у збагаченні. Крім того, ці властивості можна досліджувати як альтернативу у вирішенні проблем аеробно нестабільного силосу з затхлим або пліснявим запахом і зниженою поживною цінністю через ріст пліснявих грибів та дріжджів [28]. Інокуляція *L. buchneri*, яка виробляє 1,2-пропандіол,

покращила аеробну стабільність кукурудзяного силосу та відіграла важливу роль у здоров'ї молочних корів шляхом боротьби з кетозом [33].

Однією з головних проблем під час зберігання силосу є його окиснення у разі контакту з повітрям. *L. buchneri* виробляє 1,2-пропандіол, який діє як консервант, знижуючи рН силосу та створюючи несприятливе середовище для розвитку небажаних мікроорганізмів. Це суттєво зменшує втрати поживних речовин і підвищує якість корму. Завдяки своїм консервувальним властивостям, *L. buchneri* мінімізує втрати сухої речовини під час зберігання силосу, що є особливо важливим для молочних корів, які потребують великої кількості поживних речовин. *L. buchneri* може сприяти збереженню більшої кількості легкозасвоюваних вуглеводів, білків і вітамінів у силосі, що позитивно впливає на продуктивність тварин.

Екзополісахариди продукують різні види молочнокислих бактерій, включаючи *S. thermophilus*, *L. reuteri*, *L. casei*, *L. plantarum* та ін., і використовуються як харчові добавки, зокрема у промисловості ферментованих харчових продуктів завдяки їх реологічним і текстурним властивостям. Молочнокислі бактерії, що виробляють екзополісахариди, отримали кращу конкурентну перевагу завдяки своїй здатності колонізувати поверхню у вигляді менших агрегатів. Оскільки розмір агрегатів зменшується, лактобактерії, що виробляють екзополісахариди, домінують у біоплівці, навіть за нижчих рівнів виробництва екзополісахаридів. Полісахариди, вироблені лактобактеріями, покращують текстурні та сенсорні властивості й подовжують термін зберігання продуктів рослинного походження, вони мають вирішальне значення для виробництва ферментованих харчових продуктів із рослин, таких як силос. Інокуляція силосу *P. pentosaceus*, що продукує екзополісахариди, показала високу антиоксидантну та антибактеріальну активність, головним чином шляхом поглинання вільних гідроксид-радикалів та повного пригнічення росту *Staphylococcus aureus* [34].

Крім того, бактеріоцини є антибактеріальними метаболітами білків, поліпептидів або білкових комплексів, що виробляють лактобактерії. Вони широко використовуються у виробництві силосу як біоконсерванти, що пригнічують ріст і розмноження патогенних мікроорганізмів [10].

Наприклад, інокуляція силосу з люцерни *L. delbrueckii*, що продукує бактеріоцини класу Па, зменшила кількість плісняви та дріжджів, підвищила якість бродіння силосу та значно покращила аеробну стабільність, ніж широко використовуваний інокулянт *L. plantarum* [24]. Відомо також, що деякі лактобактерії виробляють лігноцелюлітичні ферменти, включаючи оксидази та пероксидази, протеази, хітинази, маннази, амілази, пектинази, естерази, геміцелюлази та целюлази, які діють як біокаталізатори під час розщеплення лігноцелюлози, компонента рослинної біомаси, на їхні складники [35]. Наприклад, лігноцелюлітичні ферменти, що секретують лактобактерії, включаючи *Enterococcus* sp. і *Paenibacillus* sp. нещодавно були виділені з морської трави для покращення силосованих кормів, які використовуються для годівлі тварин. Цікаво, що види молочнокислих бактерій були здатні розщеплювати олігосахариди та метаболізувати ксилізу шляхом секреції ферментів, що розкладають геміцелюлозу, включаючи ксиланази/ендо-глюканази, естерази та арабінофуранозідази [36]. Крім того, було виявлено, що штами *B. Coagulans* продукують розчинні термофільні целюлази за оптимальних умов росту (температура та pH), які сумісні з умовами роботи грибкових ферментів, які використовуються для деполімеризації лігноцелюлозної біомаси у зброджуванні цукру, покращують поживний склад та споживання силосу тваринами [37].

5. Активність лактобактерій під час виробництва силосу.

Раніше силосування було відоме для виробництва «солодкого» або «кислого» силосу [38]. Понад 90 % кормів, таких як кукурудза, сорго, трава, бобові та пшениця, вирощуються на місцевому рівні та переробляються як силос. Під час силосування високоякісний силос отримують завдяки фундаментальному біохімічному процесу, який включає спонтанну ферментацію за допомогою лактобактерій в анаеробних умовах, що, своєю чергою, дає змогу зберегти високу якість і поживну цінність кормових культур у процесі їх заготівлі і зберігання [4, 12].

Отже, лактобактерії використовують: 1) як антагоністи щодо мікроорганізмів, які спричиняють псування силосу; 2) та продукти їх життєдіяльності для зниження pH силосу та зменшення втрат сухої речовини [39]. Однак ключові біохімічні зміни для ефективної ферментації силосу за допомогою інокулянтів лактобактерій включають видалення кисню, бродіння, належну концентрацію, зниження pH, зниження буферної ємності, в'янення, адекватну температуру. Чотири ключові біохімічні зміни, які відбуваються під час процесу виробництва силосу, базуються на кількості зброджуваних цукрів, типів інокулянтів лактобактерій, здатності досягати та підтримувати низький pH в анаеробних умовах, а також кількості та видах вироблених органічних кислот і метаболітів (табл. 2).

Таблиця 2 – Стадії силосування з використанням інокулянтів

Стадія силосування	Проміжок часу	Основні процеси	Роль інокулянтів
Аеробна стадія	0–1 день	Інтенсивне дихання рослинних клітин, втрата сухої речовини, підвищення температури	Швидке зниження pH, пригнічення небажаних мікроорганізмів, зменшення втрат поживних речовин
Ферментаційна стадія	1–14 днів	Активне розмноження молочнокислих бактерій, перетворення цукрів на молочну кислоту, зниження pH	Прискорення ферментації, забезпечення швидкого зниження pH, формування кислого середовища, пригнічення розвитку небажаних мікроорганізмів
Стабільна стадія	14–60 днів і більше	Стабілізація pH, мінімальна мікробіологічна активність, збереження поживних речовин	Підтримання стабільного pH, запобігання розвитку небажаних мікроорганізмів, забезпечення збереження якості силосу
Стадія згодовування	60 днів і більше	Використання силосу тваринами	Забезпечення високої поживної цінності силосу, покращення здоров'я тварин

Аеробна стадія починається під час збору врожаю і триває до вичерпання запасів кисню, що відбувається незабаром після силосування. Рослинні цукри у свіжозрізаній рослинній біомасі розщеплюються на вуглекислий газ, воду та тепло за допомогою лактобактерій під час цієї стадії, а також утилізуються аеробними мікроорганізмами (дріжджами, пліснявою та аеробними бактеріями) на поверхні рослинної біомаси, які є значним джерелом дихання. Під час цієї початкової фази посилений ріст дріжджів і плісняви може зробити силос більш сприйнятливим до нагрівання та псування. Тому адекватна обробка силосу, яка включає інокуляцію лактобактерій, мінімізує активність патогенних мікроорганізмів [40]. Крім того, обробка рослинної біомаси комбінованими інокулянтами знижує активність дріжджів і плісняви, а також інших аеробних бактерій, які використовують молочну кислоту в достатній кількості, вироблену гомоферментативним лактобактеріями [27, 41].

Стадія анаеробної ферментації включає чергування різних бактерій, які зброджують рослинні цукри. Бродіння рослинної біомаси відбувається природним шляхом в анаеробних умовах, що пояснюється поширеністю бактерій на поверхні рослини. Однак частота та ефективність ферментації з погляду зниження рН залежать від кількості та видів лактобактерій, присутніх у рослинній біомасі, які можуть пригнічувати діяльність небажаних бактерій [42]. Одним із найбезпечніших методів збереження силосу є ферментація лактобактерій. Під час цієї стадії лактобактерії захищають корм від патогенних мікроорганізмів, виробляючи корисні органічні кислоти та протигрибкові агенти, такі як бактеріоцини. Крім того, гомоферментативні види лактобактерій є особливо активними у зниженні рН силосу, оскільки вони виробляють лише молочну кислоту, на відміну від гетероферментативних лактобактерій, які виробляють оцтову кислоту, яка сповільнює зниження рН під час цієї фази [43].

Внаслідок діяльності лактобактерій силосовані корми переходять у фазу зберігання, відому як стадія стабільності. За умови, що силос герметичний, на цій стадії відбувається незначна біологічна активність [44]. Силос, інокульований лактобактеріями, зберігається зі стабільним рН протягом цієї стадії, що зумовлює кислі умови, які обмежують активність і популяцію мікробів. Потенційно небезпечні види, такі як *Clostridia* і *Bacilli*, можуть жити у вигляді спор, доки силос за-

лишається герметичним. Крім того, декілька досліджень показали здатність лактобактерій підтримувати знижений рН силосу, корисні органічні кислоти та метаболіти, а також знижувати патогенну активність на цій стадії [22, 41].

Силос використовують якнайшвидше після відкриття силосної ями, щоб запобігти аеробному розкладанню. Коли кисень стає доступним до силосу, дріжджі метаболізують органічні кислоти, що виробляються лактобактеріями під час бродіння, підвищуючи рН і відновлюючи аеробну активність, що призводить до подальшого псування силосу. Тип і кількість органічних кислот та інших метаболітів, що виробляються лактобактеріями на стадії ферментації, впливають на аеробну стабільність силосу під час згодовування. Крім того, деякі органічні кислоти, такі як масляна, оцтова та пропіонова, що виробляються лактобактеріями під час бродіння, більш токсичні для дріжджів і цвілі, ніж молочна кислота, і, як наслідок, силос, вироблений найбільш ефективними гомоферментативним лактобактеріями, має нижчу аеробну стабільність, ніж ті, які інокульовані гетероферментативним лактобактеріями [44].

6. Продуктивність тварин та сучасна біотехнологія лактобактерій для покращення силосу. Одна з причин розгляду інокулянтів лактобактерій у виробництві та зберіганні силосу пов'язана з їх властивістю розщеплювати лігноцелюлози і тим самим підвищувати перетравність силосу тваринами. Лактобактерії широко використовуються у тваринництві, оскільки вони в результаті життєдіяльності здатні насичувати корм речовинами, які, своєю чергою, забезпечують повноцінність та передбачають споживання здорової їжі. Крім того, корм, насичений лактобактеріями та продуктами їх життєдіяльності, має кращу засвоюваність і стабілізує стан рубця. Наявність лактобактерій у силосі покращує ефективність годівлі тварин і продуктивність росту [24].

Лактобактерії ефективно працюють з пробіотичним потенціалом виживання в рубці, взаємодіють з іншими корисними мікроорганізмами та підтримують функціональність у тварин [45]. У нещодавніх дослідженнях було відмічено, що згодовування силосу, консервованого з використанням *L. Plantarum*, мало позитивний вплив на ефективність споживання корму та продуктивність тварин [46]. Заданими [43], силос, інокульований *L. plantarum* і *L. buchneri*, збільшив надої молока та зменшив вплив оксалатів на раціони

великої рогатої худоби, що сприяло підвищенню засвоюваності поживних речовин і покращенню продуктивності без негативного впливу на здоров'я тварин. Інокулянти лактобактерій, особливо гомоферментативні лактобактерії, пов'язані з покращенням засвоюваності поживних речовин і зменшенням вмісту антипоживних сполук. Наприклад, силос, оброблений *L. plantarum*, збільшив мікробну біомасу рубця під час дослідження *in vitro* [47].

Сучасні вимоги до якості силосу передбачають:

- підбір унікальних штамів лактобактерій для конкретних кормів;
- використання інокулянтів лактобактерій, ферменти яких здатні розкласти лігноцелюлозу;
- виробництво корисних органічних кислот та інших метаболітів, які пригнічують життєдіяльність небажаних та шкідливих мікроорганізмів під час зберігання і згодовування корму;

використання сучасних наукових методів, таких як метагеноміка, геноміка, протеоміка, метаболоміка, експресія генів і клонування вибраних штамів лактобактерій. Ці критерії було досліджено в науці про корми, за винятком останнього з обмеженою практичністю [27, 25, 31].

Тим не менш, біотехнологічний потенціал лактобактерій, задіяних у виробництві силосу, залишається недостатньо вивченим [9].

7. Тенденції та перспективи. Сьогодні існує кілька проблем і обмежень щодо застосування інокулянтів лактобактерій у виробництві та зберіганні силосу. По-перше, температура та вологість є найпоширенішими факторами, що впливають на якість силосу. Корисні ефекти інокулянтів лактобактерій для силосу, виробленого в холодному кліматі, сильно обмежені, оскільки низька атмосферна температура знижує біоактивність інокулянтів лактобактерій, знижуючи ступінь ферментації силосу [48, 49]. Більшість штамів лактобактерій придатні для ферментації сільськогосподарських культур або біомаси корму з відносно низькою вологістю, високим рівнем водорозчинних вуглеводів і низькою буферною здатністю, однак деякі корми, наприклад люцерна, біомаса якої характеризується високою вологістю та високою буферною здатністю, вимагають інокулянту лактобактерій, який може швидко ферментувати біомасу, знизити рН силосу за короткий час і пригнітити ріст патогенів. Крім того, інокулянт лактобактерій, що ви-

діляють лігноцелюлолітичні ферменти (целюлазу, ксиланазу, лакказу тощо), сприяє збільшенню вмісту водорозчинних вуглеводів у трав'яному силосі [50–51]. Таким чином, необхідно терміново розробити нові штамми лактобактерій з унікальними характеристиками ферментації. Розроблення унікальних штамів лактобактерій шляхом виділення із природних або джерел випадкового мутагенезу та лабораторної еволюції зазвичай є неефективною та займає багато часу. Тим не менш, техніка редагування геному дедалі більше привертає увагу та стає потужним інструментом для генетичного вдосконалення штамів лактобактерій завдяки своїй безпеці, простоті, ефективності тощо.

По-друге, силосні токсини є джерелом важких захворювань у людей і тварин, і рівень смертності вважається високим. Токсини силосування пов'язані з ростом і метаболізмом патогенних мікроорганізмів, таких як *Escherichia coli*, *B. cereus*, *Clostridium botulinum*, *L. monocytogenes*, а також дріжджів та пліснявих грибів під час силосування. Крім того, серйозне занепокоєння викликають токсини, присутні в тканинах рослин під час збору врожаю, які можуть вижити в процесі силосування [52]. Розвиток цих патогенів спричиняє неприйнятно підвищену швидкість більшості проявів псування, починаючи від зміни кольору, неприємного запаху, присмаку, слизу або будь-яких інших фізичних чи хімічних змін, які роблять силос неякісним. Тому розроблення лактобактерій-інокулянтів, які можуть змінювати ріст і розвиток цих патогенів під час силосування, є актуальною. Оскільки методи ферментації та фізичного зв'язування з клітинною стінкою бактерій є менш ефективними з обмеженим рівнем успіху, використання можливостей транскриптоміки, метаболоміки та генної інженерії може допомогти нам зрозуміти шляхи та механізми дії, а також покращити гени, відповідальні за виробництво корисних метаболітів у лактобактерій з потенціалом зміни росту патогенів під час силосування.

Нарешті, штамми лактобактерій з різними характеристиками бродіння мають вплив на якість силосу, а несприятливе бродіння силосу пов'язане з наявністю біогенних амінів, азотистих парів і надмірної кількості масляної кислоти. Існує зростаюча тенденція до розроблення комбінованих інокулянтів лактобактерій, сприятливий вплив яких на якість силосу зазвичай перевершує одноразові інокулянти. Хоча деякі інокулянти лактобактерій було задокументовано, знання

механізмів ферментації та регуляції різних штамів лактобактерій на силосі наразі дуже обмежені [44, 23].

Таким чином, інтегрований мультиомічний підхід шляхом об'єднання даних геноміки, метагеноміки та транскриптоміки для відстеження мікробної спільноти, експресії генів і білків, а також змін метаболітів лактобактерій має першочергове значення для надання вікна можливостей для розкриття механізмів фундаментальних взаємодій між видами лактобактерій під час виробництва та зберігання силосу та, ймовірно, спрямовує нас на розроблення ефективних комбінованих інокулянтів лактобактерій більш точними способами.

Висновки. Силосування є важливим мікробіологічним процесом, що забезпечує збереження кормових культур та ефективно використання кормових ресурсів. Якість силосу покращується завдяки додаванню різних інокулянтів лактобактерій, які ефективно працюють під час ферментації, зберігання та згодовування, покращуючи характеристики бродіння, сприяючи корисному мікробному різноманіттю та запобігаючи розвитку патогенних мікроорганізмів. Сучасні біотехнологічні підходи є потужними інструментами для виявлення, вдосконалення та розроблення високопродуктивних штамів лактобактерій, застосовуваних у виробництві силосу для зниження рН, покращення характеристик бродіння та аеробної стабільності, запобігання появі небажаних мікроорганізмів і підвищення продуктивності тварин для сталого розвитку сільського господарства.

REFERENCES

1. Bomko, V.S., Sivachenko, E.V., Smetanina, O.V. (2023). Feed and feed additives and the effectiveness of their use in animal feeding: a teaching aid. *Bila Tserkva*, 225 p. Available at: https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNAU/8420/1/Korm_dobavky.pdf. (in Ukrainian).
2. Ogurtsov, E.M., Bobro, M.A., Mikheev, V.G. *Fodder production and onion farming: a manual*; edited by E.M. Ogurtsov. Kharkiv: KhNAU, 512 p. (in Ukrainian).
3. Grant, R.J., Adesogan, A.T. (2018). Journal of dairy science silage special issue: introduction. *J. Dairy Sci.*, 101, pp. 3935–3936. DOI:10.3168/jds.2018-14630.
4. Fabiszewska, A.U., Zielińska, K.J., Wróbel, B. (2019). Trends in designing microbial silage quality by biotechnological methods using lactic acid bacteria inoculants: a minireview. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 35, pp. 1–8. DOI:10.1007/s11274-019-2649-2.
5. Romero, J.J., Zhao, Y., Balseca-Paredes, M.A., Tiezzi, F., Gutierrez-Rodriguez, E., Castillo, M.S. (2017). Laboratory silo type and inoculation effects on nutritional composition, fermentation, and bacterial and fungal communities of oat silage. *J. Dairy Sci.*, 100, pp. 1812–1828. DOI:10.3168/jds.2016-11642.
6. Mitiglo, L.V., Merzlov, S.V., Merzlova, G.V. (2023). Indicators of spoiled corn silage after its fermentation with different doses of biodestructor. *Scientific Progress & Innovations*. 26 (3), pp. 76–80. DOI:10.31210/spi2023.26.03.14. (in Ukrainian).
7. Okoye, C.O., Dong, K., Wang, Y., Gao, L., Li, X., Wu, Y., Jiang, J. (2022). Comparative genomics reveals the organic acid biosynthesis metabolic pathways among five lactic acid bacterial species isolated from fermented vegetables. *N. Biotechnol.*, 70, pp. 73–83. DOI:10.1016/j.nbt.2022.05.001.
8. Kravchenko, N.O., Dmitruk, O.M., Furs, N.M. (2021). The influence of probiotic bacteria on the direction and intensity of microbiological processes during ensiling of green corn mass. *Chernihiv*, pp. 58–66. DOI:10.35868/1997-3004.32.58-66. (in Ukrainian).
9. Amaral, R.C., Carvalho, B.F., Costa, D.M., Morenz, M.J.F., Schwan, R.F., da S. Ávila, C.L. (2020). Novel lactic acid bacteria strains enhance the conservation of elephant grass silage cv. BRS Capiçau Anim. Feed Sci. Technol., 264 p. DOI:10.1016/j.anifeedsci.2020.114472.
10. Wang, D., Hwang, J.S., Dong Ho Kim, Lee S., Dae Hyuk Kim, Joe M.H. (2020). A newly isolated *Bacillus siamensis* SB1001 for mass production of poly-γ-glutamic acid. *Process Biochem.*, 92, pp. 164–173. DOI:10.1016/j.procbio.2019.11.034.
11. Horinouchi, T., Sakai, A., Kotani, H., Tanabe, K., Furusawa, C. (2017). Improvement of isopropanol tolerance of *Escherichia coli* using adaptive laboratory evolution and omics technologies. *J. Biotechnol.*, 255, pp. 47–56. DOI:10.1016/j.jbiotec.2017.06.408.
12. McAllister, A., Dunière, L., Drouin, P., Xu, S., Wang, Y., Munns, K., Zaheer, R. (2018). Silage review: Using molecular approaches to define the microbial ecology of silage. *J. Dairy Sci.*, 101, pp. 4060–4074. DOI:10.3168/jds.2017-13704.
13. Wang, H., Hao, W., Ning, T., Zheng, M., Xu, C. (2018). Characterization of culturable yeast species associating with whole crop corn and total mixed ration silage. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.*, 31, 198 p. DOI:10.5713/ajas.17.0183.
14. Xu, D., Ding, W., Ke, W., Li, F., Zhang, P., Guo, X. (2019). Modulation of metabolome and bacterial community in whole crop corn silage by inoculating homofermentative *Lactobacillus plantarum* and heterofermentative *Lactobacillus buchneri*. *Front. Microbiol.* 3299 p. DOI:10.3389/FMICB.2018.03299.
15. Kim, D., Lee, K.D., Choi, K.C., Kim, D., Lee, K.D., Choi, K.C. (2021). Role of LAB in silage fermentation: effect on nutritional quality and organic acid production – An overview AIMS Agric. Food. 1216 (6), pp. 216–234. DOI:10.3934/agrfood.2021014.
16. Soundharajan, I., Park, H.S., Rengasamy, S., Sivanesan, R., Choi, K.C. (2021). Application and future prospective of lactic acid bacteria as natural addi-

- tives for silage production – a review. *Appl. Sci.* 11 p. DOI:10.3390/app11178127.
17. Ni, K., Wang, Y., Cai, Y., Pang, H. (2015). Natural lactic acid bacteria population and silage fermentation of whole-crop wheat Asian-Australas. *J. Anim. Sci.*, 28, 1123 p. DOI:10.5713/ajas.14.0955.
 18. Drouin, P., Mari, L.J., Schmidt, J. (2020). Lactic acid bacteria as microbial silage additives: current status and future outlook. *New Adv. Ferment. Process.* 240 p. DOI:10.5772/intechopen.89326.
 19. Carvalho, B.F., Sales, G.F.C., Schwan, R.F., Ávila, C.L.S. (2021). Criteria for lactic acid bacteria screening to enhance silage quality. *J. Appl. Microbiol.* 130, pp. 341–355. DOI:10.1111/jam.14833.
 20. Kaewpila, C., Gunun, P., Kesorn, P., Subepang, S., Thip-uten, S., Cai, Y., Pholsen, S., Cherdthong, A., Khota, W. (2021). Improving ensiling characteristics by adding lactic acid bacteria modifies in vitro digestibility and methane production of forage-sorghum mixture silage *Sci. Rep.* 11 (11), pp. 1–9. DOI:10.1038/s41598-021-81505-z.
 21. Guan, H., Shuai, Y., Ran, Q., Yan, Y., Wang, X., Li, D., Cai, Y., Zhang, X. (2020). The microbiome and metabolome of Napier grass silages prepared with screened lactic acid bacteria during ensiling and aerobic exposure. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 269, 114673 p. DOI:10.1016/j.anifeedsci.2020.114673.
 22. Bai, J., Ding, Z., Ke, W., Xu, D., Wang, M., Huang, W., Zhang, Y., Liu, F., Guo, X. (2021). Different lactic acid bacteria and their combinations regulated the fermentation process of ensiled alfalfa: ensiling characteristics, dynamics of bacterial community and their functional shifts. *Microb. Biotechnol.* 14, 1171 p. DOI:10.1111/1751-7915.13785.
 23. Xu, Z., He, H., Zhang, S., Kong, J. (2017). Effects of inoculants *Lactobacillus brevis* and *Lactobacillus parafarraginis* on the fermentation characteristics and microbial communities of corn stover silage. *Sci. Rep.* 7 p. DOI:10.1038/s41598-017-14052-1.
 24. Zhang, Y.C., Wang, X.K., Li, D.X., Lin, Y.L., Yang, F.Y., Ni, K.K. (2019). Impact of wilting and additives on fermentation quality and carbohydrate composition of mulberry silage. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.*, 33, pp. 254–263. DOI:10.5713/AJAS.18.0925.
 25. Nascimento, Agarussi M.C., Gomes, Pereira O., de Paula, R.A., Silva, V.P., Santos, Roseira J.P., Fonseca, e Silva F. (2019). Novel lactic acid bacteria strains as inoculants on alfalfa silage fermentation. *Sci. Rep.* 9 (9), pp. 1–9. DOI:10.1038/s41598-019-44520-9.
 26. Jiang, S., Cai, L., Lv, L., Li, L. (2021). *Pediococcus pentosaceus*, a future additive or probiotic candidate. *Microb. Cell Factor.* 20 (20), pp. 1–14. DOI:10.1186/s12934-021-01537-Y.
 27. Muck, R.E., Nadeau, E.M.G., McAllister, T.A., Contreras-Govea, F.E., Santos, M.C., Kung, L. (2018). Silage review: Recent advances and future uses of silage additives *J. Dairy Sci.*, 101, pp. 3980–4000. DOI:10.3168/JDS.2017-13839.
 28. Kung, Jr.L., Shaver, R.D., Grant, R.J., Schmidt, R.J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *J. Dairy Sci.*, 101, pp. 4020–4033. DOI:10.3168/jds.2017-13909.
 29. Ferrero, F., Tabacco, E., Borreani, G. (2021). *Lentilactobacillus hilgardii* Inoculum, Dry matter contents at harvest and length of conservation affect fermentation characteristics and aerobic stability of corn silage. *Front. Microbiol.* 12, 1333 p. DOI:10.3389/FMICB.2021.675563/BIBTEH.
 30. Ning, T., Shhang, H., Zheng, M., Niu, D., Zuo, S., Hu, C. (2017). Effects of microbial enzymes on starch and hemicellulose degradation in total mixed ration silages. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.*, 30, pp. 171–180. DOI:10.5713/ajas.16.0046.
 31. Puntillo, M., Gaggiotti, M., Oteiza, J.M., Binetti, A., Massera, A., Vinderola, G. (2020). Potential of lactic acid bacteria isolated from different forages as silage inoculants for improving fermentation quality and aerobic stability. *Front. Microbiol.* 11 p. DOI:10.3389/FMICB.2020.586716.
 32. Tarraran, L., Mazzoli, R. (2018). Alternative strategies for lignocellulose fermentation through lactic acid bacteria: the state of the art and perspectives. *FEMS Microbiol. Lett.* 365, 126 p. DOI:10.1093/FEMSLE/FNY126.
 33. Huang, Z., Shhang, M., Ke, Shh., Guo, H. (2021). Screening of high 1,2-propanediol production by *Lactobacillus buchneri* strains and their effects on fermentation characteristics and aerobic stability of whole-plant corn silage. *Agric.* 11, pp. 11–12. DOI:10.3390/agriculture11070590.
 34. Fan, Y., Li, H., Tian, R., Tang, R., Zhang, J. (2022). Characterization and biological activity of a novel ehopolysaccharide produced by *Pediococcus pentosaceus* SSC-12 from silage. *Microorganisms.* 10 p. DOI:10.3390/microorganisms10010018.
 35. Chukshhuma, O.B., Rafatullah, M., Tajarudin, H.A., Ismail, N. (2020). Ignocellulolytic enzymes in biotechnological and industrial processes: a review. *Sustain.* 12, pp. 1–31. DOI:10.3390/su12187282.
 36. Díaz-García, L., Chaparro, D., Jiménez, H., Gómez-Ramírez, L.F., Bernal, A.J., Burbano-Erazo, E., Jiménez, D.J. (2021). Top-down enrichment strategy to co-cultivate lactic acid and lignocellulolytic bacteria from the megathyrus mahimus phyllosphere. *Front. Microbiol.* 12, 3345 p. DOI:10.3389/FMICB.2021.744075/BIBTEH.
 37. Aulitto, M., Fusco, S., Bartolucci, S., Franzén, C.J., Contursi, P. (2017). *Bacillus coagulans* MA-13: a promising thermophilic and cellulolytic strain for the production of lactic acid from lignocellulosic hydrolysate. *Biotechnol. Biofuels.* 10, pp. 1–15. DOI:10.1186/s13068-017-0896-8/TABLES/2.
 38. Bernardes, T.F., Daniel, J.L.P., Adesogan, A.T., McAllister, T.A., Drouin, P., Nussio, L.G., Huhtanen, P., Tremblay, G.F., Bélanger, G., Cai, Y. (2018). Silage review: Uniquely challenges of silages made in hot and cold regions. *J. Dairy Sci.*, 101, pp. 4001–4019. DOI:10.3168/jds.2017-13703.

39. Ren, H., Sun, Shhang, L., Zhao, J.Ja., Sun, J., Li, J., Zhang, B. (2021). Enhancing the Co-ensiling performance of corn stover and cabbage shhaste via the addition of cellulase. *Bioresources*. 16, pp. 6342–6362. DOI:10.15376/biores.16.3.6342-6362.
40. Pretz, J. (2020). Understanding the process of corn silage fermentation and starch availability. *Hubbard Feed*. pp. 1–2. Available at: <https://www.hubbardfeeds.com/blog/under-standing-process-corn-silage-fermentation-and-starch-availability> (accessed 23.03.25).
41. Nazar, M., Wang, S., Zhao, J., Dong, Z., Li, J., Kaka, N.A., Shao, T. (2020). The feasibility and effects of exogenous epiphytic microbiota on the fermentation quality and microbial community dynamics of whole crop corn. *Bioresour. Technol.*, 306, pp. 1–10. DOI:10.1016/j.biortech.2020.123106.
42. Xia, Li D., Kui, Ni K., Chao, Zhang Y., li, Lin Y., Yu, Yang F. (2018). Influence of lactic acid bacteria, cellulase, cellulase-producing *Bacillus pumilus* and their combinations on alfalfa silage quality. *J. Integr. Agric.*, 17, pp. 2768–2782, DOI:10.1016/S2095-3119(18)62060-X.
43. Oliveira, E.R., Takiya, C.S., Del, Valle T.A., Rennó, F.P., Goes, R.H.T.B., Leite, R.S.R., Oliveira, K.M.P., Batista, J.D.O., Araki, H.M.C., Damiani, J., Da Silva, M.S.J., Gandra, E.R.S., Pereira, T.L., Gandra, J.R. (2019). Effects of exogenous amylolytic enzymes on fermentation, nutritive value, and in vivo digestibility of rehydrated corn silage. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 251, pp. 86–95. DOI:10.1016/j.anifeedsci.2019.03.001.
44. Borreani, G., Tabacco, E., Schmidt, R.J., Holmes, B.J., Muck, R.E. (2018). Silage review: factors affecting dry matter and quality losses in silages. *J. Dairy Sci.*, 101, pp. 3952–3979. DOI:10.3168/JDS.2017-13837.
45. Matthews, C., Crispie, F., Lewis, E., Reid, M., O'Toole, P.W., Cotter, P.D. (2019). The rumen microbiome: a crucial consideration when optimising milk and meat production and nitrogen utilisation efficiency. *Gut Microbes*. 10, 115 p. DOI:10.1080/19490976.2018.1505176.
46. Queiroz, O.C.M., Ogunade, I.M., Weinberg, Z., Adesogan, A.T. (2018). Silage review: food-borne pathogens in silage and their mitigation by silage additives. *J. Dairy Sci.*, 101, pp. 4132–4142. DOI:10.3168/jds.2017-13901
47. Monteiro, H.F., Paula, E.M., Muck, R.E., Broderick, G.A., Faciola, A.P. (2021). Effects of lactic acid bacteria in a silage inoculant on ruminal nutrient digestibility, nitrogen metabolism, and lactation performance of high-producing dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 104, pp. 8826–8834. DOI: 10.3168/JDS.2021-20155.
48. Campbell, M., Ortuño, J., Ford, L., Davies, D.R., Koidis, A., Walsh, P.J., Theodoridou, K. (2020). The effect of ensiling on the nutritional composition and fermentation characteristics of brown seaweeds as a ruminant feed ingredient. *Anim. Open Access J. MDPI*, 10, pp. 1–17. DOI:10.3390/ANI10061019.
49. Mejía-Avellaneda, L.F., Suárez, H., Jiménez, H., Mesa, L. (2021). Challenges and opportunities for the production of lactic acid bacteria inoculants aimed for ensiling processes. *Critical Reviews in Biotechnology*. 42 (7), pp. 1028–1044. DOI:10.1080/07388551.2021.1988508.
50. Guo, X.S., Ke, W.C., Ding, W.R., Ding, L.M., Xu, D.M., Wang, W.W., Zhang, P., Yang, F.Y. (2018). Profiling of metabolome and bacterial community dynamics in ensiled *Medicago sativa* inoculated without or with *Lactobacillus plantarum* or *Lactobacillus buchneri*. *Sci. Rep.* 8, pp. 1–10. DOI:10.1038/s41598-017-18348-0.
51. Hu, Z., Niu, H., Tong, Q., Chang, J., Yu, J., Li, S., Zhang, S., Ma, D. (2020). The microbiota dynamics of alfalfa silage during ensiling and after air exposure, and the metabolomics after air exposure are affected by *Lactobacillus casei* and cellulase addition. *Front. Microbiol.* 11, 2888 p. DOI:10.3389/FMICB.2020.519121/BIBTEX.
52. Driehuis, F., Wilkinson, J.M., Jiang, Y., Ogunade, I., Adesogan, A.T. (2018). Silage review: animal and human health risks from silage. *J. Dairy Sci.*, 101, pp. 4093–4110. DOI:10.3168/jds.2017-13836.

Modern biotechnology in ensiling

Chernyuk S., Kryzhak M.

The article analyses the work of Ukrainian and foreign scientists who devote significant attention to researching and improving silage technologies. Their scientific work covers a wide range of issues, from the selection of plant crops to the development of new preservation methods. The microbiological process used to preserve the quality of fresh feed on livestock farms has been studied. The biochemical and microbiological changes that occur during silage production have prompted the search for new silage additives, highlighting the potential of certain microbial strains that are more effective at biopreservation. Lactic acid bacteria are widely known for their diverse applications as additives in the fermentation of agricultural crops or forage biomass during silage production. However, the recent inconsistency in silage quality can be explained by the lack of information on gene expression and molecular mechanisms of the microbiota involved in silage production. Current research focuses on deciphering nutrient-rich animal feeds with improved *Lactobacillus* inoculants. Modern biotechnological tools, such as metagenomics, genomics, and proteomics, allow the identification, improvement, and development of highly productive *Lactobacillus* strains for use in silage. These strains help lower pH, improve fermentation characteristics, and enhance the aerobic stability of silage, ensuring

its high quality and contributing to sustainable agricultural development. Therefore, the main purpose of silage is to preserve the nutritional properties of fresh feed. The introduction of specific bacterial cultures (inoculants) will significantly improve silage quality by accelerating fermentation, creating a favourable environment for beneficial microorganisms, and suppressing the growth of harmful ones. Thus, this

review article explores the role of *Lactobacillus* inoculants in silage production, as well as modern biotechnological approaches that are powerful tools for identifying, improving, and developing highly productive *Lactobacillus* strains.

Keywords: silage, *Lactobacilli*, inoculant strains, fermentation, biological additives, nutritional value.



Copyright: Чернюк С.В., Крижак М.С. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Чернюк С.В.

Крижак М.С.

<https://orcid.org/0000-0003-0488-3624>

<https://orcid.org/0009-0007-6910-2207>

БІОТЕХНОЛОГІЯ ТА БІОІНЖЕНЕРІЯ

УДК 636.598.084.1/.087.8:612.015.3

Згодовування молодняку гусей ферментного препарату Hemicell® НТ та його вплив на гематологічні показники, вихід і якість продуктів забою

Бабенко С.П. , Кузьменко О.А. , Бомко В.С. ,
Чернявський О.О. , Титарьова О.М. , Сломчинський М.М. ,
Недашківський В.М. , Соболева С.В. 

Білоцерківський національний аграрний університет



Бабенко С.П. sergey.babenko@btsau.edu.ua; Кузьменко О.А. oksana.kuzmenko@btsau.edu.ua;
Бомко В.С. vitaliy.bomko@btsau.edu.ua; Чернявський О.О. oleksandr.chernyavskiy@btsau.edu.ua;
Титарьова О.М. olenakosyanenko@gmail.com; Сломчинський М.М. mihaill.slomchinskiy@btsau.edu.ua;
Недашківський В.М. vladimir.nedashkivsky@btsau.edu.ua; Соболева С.В. solanassv@gmail.com



Бабенко С.П., Кузьменко О.А., Бомко В.С., Чернявський О.О., Титарьова О.М., Сломчинський М.М., Недашківський В.М., Соболева С.В. Згодовування молодняку гусей ферментного препарату Hemicell® НТ та його вплив на гематологічні показники, вихід і якість продуктів забою. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2025. № 2. С. 73–86.

Babenko S., Bomko V., Kuzmenko O., Cherniavskiy O., Tytariova O., Slomchynskiy M., Nedashkivsky V., Sobolieva S. Feeding of young geese with the enzyme preparation Hemicell® HT and its influence on hematological indicators, yield and quality of slaughter products. «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2025. № 2. PP. 73–86.

Рукопис отримано: 29.09.2025 р.

Прийнято: 13.10.2025 р.

Затверджено до друку: 27.11.2025 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2025-198-2-73-86

Про спрямованість обмінних процесів у живому організмі можна судити за вмістом окремих метаболітів у крові. Їх кількість може змінюватися в залежності від годівлі, зокрема під впливом окремих кормових добавок. Серед досліджуваних доз середнє дозування ферментного препарату (250 г на 1 т) кормової суміші гусенят-бройлерів у порівнянні з низьким і високим найбільше впливає на еритропоез в організмі птиці, підвищує окисно-відновні реакції обміну речовин з вираженим анаболічним характером і захисні функції організму.

Проведений розрахунок виходу їстівних частин у тушках дослідних гусенят суттєво різнився у дослідних групах порівняно з контрольною. Так, у гусенят 1-ї контрольної групи маса їстівних частин у тушці становила 2337 г, у аналогів 2-ї дослідної групи вона була вищою на 171 г, у 3-ї – на 323 і у гусенят 4-ї дослідної групи – на 244 г ($p \leq 0,001$). У відносному вираженні вихід їстівних частин до передзабійної маси гусенят становила: у аналогів 1-ї контрольної групи 68,2 %, 2-ї – 69,1, 3-ї – 69,0 та у гусенят 4-ї групи – 69,8 %.

Вища жива маса гусенят у дослідних групах порівняно з контрольною підвищила в їх тушках неїстівні частини: у гусенят 2-ї дослідної групи – на 35 г, 3-ї – на 104 та у аналогів 4-ї – на 28,0 г.

Співвідношення їстівних частин у тушках гусенят до неїстівних дало змогу розрахувати індекс м'ясних якостей, який підвищився з 2,15 у контролі до 2,23 – у аналогів 2-ї та 3-ї дослідних груп. Дане співвідношення у гусенят 4-ї дослідної групи становило 2,31. Важливим показником якості м'яса гусенят-бройлерів є розрахунок м'ясо-кісткового індексу, тобто відношення м'язової тканини до кісткової. Добавка ферментного препарату до раціону гусенят 2–4 груп підвищила цей показник. Якщо у гусенят контрольної групи він становив 2,81, то у аналогів 2-ї дослідної групи він збільшився до 3,00, у гусенят 3-ї – до 3,11 та у 4-ї дослідної групи – до 3,16.

Розрахунок енергетичної цінності м'яса, проведений на підставі калорійності протеїну і жиру, свідчить, що в 100 г м'яса гусенят 1-ї контрольної групи загальний вміст енергії становив 122,8 ккал, або 514,0 кДж, а в дослідних групах його енергетична цінність була вищою і становила: у аналогів 2-ї дослідної групи 136,3 ккал або 570,7 кДж, у 3-ї відповідно, 140,4 або 587,8, а у гусенят 4-ї дослідної групи 130,3 ккал або 545,4 кДж.

Показниками м'ясної продуктивності гусенят-бройлерів є коефіцієнти конверсії кормового протеїну в білок тканини організму (ККП) та коефіцієнт конверсії енергії в енергію відкладення білка та жиру (ККЕ). У гусенят у забійному віці, тобто при досягненні ними 60-денного віку середньодобове відкладення в тканинах тіла білка і жиру становило: в аналогів 1-ї контрольної групи 414,4 г білка і 322,4 г жиру, в дослідних групах порівняно з контролем відкладення поживних речовин було вищим: у гусенят 2-ї групи – на 38,4 та 64,6 г, в 3-ї – на 94,5 та 44,5 г, у 4-ї групи – на 61,5 та 37,8 г відповідно.

У розрахунку на 1 кг живої маси вихід білка та жиру, відкладеного в тканинах тіла, також різнився. Якщо у гусенят 1-ї контрольної групи, які отримували за період відгодівлі одну лише повнораціонну кормову сумішку в середньому за добу в їх тілі відкладалося 107,5 г білка і 83,7 г жиру, то за дії ферментного препарату Hemicell® НТ у тілі аналогів 2-ї–4-ї дослідних груп вихід білка становив, відповідно, 2-ї групи – на 3,7 г, у 3-ї – на 10,9 та у 4-ї групи – на 7,3 г більше, а жиру відповідно, на 11,3 г, 1,6 та 3,2 г.

Найвищий коефіцієнт конверсії протеїну (19,3 %) спостерігався у гусенят 3-ї дослідної групи, 18,1 % – у аналогів 4-ї, 17,2 % у гусенят 2-ї дослідної групи. Аналогічну закономірність спостерігали і у розрахунку коефіцієнта конверсії енергії в енергію відкладення білка і жиру. У гусенят 1-ї контрольної групи він становив 12,8 %, у аналогів 2-ї групи – 14,7, у 3-ї – 15,0 та у аналогів 4-ї дослідної групи – 14,4 %.

Ключові слова морфологічні та біохімічні показники, контрольний забій, хімічний склад м'яса, конверсія протеїну, конверсія енергії.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Сьогодні актуальною проблемою тваринництва, зокрема вирощування птиці, є підвищення ефективності використання кормів, адже відомо, що корми становлять 60–75 % собівартості продукції. Підвищення перетравності поживних речовин раціону дає можливість отримувати додаткову продукцію з тими самими витратами кормів. У науковій спільноті постійно ведеться пошук шляхів вирішення цієї проблеми. Нині широко застосовують низку препаратів і кормових добавок, серед яких вагоме місце посідають ферментні препарати [8, 13].

Завдяки властивостям і дії ферментних препаратів фахівці тваринництва можуть досягнути покращення ряду виробничих показників у своїй галузі, зокрема: підвищити кормову цінність раціонів на 5–10 % за рахунок більш повного використання поживних речовин корму та вивільнення енергії [2]; засвоюваність поживних речовин – на 6–10 %

[5, 19]; знизити затрати кормів на одиницю продукції на 5–14 % [1, 24]; підвищити продуктивність тварин на 5–12 %; частково замінити дорогі компоненти кормів (кукурудза, соевий шрот), дешевшими (жито, пшениця, тритикале, овес, ячмінь, макуха і соняшникові шрот) з підвищеним умістом клітковини, без зниження продуктивності [16, 23]; знизити кількість і вологість гною, і, як наслідок, вологість підстилки [4]; поліпшити екологічну ситуацію зовнішнього середовища за рахунок повнішого засвоєння азоту і фосфору тваринами [7], зменшити викиди цих речовин у довкілля на 20–40 % [9, 21].

Відомо, що засвоюваність білка та виділення сечової кислоти можуть відігравати життєво важливу роль у ефективності засвоювання кормів і, отже, впливати на продуктивність бройлерів [20, 27]. Дослідженнями було встановлено, що фермент манназа у кількості 5 кг/т комбікорму за трьох рівнів метаболізуючої енергії 3000, 2900 та

2850 ккал/кг у раціоні має суттєвий вплив на засвоюваність білка, особливо за рівня енергії 2900 ккал/кг МЕ ($p \leq 0,05$). Засвоюваність *in vitro* для засвоєння сухої речовини була більшою ($p \leq 0,05$) за використання ферменту. Збільшення значущості засвоюваності сухих речовин *in vitro* ($p \leq 0,05$) спостерігалося і за 2850 ккал/кг МЕ [10, 17].

Аналогічну тенденцію спостерігали щодо засвоюваності протеїнів *in vitro*. Найвищу швидкість ($p \leq 0,05$) виявляли у засвоюваності білка *in vitro* за рівня енергії 2850 ккал/кг МЕ. Незважаючи на те, що значної реакції на виділення сечової кислоти енергією не спостерігалось, цей параметр значно знизився ($p \leq 0,05$) за високого рівня ферменту [6, 25].

У іншому дослідженні низькоенергетичні раціони бройлерів доповнювали різними комерційними мультиферментними препаратами для мінімізації витрат й підвищення засвоюваності та поглинання перетравлених макроелементів. Курчат-бройлерів випадковим чином розподіляли в контрольну групу, що споживала основний раціон; контрольну групу – низькоенергетичний раціон; і групи, які споживали раціони з низьким рівнем енергії з додаванням різних комбінацій ферментів (ферментні препарати Xylam 500®, Hemicell®, Avizyme® та Megazyme®, дотримуючись рекомендованих виробниками доз). Встановлено, що ефективність росту птиці у групі з додаванням до раціону Avizyme® та Hemicell® значно покращилась порівняно з птицею, яка отримувала основний раціон. Порівняно з основним раціоном Avizyme® значно ($p \leq 0,001$) збільшував кишкову експресію PEPT1, GLUT2, ACC та IL-2; PEPT1 та полегшував засвоєння мікроелементів. За результатами досліджень авторами зроблено висновок, що екзогенні мультиферментні комплекси можуть бути включені в раціон із низьким енергоспоживанням для підвищення продуктивності курчат-бройлерів (Avizyme®; Hemicell®; Megazyme®) та зниження витрат корму, покращуючи експресію генів-транспортів кишкових поживних речовин, поліпшення імунітету та біохімічних показників сироватки крові у птиці [3, 11].

Іншими дослідженнями встановлено, що додавання птиці Hemicell у дозах 0,5, 1 і 1,5 % у раціон на основі кукурудзяної сої, що також містив 1 % гуарової камеді, покращило коефіцієнт засвоєння корму, причому це відмічали за всіма рівнями додавання ферментного препарату [15, 22].

Вплив додавання до раціону курчат-бройлерів ферментного препарату Hemicell у дозі

0,5 та 1 г/кг на продуктивність, інтенсивність росту, характеристики тушки птиці при забої, показники крові та засвоюваність поживних речовин значно покращилися. За час стартової фази дослідження маси тіла, споживання корму та коефіцієнт конверсії корму різнилися між групами ($p \leq 0,05$). Ферментний препарат, що використовували у раціонах бройлерів, не мав значного впливу на приріст живої маси [14], масу тушки при забої, грудні м'язи та стегно ($p \leq 0,05$), однак суттєво впливав на індекс маси серця та печінки ($p \leq 0,05$) [26].

Було проведено два експерименти для оцінювання впливу комерційної енд- β -D-маннази на загальну ефективність, обмінну енергію та деякі параметри сироватки крові птиці. Встановлено, що ферментна добавка покращила ефективність засвоєння корму, підвищила чистий приріст енергії. Дослідження свідчать, що доповнення енд- β -D-маннази може покращити використання поживних речовин у годівлі птиці [12].

У досліді, проведеному на 500 курчатах з двома рівнями ферменту маннази, встановлено, що швидкість росту була значно більшою ($p \leq 0,05$) у разі використання високого рівня ферменту, однак відмінностей в коефіцієнті конверсії корму щодо різних рівнів ферменту не спостерігали. Результати цього дослідження показали, що фермент покращує продуктивність та підвищує засвоюваність білка з кишечника, засвоюваність протеїну та зменшення екскреції сечової кислоти, що може сприяти зниженню використання білка у годівлі бройлерів [6].

Мега дослідження – вивчити зміни окремих морфологічних та біохімічних показників крові гусенят, м'ясну продуктивність, морфологічний склад тушок, хімічний склад м'яса та конверсію протеїну і енергії корму в поживні речовини м'ясної продукції за згодовування різних доз ферментного препарату Hemicell® НТ у складі повнораціонних кормових сумішок для гусенят-бройлерів.

Матеріал і методи дослідження. Для вивчення впливу різних доз ферментного препарату Hemicell® НТ (150 г, 250 та 310 г на 1 тону корму) на гематологічні показники, вихід і якість продуктів забою додавали препарат до кормосумішок помісних гусей шадринської та італійської порід [3]. Групи було підібрано за принципом аналогів з урахуванням живої маси, породи, віку та стану здоров'я ($n=200$) по 50 голів у кожній (перша група гусенят була контрольною, друга, третя та четверта групи – дослідні) [2].

У кінці періоду відгодівлі у 56-добовому віці було відібрано по 5 аналогічних за масою голів з кожної групи для відбору крові з метою вивчення впливу різних доз ферментного препарату Hemicell®НТ на гематологічні показники.

У цілісній крові визначали:

- гемоглобін – гемоглобінціанідним методом за допомогою набору хімічних реактивів для визначення масової концентрації гемоглобіну крові;

- підрахунок еритроцитів і лейкоцитів проводили в камері Горяєва.

З біохімічних показників у сироватці крові за загальноприйнятими методиками визначали:

- загальний білок – рефрактометричним методом на рефрактометрі;

- холестерин – за допомогою набору «БІО-ЛА-ТЕСТ»;

- загальні ліпіди та β -ліпопротеїди – фотокolorиметричним методом;

- аміний азот – за реакцією з нінгідринном;

- кальцій – трилонометричним методом з індикатором флюорексоном та трилоном Б;

- фосфор – визначення у безбілковому фільтраті крові з ванад-молібденовим реактивом.

Крім того, визначали передзабійну, забійну масу, масу тушки, масу їстівних та неїстівних частин, внутрішнього жиру, хімічний склад м'яса.

Калорійність м'яса визначали розрахунковим шляхом за хімічним складом та калоричними коефіцієнтами: 1 г жиру = 9,3 ккал, 1 г білка = 4,1 ккал. Енергетичну цінність

м'яса (кДж) розраховували, виходячи з того, що 1 ккал відповідає 4,186 кДж.

Результати дослідів обробляли біометрично. Достовірною вважали різницю за $p \leq 0,05$.

Результати дослідження та обговорення. Кров забезпечує циркуляцію життєво важливих речовин до всіх клітин, одночасно виводячи продукти їх життєдіяльності. Склад крові відображає як нормальні, так і патологічні процеси, що відбуваються в тілі. Як елемент внутрішнього середовища кров виконує функцію зв'язку між органами та тканинами, підтримуючи оптимальні умови для їхнього функціонування.

Оцінити напрям метаболічних процесів в організмі можна за концентрацією окремих метаболітів у крові. Їх рівень змінюється залежно від характеру годівлі, зокрема під впливом різних кормових добавок.

У наших дослідженнях було поставлено завдання вивчити зміни окремих морфологічних та біохімічних показників крові гусенят за згодовування ферментного препарату. Отримані результати наведено в таблиці 1.

Еритроцити, маючи велику питому поверхню, можуть адсорбувати на собі численні органічні та мінеральні речовини, у тому числі гази, і транспортувати їх до тканин. Ферментний препарат Hemicell® НТ у кормосумішах гусенят-бройлерів дослідних груп не мав істотного впливу на кількість еритроцитів, хоча в гусенят 3-ї дослідної і 4-ї дослідної груп порівняно з аналогами 1-ї контрольної групи спостерігали тенденцію до їх підвищення на 0,25–0,30 Т/л, або на 7–12,8 %.

Таблиця 1 – Морфологічні та біохімічні показники крові молодняку гусей $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$ (n=5)

Показник	Група			
	1 контрольна	дослідна		
		2	3	4
Гемоглобін, г/л	87,5 $\pm$ 1,12	87,5 $\pm$ 1,75	93,7 $\pm$ 0,95**	88,7 $\pm$ 0,01
Еритроцити, Т/л	2,34 $\pm$ 0,261	2,34 $\pm$ 0,334	2,59 $\pm$ 0,128	2,64 $\pm$ 0,137
Лейкоцити, Г/л	25,7 $\pm$ 0,28	25,3 $\pm$ 0,11	27,5 $\pm$ 0,67*	24,7 $\pm$ 0,30
Загальний білок, г/л	63,5 $\pm$ 3,56	64,5 $\pm$ 2,50	82,5 $\pm$ 5,17**	71,0 $\pm$ 3,10
Аміний азот, г/л	0,06 $\pm$ 0,001	0,06 $\pm$ 0,001	0,07 $\pm$ 0,001***	0,06 $\pm$ 0,001
Загальні ліпіди, г/л	4,64 $\pm$ 0,118	5,24 $\pm$ 0,157*	4,89 $\pm$ 0,201	5,10 $\pm$ 0,228
Холестерин, ммоль/л	2,70 $\pm$ 0,227	2,75 $\pm$ 0,159	2,70 $\pm$ 0,187	2,50 $\pm$ 0,168
β - ліпопротеїди, г/л	2,62 $\pm$ 0,312	2,82 $\pm$ 0,280	3,46 $\pm$ 0,212*	3,08 $\pm$ 0,216
Кальцій, ммоль/л	2,67 $\pm$ 0,121	2,90 $\pm$ 0,082	2,90 $\pm$ 0,037	2,78 $\pm$ 0,058
Фосфор, ммоль/л	1,81 $\pm$ 0,178	2,00 $\pm$ 0,106	2,35 $\pm$ 0,223	1,94 $\pm$ 0,105

Примітка: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$; *** – $p \leq 0,001$ порівняно з контрольною групою.

Головна фізіологічна роль еритроцитів полягає в забезпеченні газообміну, що тісно пов'язано з функцією гемоглобіну – білка, який вони містять. У легенях гемоглобін зв'язує молекули кисню, а потім переносить їх до клітин організму. У тканинах, де кисень вже використано, еритроцити захоплюють вуглекислий газ і транспортують його назад до легень для виведення з організму.

Якщо в гусенят-бройлерів 1-ї контрольної та 2-ї дослідної груп вміст гемоглобіну в крові був на рівні 87,5 г/л, то у аналогів 3-ї дослідної групи вміст його зріс на 5,2 г/л ($p \leq 0,01$), а у 4-ї дослідної – на 1,2 г/л ($p \leq 0,05$).

Лейкоцити відіграють важливу роль у захисті організму. Вони можуть захоплювати та перетравлювати бактерії та інші сторонні тіла, що потрапили до організму. Аналіз вмісту лейкоцитів у крові гусенят-бройлерів показав, що у гусенят-бройлерів 3-ї дослідної групи, порівняно з іншими, кількість лейкоцитів достовірно збільшилася і становила 27,5 Г/л ($p \leq 0,05$), що на 7,0 % більше, ніж у гусенят контролю, на 8,7 %, ніж у аналогів 2-ї дослідної групи та на 11,3 %, порівняно з аналогами 4-ї дослідної групи.

Вміст загального білка у крові багато в чому залежить від рівня сирого протеїну в комбікормах, його перетравності в організмі птиці. Відмінності в коефіцієнтах перетравності протеїну під впливом ферментного препарату зумовили те, що в гусенят-бройлерів 1-ї контрольної групи кількість загального білка в сироватці крові становила 63,5 г/л, а в інших групах цей показник був вищим: у аналогів 2-ї дослідної групи – на 1,6 %; у 3-ї дослідної – на 29,9 ($p \leq 0,01$), і в 4-ї дослідної групи – на 11,8 %.

Однією з важливих показників білкового обміну є визначення в сироватці крові амінного азоту, тобто азоту вільних амінокислот, що надійшли в кров після гідролізу білка у травному каналі. У всієї дослідної птиці кількість амінного азоту в крові була однаковою – 0,06 г/л, за винятком гусенят-бройлерів 3-ї дослідної групи, де цей показник збільшилася на 16,7 % і становив 0,07 г/л ($p \leq 0,001$).

Визначення в сироватці крові окремих метаболітів ліпідного обміну показало, що найвищий вміст загальних ліпідів спостерігався у гусенят 2-ї дослідної групи, які отримували найменше дозування ферментного препарату (150 г/т), і становило 5,24 г/л ($p \leq 0,05$), що на 0,6 г/л було вищим за показник аналогів 1-ї контрольної групи. У гусенят-бройлерів 3-ї дослідної та 4-ї дослідної групах кількість загальних ліпідів у крові

перевищувала аналогів контролю відповідно на 0,25 та 0,46 г/л ($p \leq 0,05$).

Основними переносниками ліпідів у крові є β -ліпопротеїди. Їх вміст у крові дослідних гусенят мало різнився. Якщо в гусенят-бройлерів 1-ї контрольної групи кількість β -ліпопротеїдів була на рівні 2,62 г/л, то у аналогів 2-ї дослідної групи їх вміст підвищився на 7,6 %, у 3-ї – 32,1 ($p \leq 0,05$) та 4-ї дослідної – на 17,6 %, що склало 2,82 г/л, 3,46 та 3,08 г/л відповідно.

Вміст холестерину в сироватці крові гусенят усіх груп був практично однаковим і змінювався від 2,50 ммоль/л у гусенят-бройлерів 4-ї дослідної групи до 2,75 ммоль/л – у аналогів 2-ї дослідної групи. Різниця статистично вірогідна ($p \leq 0,05$).

Відмінності вмісту в сироватці крові гусенят основних макроелементів Кальцію та Фосфору були незначними, хоча спостерігалася тенденція у підвищенні їх кількості в гусенят дослідних груп. Так, якщо в гусенят 1-ї контрольної групи кількість Кальцію в крові становила 2,67 ммоль/л, то в аналогів 2-ї і 3-ї груп вона збільшилася до 2,90, а в гусенят-бройлерів 4-ї дослідної – до 2,78 ммоль/л. Вміст фосфору в крові гусенят контролю становив 1,81 ммоль/л, проте у аналогів 2-ї – 4-ї дослідних груп він підвищився до 2,00; 2,35 і 1,94 ммоль/л відповідно.

Отже, введення ферментного препарату 250 г/т кормової суміші гусенят-бройлерам найбільше впливає на еритропоез в організмі птиці, підвищує окисно-відновні реакції обміну речовин з вираженим анаболічним характером і захисні функції організму.

М'ясна продуктивність птиці є ключовою господарською характеристикою, що визначає її економічну цінність. Вона включає живу масу та якість м'яса у віці, придатному для забою, а також його харчову привабливість.

М'ясо птиці, як і інших видів сільськогосподарських тварин, містить білки, азотисті та безазотисті сполуки, жири, вуглеводи, вітаміни, ферменти, мінерали та воду. Його поживна цінність і роль у збалансованому харчуванні людини залежать від калорійності, смакових якостей і рівня засвоюваності.

Основним показником харчової цінності є співвідношення тканин у складі м'яса. Чим більше м'язової тканини – тим вища поживна цінність продукту. Жирова тканина може позитивно впливати на якість м'яса лише за умови її оптимального співвідношення з м'язовою та рівномірного розподілу в тушці. Надмірна кількість жиру знижує вміст білків і погіршує засвоюваність.

Збільшення частки сполучної тканини, яка містить неповноцінні білки, негативно впливає на ніжність і смак м'яса, а також зменшує його кількість. Кісткова тканина також знижує харчову цінність, оскільки майже не містить поживних речовин.

Результати контрольного забою птиці, проведеного в кінці періоду відгодівлі, представлено в таблиці 2.

Дані таблиці 2 показують, що передзабійна жива маса гусенят-бройлерів була близькою до середньої живої маси гусенят у досліді: 3854 г в гусенят 1-ї контрольної групи, 4072 г – у аналогів 2-ї дослідної групи, 4300 – у 3-ї і 4146 г – у гусей 4-ї дослідної групи.

Напівпатрана тушка гусенят дослідних груп також перевершувала за масою контрольну групу. Ця різниця була на користь аналогів 2-ї дослідної групи – на 184 г, або на 5,9 % ($p \leq 0,01$), у 3-ї групи – на 386 г, або 12,4 % ($p \leq 0,01$) та у гусенят-бройлерів 4-ї дослідної групи – на 256 г, або на 8,2 % ($p \leq 0,01$).

Проведення повного патрання тушок гусенят показало, що маса патраної тушки 1-ї контрольної групи була на рівні 2821 г, у аналогів 2-ї дослідної групи – 2989, 3-ї – 3173 і 4-ї дослідної групи – 3064 г. Порівняно з аналогами 1-ї контрольної групи ця відмінність була на користь дослідних груп відповідно на 168 г ($p \leq 0,01$), 352 г ($p \leq 0,001$) та 243 г

($p \leq 0,001$). Забійний вихід патраної тушки щодо передзабійної маси у всіх групах був подібним і становив 73,2–73,9 %.

Розрахунок виходу їстівних частин у тушках гусенят суттєво різнився у дослідних групах порівняно з контрольною. Так, цей показник 1-ї контрольної групи становив 2337 г, а у аналогів 2-ї дослідної групи він був вищим на 171 г, 3-ї – на 323 і у 4-ї дослідної групи – на 244 г ($p \leq 0,001$). У відносному вираженні вихід їстівних частин до передзабійної маси гусенят становив: у 1-ї контрольної групи 68,2 %, у 2-ї дослідної групи – 69,1, у 3-ї – 69,0 та у 4-ї дослідної групи – 69,8 %.

Вища жива маса гусенят у дослідних групах порівняно з контрольною підвищила в їх тушках вміст неїстівних частин: у аналогів 2-ї дослідної групи цей показник був вищим на 35 г, у 3-ї – на 104 та у 4-ї – на 28 г.

Відношення їстівних частин у тушках гусенят до неїстівних дало змогу розрахувати індекс м'ясних якостей, який підвищився з 2,15 разів у аналогів 1-ї контрольної групи, до 2,23 – у 2-ї та 3-ї дослідних груп, до 2,31 – у аналогів 4-ї дослідної групи.

Проведення контрольного забою дає змогу судити про вплив кормового фактору на розвиток основних тканин організму. Результати обвалювання тушок гусенят представлені у таблиці 3.

Таблиця 2 – Забійні та м'ясні якості молодняку гусей, % до перед забійної маси $\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$ (n=5)

Показник	Група			
	1 контрольна	дослідна		
		2	3	4
Передзабійна маса, г	3854 ±25,0	4072±24, 6***	4300 ±42,4***	4146±38,4***
Маса непатраної тушки, г	3426±44,4	3632±34,3**	3853 ±32,9***	3698±44,6**
% до передзабійної маси	88,9	89,2	89,6	89,2
Маса напівпатраної тушки, г	3106±36,4	3290 ±37,4**	3492±29,1***	3362±9,8***
Забійний вихід, %	80,6	80,8	81,2	81,1
Маса патраної тушки, г	2821 ±16,2	2989±33,9**	3173±20,7***	3064±26,8***
Забійний вихід патраної тушки, %	73,2	73,4	73,8	73,9
Вихід їстівних частин, г	2337 ±17,9	2508 ±15,9***	2660 ±25,3***	2581± 19,9***
%	68,2	69,1	69,0	69,8
Вихід не їстівних частин тушки, г	1089±38,8	1124±22,7	11 93 ±38,5	1117±22,7
%	31,8	30,9	31,0	30,2
Індекс м'ясних якостей	2,15	2,23	2,23	2,31

Примітка: *– $p \leq 0,05$; **– $p \leq 0,01$; ***– $p \leq 0,001$ порівняно з контрольною групою.

Таблиця 3 – Морфологічний склад тушок тушок молодняку гусей $\bar{X} \pm S_{\bar{X}} (n=5)$

Показник	Група			
	1 контрольна	дослідна		
		2	3	4
Маса патраної тушки, г	2821±16,2	2989±33,9**	3173±20,7***	3064±26,8***
В тому числі:				
м'язів, г	1543±6,6	1650±7,2***	1824±18,5***	1752±6,4***
%	54,7	55,2	57,5	57,2
Маса внутрішнього жиру, г	79±2,3	108±1,2***	92±2,9***	95±1,8***
%	2,8	3,6	2,9	3,1
Маса шкіри з підшкірним жиром, г	649±4,7	681±3,7***	670 ±2,4**	663±5,5
%	23,0	22,8	21,1	21,6
Маса кісток, г	550±5,1	550±4,7	587±3,2***	554±5,5
%	19,5	18,4	18,5	18,1
М'ясо-кістковий індекс	2,81	3,00	3,11	3,16

Примітка: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$; *** – $p \leq 0,001$ порівняно з контрольною групою.

Отримані дані свідчать, що маса патраної тушки у гусенят 2-ї–4-ї дослідних груп переважала над показником 1-ї контрольної групи. Ця відмінність становила у гусенят-бройлерів 2-ї дослідної групи на 168 г ($p \leq 0,01$), у 3-ї – на 352 г ($p \leq 0,001$) та у 4-ї групи – на 243 г ($p \leq 0,001$). Вона сталася за рахунок розвитку всіх тканин організму. Так, якщо в тушках гусенят-бройлерів 1-ї контрольної групи м'язова тканина в абсолютному вираженні становила 1543 г, або 54,7 % від маси патраної тушки, то в аналогів 2-ї дослідної групи її кількість збільшилася на 107 г ($p \leq 0,001$), або на 0,5 %, у 3-ї дослідної групи її маса зросла на 281 г або 2,8 % ($p \leq 0,001$), а у аналогів 4-ї дослідної групи – на 209 г або 2,5 %.

Найвищий вміст внутрішнього жиру у тушках спостерігався у гусенят-бройлерів 2-ї дослідної групи – 108 г, у аналогів 4-ї дослідної групи він становив 95 г і 3-ї – 92 г, що перевищувало даний показник контрольної групи відповідно на 29 г, 16 і 13 г ($p \leq 0,001$).

Маса шкіри з підшкірним жиром аналогічним чином була найвищою у гусенят 2-ї групи – 681 г, у аналогів 3-ї і 4-ї груп – 670 і 663 г відповідно, а порівняно з аналогами 1-ї контрольної групи різниця складала відповідно 32 г ($p \leq 0,001$), 21 ($p \leq 0,01$) і 14 г. У відносному вираженні маса шкіри з підшкірним жиром у гусенят-бройлерів 1-ї контрольної групи була найвищою і становила 23,0 % від маси патраної тушки, у той час як у 2-ї дослідної групи вона знизилася до 22,8 %, 3-ї – до 21,1 та у 4-ї дослідної групи – до 21,6 %.

Відмінностей за вмістом у тушках гусенят 1-ї контрольної, 2-ї і 4-ї дослідних груп кісткової тканини не було, тоді як у аналогів 3-ї дослідної групи її маса на 37 г ($p \leq 0,001$) перевищувала контрольний показник.

Важливим показником якості м'яса гусенят-бройлерів є розрахунок м'ясо-кісткового індексу, тобто відношення м'язової тканини до кісткової. Додавка ферментного препарату гусенят-бройлерам 2-ї–4-ї груп підвищила м'ясо-кістковий індекс у тушках. Якщо в гусенят 1-ї контрольної групи він становив 2,81, то у аналогів 2-ї дослідної групи він підвищився до 3,00, у 3-ї – до 3,11 та у 4-ї дослідної групи – до 3,16.

Якісні характеристики м'яса гусенят, зокрема його поживна та смакова цінність, значною мірою визначаються хімічним складом. Основну роль у цьому відіграють показники вмісту сухої речовини, протеїну та жиру. Саме концентрація білків і жирів у м'ясі суттєво впливає на його енергетичну цінність.

Детальні дані щодо хімічного складу м'яса гусенят та його енергетичної цінності наведено в таблиці 4.

Аналіз отриманих результатів свідчить про наявність тенденції до зниження вологості м'яса гусенят, яким у складі корму вводили ферментний препарат. Зокрема, вміст загальної води у м'ясі гусенят 1-ї контрольної групи становив 76,06 %, тоді як у аналогів 2-ї дослідної групи цей показник зменшився на 1,73 %, у 3-ї – на 2,71 %, а у 4-ї – на 1,67 %. Водночас спостерігалася пропорційне збільшення вмісту сухої речовини.

Таблиця 4 – Хімічний склад м'яса молодняку гусей, % $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$ (n=5)

Показник	Група			
	1 контрольна	дослідна		
		2	3	4
Загальна вода	76,06±1,01	74,33 ±1,32	73,35 ±1,15	74,39±1,35
Суша речовина	23,94 ±1,01	25,67±1,32	26,65 ±1,15	25,61±1,35
Білок	18,11±0,45	18,60±0,56	20,11±0,77*	19,12±0,31
Жир	5,22±0,17	6,46±0,22**	5,80±0,11*	5,58±0,14
Зола	0,61±0,01	0,61±0,03	0,74±0,05*	0,91±0,04***
Енергетична цінність 100 г м'яса, ккал	122,8	136,3	140,4	130,3
кДж	514,0	570,7	587,8	545,4

Примітка: *– $p \leq 0,05$; **– $p \leq 0,01$; ***– $p \leq 0,001$ порівняно з контрольною групою.

У складі органічної частини сухої речовини зафіксовано суттєві зміни концентрації білка та жиру. Так, вміст білка у м'ясі гусенят 1-ї контрольної групи становив 18,11 %, у аналогів 2-ї дослідної групи – 18,60 %, у 3-ї – 20,11 % ($p \leq 0,05$), а у гусенят-бройлерів 4-ї – 19,12 %.

Вміст жиру в м'ясі гусенят-бройлерів, які отримували досліджувані дози ферментного препарату, перевершував контрольну групу, в результаті чого у птиці 2-ї дослідної групи цей показник становив 6,46 %, 3-ї – 5,80 % і в 4-ї дослідної – 5,58 %, що був вищим вмісту жиру в м'ясі гусенят контролю відповідно на 1,24 % ($p \leq 0,01$), 0,58 % ($p \leq 0,05$) та на 0,36 %.

Неорганічна частина сухої речовини м'яса гусенят, представлена мінеральними елементами, особливо різнилася в двох останніх дослідних групах 3-ї і 4-ї. Якщо в 1-ї контрольної і 2-ї дослідної групах вміст сировини золи в м'ясі був на рівні 0,61 %, то у аналогів 3-ї дослідної групи її кількість підвищилася до 0,74 % ($p \leq 0,05$), а у 4-ї групи – до 0,91 % ($p \leq 0,001$).

Розрахунок енергетичної цінності м'яса, проведений на підставі калорійності протеїну і жиру, свідчить, що в 100 г м'яса гусенят-бройлерів контрольної групи загальний вміст енергії становив 122,8 ккал або 514,0 кДж, а в дослідних групах його енергетична цінність була вищою і становила: у птиці 2-ї дослідної групи – 136,3 ккал або 570,7 кДж, у 3-ї дослідної групи – 140,4 ккал або 587,8 кДж, а у аналогів 4-ї дослідної групи – 130,3 ккал або 545,4 кДж.

Отже, включення ферментного препарату до раціону гусенят-бройлерів дослідних груп сприяло покращенню засвоєння поживних речовин корму, що, своєю чергою, позитивно позначилося на формуванні м'язової та

жирової тканин. Це сприяло більш інтенсивному накопиченню білка і жиру в м'ясі, підвищивши його енергетичну цінність.

Для забезпечення життєдіяльності та високої продуктивності сільськогосподарських тварин і птиці необхідне безперервне надходження енергії із органічних компонентів корму. На ступінь засвоєння валової енергії корму значно впливають різноманітні кормові добавки та біологічно активні речовини, що здатні оптимізувати обмінні процеси в організмі (рис. 1).

Добавка ферментного препарату до раціону гусенят-бройлерів справила певний вплив на використання енергії корму. Розрахунок використання енергії корму гусенятами показав, що за однакового надходження валової енергії з кормом у всіх групах 5,4 МДж на голову на добу дозволило отримати відмінності в перетравності органічної частини корму у гусенят дослідних груп під впливом ферментного препарату.

Так, якщо в гусенят-бройлерів 1-ї контрольної групи перетравна енергія становила 4,02 МДж, то у аналогів 2-ї дослідної вона збільшилася до 4,12 МДж, або на 2,5 %, у птиці 3-ї – до 4,18, або на 4,0 % та у аналогів 4-ї дослідної групи – до 4,15 МДж, або на 3,2 % відповідно.

Рівень обмінної або фізіологічно корисної енергії, яка використовується організмом для підтримання життєвих функцій і формування продукції, був вищим у гусенят дослідних груп порівняно з контрольною. У раціоні гусенят 1-ї контрольної групи цей показник становив 3,81 МДж, тоді як у гусенят 2-ї дослідної групи – 3,91 МДж, 3-ї – 3,98 МДж, а 4-ї – 3,95 МДж. У перерахунку на валову енергію це відповідало 70,6 %, 72,4 %, 73,7 % та 73,2 % відповідно.

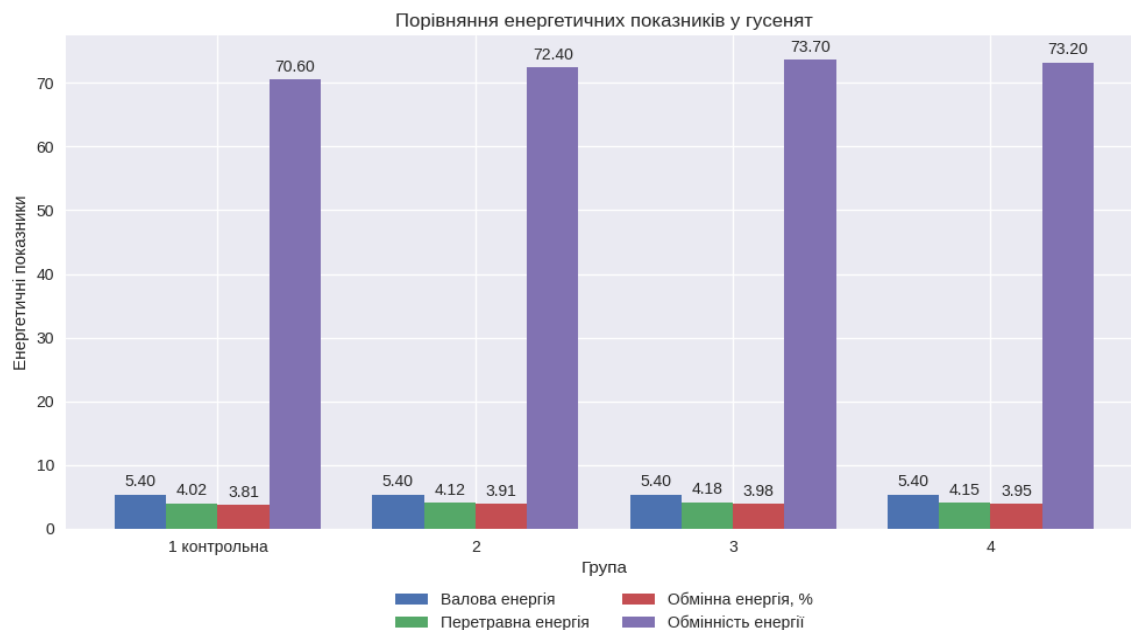


Рис. 1. Надходження та використання енергії корму гусенятами, МДж/гол. на добу.

Оцінювання м'ясної продуктивності гусенят-бройлерів та розрахунок витрат корму на одиницю отриманої продукції не забезпечують повної об'єктивності щодо ефективності засвоєння поживних речовин корму та не відображають потенціалу птиці до максимального синтезу харчового білка. Більш точну характеристику дає аналіз ефективності перетворення поживних речовин корму у складові м'ясної продукції, зокрема за рівнем виходу білка та жиру, що підтверджується результатами контрольного забою гусей.

Основними критеріями оцінювання м'ясної продуктивності гусенят-бройлерів виступають коефіцієнт конверсії кормового протеїну в білок тканин організму (ККП) та коефіцієнт конверсії енергії в енергію, що акумулюється у білку та жири (ККЕ).

Узагальнені результати щодо ефективності конверсії протеїну та енергії в продукцію наведено в таблиці 5.

Результати розрахунків свідчать, що у гусенят у віці забою, тобто на 60-й день, середньодобове накопичення білка та жиру в тканинах тіла становило: у птиці 1-ї контрольної групи – 414,4 г білка та 322,4 г жиру. У дослідних групах ці показники були вищими порівняно з контролем: у гусенят 2-ї групи – на 38,4 г білка та 64,6 г жиру більше, у 3-ї – на 94,5 г білка та 44,5 г жиру, а у 4-ї – на 61,5 г білка та 37,8 г жиру.

У розрахунку на 1 кг живої маси вихід білка та жиру, відкладеного в тканинах тіла, також різнився (рис. 2). У гусенят 1-ї контрольної групи, які отримували за період відгодівлі одну лише повнораціонну кормову сумішку, в середньому за добу в розрахунку на 1 кг живої маси в їх тілі відкладалося 107,5 г білка і 83,7 г жиру, тоді як добавка ферментного препарату до раціону гусенят 2-ї–4-ї дослідних груп порівняно з контролем підвищила вихід білка у аналогів 2-ї групи на 3,7 г, у 3-ї – на 10,9 та у 4-ї – на 7,3 г, жиру відповідно, на 11,3 г, 1,6 та 3,2 г.

Таблиця 5 – Трансформація протеїну та енергії корму в продукцію, г

Показник	Група			
	1 контрольна	дослідна		
		2	3	4
Відклалося у тканинах тіла:				
- білка	414,4	452,8	508,9	475,9
- жиру	322,4	387	366,9	360,2
Вихід на 1 кг живої маси:				
- білка	107,5	111,2	118,4	114,8
- жиру	83,7	95,0	85,3	86,9

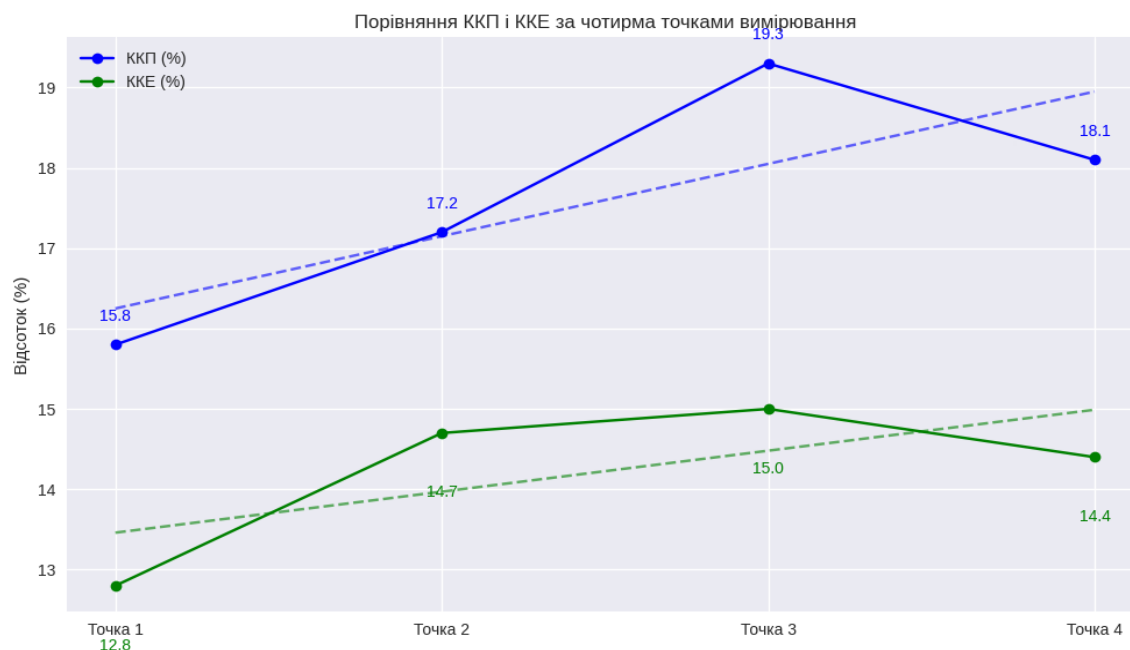


Рис. 2. Зміна коефіцієнтів конверсії протеїну та енергії.

Найвищий показник конверсії протеїну – 19,3 % було зафіксовано у гусенят-бройлерів 3-ї дослідної групи. У птиці 4-ї дослідної групи цей показник становив 18,1 %, у 2-ї – 17,2 %, тоді як у 1-ї контрольної лише 15,8 %. Схожу тенденцію спостерігали і під час аналізу коефіцієнта конверсії енергії в енергію накопичення білка та жиру: у аналогів контролю він дорівнював 12,8 %, у 2-ї дослідної групи – 14,7 %, у 3-ї – 15,0 %, а у 4-ї – 14,4 %.

Отже, з усіх доз ферментного препарату найвища трансформація протеїну і енергії корму в продукцію спостерігається у разі додавання ферментного препарату в кількості 250 г на 1 т кормової сумішки.

Висновок. Застосування ферментного препарату Hemicell® НТ у годівлі гусей-

бройлерів у дозах 150 г, 250 г та 310 г на одну тонну корму стимулювало обмінні процеси в організмі птиці. Найбільш виражений позитивний ефект щодо приросту живої маси, активності еритропоезу, м'ясної продуктивності та покращення якісних показників м'яса спостерігався за дозування 250 г/т корму. Саме ця концентрація забезпечила інтенсивніше накопичення білка і жиру в м'язовій тканині, що, своєю чергою, підвищило енергетичну цінність продукції.

Виходячи з отриманих результатів, доцільно рекомендувати включення ферментного препарату Hemicell® НТ до складу кормосумішей для гусей, яких вирощують на м'ясо, з оптимальним дозуванням 250 г на тонну корму.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Баланчук І.М. Практичне застосування ферментів у тваринництві. Птахівництво України і світу. 2014. URL: <http://market.avianua.com/?p=3958>
2. Вплив ферментного препарату Hemicell®НТ на обмін речовин молодняку гусей / С.П. Бабенко та ін. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва». 2024. № 2. С. 25–35. DOI:10.33245/2310-9289-2024-190-2-25-35
3. Ефективність застосування ферментного препарату Hemicell® НТ за вирощування молодняку гусенят / С.П. Бабенко та ін. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва». 2024. № 1. С. 42–50. DOI:10.33245/2310-9289-2024-186-1-42-50
4. Борисенко К. Майбутнє кормових ферментів. Наше Птахівництво. 2018. URL: <https://agrotimes.ua/article/majbutne-kormovih-fermentiv/>
5. Голубев М.І., Щасливий Р.А. Ефективність використання комбікормів з різним рівнем жиру у годівлі молодняку гусей. Науковий вісник ЛНУВМБ ім. С. З. Гжицького. Львів, 2013. Т. 15. № 3 (57). Ч. 3. С. 21–25.
6. Заплатиський В.С. Зв'язок мірних ознак і живої маси з рівнем перопухової продуктивності гусей оброшинської сірої та оброшинської білої породних груп. Науковий вісник ЛНУВМБТ ім. С.З. Гжицького. 2017. Т. 19. № 74. С. 156 – 160.
7. Петрів М.Д., Слобода Л.Я., Загорець Н.М., Тесак Г.В. Інтенсивність росту та розвитку мо-

лодняку оброшинських білих гусей, схрещених з породою легарт. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2013. Вип. 55. Ч. I.

8. Фіалович Л., Кирилів І., Паскевич Г. Вирощування гусей з використанням нетрадиційних добавок у комбікорми. Науковий вісник ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. Сільськогосподарські науки. 2018. 20 (84). С. 127–130. DOI:10.15421/nvlvet8423

9. Ding S., Yan W., Ma Y., Fang J. The impact of probiotics on gut health via alternation of immune status of monogastric animals. *Anim Nutr.* 2021. 7 (1). P. 24–30. DOI:10.1016/j.aninu.11.004.

10. Ádám D., Bársony P., Posta J., Babinszky L. Effect of feeds with different crude fiber content on the performance of meat goose. *Acta Agraria Debreceniensis.* 2019. 2. P. 5–8. DOI:10.34101/acta-agra/2/3670

11. Effect of Dietary Ramie Powder at Various Levels on the Growth Performance, Meat Quality, Serum Biochemical Indices and Antioxidative Capacity of Yanling White Geese / F. Chen et al. *Animals.* 2022. 12 (16). 2045 p. DOI:10.3390/ani12162045

12. Effects of dietary metabolizable energy and crude fiber levels on slaughter performance of goslings / W.J. Gu et al. *Anhui Agricultural Sciences.* 2022. 50 (20). P. 67–70. DOI:10.20944/preprints202309.0863.v1

13. Gut microbiota correlates with fiber and apparent nutrients digestion in goose / L. Guojun et al. *Poultry Science.* 2018. Vol. 97. Issue 11. P. 3899–3909. DOI:10.3382/ps/pey249

14. Dietary supplement of fermented grass forage regulates growth performance, antioxidant capacity, and immune response of broiler chickens / N.A. Ibrahim et al. *Poultry Science.* 2024. Vol. 103. Issue 2. DOI:10.1016/j.psj.2023.103323.

15. Plouhinec L., Neugnot V., Lafond M., Berrin J.-G. Carbohydrate-active enzymes in animal feed. *Biotechnology Advances.* 2023. Vol. 65. DOI:10.1016/j.biotechadv.2023.108145

16. Different amino acid supplementation patterns in low-protein diets on growth performance and nitrogen metabolism of goslings from 1 to 28 days of age / Y.Q. Liang et al. *Poult Sci.* 2023. 102 (2). DOI:10.1016/j.psj.2022.102395.

17. 1-Deoxynojirimycin from mulberry leaves changes gut digestion and microbiota composition in geese / H. Qirui et al. *Poultry Science.* 2020. Vol. 99. Issue 11. P. 5858–5866. DOI:10.1016/j.psj.2020.07.048

18. Effect of protease supplementation on the performance and digestibility of broilers / M.H. Riaz et al. *Animal Husbandry Products Production and Processing.* 2020. 1. P. 15–21. DOI:10.33245/2310-9270-2020-157-1-15-21

19. Lithium in the natural environment and its migration in the trophic chain / O.I. Sobolev et al. *Ukrainian Journal of Ecology.* 2019. 9(2), 195–203.

20. Prebiotics and the poultry gastrointestinal tract microbiome / S.C. Ricke et al. *Poultry Science.* 2020. Vol. 99. Issue 2. DOI:10.1016/j.psj.2019.12.018

21. Effects of *Enterococcus faecalis* Supplementation on Growth Performance, Hepatic Lipid Metabolism, and mRNA Expression of Lipid Metabolism Genes and Intestinal Flora in Geese / S. Sun et al. *Animals.* 2025. 15 (2). 268 p. DOI:10.3390/ani15020268

22. Slaughter parameters of broiler chickens at different levels and ratios of arginine and lysine in the compound feed / M. Sychov et al. *Acta fytotechnica et zootechnica.* 2022. 25 (4). ISSN 1336-9245

23. Dietary Paper Mulberry Silage Supplementation Improves the Growth Performance, Carcass Characteristics, and Meat Quality of Yangzhou Goose / R. Wang et al. *Animals.* 2024. 14 (3). 359 p. DOI:10.3390/ani14030359

24. Comparative characterization of bacterial communities in geese fed all-grass or high-grain diets / Q. Xu et al. *PLoS One.* 2017. 12 (10). DOI:10.1371/journal.pone.0185590

25. Fermented feed regulates growth performance and the cecal microbiota community in geese / J. Yan et al. *Poult Sci.* 2019) 98 (10). P. 4673–4684. DOI:10.3382/ps/pez169

26. Effects of dietary *Artemisia annua* supplementation on growth performance, antioxidant capacity, immune function, and gut microbiota of geese / C. Yizhe et al. *Poultry Science.* 2024. Vol. 103. Issue 5. DOI:10.1016/j.psj.2024.103594.

27. Effects of Yeast Culture Supplementation on Growth Performance, Nutrient Digestibility, Blood Metabolites, and Immune Response in Geese / J. Zhang et al. *Animals.* 2022. 12 (10). 1270 p. DOI:10.3390/ani12101270

REFERENCES

1. Balanchuk, I.M. (2014). *Praktychne zastosuvannya fermentiv u tvarynnystvi* [Practical application of enzymes in animal husbandry]. *Ptkhivnytsvo Ukrainy i cvitu* [Poultry farming in Ukraine and the world]. Available at: <http://market.avianua.com/?p=3958> (In Ukrainian).

2. Babenko, S., Bomko, V., Kuzmenko, O., Cherniavskyi, O., Tytariova, O., Slomchynskyi, M., Nedashkivsky, V., Sobolieva, S. (2024). *Vplyv fermentnogo preparatu Hemicell®HT na obmin rechovyn molodnjaku gusej* [Effect of enzyme preparation Hemicell®HT on the metabolism of young geese]. *Zbirnyk naukovykh prac' «Tehnologija vyrobnyctva i pererobky produkciï tvarynnystva»* [Animal Husbandry Products Production and Processing], no. 2, pp. 25–35. DOI:10.33245/2310-9289-2024-190-2-25-35 (In Ukrainian).

3. Babenko S., Bomko V., Kuzmenko O., Cherniavskyi O., Tytariova O., Slomchynskyi M., Nedashkivsky V., Sobolieva S. (2024). *Efektivnist' zastosuvannya fermentnogo preparatu Hemicell® HT za vyroshhuvannya molodnjaku gusenjat* [Efficiency of use of enzyme preparation Hemicell® HT for growing young gees]. *Zbirnyk naukovykh prac' «Tehnologija vyrobnyctva i pererobky produkciï tvarynnystva»* [Animal Husbandry Products Production and Processing], no. 1, pp. 42–50. DOI:10.33245/2310-9289-2024-186-1-42-50 (In Ukrainian).

4. Borysenko, K. (2018). Maibutnie kormovykh fermentiv [The future of feed enzymes]. *Nashe Ptakhivnytstvo* [Our Poultry Farming]. Available at: <https://agrotimes.ua/article/majbutne-kormovih-fermentiv/> (In Ukrainian).
5. Holubiev, M.I., Shchaslyvyi, R.A. (2013). Efektyvnist vykorystannia kombikormiv z riznym rivnem zhyru u hodivli molodniaku husei [The effectiveness of using compound feeds with different levels of fat in feeding young geese]. *Naukovyi visnyk LNUVMB im. S. Z. Hzhyskoho* [Scientific Bulletin of the S. Z. Gzhysky Lviv National University of Biomedical Sciences], Lviv, Vol. 15, no. 3 (57), Part 3, pp. 21–25. (In Ukrainian).
6. Zaplatskyi, V.S. (2017). Zv'iazok mirnykh oznak i zhyvoi masy z rivnem peropukhovoi produktyvnosti husei obroshynskoi siroi ta obroshynskoi biloi porodnykh hrup [The relationship between dimensional characteristics and live weight with the level of feather productivity of geese of the Obroshin gray and Obroshin white breed groups]. *Naukovyi visnyk LNUVMBT im. S.Z. Gzhyskoho* [Scientific Bulletin of the S.Z. Gzhyskyi LNUVMBT], Vol. 19, no. 74, pp. 156–160. (In Ukrainian).
7. Petriv, M.D., Sloboda, L.Ya., Zahorets, N.M., Tesak, H.V. (2013). Intensyvni rost ta rozvytku molodniaku obroshynskykh bilykh husei, skhreshchenykh z porodoiu lehart [Growth and development intensity of young Obroshin white geese crossed with the Legart breed]. *Peredhirne ta hirske zemlerobstvo i tvarynystvo* [Foothill and mountain agriculture and animal husbandry]. Issue 55, Part I. (In Ukrainian).
8. Fialovych, L., Kyryliv, I., Paskevych, H. (2018). Vyroshchuvannia husei z vykorystanniam netradytsiinykh dobavok u kombikormy [Growing geese using non-traditional additives in compound feed]. *Naukovyi visnyk LNU veterinarnoi medytyny ta biotekhnologii* [Scientific Bulletin of the Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology]. *Silskohospodarski nauky* [Agricultural Sciences], 20 (84), pp. 127–130. DOI:10.15421/nvl-vet8423 (In Ukrainian).
9. Ding, S., Yan, W., Ma, Y., Fang, J. (2021). The impact of probiotics on gut health via alternation of immune status of monogastric animals. *Anim Nutr.*, 7 (1), pp. 24–30. DOI:10.1016/j.aninu.11.004.
10. Dobos, Á., Bársony, P., Posta, J., Babinszky, L. (2019). Effect of feeds with different crude fiber content on the performance of meat goose. *Acta Agraria Debreceniensis*. 2, pp. 5–8. DOI:10.34101/actaagrar/2/3670
11. Chen, F., He, J., Wang, X., Lv, T., Liu, C., Liao, L., Li, Z., Zhou, J., He, B., Qiu, H., Lin, Q. (2022). Effect of Dietary Ramie Powder at Various Levels on the Growth Performance, Meat Quality, Serum Biochemical Indices and Antioxidative Capacity of Yanling White Geese. *Animals*, 12 (16), 2045 p. DOI:10.3390/ani12162045
12. Gu, W.J., Zhou, G.L., Wang, W.H., Zhang, W., Zhao, Q.Q., Zhang, L. (2022). Effects of dietary metabolizable energy and crude fiber levels on slaughter performance of goslings. *Anhui Agricultural Sciences*. 50 (20), pp. 67–70. DOI:10.20944/preprints202309.0863.v1
13. Guojun Liu, Xu Luo, Xiuhua Zhao, Aizhong Zhang, Ning Jiang, Lingyu Yang, Meng Huang, Li Xu, Liyan Ding, Manyu Li, Zhenhua Guo, Xin Li, Jinyan Sun, Jingming Zhou, Yanzhong Feng, Haijuan He, Hongda Wu, Xiangkui Fu, He Meng. (2018). Gut microbiota correlates with fiber and apparent nutrients digestion in goose. *Poultry Science*. Vol. 97, Issue 11, pp. 3899–3909. DOI:10.3382/ps/pey249
14. Omoor, I.N.A., Yankey, R., Shehata, A.I. (2024). Dietary supplement of fermented grass forage regulates growth performance, antioxidant capacity, and immune response of broiler chickens. *Poultry Science*, Vol. 103, Issue 2. DOI:10.1016/j.psj.2023.103323.
15. Plouhinec, L., Neugnot, V., Lafond, M., Berrin, J.-G. (2023). Carbohydrate-active enzymes in animal feed. *Biotechnology Advances*, Vol. 65. DOI:10.1016/j.biotechadv.2023.108145
16. Liang, Y.Q., Zheng, X.C., Wang, J., Yang, H.M., Wang, Z.Y. (2023). Different amino acid supplementation patterns in low-protein diets on growth performance and nitrogen metabolism of goslings from 1 to 28 days of age. *Poult Sci.*, 102 (2). DOI:10.1016/j.psj.2022.102395
17. Hou, Q., Qian, Z., Wu, P., Shen, M., Li, L., Zhao, W. (2020). 1-Deoxynojirimycin from mulberry leaves changes gut digestion and microbiota composition in geese. *Poultry Science*, Vol. 99, Issue 11, pp. 5858–5866. DOI:10.1016/j.psj.2020.07.048
18. Riaz, M.H., Iqbal, A., Khan, S., Tahir, M., Shah, M.N., Memoon, S., Oksana, K. (2020). Effect of protease supplementation on the performance and digestibility of broilers. *Animal Husbandry Products Production and Processing*, 1, pp. 15–21. DOI:10.33245/2310-9270-2020-157-1-15-21
19. Sobolev, O.I., Guttyj, B.V., Darmohray, L.M., Sobolieva, S.V., Ivanina, V.V., Kuzmenko, O.A., Chernyuk, S.V. (2019). Lithium in the natural environment and its migration in the trophic chain. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9 (2), pp. 195–203.
20. Ricke, S.C., In Lee, S., Ae Kim, S., Hong Park, S., Shi, Z. (2020). Prebiotics and the poultry gastrointestinal tract microbiome. *Poultry Science*, Vol. 99, Issue 2. DOI:10.1016/j.psj.2019.12.018
21. Sun, S., Zhao, Y., Pang, Z., Wan, B., Wang, J., Wu, Z., Wang, Q. (2025). Effects of *Enterococcus faecalis* Supplementation on Growth Performance, Hepatic Lipid Metabolism, and mRNA Expression of Lipid Metabolism Genes and Intestinal Flo-

ra in Geese. *Animals*. 15 (2), 268 p. DOI:10.3390/ani15020268

22. Sychoy, M., Ilchuk, I., Umanets, D., Balanchuk, I., Ibatullin, I., Umanets, R., Orishchuk, O. (2022). Slaughter parameters of broiler chickens at different levels and ratios of arginine and lysine in the compound feed. *Acta fytotechnica et zootechnica*, 25 (4). ISSN 1336-9245

23. Wang, R., Wang, X., Xiong, Y., Cao, J., Nussio, L.G., Ni, K., Lin, Y., Wang, X., Yang, F. (2024). Dietary Paper Mulberry Silage Supplementation Improves the Growth Performance, Carcass Characteristics, and Meat Quality of Yangzhou Goose. *Animals*. 14 (3), 359 p. DOI:10.3390/ani14030359

24. Xu, Q., Yuan, X., Gu, T., Li, Y., Dai, W., Shen, X., Song, Y., Zhang, Y., Zhao, W., Chang, G., Chen, G. (2017). Comparative characterization of bacterial communities in geese fed all-grass or high-grain diets. *PLoS One*, 12 (10). DOI:10.1371/journal.pone.0185590

25. Yan, J., Zhou, B., Xi, Y.L., Huan, H., Li, M., Yu, J., Zhu, H., Dai, Z., Ying, S., Zhou, W., Shi, Z. (2019). Fermented feed regulates growth performance and the cecal microbiota community in geese. *Poult Sci*. 98 (10), pp. 4673–4684. DOI:10.3382/ps/pez169

26. Cui, Y., Leng, X., Zhao, Y., Zhao, Y., Wang, Q. (2024). Effects of dietary *Artemisia annua* supplementation on growth performance, antioxidant capacity, immune function, and gut microbiota of geese. *Poultry Science*, Vol. 103, Issue 5. DOI:10.1016/j.psj.2024.103594.

27. Zhang, J., He, H., Yuan, Y., Wan, K., Li, L., Liu, A. (2022). Effects of Yeast Culture Supplementation on Growth Performance, Nutrient Digestibility, Blood Metabolites, and Immune Response in Geese. *Animals*. 12 (10), 1270 p. DOI:10.3390/ani12101270

Feeding of young geese with the enzyme preparation Hemicell® HT and its influence on hematological indicators, yield and quality of slaughter products

Babenko S., Bomko V., Kuzmenko O., Cherniavskiy O., Tytariova O.M., Slomchynskiy M., Nedashkivsky V., Sobolieva S.

The direction of metabolic processes in a living organism can be inferred from the levels of individual metabolites in blood. Their amount can vary depending on feeding, that is, under the influence of individual feed additives. Among the studied doses, the average dosage of the enzyme preparation (250 g per 1 t) of the feed mixture for broiler goslings, compared to low and high, has the greatest effect on erythropoiesis in the bird's body, increases redox reactions of metabolism with a pronounced anabolic nature and the protective functions of the body.

The calculated yield of edible parts in the carcasses of experimental goslings differed significantly between the experimental groups and the control group. Thus, in goslings of the 1st control group, the mass of edible parts in the carcass was 2337 g, in the analogues of the 2nd experimental group, it was higher by 171 g, in the 3rd - by 323, and in the goslings of the 4th experimental group - by 244 g ($p \leq 0.001$). In relative terms, the yield of edible parts to the pre-slaughter weight of goslings was: in the analogues of the 1st control group 68.2%, in the 2nd - 69.1%, in the 3rd - 69.0% and in the goslings of the 4th group - 69.8%.

The higher live weight of goslings in the experimental groups compared to the control group increased the inedible parts in their carcasses. Thus, in goslings of the 2nd experimental group by 35 g, in the 3rd by 104, and in the analogues of the 4th by 28.0 g.

The ratio of edible to inedible parts in gosling carcasses allowed us to calculate the meat quality index, which increased from 2.15 in the control to 2.23 in the analogues of the 2nd and 3rd experimental groups. This ratio in the goslings of the 4th experimental group was 2.31. An important indicator of the quality of broiler gosling meat is the meat-bone index, i.e., the ratio of muscle tissue to bone. Adding an enzyme preparation to the diets of goslings in groups 2–4 increased this indicator. If in the control group it was 2.81, then in the analogues of the 2nd experimental group it increased to 3.00, in the goslings of the 3rd group to 3.11, and in the 4th experimental group to 3.16. Based on protein and fat calorie content, 100 g of meat from the 1st control group contained 122.8 kcal (514.0 kJ). In the 2nd group, this increased to 136.3 kcal (570.7 kJ); in the 3rd, 140.4 kcal (587.8 kJ); and in the 4th, 130.3 kcal (545.4 kJ).

The calculation of the energy value of meat, carried out on the basis of the calorie content of protein and fat, shows that in 100 g of meat of goslings of the 1st control group the total energy content was 122.8 kcal, or 514.0 kJ, while in the experimental groups its energy value was higher and amounted to: in the analogues of the 2nd experimental group 136.3 kcal or 570.7 kJ, in the 3rd, respectively, 140.4 or 587.8, and in goslings of the 4th experimental group 130.3 kcal or 545.4 kJ. Meat productivity measures include feed protein conversion (CCP) and energy conversion (CFE). At slaughter age (60 days), the average daily protein and fat deposition in the 1st control group were 414.4 g and 322.4 g, respectively. In the 2nd group, protein and fat deposition increased by 38.4 g and 64.6 g. In the 3rd group, these rose by 94.5 g and 44.5 g. In the 4th group, the increase was 61.5 g for protein and 37.8 g for fat. For each 1 kg of

live weight, protein and fat deposition differed by group. The 1st control group, fed a single complete mixture, deposited 107.5 g of protein and 83.7 g of fat daily. With Hemicell® HT, the 2nd, 3rd, and 4th groups saw increases in protein of 3.7 g, 10.9 g, and 7.3 g, and in fat of 11.3 g, 1.6 g, and 3.2 g, respectively.

The highest protein conversion ratio of 19.3% was observed in goslings of the 3rd experimental group, 18.1% in analogues of the 4th, and 17.2% in

goslings of the 2nd experimental group. A similar pattern is observed in the calculation of the energy conversion ratio for protein and fat deposition. In goslings of the 1st control group, it was 12.8%; in analogues of the 2nd group, 14.7%; in the 3rd, 15.0%; and in analogues of the 4th experimental group, 14.4%.

Keywords: morphological and biochemical indicators, control slaughter, chemical composition of meat, protein conversion, energy conversion.



Copyright: Бабенко С.П. та ін. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Бабенко С.П.

<https://orcid.org/0000-0001-5131-4999>

Кузьменко О.А.

<https://orcid.org/0000-0003-4553-9950>

Бомко В.С.

<https://orcid.org/0000-0001-5558-6924>

Чернявський О.О.

<https://orcid.org/0000-0003-0713-6587>

Титарьова О.М.

<https://orcid.org/0000-0003-4820-809X>

Сломчинський М.М.

<https://orcid.org/0000-0001-5197-2684>

Недашківський В.М.

<https://orcid.org/0000-0001-5487-6807>

Соболева С.В.

<https://orcid.org/0000-0001-9102-9666>

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 332:330.341.1

**Екоінноваційні проекти в харчовому секторі:
інвестування в стале майбутнє**Димань Т. М. , Димань Н. О. , Задорожна Р. П. *Білоцерківський національний аграрний університет*

Димань Т. М. E-mail: tetyana.dyman@btsau.edu.ua



Димань Т. М., Димань Н. О., Задорожна Р. П. Екоінноваційні проекти в харчовому секторі: інвестування в стале майбутнє. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2025. № 2. С. 87–100.

Dyman T., Dyman N., Zadorozhna R. Eco-innovation projects in the food sector: investment in a sustainable future. «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2025. № 2. PP. 87–100.

Рукопис отримано: 01.10.2025 р.

Прийнято: 14.10.2025 р.

Затверджено до друку: 27.11.2025 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2025-198-2-87-100

Ключова роль у досягненні глобальних екологічних та соціально-економічних цілей у сучасному світі належить харчовій промисловості, бо саме агропродовольчий сектор – одне з найбільших джерел парникових викидів, деградації ґрунтів та споживання води. Результати проведеного дослідження підтверджують, що подальший розвиток харчової галузі неможливий без цілеспрямованої екоінноваційної трансформації, що базується на принципах циркулярності, технологічної ефективності та відповідального споживання. Аналіз сучасних тенденцій показав, що харчова промисловість поступово переходить до моделі *Industry 5.0*, у якій збільшується взаємодія людини й технологій, а пріоритетними стають персоналізація продуктів, мінімізація екологічного сліду та орієнтація на добробут суспільства. Впровадження екоінноваційних проектів стає ключовою умовою конкурентоспроможності підприємств і сталості агропродовольчих систем у довгостроковій перспективі.

Охарактеризовано сучасні напрями екоінновацій у харчовій галузі – виробництво альтернативних протеїнів, культивування м'яса, прецизійну ферментацію, 3D-друк харчових продуктів, апсайклінг харчових відходів та інноваційне пакування. Наведено приклади найуспішніших інноваційних проектів, поширення яких уможливить зменшення споживання води й енергії, мінімізацію втрат харчових ресурсів, зниження викидів парникових газів, забезпечення споживачів більш безпечними й здоровими продуктами. Вони демонструють різний рівень технологічного розвитку, однак всі мають високий потенціал для зменшення навантаження на природне довкілля.

Зроблено висновок, що екоінновації стають фундаментом переходу харчової промисловості до сталої, кліматично нейтральної та технологічно ефективної моделі розвитку. Вони формують нові стандарти відповідального виробництва і споживання, відповідають глобальним викликам ХХІ століття та відкривають для України можливості зміцнення позицій у світовому агропродовольчому просторі.

Ключові слова: екологічні інновації, екотрансформація харчової галузі, екоінноваційні проекти, споживачі, сталий розвиток.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Зростання населення, урбанізація та зміни клімату створюють безпрецедентний тиск на продовольчі системи, що вимагає переходу від традиційних до інноваційних і сталих моделей виробництва та споживання. Необхідність уповільнення деградації планети стала однією з найактуальніших проблем XXI століття. Ключова роль у досягненні глобальних екологічних та соціально-економічних цілей у сучасному світі належить харчовій промисловості, бо саме агропродовольчий сектор – одне із найбільших джерел парникових викидів, деградації ґрунтів та споживання води [31]. Сьогодні ця галузь перебуває на етапі переходу до моделі *Industry 5.0*, у якій гармонійно поєднуються технологічна ефективність, персоналізація продуктів і турбота про планету, а розвиток екоінновацій стає основним механізмом досягнення кліматичної нейтральності [19, 27].

2015 року Організація Об'єднаних Націй (ООН) ухвалила *Цілі сталого розвитку (ЦСР)*, серед яких ЦСР 12 («Відповідальне споживання і виробництво»), ЦСР 2 («Подолання голоду, досягнення продовольчої безпеки та сприяння сталому сільському господарству») та ЦСР 3 («Здоров'я і добробут») мають особливе значення для харчової промисловості [46]. Вони визначають стратегічні орієнтири для досягнення продовольчої безпеки, зменшення екологічного сліду виробництва та формування свідомої культури споживання до 2030 року.

Досягнення ЦСР потребує екологічної трансформації харчової промисловості, яка базується на принципах екоефективності, циркулярної економіки та цифрової інноваційності. Харчова промисловість намагається забезпечити екологічну чистоту процесів виробництва певних видів харчових продуктів, особливо тих, що пов'язані з агропромисловим комплексом, який потребує значних обсягів вичерпних або повільно відновлюваних природних ресурсів як-от прісна вода. Сучасні виробники прагнуть мінімізувати вплив на природне довкілля на всіх етапах – від добування ресурсів до кінцевого споживання, впроваджуючи екоінновації як стратегічний інструмент підвищення конкурентоспроможності й водночас реагуючи на соціальний та регуляторний тиск [24].

Мета роботи – охарактеризувати основні сучасні екоінноваційні підходи і рішення, застосовувані в харчовій промисловості для забезпечення сталого розвитку агропродовольчого сектору економіки України.

Необхідність екоінноваційної трансформації харчової галузі. За визначенням Організації економічного співробітництва та розвитку (*OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development*), екоінновації – це «розроблення нових або вдосконалених продуктів, процесів чи організаційних рішень, які сприяють зменшенню негативного впливу на навколишнє [природне] середовище» [28].

Екоінновації мають фундаментальне значення для сталого розвитку підприємств та їх економічного зростання. Вони стосуються виробничих процесів, послуг, методів управління або бізнес-моделей, які є новими для підприємства і впродовж усього життєвого циклу сприяють зменшенню екологічних ризиків, забруднення та інших негативних наслідків використання ресурсів (включаючи енергетичні) [24].

Впровадження екоінновацій може принести економічні вигоди, які здебільшого є непрямыми і варіюються залежно від типу інновацій та контексту, в якому їх використовують [39]. Наприклад, дослідження валового внутрішнього продукту (ВВП) на особу в Китаї, в яких аналізується прибутковість екологічної політики, показують, що зелені проекти – одні з найприбутковіших, прогнозуючи зростання ВВП з 0,03 % у 2020 році до 0,17 % у 2030 році [10].

У харчовій промисловості екоінновації є особливо актуальними через значний прямий і непрямий вплив виробництва та споживання харчових продуктів на навколишнє природне середовище. Однак харчова галузь демонструє низьку інтенсивність досліджень і розробок та обмежене впровадження інновацій через численні стратегічні бар'єри, зокрема високі витрати, низький рівень фінансування, відсутність співпраці між компаніями.

Попри численні виклики, екоінновації в харчовій промисловості створюють нові бізнес-можливості та забезпечують економічні переваги, особливо для малих і середніх підприємств, для яких орієнтація на потреби ринку є вирішальною.

Компанії повинні враховувати очікування споживачів і реагувати на вимоги ринку, який дедалі більше цінує сталість [30].

Європейська комісія з питань промисловості 5.0 наголошує на необхідності залучення споживачів як критично важливого аспекту для отримання підтримки екотрансформації харчової галузі, а також включення штучного інтелекту в процеси виробництва харчових продуктів [19, 27].

Отже, екоінновації в харчовій промисловості мають вирішальне значення для сприяння сталому розвитку, поліпшення результатів діяльності підприємств та вирішення екологічних проблем.

Сучасні екотехнологічні вектори розвитку харчової промисловості представлено на рисунку 1.

Розроблення інноваційних підходів потребує передусім виробництво повноцінного білка.

Галузь тваринництва сьогодні вважають неефективною з огляду на можливість нарощування обсягів виробництва продовольства, необхідного для задоволення потреб зростаючого населення планети. Згідно з прогнозом ФАО, до 2050 року разом зі зростанням чисельності населення до 10 млрд світовий по-

пит на м'ясо збільшиться на 73 % [9]. Однак, використовуючи майже 77 % сільськогосподарських угідь світу, тваринництво лише на 17 % забезпечує продовольчу потребу населення [14, 32].

Відповідно до даних американських дослідників, середня ефективність перетворення енергії та білка з корму в їжу для худоби в США становить приблизно 7–8 %. Підраховано, що заміна яловичини більш ефективним м'ясом як-от м'ясо птиці чи рослинні альтернативи у середньостатистичному американському раціоні може значно збільшити доступні калорії та білок і забезпечити додаткові 116 млн осіб калорійно та 142 млн осіб білково. Ефективність перетворення білка для різних видів м'яса наступна: яловичина ($2,5 \pm 0,6\%$) < свинина ($9 \pm 4,5\%$) < птиця ($21 \pm 7\%$) [35].



Рис. 1. Екоінноваційні напрями трансформації харчової індустрії.

Джерело: згенеровано за допомогою ШІ.

Крім того, тваринництво для виробництва харчових продуктів було визнано однією з головних причин екологічних проблем, таких як евтрофікація, закиснення, витрати прісної води, вирубування лісів і зміна клімату [4].

Перспективні альтернативні джерела високоякісного білка, використовувані для підтримання продовольчої безпеки з мінімальним впливом на навколишнє природне середовище, – рослинна сировина, вирощена *in vitro* м'язова тканина, продукти прецизійної ферментації. Ці інноваційні альтернативи білкової індустрії можуть доповнювати одна одну, уможливаючи створення екологічно сталих і менш ресурсомістких харчових продуктів порівняно з традиційними.

Виробництво альтернативних протеїнів. Цінне, широко використовуване джерело білка, що містить усі необхідні амінокислоти і є чудовою альтернативою м'ясу, особливо для вегетаріанців та веганів, – соя. Однак споживачі висловлюють занепокоєння щодо генетичної модифікації цієї культури, надмірного використання пестицидів під час її вирощування і високого вмісту фітоестрогенів у соєвих продуктах. Це стимулює попит на альтернативні рослинні білки, які продукуються іншими сільськогосподарськими культурами. Гарна білкова альтернатива сої – нут, оскільки не містить фітоестрогенів, алергенів та глютену. Крім того, білок нуту має нейтральний смак, високу поживність, емульгувальні та піноутворювальні властивості, його можна використовувати як у холодному, так і в теплом вигляді. Ізраїльський стартап *InnovoPro* виробляє 70 % концентрату нуту, який слугує білковим інгредієнтом для широкого спектру продуктів, включаючи веганські бургери, веганське морозиво, «немолочні» молочні продукти, веганський майонез та різні запечені страви [17].

Ще одна альтернатива білкам тваринного походження – білок водоростей. Його виробництво характеризується меншим вуглецевим слідом. Одна з основних проблем поширення білка на основі морських водоростей – його специфічний смак і запах. Тому інноваційні проекти спрямовано на технології й процеси ферментації для виробництва білка водоростей з нейтральним смаком і запахом. Швейцарський стартап *Alver* використовує ферментацію для виробництва «Золотої хлорели» – білкового порошку із зеленої одноклітинної водорості хлорели (*Chlorella*). Цей протеїновий суперфуд містить повний профіль амінокислот, вітаміни (А, групи В, С, К),

мінерали (цинк, магній, залізо, калій), хлорофіл, антиоксиданти, харчові волокна та ненасичені жирні кислоти. Він має нейтральний смак і добре поєднується з іншими інгредієнтами в різних рецептурах. Підрахували, що виробництво золотої хлорели *Alver* потребує в 40 разів менше землі та води й викидає в 36 разів менше CO₂, ніж виробництво тваринного білка [2].

Джерелом альтернативного білка є міководна рослина ряска, відома також як водна сочевиця або лемна. Ряска має швидкий природний темп росту, що дає змогу збирати врожай щодня. Для її вирощування не потрібні сільськогосподарські угіддя, зрошення чи використання пестицидів та інших токсичних хімікатів. Використовувана у виробничому процесі вода переробляється через систему замкнутого циклу. Американський стартап *Plantible Foods* спеціалізується на виробництві високофункціонального рослинного білка *RuBiSCO*, видобуваючи його з ряски за використання екологічно чистих процесів вирощування та екстракції. Цей білок не містить алергенів, має нейтральний смак, запах та колір і може використовуватися як заміник яєць, молочних продуктів або м'яса в різноманітних харчових продуктах. Стартап запустив перший комерційний завод у штаті Техас, потужності якого дають змогу виробляти тисячі тонн біомаси на рік, а також розробив продукт *Rubi Whisk* – рослинний заміник яєць [12].

Наведені вище рослинні білкові альтернативи набувають популярності серед споживачів, які шукають екологічно чисті та етичні варіанти харчування. Впровадження таких технологій не лише сприяє екологічній сталості, а й створює нові бізнес-моделі зокрема, *alt-protein economy* – економіку альтернативних білків.

М'ясо *in vitro*. Виробництво клітинного (вирощеного *in vitro*) м'яса також вважають перспективною технологією, яка уможливить значне скорочення використання природних ресурсів (землі, води), а також викидів метану порівняно з галуззю тваринництва. М'ясо отримують із стовбурових клітин тварин з використанням методів клітинної біології, тканинної і харчової інженерії, виключаючи необхідність розведення і забою тварин. Стовбурові клітини, які здатні до самооновлення і множинного диференціювання, виділяють шляхом біопсії, а потім розмножують *in vitro* з утворенням м'язових волокон, жирових та інших типів клітин, які формують м'язову тканину [16].

Перший м'ясний продукт із клітинного м'яса з'явився на ринку у 2013 році завдяки дослідженням професора Маастрихтського університету (Нідерланди) Марка Поста. Це був гамбургер із культивованої яловичини, який складався з понад 10 тис. м'язових волокон. Попри високу вартість, технологія привернула велику увагу вчених, підприємців та інвесторів. До кінця 2020 року в усьому світі вже налічувалося приблизно 60 стартапів, які працювали з технологією культивованого м'яса. З-поміж них 28 % компаній зосереджені на вирощуванні яловичини і свинини, 12 % компаній зацікавлені у виробництві морепродуктів, 10 % – отриманні м'яса птиці і 28 % компаній не приділяли уваги кінцевому продукту. Вибір продукції компаніями обумовлений місцевими дієтичними звичками і уподобаннями [49].

Найвідомішими виробниками культивованого м'яса є дві компанії – *Mosa Meat* (Нідерланди) та *Memphis Meats* (нині *UPSIDE Foods*, США).

Компанію *Mosa Meat* засновано у 2016 році в Нідерландах (м. Маастрихт). Вона спеціалізується на «культивованій яловичині» й позиціонує себе як лідер «клітинної сільськогосподарської революції» у Європі з місією радикально зменшити вплив виробництва м'яса на природне довкілля та покращити добробут тварин. Виробники відбирають невеликі біопсії м'язової тканини корови (напр., породи Лімузин), із яких вирощують м'язові та жирові клітини у спеціальному середовищі росту. При цьому зосереджуються на досягненні «жирового паритету» (*fat parity*), тобто на тому, щоб культивована яловичина мала жирову структуру та характеристику, подібну до природної, з огляду на те, що жир відіграє ключову роль у смаку, ароматі, текстурі м'яса.

У 2023 р. *Mosa Meat* першою серед компаній з культивування м'яса отримала сертифікацію *B Corp*, що підтверджує її прихильність до дотримання екологічних та соціальних стандартів. Вона активно масштабується і нині має найбільшу виробничу базу з культивованого м'яса (понад 7340 м²). 2024 року компанія провела перше офіційне дегустаційне тестування свого бургера в Нідерландах, що стало важливим кроком до комерціалізації. Як і в усій індустрії культивованого м'яса, ключовими питаннями для компанії нині є зниження витрат (зокрема на середовище росту клітин), масштабування біореакторів, питання регуляції (напр., в ЄС через *Novel Foods*), прийняття продукції споживачами [26].

Американська компанія *Memphis Meats* позиціонує себе як один із піонерів у галузі клітинного м'ясного виробництва, прагнучи створювати повноцінні м'ясні продукти без вирощування та забою тварин. Технологія компанії базується на культивуванні м'язових та інших типів тваринних клітин у біореакторах за допомогою спеціальних поживних середовищ.

У 2017 році *Memphis Meats* повідомила про отримання першої у світі курятини та качинового м'яса, вирощених винятково з клітин, без використання живої птиці. За органолептичними властивостями такі продукти відповідають традиційному м'ясу – зберігають смак, текстуру та аромат.

Для культивування, пакування та логістики продукції компанія збудувала спеціалізований виробничий комплекс у районі Сан-Франциско [25].

Згідно з незалежним та рецензованим оцінюванням життєвого циклу, виробництво культивованої яловичини, за прогнозами, викидатиме на 93 % менше парникових газів, використовуватиме на 95 % менше землі та на 78 % менше води порівняно з промисловим виробництвом м'яса. Індустрія культивованого м'яса забезпечує можливість використання вивільнених земель для відновлення диких середовищ існування та застосування регенеративних методів землеробства, що природним шляхом зменшить викиди й збільшить виробництво продовольства. Крім того, автоматизований процес виробництва культивованого м'яса й стерильне середовище вирощування клітин дадуть змогу усунути чи зменшити ризики, пов'язані з інтенсивним тваринництвом – використанням антибіотиків, розвитком патогенів, накопиченням забруднювальних речовин, виникненням харчових отруєнь тощо [36].

Технології клітинного культивування дають також змогу виростити в лабораторних умовах рослинні клітини какао, ванілі або бобових, які можна використовувати для створення текстурованого «рослинного м'яса» з мінімальною обробкою.

Прецизійна ферментація. Прецизійна (точна) ферментація (*precision fermentation*) – технологія, за якої для виробництва білків, жирів і ферментів, аналогічних тваринним, використовують мікроорганізми.

Мікробну ферментацію вже давно використовують для виробництва ферментів, за допомогою яких мікроорганізми перетворюють один тип речовин в інший. Найвідоміший приклад – сичужний фермент для

виробництва твердих сирів. Традиційне виробництво передбачало використання ферменту, виготовленого зі шлунків телят, а нині його можна отримувати за допомогою особливого штаму дріжджів [14].

Технологію прецизійної ферментації застосовують для виробництва білків, жирів, інших функціональних інгредієнтів нового покоління, які дають змогу створювати м'ясо, яйця й молочні продукти без тварин.

Шляхом аеробної ферментації із грибного міцелію (нитчастої структури гриба *Fusarium venenatum*) отримують мікопротеїн і використовують як основу для веганських замінників м'яса, що робить його цінним джерелом білка для людей, які дотримуються рослинної дієти. Мікопротеїн багатий на білок, клітковину та незамінні амінокислоти й водночас має низький уміст жиру та холестерину [1, 5].

Продуктом із мікопротеїну є, наприклад, так зване філе *Quorn* – альтернатива курячому філе. Продукт поєднує високу поживність із екологічною сталістю – меншим вуглецевим слідом (виробництво філе *Quorn* спричиняє на 90 % менше викидів CO₂, ніж виробництво курятини) [11, 48]. Його якісний склад у порівнянні з курячим філе наведено у таблиці 1.

Рослинні аналоги м'яса допомагають створювати «кодзі» – вид пліснявих грибів (*Aspergillus oryzae*, *Aspergillus sojae*, *Aspergillus tamar*), які у японській кухні використовують для ферментації і приготування місо, саке, соєвого соусу. Кодзі вирощують у вигляді ниток, що нагадують м'язові волокна, а потім комбінують з рослинними жирами

і спеціями. Ферменти кодзі підсилюють смак умам і роблять рослинні страви більш насиченими – без підсилювачів смаку і надлишкової обробки [18].

Американська компанія *Perfect Day* спеціалізується на виробництві молочних білків (казеїнів, сироваткових), ідентичних тим, що містяться у звичайному молоці, за допомогою прецизійної ферментації. В основі «ені-мел-фрі» білка від *Perfect Day* – генномодифікована мікрофлора. Білки, які виробляє компанія, використовують як інгредієнти в різних харчових продуктах, зокрема в сирах, морозиві, вершках та інших молочних продуктах. Компанія заявляє, що таке виробництво продуктів – більш екологічно стале, ніж традиційне молочне скотарство, оскільки потребує менше земельних та водних ресурсів й спричиняє на 97 % менше викидів парникових газів, ніж виробництво молочних продуктів за використання традиційних технологій. Один із найвідоміших продуктів компанії – морозиво, яке випустили ще у 2019 році [7].

Берлінська компанія *Formo* за використання мікроферментації виготовляє «ені-мел-фрі» сири [13]. Американська біотехнологічна компанія *Clara Foods* з використанням дріжджів та ДНК тваринних білків отримує яєчні білки [37]. Компанія-виробник аналогів м'яса на рослинній основі *Impossible Food* у складі своїх бургерів використовує отриманий шляхом мікробної ферментації «гем», який надає їм продукту «м'ясного» смаку. У 2022 р. ця каліфорнійська компанія передала понад 4 т штучного м'яса для гуманітарних потреб українців [44].

Таблиця 1 – Якісний склад філе *Quorn* та філе курячого

Показник	Філе <i>Quorn</i> (мікопротеїн)	Куряче філе (тваринне м'ясо)
Основний білковий компонент	Мікопротеїн (<i>Fusarium venenatum</i>)	Тваринний білок (м'язова тканина курки)
Білок (г/100 г)	11–14	22–25
Жири (г/100 г)	2–3	1–3 (залежно від способу приготування)
Насичені жири (г/100 г)	0,5–0,8	0,8–1
Вуглеводи (г/100 г)	2–4 (здебільшого клітковина)	<0,5
Калорійність (ккал/100 г)	90–110	120–130
Амінокислотний профіль	Повний, але дещо менше метіоніну	Повний, оптимальний для людини
Вітаміни та мінерали	Цинк, залізо, калій, селен, вітаміни групи В	Залізо, цинк, вітамін В12, ніацин
Тип білка	Грибний (холестерин відсутній)	Тваринний (містить холестерин)

Джерело: складено авторами за [11, 48].

Amai Proteins – ізраїльський стартап, який розробив найсолодший у світі білок для заміни цукру в харчових продуктах. Цей білок зв'язується з рецепторами солодкого смаку людини так само, як цукор. Він перетравлюється як білок, не впливаючи на рівень цукру в крові. Продукт має нульовий глікемічний індекс, нуль калорій, термостабільний та сумісний з різними продуктами. Для його виробництва використовують метод гнучкого інтегративного обчислювального проектування білків (*AI-CPD – Agile Integrative Computational Protein Design*) і точну ферментаційну біотехнологію [20].

Таким чином, технологія прецизійної ферментації вирішує ключові проблеми сталого розвитку, оскільки вона може створювати ефективні альтернативи традиційним харчовим і сільськогосподарським продуктам, потенційно зменшуючи вплив на навколишнє природне середовище, підвищуючи продовольчу безпеку та задовольняючи зростаючий попит на альтернативні білки та поживні речовини на харчовому ринку.

3D-друк харчових продуктів. 3D-друк харчових продуктів – це процес виготовлення продуктів шляхом пошарового накладання харчових матеріалів (пюре, паст, порошків або емульсій) за допомогою спеціальних харчових 3D-принтерів, керованих комп'ютерною моделлю (CAD-файлом). Технологія базується на принципах адитивного виробництва, де форма, структура та склад продукту формуються поступово, шар за шаром. Вона поєднує елементи кулінарії, інженерії матеріалів, цифрового дизайну та харчової науки, уможливаючи створення персоналізованих

продуктів із заданими поживними, сенсорними та функціональними властивостями. 3D-друк харчових продуктів сьогодні вважають однією з найперспективніших інновацій у сфері харчових технологій і агропродовольчої індустрії [15, 23]. Основні технології 3D-друку їжі і приклади їх застосування представлені у таблиці 2.

Матеріалом для 3D-друку їжі можуть слугувати білкові пасти (м'ясні, рибні, соєві, комахинні білки), вуглеводні композиції (шоколад, цукор, крохмальні та борошняні суміші), жирові системи (маргарини, креми, молочні емульсії), овочево-фруктові пюре (морквяне, гарбузове, яблучне, бананове та ін.), функціональні добавки (вітаміни, пробіотики, антиоксиданти).

Важлива перевага технології – те, що вона уможливорює персоналізацію харчування – створення продуктів із заданим умістом білків, жирів, вуглеводів, вітамінів відповідно до віку, стану здоров'я, харчових обмежень людини. Використання залишкової сировини (овочевих відходів, білкових концентратів, побічних продуктів переробки) сприяє зниженню харчових відходів. Технологія забезпечує високу точність дозування компонентів, що важливо для лікувального та геріатричного харчування, а також автоматизацію та «розумне виробництво» – можливість інтеграції з цифровими платформами управління рецептурами (*Industry 4.0*). Крім того, застосування 3D-друку уможливорює естетичний і сенсорний дизайн продуктів – створення складних геометричних форм, текстур і кольорів, не досяжні у традиційному виробництві [21–23].

Технологія має й певні обмеження (табл. 2).

Таблиця 2 – Основні технології 3D-друку їжі

Технологія	Принцип роботи	Типи матеріалів	Приклади застосування
Екструзійний друк (<i>Extrusion-based printing</i>)	Видавлювання харчової маси через сопло під тиском	Пюре, шоколадний ганаш, тісто, білкові пасти, овочеві суміші	Друк десертів, закусок, м'ясних аналогів
Інк-джет друк (<i>Inkjet printing</i>)	Розпилення мікрокрапель харчових розчинів або паст	Барвники, ароматизатори, харчові гелі	Декорування, друк на поверхнях тортів, печива
Селективне спікання (<i>SLS – Selective Laser Sintering</i>)	Використання лазера для спікання порошкоподібних харчових матеріалів	Цукрові або білкові порошки	Цукерки, карамель, кристалічні вироби
Струменеве з'єднання (<i>Binder jetting</i>)	Склеювання порошкових частинок за допомогою рідкого зв'язувача	Порошкове молоко, крохмаль, білкові порошки	Енергетичні батончики, сухі закуски

Джерело: складено авторами за [15, 21, 22, 34, 38, 41, 42].

Таблиця 2 – Обмеження технології 3D-друку їжі

Категорія	Проблема
Технологічні	Обмежена кількість матеріалів, що підходять для друку; складність контролю текстури після термічної обробки (не всі продукти зберігають форму після запікання або охолодження)
Гігієна і безпека	Необхідність дотримання санітарних вимог у системах з багаторазовим використанням матеріалів. Потреба в очищенні сопел і трубок 3D-принтера
Регуляторні	Відсутність стандартів і нормативів для «друкованої» їжі, зокрема у <i>Novel Foods Regulation</i> (ЄС)
Економічні	Висока вартість обладнання, обмежений масштаб виробництва. Середня ціна харчового 3D-принтера – 3–10 тис. €
Соціальні	Споживче сприйняття «штучності» продуктів. Необхідність популяризації серед населення

Джерело: складено авторами за [6, 21, 22, 42].

Численні компанії у світі застосовують 3D-друк для виробництва харчових продуктів. Наприклад, *NASA* та *BeeHex* (США) розробляють 3D-друк харчування для космічних місій; *Natural Machines* (Іспанія) створила комерційний 3D-принтер *Foodini* для ресторанів; *Barilla* (Італія) експериментує з друком макаронних виробів складних форм; *Redefine Meat* (Ізраїль) застосовує 3D-друк білкових композицій для створення рослинних «стейків» із текстурою справжнього м'яса; *Singapore Centre for 3D Printing* впроваджує проєкти з друку дитячого та дієтичного харчування [21, 22, 41, 42].

Технологія має широкі перспективи у масовому харчуванні – ресторанах, лікарнях, військових та космічних програмах. У синергії з персоналізованою медициною можливе створення функціональних харчових продуктів, що враховують генетичний профіль людини. Інтеграція з біотехнологіями уможливить використання білків із комах, водоростей або клітинних культур. Всі ці проєкти екоінноваційні й сприяють сталому розвитку, оскільки спрямовані на мінімізацію втрат сировини, зменшення енерговитрат і транспортування.

Апсайклінг харчових відходів. За даними FAO, понад 1/3 всіх харчових продуктів у світі щорічно витрачається даремно або стає відходами [43]. Це створює велике навантаження на навколишнє природне середовище (викиди парникових газів, витрати води та земельних ресурсів) і перешкоджає сталому розвитку продовольчих систем. Зацікавлені сторони харчової промисловості та ланцюга постачання повинні прагнути до нульових відходів та низьких викидів вуглекислого газу під час переробки. Існує чітка синергія між другою Ціллю сталого розвитку (ЦСР) «Нульовий голод» та Завданням ЦСР 12.3, метою якого є скорочення харчових відходів удвічі та мінімізація втрат харчових продуктів [3, 46].

Потужним інструментом для переходу до більш сталого та ефективного харчового виробництва є апсайклінг – процес перетворення побічних продуктів харчової промисловості та харчових залишків на нові, якісні та безпечні харчові інгредієнти з більшою доданою вартістю. Глобальний ринок апсайклінгу в харчовій індустрії в 2022 р. оцінювали в 54,5 млрд доларів, а у 2032 р., за оцінками експертів, він зросте до 94,6 млрд [40].

На відміну від переробки (*recycling*), яка часто означає розкладання матеріалу (наприклад, на компост), та вторинного використання (*reusing*), апсайклінг створює продукти, цінніші за оригінальні «відходи». *Upcycling* уможливорює зменшення кількості відходів та негативного впливу на навколишнє природне середовище; створення нових джерел доходу для виробників; збільшення продовольчої безпеки за рахунок повнішого використання врожаю; розроблення інноваційних та високопоживних продуктів [3].

Джерело сировини для апсайклінгу – найрізноманітніші відходи харчових виробництв: зернової та борошняної промисловості (висівки, зародки, пилкові оболонки, що залишаються після помелу зерна на борошно); обробки фруктів та овочів (шкірка, насіння, м'якоть, стебла від виробництва соків, пюре, консервів); виноробства та пивоваріння (вичавки винограду, дріжджова біомаса, солодовий окріп); молочної промисловості (сироватка); олійної промисловості (шрот після віджимання олії з насіння) [45].

Для перетворення відходів на інгредієнти використовують різноманітні технології, найпростіша з яких – сушіння й помел. Застосовують також екстракцію – з допомогою розчинників, води або CO₂ під тиском із сировини вилучають цінні компоненти (наприклад, антиоксиданти, пектин, барвники, олії). Для

перетворення відходів на нові продукти (наприклад, білок, органічні кислоти) використовують ферментацію за допомогою мікроорганізмів або ферментів. Біотехнологічні методи уможливають вирощування на відходах грибків або бактерій для отримання білкової біомаси [3, 11].

Численні компанії в усьому світі успішно застосовують принципи апсайклінгу (табл. 4). Це шлях від лінійної моделі «виробив–спожив–викинув» до циркулярної економіки, де кожна частина сировини знаходить своє застосування, створюючи корисні, смачні та інноваційні продукти.

Таблиця 3 – Приклади нових харчових інгредієнтів, отриманих із відходів

Вихідні відходи	Отриманий інгредієнт	Застосування в харчових продуктах
Шкірка томатів, насіння	Порошок з томатної шкірки (багатий лікопіном), олія з насіння	Натуральний барвник, підвищення поживної цінності хліба, печива, соусів
Виноградні кісточки та шкірка	Олія з кісточок, борошно з кісточок, екстракт ресвератролу	Дорогі олії для косметики та харчування, антиоксидантні добавки, харчові волокна
Пивна дробина	Борошно з пивної дробини (багате на білок та клітковину)	Хліб, здоба, снеки, крекери, корми для тварин
Цитрусовий жом	Пектин, ефірні олії, волокна	Желе, джеми, мармелад, ароматизатори, харчові волокна для збагачення продуктів
Молочна сироватка	Концентрат сироваткового білка, ізолят, лактоза	Спортивне харчування, протеїнові батончики, хлібобулочні вироби, напої
Кавова ягода (м'якоть)	«Кавове борошно» (<i>Coffee Flour</i>)	Додавання до випічки, соусів, напоїв як ароматизатор та джерело клітковини

Джерело: складено авторами за [3, 40, 45].

Таблиця 4 – Приклади застосування апсайклінгу закордонними продовольчими компаніями

Вихідна сировина	Компанія	Продукт
Переробка фруктів та овочів		
Нестандартні або надлишкові фрукти, овочі, які не потрапили б у ритейл через свій зовнішній вигляд. Залишки хліба з пекарень, ресторанів	<i>Rise & Win</i> (Японія) / <i>Crust Group</i> (Сінгапур)	Крафтове пиво. Унікальні сорти пива
Надлишки овочів та томатні вичавки безпосередньо з ферм і харчових виробників	<i>Matriark Foods</i> (США)	Основа для соусів та супів, які постачають у школи, лікарні та соціальні служби
Некондиційні фрукти та овочі (напр., криві огірки, дрібна морква, зелені томати)	<i>Rubies in the Rubble</i> (Великобританія)	Соуси, чатні, майонези
Банани, які не відповідають стандартам ритейлу (занадто малі, великі або з плямами)	<i>Barnana</i> (США)	Органічні снеки з бананів (чипси, пюре)
Переробка відходів винаробства та пивоваріння		
Пивна дробина (зерновий затор, що залишається після варіння пива). Висушується і перемелюється на борошно, багате на білок і клітковину	<i>Regrained</i> (США)	Здобні батончики та порошки для випічки
Виноградні кісточки з виноробень. Просмажуються, потрібнюються. Мають горіховий присмак і багаті на антиоксиданти	<i>Vine to Bar</i> (США)	Шоколад
Переробка відходів виробництва соків та олій		
М'якуш кавової ягоди (пульпа), який видаляється перед сушінням кавових зерен. Збирається, сушиться, перемелюється на порошок, багатий на клітковину, білок і залізо	<i>Coffee Flour</i> (США)	«Кавове борошно» для використання у випічці, соусах і напоях
Листя кавового дерева. Сушиться, ферментується	<i>Wize Monkey</i> (Канада)	Чай із кавових листків з легким кавовим присмаком
Переробка відходів молочної промисловості		
Підсирна сироватка. Ферментується і дистилується	<i>Wheyward Spirit</i> (США)	Преміальний спирт для коктейлів

Джерело: складено авторами за [3, 40, 45].

Лондонська компанія *Winnow Solutions* розробляє для організацій громадського харчування та готелів технологію, яка допомагає скоротити харчові відходи та фінансові витрати. Спеціальні пристрої відстежують харчові витрати за допомогою моніторингу ваги, тим самим показуючи персоналу цінність того, що вони викидають. Нову версію *Winnow Vision*, яка працює на базі ІІ, використовує *Armani Hotels* [20].

Міжнародна некомерційна компанія *Upcycled Food Association* об'єднує виробників харчових продуктів, створює інфраструктуру для розвитку всієї галузі й розробляє стандарти якості та маркування для продуктів апсайклінгу. Маркування «*Upcycled Certified*» на упаковці допомагає споживачам легко ідентифікувати такі продукти.

В Україні напрям апсайклінгу також поступово розвивається, часто на рівні малого бізнесу та стартапів: крафтові пивоварні, фермерські господарства та кооперативи, які переробляють «некондиції» на сухофрукти, пюре або снеки; пекарні, які використовують закваску на основі виноградуних вичавок або інші інгредієнти з відходів. Ці компанії-піонери демонструють, що апсайклінг – це не просто екологічна ініціатива, а інноваційна бізнес-модель. Вона дає змогу ство-

рувати унікальні продукти, зменшувати витрати на сировину та залучати споживачів, які піклуються про навколишнє природне середовище.

Інноваційне пакування. Це одна з найдинамічніших галузей, де інновації спрямовано на вирішення трьох ключових викликів: екологічність, зменшення продовольчих втрат та покращення взаємодії зі споживачем. Останні дедалі частіше віддають перевагу продуктам у екологічній упаковці, що піддається вторинній переробці або біорозкладанню. Виробники активно впроваджують нові екологічні матеріали та технології, розробляють інноваційні рішення для зменшення впливу упаковки на навколишнє природне середовище.

Інноваційні пакування можна класифікувати у такий спосіб: *розумне пакування* – взаємодіє з продуктом або навколишнім середовищем, надаючи додаткову інформацію чи функції; *активне пакування* – не просто пасивно захищає, а активно покращує стан продукту всередині; *екологічне та біорозкладне пакування* – найпотужніший тренд, спрямований на боротьбу з пластиком забрудненням; *функціональне та зручне пакування* – інновації спрямовано на полегшення життя споживача; *пакування зі зменшеним використанням матеріалів* (табл. 5).

Таблиця 5 – Види інноваційних пакувань

Види пакувань	Приклади застосування
1	2
«Розумне» пакування (Smart Packaging)	
Час-температурні індикатори (<i>TTI-time-temperature indicators</i>)	Змінюють колір, якщо продукт зберігався за неналежної температури. Наприклад, на упаковці замороженої риби може з'явитися попереджувальний знак
Індикатори свіжості (<i>freshness indicators</i>)	Реагують на гази, що виділяються у разі псування продукту (напр., на аміак у тушці бройлера). Компанія <i>Vitsab International</i> (Швеція) використовує технологію <i>FreshTag</i> створення міток, які змінюють колір у разі неналежної якості продукту
Індикатори дозрівання (<i>ripening indicators</i>)	Пакування для фруктів (наприклад, авокадо), яке змінює колір, коли фрукт дозріває до ідеального стану
QR-коди та NFC-мітки	Надають споживачам повну інформацію про походження продукту (<i>track & trace</i>), склад, рецепти та інструкції з утилізації. Це підвищує прозорість і довіру
«Активне» пакування (Active Packaging)	
Поглиначі кисню (<i>oxygen scavengers</i>)	Невеликі пакетики або інтегровані в упаковку шари, що поглинають кисень всередині упаковки. Це значно подовжує термін придатності продуктів, чутливих до окиснення (напр., м'яса, кави, горіхів)
Антимікробне пакування	Упаковка містить йони срібла або натуральні антимікробні агенти (напр., олію гвоздики чи орегано), які інгібують ріст бактерій і грибків на поверхні продукту
Регулятори вологості	Поглинають або виділяють вологу, щоб запобігти розм'якшенню хрустких продуктів або затвердінню м'яких

Продовження табл. 5	
1	2
Екологічне та біорозкладне пакування	
PLA (полілактид)	Виробляється із кукурудзи або цукрової тростини. Використовується для виготовлення пляшок, стаканчиків
РНА (полігідроксикарбонати)	Виробляється мікроорганізмами, що живляться органічними відходами. Повністю біорозкладні. Компанія Cove (США) випустила першу у світі пляшку для води з РНА
Пакування з водоростей	Компанія Notpla (Великобританія) створює їстівні та біорозкладні пакетики для рідин (напр., для соусів) та стійке покриття для картонних контейнерів із бурих водоростей
Грибне пакування (<i>Mycelium</i>)	Компанія Ecovative (США) вирощує упаковку з міцелію (грибниці) та сільськогосподарських відходів (напр., лущиння насіння). Воно на 100 % компостується і має високі амортизувальні властивості
Пакування з ананасового листа	Компанія Ananas Anam (Великобританія) виробляє матеріал Piñatex з волокон листа ананаса, який можна використовувати для створення текстурованої та міцної упаковки
Їстівне пакування	Компанія Apeel Sciences (США) розробляє їстівні покриття на основі рослинних екстрактів, призначені для подовження свіжості харчових продуктів. Нещодавно компанія представила спеціально розроблене покриття для яблук, а також забезпечує постачання огірків без пластикової упаковки до понад 100 магазинів Walmart, що дало змогу усунути 27 кг пластику з річного ланцюга постачання.
Страви «від пакування»	Вафельний стаканчик для морозива, який можна спожити разом з ним
Функціональне та зручне пакування (Convenience Packaging)	
Пакування з контролем дозування	Пляшки олії з розпилювачем, упаковки для спецій з дозатором, що дає змогу оперувати однією рукою
Пакування для приготування	Контейнери, які можна використовувати в мікрохвильовій чи духовій шафі, або як каструлю (термостійкі матеріали)
Легковідкривні та повторно закриті кришки/клапани	Запобігають розсипанню та продовжують свіжість продукту після першого відкриття
Пакування багаторазового використання	Компанія Loop / TerraCycle (США) розробила «преміальний» контейнер – споживач купує продукт, повертає порожній контейнер і отримує новий. Система працює з Unilever, PepsiCo, Nestlé.
Пакування зі зменшеним використанням матеріалів	
Концентрати та розчинні продукти	Концентрати напоїв у маленьких упаковках, що зменшують об'єм транспортування та кількість пластику

Джерело: складено авторами за [8, 20, 40, 47].

Великий потенціал щодо поліпшення якості і підвищення безпеки різних груп харчових продуктів, а також подовження терміну їх придатності має застосування систем активної протимікробної упаковки на основі біополімерів (протеїновий ізолят, альгінат, желатин, хітозан та ін.) у поєднанні з різними біологічно активними речовинами. Застосування їстівних плівок, що містять суміш етерних олій чи рослинних екстрактів, для покриття м'яса, птиці, риби, свіжих фруктів, овочів та горіхів зумовлює дедалі більший інтерес у харчовому виробництві. Крім того, що їстівні плівки, збагачені етерними оліями

чи їх компонентами, можуть бути ефективною, нетоксичною і сталою альтернативою проблемній упаковці на основі пластику, вони спроможні істотно поліпшити якість харчових продуктів й позитивно впливати на організм людини [8].

Постійний розвиток технологій та зміна споживчих вподобань створюють нові можливості та виклики для виробників, стимулюючи розвиток інноваційних пакувальних рішень. Якісна упаковка не лише зберігає продукт, а й допомагає виробнику створити конкурентну перевагу на ринку харчових продуктів.

Висновок. Результати проведеного дослідження підтверджують, що подальший розвиток харчової галузі неможливий без цілеспрямованої екоінноваційної трансформації, що базується на принципах циркулярності, технологічної ефективності та відповідального споживання. Аналіз сучасних тенденцій показав, що харчова промисловість поступово переходить до моделі *Industry 5.0*, у якій збільшується взаємодія людини й технологій, а пріоритетними стають персоналізація продуктів, мінімізація екологічного сліду та орієнтація на добробут суспільства. Впровадження інновацій більше не є опціональним – воно стає ключовою умовою конкурентоспроможності підприємств і сталості агропродовольчих систем у довгостроковій перспективі.

Розглянуті в роботі напрями екоінновацій – виробництво альтернативних протеїнів, культивоване м'ясо, прецизійна ферментація, 3D-друк харчових продуктів, апсайклінг харчових відходів та інноваційне пакування – демонструють різний рівень технологічного розвитку, однак всі вони мають високий потенціал для зменшення навантаження на природне довкілля. Їх поширення дає змогу скоротити споживання води й енергії, мінімізувати втрати харчових ресурсів, знизити викиди парникових газів та запропонувати споживачам більш безпечні й здорові продукти.

Особливої актуальності ці рішення набувають для України, аграрна модель розвитку якої потребує модернізації відповідно до європейського курсу «зеленої» трансформації (*Green Deal*). Вітчизняні підприємства поступово інтегрують у виробництво принципи екодизайну, біоорієнтованих технологій, перероблення побічних продуктів і використання відновлюваної енергії. Це створює умови не лише для зменшення екологічного впливу галузі, а й для підвищення її інноваційного потенціалу та розширення експортних можливостей.

Отже, екоінновації стають фундаментом переходу харчової промисловості до сталої, кліматично нейтральної та технологічно ефективної моделі розвитку. Вони формують нові стандарти відповідального виробництва і споживання, відповідають глобальним викликам ХХІ століття та відкривають для України можливості зміцнення позицій у світовому агропродовольчому просторі.

Перспективними є дослідження, спрямовані на оцінювання економічної та екологічної ефективності впроваджених технологій, вивчення поведінки споживачів щодо інноваційних продуктів і формування сприятливого інституційного середовища для технологічного розвитку галузі.

REFERENCE

1. Ahmad, M.I., Farooq, Sh., Alhamoud, Y., Li, Ch., Zhang, H. (2022). A review on mycoprotein: History, nutritional composition, production methods, and health benefits. *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 121. DOI:10.1016/j.tifs.2022.01.027
2. Alver is a Swiss company producing everyday SuperFoods made with their unique Golden Chlorella micro-algae. Available at: <https://solarimpulse.com/companies/alver-world-sa>
3. Aschemann-Witzel, J., Asioli, D., Banovic, M., Perito, M.A., Peschel, A. O., Stancu, V. (2023). Defining upcycled food: The dual role of upcycling in reducing food loss and waste. *Trends Food Sci. Technol.*, Vol. 132, pp. 132–137. DOI:10.1016/j.tifs.2023.01.001
4. Bryant, C.J. (2019). We Can't Keep Meating Like This: Attitudes towards Vegetarian and Vegan Diets in the United Kingdom. *Sustainability*. Vol. 11 (23). DOI:10.3390/su11236844
5. Chezan, D., Flannery, O., Patel, A. (2022). Factors affecting consumer attitudes to fungi-based protein: A pilot study. *Appetite*, Vol. 175. DOI:10.1016/j.appet.2022.106043
6. Dankar, I., Haddarah, A., Omar, F.E., Sepulcre, F., Pujolà, M. (2018). *3D printing technology: The new era for food customization and elaboration*. *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 75 (2). DOI:10.1016/j.tifs.2018.03.018
7. Driebusch, C. (2021). Alternative-Milk Company Perfect Day Raises \$350 Million, Prepares for IPO. *The Wall Street Journal*. Available at: https://www.wsj.com/business/alternative-milk-company-perfect-day-raises-350-million-prepares-for-ipo-11632952800?mod=lead_feature_below_a_pos1
8. Dyman, T. (2022). Antimicrobial effect of essential oils in content of edible films (review). «Animal Husbandry Products Production and Processing», no. 1, pp. 124–134. DOI:10.33245/2310-9289-2022-170-1-124-134
9. FAO, World Livestock 2011. (2011). *Livestock in Food Security*. FAO, Rome.
10. Feng, Z., Chen, W. (2018). Environmental Regulation, Green Innovation, and Industrial Green Development: An Empirical Analysis Based on the Spatial Durbin Model. *Sustainability*. Vol. 10 (1). DOI:10.3390/su10010223
11. Finnigan, T., Needham, L., Abbott, C. (2017). Chapter 19 — Mycoprotein: A Healthy New Protein With a Low Environmental Impact. *Sustainable Protein Sources*, pp. 305–325 DOI:10.1016/B978-0-12-802778-3.00019-6
12. Foods now 'fully operational' at Texas RuBisCO plant, seeks funding to triple capacity. (2025). Available at: <https://agfundernews.com/duckweed-to-dollars-plantable-foods-now-fully-operational-at-texas-rubisco-plant-seeks-funding-to-triple-capacity>
13. Formo – The Future Dairy from Berlin & Frankfurt. Available at: <https://eatformo.com/>
14. Fursik, O.P., Semenova, A.B., Pasichnyi, V.M. Innovative solutions for the food industry.

Available at: https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/ea03_c110-f0d6-4df7-a921-2a6cae-57cef4/content (In Ukrainian).

15. Godoi, F.C., Prakash, S., Bhandari, B.R. (2016). *3D printing technologies applied for food design: Status and prospects*. Journal of Food Engineering, Vol. 179, pp. 44–54. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2016.01.025

16. Guan, X., Lei, Q., Yan, Q., Li, X., Zhou, J., Du, G., Chen, J. (2021). Trends and ideas in technology, regulation and public acceptance of cultured meat. *Future Foods*, Vol. 3, pp. 1–10. DOI:10.1016/j.fufo.2021.100032

17. Hadar T., Zoref, N., Omer, I. (2018). Alternative Protein Startups Win Calcalist's Foodtech Innovation Competition. CALCALIST. Available at: <https://www.calcalistech.com/ctech/articles/0,7340,L-3744035,00.html>

18. How far can you go with lab-made food substitutes? (2021). This reporter found out. The New York Times. Available at: <https://www.nytimes.com/2021/02/22/business/how-far-can-you-go-with-lab-made-food-substitutes-this-reporter-found-out.html>

19. Industry 5.0: a Transformative Vision for Europe. ESIR Policy Brief No. 3. (2022). Luxembourg: Publications Office of the European Union. DOI:10.2777/17322

20. Innovations in the food industry: achievements and future prospects. 27.01.2022. Available at: <https://newfood.ua/2022/01/27/innovatsii-v-kharchovyi-promyslovosti-zdobutky-ta-perspektyvy-maybutnoho/> (In Ukrainian).

21. Lee, J. (2021). *A 3D food printing process for the new normal era: A review*. Processes. Vol. 9 (9). DOI:10.3390/pr9091495

22. Liu, Z., Zhang, M., Bhandari, B., Wang, Y. (2017). 3D printing: Printing precision and application in food sector. *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 69, pp. 83–94. DOI:10.1016/j.tifs.2017.08.018

23. Lupton, D., Turner, B. (2021). Food printing: How 3D printing is changing the way 806 we eat. *Trends in Food Science & Technology*. Vol. 35 (2), pp. 215–226.

24. Mansilla-Obando, K., Llanos, G., Gómez-Sotta, E., Buchuk, P., Ortiz, F., Aguirre, M., Ahumada, F. (2024). Eco-Innovation in the Food Industry: Exploring Consumer Motivations in an Emerging Market. *Foods*. Vol. 13 (4). DOI:10.3390/foods13010004

25. Memphis Meats Rebrands as 'UPSIDE Foods' & Announces First Consumer Lab-Grown Chicken. 2021. Available at: <https://labgrownmeat.com/memphis-meats-rebrand-upside-foods/>

26. Mosa Meat Conducts First Pre-Approval Tasting of Cultivated Beef in the EU. Available at: <https://static1.squarespace.com/static/5f58b0094108a94a07e7dbd2/t/66a14d43229ab92495248611/1721847165740/Press+release+-+First+NL+Tasting+-+Mosa+Meat+Conducts+First+Pre-Approval+Tasting++of+Cultivated+Beef+in+the+EU+%5BEN%5D+%281%29.pdf>

27. Müller, J. (2020). Enabling Technologies for Industry 5.0. European Commission: Brussels, Belgium, pp. 8–10. DOI:10.2777/082634

28. OECD. (2009). Sustainable Manufacturing and Eco-Innovation: Framework, Practices and Measurement – Synthesis Report. OECD: Paris, France.

29. Post, M. (2014). Cultured beef: medical technology to produce meat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol. 94 (6). DOI:10.1002/jsfa.6474

30. Rabadán, A., González-Moreno, Á., Sáez-Martínez, F.J. (2019). Improving Firms' Performance and Sustainability: The Case of Eco-Innovation in the Agri-Food Industry. *Sustainability*. Vol. 11 (20). DOI:10.3390/su11205590

31. Raihan, A. (2023). Toward sustainable and green development in Chile: Dynamic influences of carbon emission reduction variables. *Innov. Green Dev.*, Vol. 2. DOI:10.1016/j.igd.2023.100038

32. Roser, M., Ritchie, H. (2019). Yields and land use in agriculture. In: Our World In Data. org. Available at: <https://ourworldindata.org/yields-and-land-use-in-agriculture>

33. Severini, C., Derossi, A. (2016). Could the 3D printing technology be a useful strategy to obtain customized nutrition? *Journal of Clinical Gastroenterology*, 50, pp.175–178. DOI:10.1097/MCG.0000000000000705

34. Shepon, A., Eshel, G., Noor, E., Milo, R. (2016). Energy and protein feed-to-food conversion efficiencies in the US and potential food security gains from dietary changes. *Environ. Res. Lett. Pub.* Vol. 11 (10). DOI:10.1088/1748-9326/11/10/105002

35. Sinke, P., Swartz, E., Sanctorem, H., Van der Giesen, C., Odegard, I. (2023). Ex-ante life cycle assessment of commercial-scale cultivated meat production in 2030. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 28, pp. 234–254. DOI:10.1007/s11367-022-02128-8

36. Southey Flora. (2021). Has science cracked the world's first animal-free egg through fermentation? Opens in new window 09.02.2021. Available at: <https://www.foodnavigator.com/article/2021/02/09/clara-foods-on-cracking-the-world-s-first-animal-free-egg-white/>

37. Sun, J., Zhou, W., Huang, D., Fuh, J.Y.H., Hong, G.S. (2015). *An overview of 3D printing technologies for food fabrication*. Food and Bioprocess Technology, Vol. 8, pp. 1605–1615. DOI:10.1007/s11947-015-1528-6

38. Sun, Y., Bi, K., Yin, S. (2020). Measuring and Integrating Risk Management into Green Innovation Practices for Green Manufacturing under the Global Value Chain. *Sustainability*. Vol. 12 (2). DOI:10.3390/su12020545

39. Sustainability on the plate: The power of food upcycling. (2025). Asia Food Journal, 23 p. Available at: <https://asiafoodjournal.com/magazine-january-to-february-2025/>.

40. Tan, C., Toh, W.Y., Wong, G., Li, L. (2018). Extrusion-based 3D food printing – Materials and machines. *International Journal of Bioprinting*, Vol. 4 (2). DOI:10.18063/IJB.v4i2.143

41. Teng, X., Li, C., Mujumdar, A.S., Zhang, M. (2022). *Progress in extrusion-based food printing technology for enhanced printability and printing efficiency of typical personalized foods: A review*. Foods. Vol. 11 (24). DOI:10.3390/foods11244111

42. The Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2024. Available at: <https://openknowledge.fao.org/home>

43. Ukraine received Impossible Foods artificial meat for humanitarian needs for the first time 06.09.2022. Available at: <https://harch.tech/2022/09/06/impossible-foods/> (In Ukrainian).

44. Ullagaddi, R. (2025). Food Waste Upcycling and Functional Foods: Innovations for Health and Sustainability. *African Journal of Biomedical Research*, Vol. 28 (1S), pp. 2260–2266. DOI:10.53555/AJBR.v28i1S.6671

45. UN. The 17 Goals. Available at: <https://sdgs.un.org/goals> (accessed on 20 September 2025).

46. Visco, A., Sclaro, C., Facchin, M., Brahim, S., Belhamdi, H., Gatto, V., Beghetto, V. (2022). Agri-Food Wastes for Bioplastics: European Prospective on Possible Applications in Their Second Life for a Circular Economy. *Polymers*. Vol. 14 (13). DOI:10.3390/polym14132752

47. Whittaker, J.A., Johnson, R.I., Finnigan, T.J.A., Avery, S.V., Dyer, P.S. (2020). The Biotechnology of Quorn Mycoprotein: Past, Present and Future Challenges. In: Nevalainen, H. (eds) *Grand Challenges in Fungal Biotechnology*. Grand Challenges in Biology and Biotechnology. Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-030-29541-7_3

48. Zhang, G., Zhao, X., Li, X., Du, G., Zhou, J., Chen, J. (2020). Challenges and possibilities for bio-manufacturing cultured meat. *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 97, pp. 443–450. DOI:10.1016/j.tifs.2020.01.026

Eco-innovation projects in the food sector: investment in a sustainable future

Dyman T., Dyman N., Zadorozhna R.

A key role in achieving global environmental and socio-economic goals in the modern world

belongs to the food industry, as the agri-food sector is one of the largest sources of greenhouse gas emissions, soil degradation, and water consumption. The results of the research confirm that the further development of the food sector is impossible without a targeted eco-innovative transformation grounded in the principles of circularity, technological efficiency, and responsible consumption. The analysis of current trends has shown that the food industry is gradually transitioning to the Industry 5.0 model, in which human–technology interaction intensifies, and product personalization, minimization of the environmental footprint, and orientation toward societal well-being become priorities. The implementation of eco-innovative projects is becoming a key condition for the competitiveness of enterprises and the long-term sustainability of agri-food systems.

The study characterizes modern directions of eco-innovation in the food sector, including alternative protein production, cultivated meat, precision fermentation, 3D food printing, food-waste upcycling, and innovative packaging. Examples of the most successful innovative projects are provided; their wider adoption would enable reductions in water and energy consumption, minimize food losses, lower greenhouse gas emissions, and offer consumers safer, healthier products. These solutions demonstrate varying levels of technological maturity; however, all have high potential to reduce pressure on the natural environment.

It is concluded that eco-innovations are becoming the foundation for the food industry's transition toward a sustainable, climate-neutral, and technologically efficient development model. They set new standards for responsible production and consumption, respond to global challenges of the 21st century, and open opportunities for Ukraine to strengthen its position in the global agri-food landscape.

Keywords: eco-innovations, eco-transformation of the food sector, eco-innovative projects, consumers, sustainability.



Copyright: Димань Т. М., Димань Н. О., Задорожна Р. П. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Димань Т. М.

Димань Н. О.

Задорожна Р. П.

<https://orcid.org/0000-0002-6428-1476>

<https://orcid.org/0000-0003-4087-2957>

<https://orcid.org/0000-0003-1229-5611>

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК: 637.1

Удосконалення розрахунків суміші молока і закваски у виробництві кумису за рахунок виведених формул на основі методу «квадрат Пірсона»**Нагорний С.А.¹ , Чалий О.І.¹ , Криворучко Ю.І.¹ ,
Склярєнко О.В.¹ , Косенко С.Ю.² , Слинько В.Г.³ **¹ Державний біотехнологічний університет² Одеський державний аграрний університет³ Полтавський державний аграрний університет

Нагорний С.А. E-mail: Nagornij1971@ukr.net



Нагорний С.А., Чалий О.І., Криворучко Ю.І., Склярєнко О.В., Косенко С.Ю., Слинько В.Г. Удосконалення розрахунків суміші молока і закваски у виробництві кумису за рахунок виведених формул на основі методу «квадрат Пірсона». Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2025. № 2. С. 101–110.

Nahorni S., Chalyi O., Kryvoruchko Yu., Sklyarenko O., Kosenko S., Slynyko V. Improvement of the technological calculations in dairy industry based on the “Pearson square” method. «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2025. № 2. PP. 101–110.

Рукопис отримано: 27.03.2025 р.

Прийнято: 09.04.2025 р.

Затверджено до друку: 2025 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2025-198-2-101-110

Молочне конярство в Україні не є основним джерелом молока і молочних продуктів в Україні, хоча поживна і лікувальна дія кобиллячого молока на організм людини відома з давніх часів. Основним продуктом, виготовленим із молока кобил є кумис – спиртово-молочнокислий напій, який за рахунок свого хімічного складу позитивно впливає на організм людини. Технологічний процес приготування кумису полягає у змішуванні робочої закваски зі свіжесодним молоком кобил, яке потребує досить чіткого дозування цих компонентів за кислотністю та температурного режиму, з подальшим вимішуванням, охолодженням та коркуванням готової суміші, тому метою цієї роботи була апробація існуючих методик розрахунку змішуваних компонентів за кислотністю методом технологічного квадрату та розроблення нових із використанням методу квадрата Пірсона. За використання методу технологічного квадрата вихідні дані розташовуються горизонтально і, розраховуючи різницю кислотності між молоком та закваскою, враховуючи заплановану кислотність суміші, від більшого значення віднімається менше, а розрахунки проводяться в різних напрямках. У результаті з’являється пропорція, розділена вертикальною рискою, у разі обчислення якої отримаємо кількість закваски певної кислотності, яку слід додати до молока кобил. Використовуючи метод квадрату Пірсона, отримано аналогічні результати, що підтверджує його ефективність для обчислення кількості закваски певної кислотності, яку слід додати до молока кобил. Використовуючи цей метод, отримали як формулу визначення необхідної кількості закваски, яку необхідно додати до певної кількості молока, залежно від їх кислотності, для отримання суміші запланованої кислотності, так і пояснення існуючої формули визначення температури, до якої слід підігрівати молоко. Крім того, вивели формули для розрахунку співвідношення кількості молока і закваски, залежно від їх початкової кислотності і температури, до запланованої кислотності і температури суміші під час виробництва кумису. Перевірка виведених формул підтвердила їх ефективність, тому вони можуть бути запропоновані і рекомендовані для використання у господарствах не тільки з виробництва кумису, а й на підприємствах молочної промисловості.

Ключові слова: закваска, молоко кобил, кумис, кислотність, температура, квадрат Пірсона.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. З давніх часів людство використовує молоко кобил для виготовлення спиртово-молочнокислого напою кумису, який добре засвоюється організмом людини, має дієтичні і лікувальні властивості. У молоці кобил в 1,5 раза більше молочного цукру, ніж у коров'ячому молоці. Це надає йому солодкувато-терпкого присмаку і сприяє кисломолочному та спиртовому бродінню під час приготування кумису. Жиру в молоці менше, ніж у коров'ячому, проте в ньому є ліноленова, лінолева та арахідонова жирні кислоти, які запобігають розвитку туберкульозних бактерій. Завдяки дрібному розміру жирових кульок і низькій температурі плавлення (20–26 °C) жир кобилячого молока легко всмоктується у кишківнику. Кумис готують методом зброджування молока кобил спеціальними заквасками молочно-кислих бактерій і молочних дріжджів. У процесі бродіння хімічний склад молока змінюється: зменшується вміст цукру, накопичується молочна кислота, вуглекислий газ, спирт, ароматичні та інші речовини [1, 2, 3, 4].

В Україні молочне конярство представлено одиничними кумисними фермами у Полтавській та Луганській областях, які поєднують отримання молока кобил і виробництво кумису з м'ясною, або племінною спеціалізацією галузі [5].

Єдиним значущим ферментованим продуктом із кобилячого молока, доступним на ринку, є кумис, який широко вживають передусім через його лікувальну та поживну цінність [6, 7, 8, 9].

Молоко, призначене для виробництва кумису, повинно мати кислотність не вище 7 °T. Після внесення закваски в молоко суміш має бути 50–60 °T за кислотності закваски в межах 120–140 °T, а температура культивування активної виробничої закваски має бути 26–28 °C. [10].

На практиці співвідношення молока і закваски до запланованої кислотності визначають методом технологічного квадрату [11], який потребує часу та навичок для виконання обчислень, тому важливо спростити розрахунки співвідношення молока і закваски до запланованих показників одержаної суміші за кількістю, кислотністю та температурою, зокрема за рахунок виведених формул на основі методу квадрата Пірсона. Метод названо на честь англійського математика, статистика, біолога та філософа, одного із засновників математичної статистики [12].

Метод квадрату Пірсона широко використовують під час розрахунку раціонів [13, 14, 15, 16]. Він дає змогу визначити співвідношення кормів, а також балансу двох основних показників раціону для багатокомпонентних кормових сумішей [17]. Крім того, цей метод використовують під час заготівлі силосу для розрахунку співвідношення маси культур залежно від їх вологості [18], під час нормалізації молока за жиром, під час виробництва ковбас, купажування алкогольних напоїв, тобто будь-де, де необхідно розрахувати кількість двох компонентів, які потрібно змішати разом, щоб отримати кінцеву заплановану концентрацію [19, 20, 21].

Мета дослідження. Вивести формули для розрахунку співвідношення кількості молока і закваски, залежно від їх початкової кислотності і температури, до запланованої кислотності і температури суміші під час виробництва кумису для спрощення обчислень.

Матеріали і методи дослідження. Розрахунки співвідношення молока і закваски в суміші до потрібної кислотності визначали за методом «технологічного квадрату» та з використанням методу квадрату Пірсона, який використали також для розрахунків початкової температури молока і закваски до необхідної температури суміші.

Сутність методу квадрата Пірсона полягає в тому, що в центрі квадрата ставиться запланована розрахункова одиниця, а у верхніх його кутах – фактичні вихідні параметри (кислотності, температури та ін.). Від чисел у верхніх кутах квадрату по діагоналі віднімають значення, що знаходиться в центрі квадрата, а результати виставляють в його нижніх кутах. Модульні значення результатів дорівнюватимуть кількості частин молока і закваски в їх суміші.

В подальшому отримують пропорцію, яку розглядають у загальному вигляді і з якої виводять формулу для розв'язання певної задачі.

Результати дослідження та обговорення. Приклад 1: необхідно заквасити 20 л молока, кислотністю 5 °T, із закваскою 130 °T до запланованої кислотності 60 °T. Скільки необхідно додати закваски?

За використання методу технологічного квадрату вихідні дані розташовуються горизонтально і, розраховуючи різницю кислотності між молоком та закваскою, враховуючи заплановану кислотність суміші, від більшого значення віднімається менше, причому розрахунки проводяться в різних напрямках. У результаті пропорція, розділена вертикальною рискою (рис. 1).

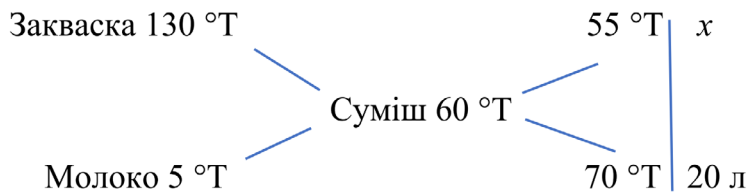


Рис. 1. Розрахунок необхідної кількості закваски до наявної кількості молока для отримання суміші запланованої кислотності методом технологічного квадрату.

Розрахунок проводиться шляхом віднімання від більшого значення меншого ($130 - 60 = 70$; $60 - 5 = 55$), а результати записуються по діагоналі у верхньому та нижньому кутах квадрату. Оскільки визначаємо кількість закваски, то за вертикальною лінією приймаємо її за x , а кількість молока, яку необхідно заквасити, також розміщуємо за вертикальною лінією, де і з'являється пропорція:

$$\begin{aligned} 55^\circ\text{T} - x \text{ л} \\ 70^\circ\text{T} - 20 \text{ л} \end{aligned}$$

$$\text{Звідси } x = \frac{55 \times 20}{70} = 15,7 \text{ л:}$$

У разі використання методу квадрата Пірсона в його середину поміщаємо бажану кислотність суміші, а у верхніх кутах – кислотність молока і закваски (рис. 2). Від чисел у верхніх кутах квадрату по діагоналі віднімаємо значення, що знаходиться в центрі квадрату, а результати виставляємо в його нижніх кутах. Модулі значень дорівнюватимуть кількості частин молока і закваски в їх суміші.

Обчислення: $5 - 60 = -55$; $130 - 60 = 70$.

В подальшому використовуємо модулі від'ємних чисел: $|-55| = 55$. Відношення кількості молока до кількості закваски складає $70:55$. Скоротивши відношення на 5, становить $14:11$.

Відношення кількості молока до кількості закваски можна знайти через їх кількість у суміші в літрах: $20:x$.

Оскільки ці два відношення характеризують одну і ту саму величину (відношення кількості молока до кількості закваски), між ними можна поставити знак « $\Rightarrow$ » і розв'язати одержану пропорцію: $14:11 = 20:x$.

Скориставшись основною властивістю пропорції (добуток крайніх членів дорівнює добутку середніх), маємо $14 \times x = 11 \times 20$; $14 \times x = 220$.

$$x = 220:14 = 15,7 \text{ літрів.}$$

Перевіримо правильність розрахунків: візьмемо 20 л молока кислотністю 5°T та

15,7 л закваски кислотністю 130°T . Кислотність суміші позначимо як $x^\circ\text{T}$. Розрахунки виконаємо аналогічно за допомогою Квадрата Пірсона (рис. 3).

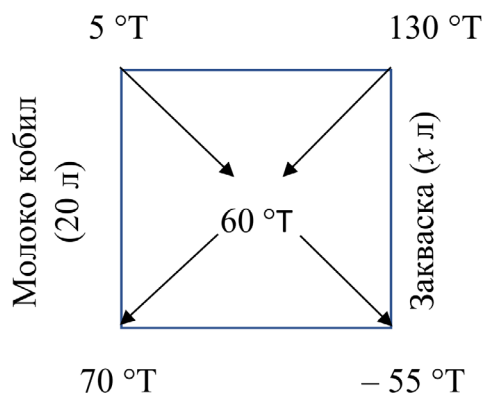


Рис. 2. Розрахунок необхідної кількості закваски до наявної кількості молока для отримання суміші запланованої кислотності методом квадрату Пірсона.

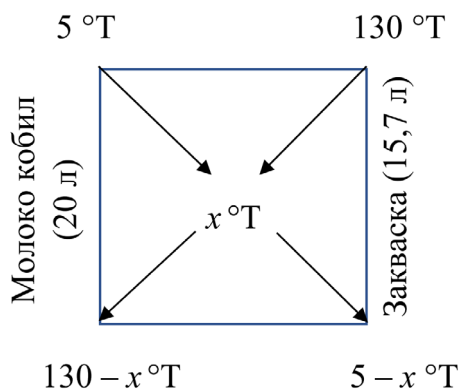


Рис. 3. Розрахунок кислотності суміші молока і закваски залежно від їх кількості і кислотності методом квадрату Пірсона.

Оскільки x більше 5°T , то $5 - x$ буде від'ємним числом $|5 - x| = x - 5$.

Складаємо пропорцію: $(130 - x) : (x - 5) = 20:15,7$.

За основною властивістю пропорції $(130-x) \times 15,7 = (x-5) \times 20$.

Звідси: $2041 - 15,7x = 20x - 100$; $2041 + 100 = 20x + 15,7x$; $35,7x = 2141$; $x = 2141 : 35,7 = 59,97 \approx 60^\circ\text{T}$.

Таким чином, одержана суміш має кислотність 60°T .

Отже, співвідношення молока і закваски в суміші потрібної кислотності можна визначити за методами «технологічного квадрату» та «квадрату Пірсона». Обидва методи ефективні.

Використовуючи квадрат Пірсона (рис. 4), виведемо формулу визначення кількості закваски, яку необхідно додати до певної кількості молока для отримання суміші запланованої кислотності. Розглянемо завдання у загальному вигляді. Позначимо: $З$ – кількість закваски, л; $М$ – кількість молока, л; $Кз$ – кислотність закваски, $^\circ\text{T}$; $Км$ – кислотність молока, $^\circ\text{T}$; $Кс$ – кислотність суміші, $^\circ\text{T}$. Розрахунки виконаємо аналогічно числовій задачі:

Маємо пропорцію:

$$(Кз - Кс) : (Кс - Км) = М : З.$$

Звідси: $З \times (Кз - Кс) = М \times (Кс - Км)$.

Отримаємо формулу визначення кількості закваски, яку необхідно додати до певної кількості молока:

$$З = \frac{М \times (Кс - Км)}{Кз - Кс} \quad (1)$$

Ефективність отриманої формули перевіримо на попередніх вихідних даних.

$$З = \frac{20 \times (60 - 5)}{130 - 60} = \frac{20 \times 55}{70} = 15,7 \text{ л}$$

Отримані однакові результати свідчать про дієвість виведеної формули.

Для визначення температури, до якої слід підігріти молоко, користуються формулою:

$$Тм = \frac{(З \times Тс - З \times Тз) + М \times Тм}{М}, \quad (2)$$

де $Тм$ – температура молока; $З$ – кількість закваски, л; $Тс$ – температура суміші, $^\circ\text{C}$; $Тз$ – температура закваски, $^\circ\text{C}$; $М$ – кількість молока, л [17].

Розрахуємо температуру 20 л молока, яка повинна бути у разі внесення 15,7 л закваски температурою 4°C , щоб температура суміші становила 26°C . Скористаємося існуючою формулою:

$$Тм = \frac{(15,7 \times 26 - 15,7 \times 4) + 20 \times 26}{20} = \frac{408,2 - 62,8 + 520}{20} = \frac{408,2 - 62,8 + 520}{20} = 43^\circ\text{C}.$$

Для виконання того самого завдання скористаємося методом квадрату Пірсона (рис. 5). Температуру молока, якою вона повинна бути, приймемо за $x^\circ\text{C}$.

Обчислення: $4^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C} = -22^\circ\text{C}$; $|-22^\circ\text{C}| = 22^\circ\text{C}$.

Температура молока $x^\circ\text{C}$, більша за температуру суміші,

тому $x^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C} > 0^\circ\text{C}$, $|x^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C}| = x^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C}$.

Маємо пропорцію:

$(x - 26) : 22 = 15,7 : 20$. Звідси: $(x - 26) \times 20 = 22 \times 15,7$; $20x - 520 = 345,4$;

$20x = 345,4 + 520$; $20x = 865,4$; $x = 865,4 : 20 = 43^\circ\text{C}$.

Таким чином, обидва застосовані вище підходи є ефективними.

Використовуючи квадрат Пірсона, можна пояснити виведення формули визначення температури, до якої слід підігріти молоко, де: $Тм$ – температура молока; $З$ – кількість закваски, л; $Тс$ – температура суміші, $^\circ\text{C}$; $Тз$ – температура закваски, $^\circ\text{C}$; $М$ – кількість молока, л (рис. 6).

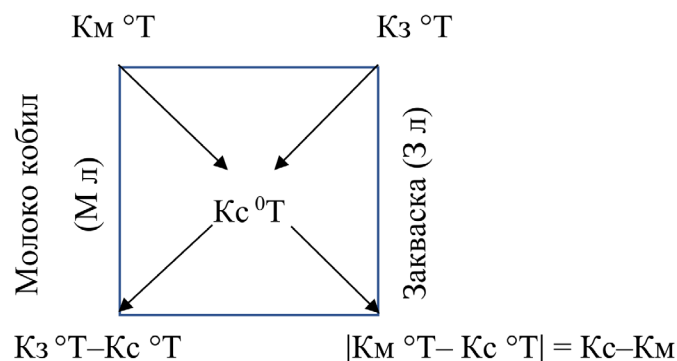


Рис. 4. Виведення формули розрахунку необхідної кількості закваски до наявної кількості молока залежно від їх кислотності з використанням квадрату Пірсона.

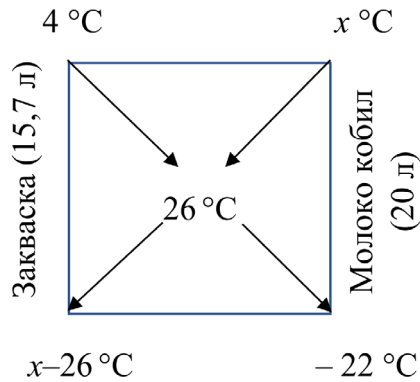


Рис. 5. Розрахунок температури наявної кількості молока для отримання суміші запланованої температури з урахуванням кількості і температури закваски методом квадрату Пірсона.

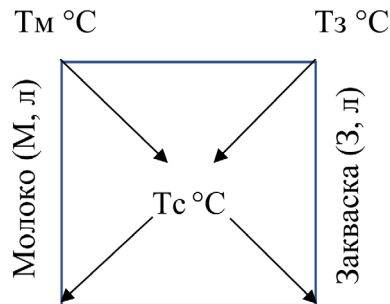
Приклад 2: маємо 4 л закваски кислотністю 130 °Т. Визначити кількість молока, кислотністю 5 °Т, для отримання суміші кислотністю 70 °Т.

Для розрахунків скористаємося квадратом Пірсона. В середині квадрата зазначимо бажану кислотність суміші – 70 °Т, а у лівому верхньому куті – кислотність молока, яка становить 5 °Т, а посередині сторони його кількість – x л. У верхньому правому куті – кислотність закваски 130 °Т, а посередині сторони – її кількість 4 л (рис. 7).

Обчислення виконуємо шляхом віднімання за стрілками квадрата:

$$5^{\circ}\text{T} - 70^{\circ}\text{T} = -65^{\circ}\text{T}; 130^{\circ}\text{T} - 70^{\circ}\text{T} = 60^{\circ}\text{T}.$$

Різницю записуємо у відповідності в нижніх кутах квадрата. Модулі цих чисел 60 і 65 показують співвідношення кількості молока і кількості закваски, тобто 60:65. Водночас це співвідношення дорівнює x л:4 л.



$$|Тз^{\circ}\text{C} - Тс^{\circ}\text{C}| = Тс^{\circ}\text{C} - Тз^{\circ}\text{C}$$

$$Тм^{\circ}\text{C} - Тс^{\circ}\text{C}$$

Рис. 6. Виведення формули розрахунку температури наявної кількості молока для одержання суміші запланованої температури залежно від кількості і температури закваски.

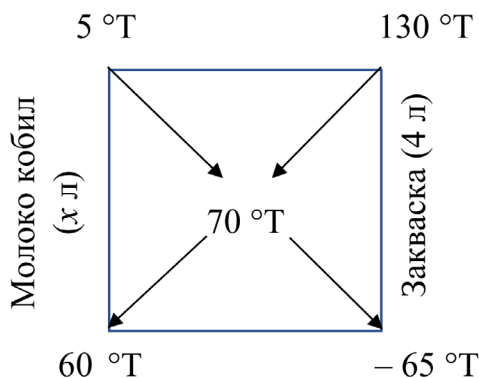


Рис. 7. Розрахунок необхідної кількості молока певної кислотності для отримання суміші запланованої кислотності залежно від кількості і кислотності закваски методом квадрату Пірсона.

Обчислення:
температура молока вища за температуру суміші,
тоді $Тм^{\circ}\text{C} - Тс^{\circ}\text{C} > 0^{\circ}\text{C}$, $|Тм^{\circ}\text{C} - Тс^{\circ}\text{C}| = Тм^{\circ}\text{C} - Тс^{\circ}\text{C}$;
температура закваски менша температури суміші,
тому $Тз^{\circ}\text{C} - Тс^{\circ}\text{C} < 0^{\circ}\text{C}$, $|Тз^{\circ}\text{C} - Тс^{\circ}\text{C}| = Тс^{\circ}\text{C} - Тз^{\circ}\text{C}$.

Маємо пропорцію:

$$(Тс - Тз) : (Тм - Тс) = М : 3.$$

Звідси:

$$М \times (Тм - Тс) = 3 \times (Тс - Тз); М \times Тм - М \times Тс = 3 \times (Тс - Тз);$$

$$М \times Тм = 3 \times (Тс - Тз) + М \times Тс.$$

Маємо формулу:

$$Тм = \frac{3 \times (Тс - Тз) + М \times Тс}{М}; Тм = \frac{(3 \times Тс - 3 \times Тз) + М \times Тс}{М}; (3)$$

Як видно із розрахунків, формула збігається із запропонованою, і, можливо, була виведена саме на основі квадрату Пірсона.

Маємо пропорцію: $60:65 = x \text{ л}:4 \text{ л}$.
Звідси $65 \times x = 60 \times 4$; $65x = 240$; $x = 240:65 = 3,7 \text{ л}$.

Отже, для отримання суміші молока і закваски 70°T необхідно до 4 л закваски кислотністю 130° додати 3,7 л молока кислотністю 5°T .

Перевірка отриманих результатів: маємо 3,7 л молока, кислотністю 5°T , 4 л закваски кислотністю 130°T . Визначимо кислотність суміші, яку позначимо як x . Розрахунки виконаємо аналогічно за допомогою квадрата Пірсона (рис. 8).

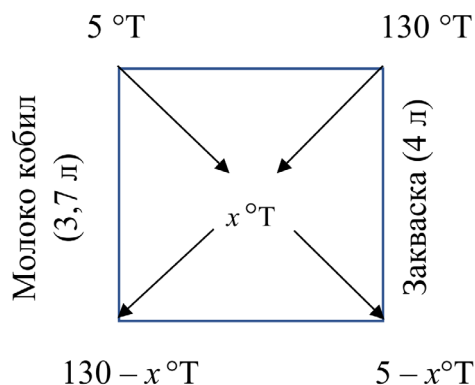


Рис. 8. Розрахунок кислотності суміші молока і закваски залежно від їх кількості та кислотності методом квадрату Пірсона.

Оскільки $5 < x$, то $5 - x < 0$, тоді $|5 - x| = x - 5$.
Звідси $(130 - x) : (x - 5) = 3,7:4$;

$(130 - x) \times 4 = (x - 5) \times 3,7$; $520 - 4x = 3,7x - 18,5$;
 $-4x - 3,7x = -18,5 - 520$; $-7,7x = -538,5$; $7,7x = 538,5$;

$x = 538,5:7,7 = 69,93 \approx 70^\circ\text{T}$.

Отже, якщо до 4 л закваски кислотністю 130°T додати 3,7 л молока, кислотністю 5°T , одержимо 7,7 л суміші (4 л + 3,7 л) кислотністю 70°T .

Використовуючи квадрат Пірсона (рис. 9), виведемо формулу визначення кількості молока, яку необхідно додати до певної кількості закваски. Розглянемо завдання у загальному вигляді.

Позначимо: $З$ – кількість закваски, л; $М$ – кількість молока, л; $Кз$ – кислотність закваски, $^\circ\text{T}$; $Км$ – кислотність молока, $^\circ\text{T}$; $Кс$ – кислотність суміші, $^\circ\text{T}$. Розрахунки виконаємо аналогічно числовій задачі:

Маємо пропорцію:

$$(Кз - Кс) : (Кс - Км) = М : З.$$

Звідси: $З \times (Кз - Кс) = М \times (Кс - Км)$.

Отримаємо формулу визначення кількості молока, яку необхідно додати до певної кількості закваски:

$$М = \frac{З \times (Кз - Кс)}{Кс - Км}; \quad (4)$$

Ефективність отриманої формули перевіримо на попередніх вихідних даних і розрахуємо кількість молока кислотністю 5°T , яку необхідно додати до 4 л закваски кислотністю 130°T , для отримання суміші кислотністю 70°T :

$$М = \frac{4 \times (130 - 70)}{70 - 5} = \frac{4 \times 60}{65} = 3,7 \text{ л}$$

Отримані однакові результати свідчать про релевантність виведеної формули.

Використовуючи квадрат Пірсона (рис. 10), виведемо формулу визначення необхідної кількості молока та закваски для отримання певної кількості суміші запланованої кислотності. Розглянемо завдання у загальному вигляді. Позначимо: $З$ – кількість закваски, л; $М$ – кількість молока, л; $Кз$ – кислотність закваски, $^\circ\text{T}$; $Км$ – кислотність молока, $^\circ\text{T}$; $Кс$ – кислотність суміші, $^\circ\text{T}$; $С$ – кількість суміші. Розрахунки виконаємо аналогічно числовій задачі:

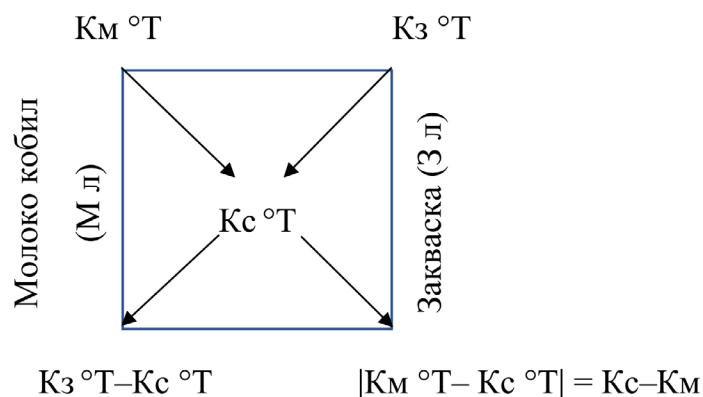


Рис. 9. Виведення формули розрахунку необхідної кількості молока для отримання суміші запланованої кислотності залежно від наявної кількості і кислотності закваски.

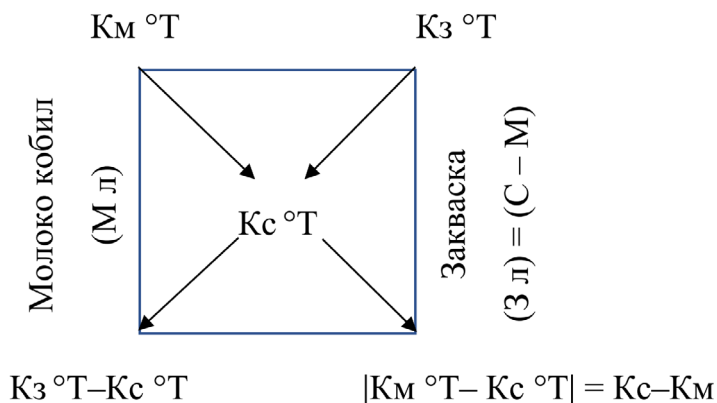


Рис. 10. Виведення формули розрахунку необхідної кількості молока для отримання суміші запланованої кислотності і температури.

Якщо молока M л, тоді закваски буде: $Z = C - M$. Маємо пропорцію:

$$\begin{aligned} (K_z - K_s) : (K_s - K_m) &= M : (C - M). \text{ Звідси:} \\ (C - M) \times (K_z - K_s) &= M \times (K_s - K_m); \\ C \times (K_z - K_s) - M \times (K_z - K_s) &= M \times (K_s - K_m); \\ C \times (K_z - K_s) &= M \times (K_z - K_s) + M \times (K_s - K_m); \\ C \times (K_z - K_s) &= M \times (K_z - K_s + K_s - K_m). \end{aligned}$$

Отримаємо формулу визначення необхідної кількості молока:

$$M = \frac{C \times (K_z - K_s)}{K_z - K_m} \quad (5)$$

Виведемо формулу для визначення кількості закваски:

$$\begin{aligned} Z &= C - M = C - \frac{C \times (K_z - K_s)}{K_z - K_m} = \\ \frac{C \times (K_z - K_m) - C \times (K_z - K_s)}{K_z - K_m} &= \frac{C \times (K_z - K_m - K_z + K_s)}{K_z - K_m} = \\ &= \frac{C \times (K_s - K_m)}{K_z - K_m}. \end{aligned}$$

Отримаємо формулу визначення кількості закваски:

$$Z = \frac{C \times (K_s - K_m)}{K_z - K_m} \quad (6)$$

Релевантність отриманих формул перевіримо на попередніх вихідних даних.

$M = \frac{20 \times (130 - 65)}{130 - 5} = \frac{20 \times 65}{125} = 10,4 \text{ л}$ – необхідна кількість молока кислотністю 5°T для отримання 20 л суміші кислотністю 65°T .

$Z = \frac{20 \times (65 - 5)}{130 - 5} = \frac{20 \times 60}{125} = 9,6 \text{ л}$ – необхідна кількість закваски кислотністю 130°T для отримання 20 л суміші кислотністю 65°T .

Загальна кількість суміші становить 20 л ($10,4 \text{ л}$ молока + $9,6 \text{ л}$ закваски).

Таким чином, результати розрахунків співвідношення кількості молока і закваски, залежно від їх початкової кислотності і температури, до запланованої кислотності суміші як за методом технологічного квадрату, так і методом квадрата Пірсона збігаються, що свідчить про ефективність застосованих методів. Використання виведених формул значно спрощує технологічні розрахунки.

Висновки.

Метод квадрату Пірсона дає змогу точно розрахувати співвідношення між кількістю молока і кількістю закваски для отримання запланованої кислотності суміші під час виробництва кумису. Крім того, цей метод уможливорює точні обчислення співвідношення суміші молока і закваски залежно від їх температури.

Використання методу дає змогу вивести формули розрахунків співвідношення кількості молока і закваски, залежно від їх початкової кислотності і температури, до запланованої кислотності і температури суміші під час виробництва кумису. Виведені формули можуть бути рекомендовані для використання у господарствах не тільки з виробництва кумису, а й на підприємствах молочної промисловості, що значно спрощує розрахунки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пешук Л.В. Характеристика молока кобил та кумису. Молочна справа. 2006. № 5. С. 30–31. URL: <http://surl.li/kproego> (дата звернення: 11.04.2025).
2. Baibokonov D., Yang Y., Tang Y., Hossain Md.S. Understanding the traditional mares'

milk industry's transformation into a creative industry: Empirical evidence from Kazakhstan. *Growth and Change*. 2021. Vol. 52 (2). P. 605–1196. DOI:10.1111/grow.12478

3. Czyżak-Runowska G., Wójtowski J., Stanisławski D. Mare's Milk from a Small Polish Specialized Farm—Basic Chemical Composition, Fatty Acid Profile, and Healthy Lipid Indices. *Animals*. 2021. Vol. 11 (6). 1590 p. DOI:10.3390/ani11061590

4. Jastrzębska E., Wadas E., Daszkiewicz T., Pietrzak-Fiećko R. Nutritional value and health-promoting properties of mare's milk – a review. *Czech J. Anim. Sci.* 2017. Vol. 62. P. 511–518. DOI:10.17221/61/2016-CJAS

5. Нагорний С. А., Косенко С. Ю. Технологія утримання статево-вікових груп коней кумисної ферми і доїння кобил. Біоінтенсивні та SMART-технології у тваринництві: матеріали II міжнар. наук.-практ.ї конф. НПП та молодих науковців. Одеса, 2023. С. 65–68.

6. Fantuz F., Salimei E., Papademas P. Macro- and Micronutrients in Non-cow Milk and Products and Their Impact on Human Health (Chapter 9). Fantuz F., Salimei E., Papademas P. *Non-Bovine Milk and Milk Products*. 2016. P. 209–261. DOI:10.1016/C2014-0-04073-7

7. Effects of Koumiss on Intestinal Immune Modulation in Immunosuppressed Rats / Q. Li et al. *Frontiers in Nutrition*. 2022. Vol. 9. DOI:10.3389/fnut.2022.765499

8. Equine milk and its potential use in the human diet / I.M.L.G. Barreto et al. *Food Sci. Technol.* 2019. Vol. 39 (1). P. 1–7. DOI:10.1590/fst.11218

9. ДСТУ 8080:2015 Кумис. Технічні умови. Чинний від 01.01.2017. URL:https://salo.li/8DEF1ea (дата звернення: 11.04.2025).

10. Пабат В.О., Гончаренко І.В. Технологія виробництва та переробки молока кобил: практ. посіб. Київ: Ліра-К, 2019. 190 с.

11. Kiladi M., Cain J. Karl Pearson's (1857–1936) patterns of publishing. *Notes Rec.* 2024. Vol. 79. P. 217–230. DOI:10.1098/rsnr.2024.0022

12. Ward S.H. Simple Ration Formulation: Pearson's Square. Extension Service of Mississippi State University. Publication. 2010. 2632. URL:https://salo.li/2D1b35a (date of application: 11.04.2025)

13. Ration Formulation using the «Pearson Squar». *Manading Livestock in Dry Times*. URL:https://salo.li/62E5f18 (date of application: 11.04.2025).

14. Wagner J., Stanton T.L. Rations calculation using Pearson's square – 1.618. *Colorado State Universiti*. URL:https://salo.li/A1A7EB2 (date of application: 11.04.2025)

15. Mavromichalis I. Formulating feed using the Pearson Square method. *FeedStrategy*. 2020. URL:https://salo.li/CFdB12d (date of application: 10.04.2025)

16. Нагорний С., Чалий О., Криворучко Ю., Косенко С. Методика розрахунку раціонів з використанням квадрату Пірсона для багатоконпонентних кормових сумішей. *Аграрний вісник Причорномор'я / Одес. держ. аграр. ун-т. Одеса*, 2024. Вип. 113. С. 75–87. DOI:10.37 000/abbsl.2024.113.13

17. Ковбасюк П. Технологія заготівлі якісного високопоживного силосу. Пропозиція. 2009. URL:https://salo.li/F15Fd3c (дата звернення: 10.04.2025).

18. Mullan W.M.A. Pearson square calculator. URL:https://www.dairyscience.info/new calculators/pearson.asp (date of application: 11.04.2025).

19. Pearson's Square & Mass Balancing Methods of Standardization. *Dairy Pulse*. 2024. URL:https://salo.li/583e161 (date of application: 08.04.2025).

20. Mathews M. Using Pearson's Square. URL:https://salo.li/1D90525 (date of application: 08.04.2025).

REFERENCES

1. Peshuk, L.V. (2006). Kharakterystyka moloka kobyly ta kumysu [Characteristics of kobil ta kumysu milk]. *Molochna sprava [Dairy business]*, no. 5, pp. 30–31. Available at: http://surl.li/kpoeo (date of application: 11.04.2025). (In Ukrainian).

2. Baibokonov, D., Yang, Y., Tang, Y., Hosain Md, S. (2021). Understanding the traditional mares' milk industry's transformation into a creative industry: Empirical evidence from Kazakhstan. *Growth and Change*. Vol. 52 (2), pp. 605–1196. DOI:10.1111/grow.12478

3. Czyżak-Runowska, G., Wójtowski, J., Stanisławski, D. (2021). Mare's Milk from a Small Polish Specialized Farm—Basic Chemical Composition, Fatty Acid Profile, and Healthy Lipid Indices. *Animals*. Vol. 11 (6), 1590 p. DOI:10.3390/ani11061590

4. Jastrzębska, E., Wadas, E., Daszkiewicz, T., Pietrzak-Fiećko, R. (2017). Nutritional value and health-promoting properties of mare's milk – a review. *Czech J. Anim. Sci.*, Vol. 62, pp. 511–518. DOI:10.17221/61/2016-CJAS

5. Nahorny, S.A., Kosenko, S.Yu. (2023). Tehnologija utrymannja statevo-vikovyh grup konej kumysnoi' fermy i doi'nnja kobyly [Technology of keeping sex-age groups of horses of a koumiss farm and milking mares]. *Biointensyvn ta SMART-tehnologii' u tvarynnictvi: materialy II mizhnar. nauk.-prakt.ї' konf. NPP ta molodyh naukvciv [Biointen-*

sive and SMART technologies in animal husbandry: materials of the II international scientific-practical conference of scientists and young scientists]. Odesa, pp. 65–68. (In Ukrainian).

6. Fantuz, F., Salimei, E., Papademas, P. (2016). Macro- and Micronutrients in Non-cow Milk and Products and Their Impact on Human Health (Chapter 9). In Fantuz, F., Salimei, E., Papademas, P. Non-Bovine Milk and Milk Products, pp. 209–261. DOI:10.1016/C2014-0-04073-7

7. Li, Q., Zhang, C., Xilin, T., Ji, M., Men, X., Zhao, Y., Siqin, B., Na, Z., Li, M. (2022). Effects of Koumiss on Intestinal Immune Modulation in Immunosuppressed Rats. *Frontiers in Nutrition*, Vol. 9. DOI:10.3389/fnut.2022.765499

8. Barreto, I.M.L.G., Rangel, A.H.N., Urbano, S.A., Bezerra, J.S., Oliveira, C.A.A. (2019). Equine milk and its potential use in the human diet. *Food Sci. Technol.* Vol. 39 (1), pp. 1–7. DOI:10.1590/fst.11218

9. DSTU 8080:2015 Kumys. Tehnichni umovy. Chynnyj vid 01.01.2017. [DSTU 8080:2015 Kumys. Technical conditions. Effective from 01.01.2017.]. Available at: <https://salo.li/8DEF1ea> (In Ukrainian).

10. Pabat, V.O., Honcharenko, I.V. (2019). *Tehnologija vyrobnyctva ta pererobky moloka kobyl: prakt. posib.* [Technology of production and processing of mare's milk: practical manual]. Kyiv: Lira-K, 190 p. (In Ukrainian).

11. Kiladi, M., Cain, J. (2024). Karl Pearson's (1857–1936) patterns of publishing. *Notes Rec.*, Vol. 79, pp. 217–230. DOI:10.1098/rsnr.2024.0022

12. Ward, S.H. (2010). Simple Ration Formulation: Pearson's Square. Extension Service of Mississippi State University. Publication. 2632. Available at: <https://salo.li/2D1b35a> (date of application: 11.04.2025)

13. Ration Formulation using the «Pearson Square». *Managing Livestock in Dry Times*. Available at: <https://salo.li/62E5f18> (date of application: 11.04.2025)

14. Wagner, J., Stanton, T.L. Rations calculation using Pearson's square – 1.618. Colorado State University. Available at: <https://salo.li/A1A7EB2> (date of application: 11.04.2025)

15. Mavromichalis, I. (2020). Formulating feed using the Pearson Square method. *Feed Strategy*. Available at: <https://salo.li/CFdB12d> (date of application: 10.04.2025)

16. Nahorni, S., Chalyi, O., Kryvoruchko, Yu., Kosenko, S. (2024). *Metodyka rozrakhunku ratsioniv z vykorystanniam kvadratu Pirsona dlia bahatokomponentnykh kormovykh sumishei* [Methods of calculating rations using Pearson's square for multicomponent feed mixtures]. *Ahrarnyi visnyk Prychornomoria / Odes. derzh. agrar. un-t.* [Agrarian bulletin of the Black Sea littoral / Odessa State Agrarian Uni-

versity]. Odesa, Issue 113, pp. 75–87. DOI:10.37000/abbsl.2024.113.13 (In Ukrainian).

17. Kovbasiuk, P. (2009). *Tekhnologhiia zahotivli yakisnoho vysokopozhyvnoho sylosu* [Technology for harvesting high-quality, highly nutritious silage]. *Propozytsii* [Offer]. Available at: <https://salo.li/F15Fd3c> (date of application: 10.04.2025). (In Ukrainian).

18. Mullan, W.M.A. (2008). Pearson square calculator. Available at: <https://www.dairy science.info/newcalculators/pearson.asp> (date of application: 11.04.2025)

19. Pearson's Square & Mass Balancing Methods of Standardization. (2024). *Dury Pulse*. Available at: <https://salo.li/583e161> (date of application: 08.04.2025)

20. Mathews, M. Using Pearson's Square. Available at: <https://salo.li/1D90525> (date of application: 08.04.2025)

Improvement of the technological calculations in dairy industry based on the “Pearson square” method

Nahorni S., Chalyi O., Kryvoruchko Yu., Sklyarenko O., Kosenko S., Slynko V.

Dairy horse breeding in Ukraine is not a major source of milk and dairy products, although its nutritional and therapeutic effects on the human body have been known since ancient times. The main product made from mare's milk is koumiss - an alcoholic-lactic drink, which, due to its chemical composition, has a positive effect on the human body. The technological process of preparing koumiss consists in mixing a working starter with freshly milked mare's milk, which requires a fairly clear dosage of these components by acidity and temperature, with subsequent mixing, cooling and corking of the finished mixture, therefore the purpose of this work was to test existing methods for calculating the mixed components by acidity using the technological square method and develop new ones using the Pearson square method. It has been established that when using the technological square method, the initial data are arranged horizontally and, when calculating the difference in acidity between milk and starter, taking into account the planned acidity of the mixture, the smaller value is subtracted from the larger value, and the calculations are carried out in different directions, as a result, a proportion appears, divided by a vertical line, when calculating which we will obtain the amount of starter of a certain acidity that should be added to the mare's milk. Using this method, and considering the results obtained in general form, we obtained both a formula for determining the required amount of starter culture that must be added to a certain amount of milk, depending on their acidity, to obtain a mixture of the

planned acidity, and an explanation of the existing formula for determining the temperature to which milk should be heated, and also derived formulas for calculating the ratio of the amount of milk and starter culture, depending on their initial acidity and temperature, to the planned acidity and temperature of the mixture in the production of koumiss to sim-

plify calculations. Verification of the derived formulas confirmed their workability; therefore, they can be proposed and recommended for use in farms not only for koumiss production but also at dairy industry enterprises.

Keywords: starter culture, mare's milk, koumiss, acidity, temperature, Pearson's square.



Copyright: Нагорний С.А. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Нагорний С.А.

<https://orcid.org/0000-0001-7870-2342>

Чалий О.І.

<https://orcid.org/0000-0001-6159-9908>

Криворучко Ю.І.

<https://orcid.org/0000-0002-8542-8297>

Склярєнко О.В.

<https://orcid.org/0000-0003-2541-400X>

Косенко С.Ю.

<https://orcid.org/0000-0002-2946-6010>

Слинько В.Г.

<https://orcid.org/0000-0002-1673-5840>

ЕКОЛОГІЯ

УДК 502.51(282):574.64

Оцінка стану водної екосистеми річки Кам'янка Білоцерківського району Київської області

Веред П.І. , Герасименко В.Ю. , Бітюцький В.С. ,
Присяжнюк Н.М. , Цехмістренко С.І. , Куновський Ю.В. 

Білоцерківський національний аграрний університет

Веред П.І. E-mail: vered.petro@ukr.net



Веред П.І., Герасименко В.Ю., Бітюцький В.С., Присяжнюк Н.М., Цехмістренко С.І., Куновський Ю.В. Оцінка стану водної екосистеми річки Кам'янка Білоцерківського району Київської області. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2025. № 2. С. 111–120.

Vered P., Herasymenko V., Bityutskyy V., Prysiazhniuk N., Tsekhmistrenko S., Kunovsky Y. Assessment of the Status of the Kamianka River Aquatic Ecosystem in the Bila Tserkva District, Kyiv Region. «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2025. № 2. PP. 111–120.

Рукопис отримано: 01.10.2025 р.

Прийнято: 14.10.2025 р.

Затверджено до друку: 27.11.2025 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2025-198-2-111-120

Проведено комплексне оцінювання екологічного стану річки Кам'янка Білоцерківському районі Київської області (села Пищики та Фурси) із застосуванням методів біоіндикації, гідрохімічного аналізу та радіологічного контролю. Дослідження флуктуючої асиметрії меристичних ознак карася сріблястого (*Carassius gibelio*) використано як біоіндикаційний метод оцінювання якості водного середовища. Визначено гідрохімічні показники води (рН, TDS, ОБП) та проведено дослідження питомої активності і розрахунок щільності радіоактивного забруднення прибережної зони ^{137}Cs і ^{90}Sr . Дослідження проводились у квітні 2025 року, який характеризувався поступовим зростанням температури за відсутності пікових евтрофних процесів. Водночас у цей період відмічали інтенсивні опади, що в комплексі з агроландшафтами, які оточують річку, несе потенційну екологічну небезпеку.

Об'єктами дослідження були проби води та прибережного ґрунту, донні відклади та біоіндикатор – типовий представник гідробіонтів – карась сріблястий (*Carassius gibelio*). Встановлено, що показники TDS нижче греблі є статистично вірогідно вищими, однак не виходять за межі гранично допустимих концентрацій. Відзначено нормальне значення рН середовища із характеристикою стану «добрий». Значення окисно-відновного потенціалу (в межах 176–185 mV) відображає окисну геохімічну ситуацію, яка свідчить про присутність вільного кисню у воді, особливо нижче греблі, та низки елементів у найвищій формі їх валентності. Дослідження флуктуючої асиметрії розвитку карася сріблястого виявило, що навіть за відносно безпечних гідрохімічних показників води у досліджуваній період на організм гідробіонтів спричинено негативний вплив середовища їх існування. Це обґрунтовує необхідність застосування складних лабораторних досліджень (молекулярних та біохімічних), а також проведення повторних досліджень в інші періоди року, особливо під час піку евтрофних процесів. Визначено наявність та розраховано щільність забруднення штучними довгоживучими біологічно активними радіонуклідами ^{137}Cs і ^{90}Sr прибережної зони річки Кам'янка в чотирьох локаціях сіл Пищики та Фурси Білоцерківського району Київської області. Встановлено, що радіоактивне забруднення має мозаїчний характер, проте щільність забруднення ґрунтів не перевищує критичних значень і відповідає умовно чистим територіям.

Ключові слова: екотоксикант, екологічний стан, водна екосистема, гідробіонти, якість води, ОБП, TDS, рН, радіонукліди ^{137}Cs і ^{90}Sr , прибережна зона, біоіндикація.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. У 2011 році вперше за всю світову історію попит на прісну воду перевищив її наявні ресурси. За прогнозами ООН, які справдилися, у період до 2025 року близько половини держав світу вже потерпають від браку якісної та безпечної питної води, внаслідок чого можливе поширення епідемій, епізоотій, інвазій, голоду, масового переселення народів і важкопрогнозованих наслідків [1], включаючи військові конфлікти, як це сталося, наприклад, між Індією та Пакистаном. Міжнародна міжурядова група експертів з питань зміни клімату (IPCC) оприлюднила звіт, акцентуючи увагу на тому, що попри значні зусилля щодо мінімізації емісії парникових газів, температура зростатиме ще щонайменше до 2050 року. Серйозні кліматичні зміни, спричинені перманентними викидами парникових газів, є незворотними протягом століть, зокрема зміни в океанах, льодовикових покривах та зміні глобального рівня моря [2]. Вода є вкрай уразливим ресурсом. У сучасній складній екологічній ситуації однією з пріоритетних проблем гідросфери є перманентне забруднення басейнів малих річок, які через свої особливості є найбільш уразливими до дії екотоксичних факторів. Це пов'язано насамперед з відносно незначними водозбірними площами.

Відмінність малих річок від великих полягає не тільки в їх довжині чи площі басейну. Вони вирізняються передусім ступенем залежності властивих їм біопроесів від навколишнього водозбору. Малі річки є початковою ланкою річкової мережі, і всі зміни в їх режимі, безперечно, позначаються на всьому гідрографічному ланцюгу [3–5]. Доведено, що саме малі річки значною мірою впливають на гідрохімічний склад та якість води середніх і великих річок. Саме в їх басейнах формується понад 60 % водних ресурсів України [6, 7].

Річка Кам'янка має довжину 105 км, а площу басейну 800 км². Її долина характеризується трапецієподібною формою. Річище звивисте. Кам'янка протікає територією Київської та Житомирської областей. Вздовж берегів наявні заплавні листяні та мішані типи лісів. На берегах Кам'янки переважають косовища, пасовища, а також відмічено агроландшафти. Берегова лінія здебільшого є пологою. В деяких місцях відмічають круті береги із виступами кристалічних порід. Максимальна глибина Кам'янки перевищує 2 метри. Військові дії в Україні призвели до значних змін у сировинній базі та різкого зни-

ження обсягів вилову морських гідробіонтів. Це, відповідно, зумовило необхідність перегляду об'єктів продовольчо-сировинної бази для забезпечення збалансованим повноцінним харчуванням, зокрема продукцією гідробіонтів, яка містить у своєму складі есенціальні речовини. Після підписання Україною Угоди про асоціацію з Європейським Союзом перед нашою країною постають нові амбітні завдання щодо забезпечення «доброго» статусу водних ресурсів. Відповідно до Водної рамкової директиви, екологічний стан водного об'єкта є інтегрованим показником якості, який визначають за гідробіологічними, гідроморфологічними та гідрохімічними показниками, що є життєво важливими для водних екосистем [8, 9]. Особливої уваги заслуговує вивчення закономірностей реакцій гідробіонтів на зміни умов навколишнього природного середовища. Значне забруднення водного середовища токсичними речовинами призводить до зниження видового розмаїття гідробіонтів, а використання гідробіонтів як біоіндикаторів дає змогу зробити висновки про вплив таких речовин [10]. Нині відбувається зміна парадигми моніторингу поверхневих водних об'єктів [11].

Внаслідок Чорнобильської катастрофи значні частини водних екосистем лісостепової зони на південь від Києва зазнали забруднення штучними довгоживучими біологічно активними радіонуклідами ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr. З часом, унаслідок розпаду цих радіонуклідів, площа територій із радіоактивним забрудненням зменшується. Проте, незважаючи на тривалий час, що минув (понад три з половиною десятиліття після Чорнобильської катастрофи), проблема радіоактивного забруднення й нині залишається актуальною, адже, як показують дослідження, навіть на відносно безпечних територіях лісостепової зони можна виявити значні локальні ділянки радіоактивного забруднення штучними радіонуклідами ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr, яких до катастрофи в природних екосистемах не існувало [12–14].

Враховуючи сучасний екологічний стан річок нашої держави, не можна нехтувати токсикологічною безпекою продукції гідробіонтів. Це має пріоритетне практичне значення та є предметом досліджень науковців як в Україні, так і за її межами [10, 15–17]. Як зазначено у роботі [18], тенденції до перманентного забруднення водойм з часом лише посилюються практично по всій території Київської області. Пріоритетними причинами зростання забруднення є недостатня якість очищення стічних вод, що скидають

водокористувачі різної форми власності, а також несанкціоноване забруднення річок та їх приток.

Причепа М.В. (2020) [19] описав характеристики рибного складу лівих приток Росі – річок Кам'янка та Протока. Встановлено відповідний видовий склад, що включає 30 видів для річки Кам'янка та 20 видів для річки Протока. У цих водоймах переважають риби євритопної екологічної групи, фітофіли та зообентофаги. В Кам'янці встановлено високий рівень біотопічного різноманіття. Виявлено види риб з Резолюції 6, прийнятої для створення «Смарагдової мережі»: гірчак європейський *Rhodeus amarus* (Bloch, 1782), щипавка звичайна *Cobitis taenia* (s.l.) Linnaeus, 1758, в'юн звичайний *Misgurnus fossilis* (Linnaeus, 1758). Окремі автори звертають увагу на необхідність інтегральних підходів, які б дали змогу об'єктивно оцінити стійкість та стабільність водойм і визначити фактори середовища, що впливають на біоту водних екосистем унаслідок антропогенної діяльності [20, 21].

Особливої уваги заслуговує визначення окисно-відновного потенціалу (ОВП) води. Використання так званої активованої води високої якості (з від'ємним ОВП) у харчуванні людей останнім часом активно розвивається у США, Канаді, Франції, Німеччині, Австрії, Ізраїлі, Австралії, арабських країнах тощо. Доведено, що регулярне споживання такої води сприяє посиленню антиоксидантного захисту організму від несприятливих впливів окиснювальних факторів харчування та навколишнього природного середовища, активізації внутрішньоклітинних метаболічних процесів, нейтралізації токсичних речовин, забезпеченню стабільності внутрішньої екології організму [22, 23]. Дослідження міграції радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr в умовах центрального лісостепу України у віддалений період після Чорнобильської катастрофи проводились низкою науковців [12–14, 24–26]. Встановлено, що цезій має здатність міцно фіксуватися у кристалічній решітці глинистих мінералів ґрунту й ставати недоступним для засвоєння кореневою системою рослин, тоді як стронцій перебуває переважно в мобільних формах.

Сьогодні актуальною є оцінювання якості води не лише за вмістом хімічних складників, а й за рахунок визначення хімічного статусу водойми водночас з обов'язковим встановленням екологічного стану, що ми і з'ясували у нашій роботі в ситуації з річкою Кам'янка.

Метою дослідження є комплексне оцінювання екологічного стану водної екосисте-

ми річки Кам'янка Білоцерківського району Київської області із застосуванням методів біоіндикації, гідрохімічного аналізу та радіологічного контролю.

Матеріали та методи досліджень. Проби відбирали на ділянці річки Кам'янка у Білоцерківському районі Київської області (в межах сіл Пищики та Фурси) у чотирьох локаціях: дві до греблі та дві після греблі з метою порівняння ділянок річки з різними екологічними умовами (табл. 1).

Таблиця 1 – Координати точок відбору проб

№ точки досліджень	Координати
1	49°49'5.44"Пн 29°58'10.01"С
2	49°48'25.74"Пн 29°59'19.23"С
3	49°48'28.02"Пн 30° 0'15.52"С
4	49°48'25.62"Пн 30° 0'14.78"С

Дослідження проводились у квітні 2025 року, який характеризувався поступовим зростанням температури води за відсутності пікових евтрофних процесів. Об'єктами дослідження були проби води та прибережного ґрунту, донні відклади та типовий представник гідробіонтів – карась сріблястий (*Carassius gibelio*). Відбір проб води та ґрунту проведено відповідно до нормативних вимог [27]. Збір іхтіологічного матеріалу для біоіндикаційних досліджень відбувався шляхом огляду улову рибалок-аматорів. Кількість дослідженої риби складала 10 особин.

Визначення рН, ОВП та TDS води проводили безпосередньо на місці взяття проб за допомогою приладу Ezodo 7200 (рН-, ОВП-метр, солемір, водонепроникний тестер стандарту IP-57 СС). Перед польовими дослідженнями електроди для вимірювання було відкалібровано з використанням стандартних буферних розчинів. Кількість вимірювань значень показників для кожної проби води складала 5 повторностей.

Для визначення флуктуючої асиметрії у риби вивчали асиметрію парних ознак, зокрема кількість променів у черевних та грудних плавцях, кількість зябрових тичинок та лусочок у бічній лінії гідробіонтів. Для аналізу показників обчислювали середнє значення асиметричних проявів ознак (ЧАП) на особину. Оцінювання якості середовища існування досліджуваних риб проводили у балах відповідно до загальноприйнятої методики.

Зразки для радіоактивної оцінки відбирали в прибережній зоні. Визначення радіоактивного фону проводили дозиметром-радіометром МКС-05 «Терра». Для визначення щільності забруднення відібрано проби прибережного ґрунту у чотирьох локаціях, які в подальшому досліджували в лабораторії кафедри безпеки життєдіяльності Білоцерківського НАУ.

Для визначення активності ^{137}Cs використовували метод сцинтиляційної гама-спектрометрії, а ^{90}Sr – бета-спектрометрії на УСК «Гамма Плюс» з програмним забезпеченням «Прогрес 2000». Згідно із щорічною повіркою приладу, похибка вимірювань залежно від активності зразків становила $\pm 10\text{--}30\%$ ($P=0,95$).

Активність ^{137}Cs визначали в посудині Марінеллі об'ємом 1 л у нативних зразках або після їх фізичного концентрування на гама-спектрометричному тракті. Активність ^{90}Sr визначали після селективного радіохімічного виділення оксалатним методом на бета-спектрометричному тракті УСК «Гамма Плюс» із сцинтиляційними детекторами [28].

Статистичну обробку даних проводили загальноприйнятими методами варіаційної статистики з використанням програмного забезпечення.

Результати досліджень та обговорення. Окисно-відновний потенціал води досліджуваної ділянки річки Кам'янка варіював у межах 174,4–184,6 mV, що свідчить про стійку окисну геохімічну ситуацію у водному середовищі (табл. 2).

На ділянках до греблі (точки 1 і 2) зареєстровано вищі значення ОВП: $183,8 \pm 0,9$ mV та $184,6 \pm 0,7$ mV відповідно, тоді як після греблі (точки 3 і 4) показники були нижчими: $174,4 \pm 0,6$ mV та $175,8 \pm 0,7$ mV. Різниця між ділянками становить приблизно 8–10 mV і є статистично значущою.

Позитивні значення ОВП у всіх досліджуваних точках характеризують окисну геохімічну ситуацію, яка визначається наявністю вільного розчиненого кисню у воді. За таких умов у водному середовищі присутні хімічні

елементи здебільшого у найвищій формі своєї валентності (Fe^{3+} , Mn^{4+} , NO_3^- , SO_4^{2-}), що є сприятливим з екологічної точки зору. Дещо нижчі значення ОВП на ділянках після греблі можуть бути пов'язані з накопиченням органічної речовини та інтенсифікацією біологічних процесів у застійних зонах перед гідротехнічною спорудою, що призводить до часткового споживання кисню.

Незначне зниження ОВП після греблі, незважаючи на очікуване збагачення води киснем через турбулентне перемішування, може вказувати на надходження додаткових джерел органічного забруднення нижче за течією або зміну гідродинамічного режиму річки. Водночас усі зареєстровані значення ОВП перевищують критичний рівень 150 mV, що є позитивною характеристикою якості води.

Водневий показник води річки Кам'янка у всіх досліджуваних точках знаходився в межах норми (6,5–8,5) та становив 8,1–8,4, що відповідає слаболужній реакції середовища. На ділянці до греблі зареєстровано рН 8,3 (точка 1) та 8,1 (точка 2), тоді як після греблі показник становив 8,4 у обох точках відбору (точки 3 і 4).

Слаболужна реакція води є типовою для поверхневих водних об'єктів України та обумовлена наявністю в річковому басейні карбонатних порід, які забезпечують буферну ємність води. Значення рН у діапазоні 8,1–8,4 відповідає характеристиці стану «добрий» згідно з класифікацією якості поверхневих вод. За таких умов рН створюються сприятливі умови для існування гідробіонтів, оскільки більшість прісноводних організмів оптимально розвиваються за рН 6,5–8,5.

Незначне підвищення рН після греблі (з 8,1–8,3 до 8,4) може бути пов'язане з інтенсифікацією фотосинтетичних процесів у прибережній зоні та споживанням вуглекислого газу водною рослинністю, що призводить до зміщення карбонатної рівноваги в бік підвищення лужності. Стабільність показника рН у межах норми свідчить про достатню буферну ємність води та відсутність суттєвого техногенного забруднення кислотного або лужного характеру.

Таблиця 2 – Гідрохімічні показники води досліджуваної ділянки річки Кам'янка

№ з/п	Параметри	Точки відбору			
		1	2	3	4
1	ОВП, mV	$183,8 \pm 0,9$	$184,6 \pm 0,7$	$174,4 \pm 0,6$	$175,8 \pm 0,7$
2	pH	8,3	8,1	8,4	8,4
3	TDS, ppm	$284,2 \pm 0,9$	$282,2 \pm 0,6$	$338,4 \pm 1,1$	$340,6 \pm 1,3$

Показник загального вмісту розчинених твердих речовин (Total Dissolved Solids, TDS) виявив статистично значущу різницю між ділянками до та після греблі. На ділянках до греблі (точки 1 і 2) TDS становив $284,2 \pm 10,9$ ppm та $282,2 \pm 0,6$ ppm відповідно, тоді як після греблі (точки 3 і 4) показник збільшився до $338,4 \pm 1,1$ ppm та $340,6 \pm 1,3$ ppm. Різниця становить приблизно 54–58 ppm або близько 19–20 % ($p < 0,05$).

Підвищення TDS нижче греблі може бути обумовлено кількома факторами. По-перше, у зоні греблі відбувається уповільнення течії води, що сприяє акумуляції розчинених речовин. По-друге, можливе надходження додаткових джерел мінералізації з прибережної зони або дифузних джерел забруднення (поверхневий стік з агроландшафтів, що оточують річку). По-третє, інтенсифікація біогеохімічних процесів у придонних відкладах може призводити до вивільнення іонів у водну товщу.

Проте, незважаючи на підвищення TDS після греблі, абсолютні значення показника (284–341 ppm) не виходять за межі гранично допустимих концентрацій згідно з Держсанпін 2.2.4-171-10 (до 1000 ppm для питної води). За класифікацією мінералізації вод, досліджувана вода належить до категорії прісних вод із помірною мінералізацією, що є прийнятним для існування більшості гідробіонтів та використання води для рибогосподарських цілей.

Комплексний аналіз гідрохімічних показників дозволяє охарактеризувати воду річки Кам'янка на досліджуваній ділянці як умовно чисту з ознаками антропогенного навантаження помірного рівня. Всі три досліджені параметри (ОВП, pH, TDS) знаходяться в межах нормативних значень, що свідчить про відносно задовільний гідрохімічний стан водного об'єкта. Водночас виявлені статистично вірогідні відмінності між ділянками до та після греблі (особливо за показником TDS) вказують на наявність локальних джерел забруднення або зміну гідрологічного режиму, що потребує додаткового вивчення та моніторингу у різні сезони року.

Оцінювання стабільності розвитку популяції сріблястого карася (*Carassius gibelio*) проводилося на основі аналізу флуктуючої асиметрії (ФА) меристичних ознак (кількість променів у грудних та черевних плавцях, кількість лусок у бічній лінії). ФА відо-

бражає рівень стресу, якому піддається організм під час онтогенезу, і є високочутливим індикатором неспецифічного антропогенного навантаження. Чим вище значення індексу ФА, тим нижча стабільність розвитку та вищий рівень екологічного стресу.

Результати розрахунку середнього інтегрального показника ФА на контрольних створах річки Кам'янка демонструють статистично значуще підвищення показника ФА у популяції карася в створі нижче гідротехнічної споруди. Згідно з екологічними класифікаціями, показники відповідають помірному (середньому) рівню антропогенного навантаження на водну екосистему. Проте, різниця між створами вказує на наступні чинники:

1. Гідрологічний стрес: Гребля змінює природний гідрологічний режим, спричиняючи підвищену турбулентність та зміну швидкості течії нижче споруди, що є додатковим механічним та енергетичним стресом для риб.

2. Акумулятивний ефект: Хоча прямі гідрохімічні показники (TDS) не перевищують ГДК, підвищення ФА у нижньому створі є індикатором кумулятивного впливу комплексу факторів (зростання мінералізації, потенційний стік пестицидів/добрив із агроландшафту та зміна гідрології).

Після цього, нами було проведено інтегральну оцінку якості середовища існування досліджуваних риб за бальною шкалою, у результаті чого розрахований коефіцієнт якості водного середовища склав 0,44 бала. Отримане значення відповідає діапазону, який прийнято відносити до категорії «слабо забруднена вода», тобто до умов із помірним антропогенним навантаженням. Це означає, що у дослідних ділянках водотоку відсутні ознаки грубого техногенного забруднення, проте фіксується певне відхилення гідрохімічних та/або гідробіологічних показників від умов, характерних для води високої якості.

З екологічної точки зору отриманий рівень забруднення свідчить, що середовище загалом є придатним для існування та росту риб, однак може створювати додаткове функціональне навантаження на їх фізіолого-біохімічні системи (антиоксидантний захист, детоксикаційні механізми, імунна відповідь). У таких умовах можливий помірний хронічний стрес, який не призводить до негайної загибелі або різкого зниження чисельності,

але здатен впливати на темпи росту, репродуктивну здатність та стійкість риб до додаткових несприятливих факторів (коливання температури, кисневий дефіцит, додаткові дози забруднювачів). Значення коефіцієнта 0,44 бала, з одного боку, підтверджує відсутність критичного рівня деградації середовища, а з іншого – вказує на необхідність подальшого моніторингу та впровадження профілактичних природоохоронних заходів з метою запобігання переходу від «слабо забрудненого» до більш несприятливих категорій якості води.

Таким чином, біоіндикаційний аналіз засвідчив, що зона нижче греблі має нижчу стабільність розвитку популяції, що відображає її більшу уразливість до зовнішніх впливів порівняно з умовно фоновією зоною.

Результати радіоактивних досліджень показали, що гама-фон становив 8–20 мкР/год, що відповідає природному фону даної місцевості. Це пояснюється виходом на поверхню гранітних порід, які є природним джерелом радіоактивності.

Для детального визначення радіоактивного забруднення ґрунтів прибережної зони досліджено питому активність ^{137}Cs і ^{90}Sr у відібраних зразках ґрунту в чотирьох локаціях у верхньому 0–20 см шарі (табл. 3).

З отриманих даних можна зробити висновок, що характер радіоактивних випадіння має контрастний мозаїчний характер, що може спричинити несподівані варіації у концентраціях радіонуклідів. Проте в даному випадку радіоактивне забруднення є незначним і не перевищує 37 кБк/м² (не більше 1 Кі/км²), тобто досліджувані локації знаходяться на умовно чистих територіях згідно із Законом України «Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи». Для оцінювання біологічної міграції досліджено фізико-хімічні форми знаходження цих штучних біологічно активних радіонуклідів (табл. 4).

Отримані результати пояснюються здатністю цезію до необмінної фіксації кристалічною решіткою глинистих мінералів ґрунту на відміну від стронцію, якому властива обмінна фіксація. Тому в обмінній формі знаходиться 43,53 % ^{90}Sr та лише 1,15 % ^{137}Cs . Отже, ^{90}Sr більш інтенсивно включається в міграційні процеси порівняно з ^{137}Cs .

Отримані результати узгоджуються з літературними даними, які свідчать, що цезій має здатність міцно фіксуватися у кристалічній решітці глинистих мінералів ґрунту й ставати недоступним для засвоєння кореневою системою рослин, тоді як стронцій перебуває переважно у мобільних формах [24–26].

Таблиця 3 – Радіоактивне забруднення прибережної зони річки Кам'янка ($M \pm m$, $n=5$)

№ локації	Питома активність, Бк/кг		Щільність забруднення, кБк/м ²		Щільність забруднення, Кі/км ²	
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr
1	8,6 $\pm$ 1,1	1,5 $\pm$ 0,17	2,0 $\pm$ 0,3	0,36 $\pm$ 0,04	0,05	0,001
2	14,7 $\pm$ 3,2	3,2 $\pm$ 0,3	3,53 $\pm$ 0,4	0,85 $\pm$ 0,09	0,10	0,003
3	48,8 $\pm$ 8,9	11,5 $\pm$ 2,6	11,71 $\pm$ 2,3	2,81 $\pm$ 0,3	0,32	0,009
4	64,9 $\pm$ 15,8	18,8 $\pm$ 5,4	15,57 $\pm$ 2,8	3,74 $\pm$ 0,04	0,42	0,011

Таблиця 4 – Фізико-хімічні форми ^{137}Cs і ^{90}Sr у 0–20-ти см прибережному шарі ґрунту

Радіонуклід	Форми радіонуклідів, % від загального вмісту, $M \pm m$			
	водорозчинна	обмінна	кислото-розчинна	фіксована
^{137}Cs	0,12 $\pm$ 0,08	1,15 $\pm$ 0,47	1,98 $\pm$ 0,63	96,51 $\pm$ 11,02
^{90}Sr	1,79 $\pm$ 0,15	43,53 $\pm$ 5,73	44,31 $\pm$ 4,85	11,09 $\pm$ 1,18

Висновки. Водозбору річки Кам'янка притаманна складна ландшафтно-геохімічна структура та значні площі агроландшафтів, що може призвести до антропогенного забруднення водного об'єкта. Окисно-відновний потенціал води становив від 183,8 mV на ділянці до греблі до 175,8 mV після неї, що свідчить про окисну геохімічну ситуацію з наявністю вільного кисню та низки елементів у найвищій формі їх валентності, особливо після проходження води через греблю внаслідок турбулентного перемішування. Показники рН не виходили за межі норми та становили 8,1–8,4, що відповідає характеристиці стану «добрий». Показники TDS нижче греблі є статистично вірогідно вищими, однак не виходять за межі гранично допустимих концентрацій. Оцінка якості середовища існування досліджуваних риб за показником флуктуючої асиметрії (коефіцієнт 0,44 балу) свідчить, що воду з досліджуваних ділянок можна віднести до категорії «слабо забруднена».

Дослідження радіоактивного забруднення штучними радіонуклідами ^{137}Cs і ^{90}Sr прибережної зони річки Кам'янка в чотирьох локаціях показало наявність цих радіонуклідів, однак їх кількість є незначною. Щільність забруднення ґрунтів згідно із Законом України «Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи» відповідає умовно чистій території. Термін «умовно чиста» вживається з огляду на те, що радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr до аварії та ядерних випробувань у природних екосистемах не існувало. Радіоактивне забруднення має мозаїчний характер розподілу з переважною фіксацією ^{137}Cs (96,51 %) та значною мобільністю ^{90}Sr (43,53 % в обмінній формі).

Результати оцінювання стану водної екосистеми р. Кам'янка обґрунтовують необхідність впровадження цілеспрямованих заходів для покращення екологічної ситуації та захисту даної екосистеми, зокрема:

1. Вдосконалити існуючі системи екологічного моніторингу річок, що забезпечить системність, ефективність та збалансованість басейнового підходу до управління річковими басейнами України.

2. Застосовувати складні лабораторні дослідження (молекулярні та біохімічні) для оцінки екологічного стану водних екосистем, а також проводити повторні дослідження в різні періоди року, особливо під час піку евтрофних процесів у порівняльному аспекті.

3. Здійснювати систематичний моніторинг наявності штучних біологічно активних довгоживучих радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у прибережних зонах водних об'єктів лісостепової зони України.

4. Розробити рекомендації щодо використання водних ресурсів річки Кам'янка з урахуванням виявлених екологічних особливостей.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Афанасьєв С.О. Біоіндикація екологічного стану річкових систем України в аспекті імплементації директив ЄС у галузі довкілля. Стенограма наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 13 лютого 2019 року. Вісник НАН України. 2019. № 4. С. 23–29.
2. Balaghi R., Benaouda H., Snaibi W. Climate change impact assessment on agriculture. African and Mediterranean Agricultural Journal – Al Awamia. 2024. № 143. Р. 9–33. DOI:10.34874/IMIST.PRSM/afirmed-i143.48154
3. Совгіра С.В., Гончаренко Г.Є., Гончаренко В.Г., Берчак В.С. Методика дослідження екологічного стану басейнів малих річок: монографія. Умань: ВПЦ «Візаві». 2016. 288 с.
4. Обґрунтування необхідності охорони витоків малих річок на прикладі Слов'янсько-Овруцького кряжу / І.В. Хом'як та ін. Екологічні науки: науково-практичний журнал. Київ: Видавничий дім «Гельветика», 2022. С. 28–32. DOI:10.32846/2306-9716/2022 eco.1-40.5
5. Zingraff-Hamed A. La rivière et des hommes: quelle gouvernance pour la restauration des rivières? Sciences Eaux & Territoires. 2022. Р. 31–38. DOI:10.20870/revue-set.2022.39.7248
6. Anastas P.T., Warner J.C. Green chemistry: theory and practice. Oxford university press. 2000. 178 p. DOI:10.1093/oso/9780198506980.001.0001
7. Василенко О.О., Семерня О.В. Токсикологічна безпека прісноводних об'єктів рибного промислу річок півночі України. Екологічні науки: науково-практичний журнал. Київ: ДЕА, 2018. № 3 (22). С. 90–94.
8. Якість води та управління водними ресурсами. Короткий опис Директив ЄС та графіку їх реалізації. Київ: EPTISA, 2014. 16 с.
9. Афанасьєв С.О. Структура біоти річкових систем як показник їх екологічного стану: автореф. дис. ... д-ра біол. наук: 03.00.17. Київ, 2011. 38 с.
10. Golovko N., Golovko T., Gelikh A. Investigation fatty acid and mineral of soft body bivalve freshwater mussels from the family Anodonta of the northern Ukraine. Technological Audit and Production Reserves. 2016. No 3/3 (29). Р. 17–23. DOI:10.15587/2312-8372.2016.71112
11. Алмашова В.С. Критерії оцінки визначення екологічного стану водно-болотних угідь в Україні. Водні біоресурси та аквакультура, 2024. № 2 (16). С. 62–80. DOI:10.32782/wba.2024.2.6

12. Ведення сільськогосподарського виробництва на територіях, забруднених внаслідок Чорнобильської катастрофи у віддалений період: рекомендації / за ред. Б.С. Прістера. Київ: Атіка, 2007. 196 с.

13. Migration of ^{137}Cs and ^{90}Sr radionuclides in the rural area of the Central Forest Steppe of Ukraine after the Chernobyl Accident / V.Yu. Herasymenko et al. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11 (2). P. 13–16. DOI:10.15421/2021_70

14. Розпутний О.І., Перцьовий І.В., Герасименко В.Ю., Савеко М.Є. Оцінка міграції ^{137}Cs і ^{90}Sr на радіоактивно забруднених агроландшафтах Лісостепу у віддалений період після Чорнобильської катастрофи. Чорнобильська катастрофа. Актуальні проблеми, напрямки та шляхи їх вирішення. Житомир: ЖНАЕУ, 2018. С. 293–299.

15. Tribuzi G., Aragão G.M.F., Laurindo J.B. Processing of chopped mussel meat in retort pouch. *Food Science and Technology (Campinas)*. 2015. Vol. 35 (4). P. 612–619. URL:

16. Оцінка стану водної системи річки Протока Київської області за токсикологічними та біоіндикативними показниками / Н.М. Присяжнюк та ін. *Агроекологічний журнал*. Київ, 2021. № 2. С. 101–107. DOI:10.33730/2077-4893.2.2021.234465

17. Оцінка екологічного стану річки Рось в межах Білоцерківського району / Т.О. Грабовська та ін. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва: збірник наукових праць*. Біла Церква: БНАУ, 2021. № 2 (166). С. 78–85. DOI:10.33245/2310-9289-2021-166-2-78-85

18. Зуб Л.М., Прокопук М.С., Томільцева А.І. Оцінка якості води водосховищ малих гідроелектростанцій (на прикладі річки Рось). *Екологічні науки: науково-практичний журнал*. Київ: ДЕА, 2018. № 3 (22). С. 94–101.

19. Причепа М.В. Сучасний видовий склад рибного населення лівих приток річки Росі: Кам'янки і Протоки. *Біологія та екологія*. 2020. № 6 (1–2). С. 74–81. DOI:10.33989/2020.6.1-2.225046

20. Шелюк Ю.С., Шевчук Л.М., Мошківська М.А. Оцінка якості вод урбанізованих територій за структурою угруповань гідро біонтів. *Український журнал природничих наук*. 2023. № 3. С. 76–90. DOI:10.32782/naturaljournal.3.2023.76-90

21. Бедункова О.О., Статник І.І., Кучко О.М. Оцінювання стану водної екосистеми річки Устя за набором індикаційних та тестових параметрів. *Екологія, іхтіологія та аквакультура*. Таврійський науковий вісник. 2019. № 109. Ч. 1. С. 173–181.

22. Українець А.І., Большак Ю.В., Маринін А.І., Святненко Р.С. Окисно-відновний баланс питної води – показник її якості та фізіологічної повноцінності. *Харчова промисловість*. 2018. № 24. С. 6–14. URL: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/30042>

23. Важливий показник рідкого біосередовища – окисно-відновний потенціал (огляд літератури) / О.Ф. Рильський та ін. *Клінічна та експериментальна патологія*. 2022. Т. 21. № 3 (81). С. 69–79. DOI:10.24061/1727-4338.XXI.3.81.2022.10

24. Герасименко В.Ю. Стан орних угідь забруднених територій Білоцерківського району Київської області за активністю ^{137}Cs і ^{90}Sr . *Аграрні вісті*. 2009. № 1. С. 16–18.

25. Migration and prognosis of radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in vegetable produce: the case of villages of the Central Forest-Steppe of Ukraine in the remote period after Chernobyl Disaster / V Gerasimenko et al. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2017. Vol. 7 (3). P. 246–250. DOI:10.15421/2017_75

26. Методичні рекомендації з ведення сільськогосподарського виробництва на радіоактивно забруднених територіях Київського Полісся / О.І. Фурдичко та ін. Київ, 2012. 36 с.

27. ДСТУ EN ISO 5667-6:2022 Якість води. Відбирання проб. Частина 6. Настанови щодо відбирання проб із річок і струмків (EN ISO 5667-6:2016, IDT; ISO 5667-6:2014, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=99606

REFERENCES

1. Afanasiev, S.O. (2019). Bioindykatsiia ekolohichnoho stanu richkovykh system Ukrainy v aspekti implementatsii dyrektyv YeS u haluzi dovkillia [Bio-indication of the ecological state of river systems of Ukraine in the context of implementing EU environmental directives]. *Visnyk NAN Ukrainy [Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine]*. no. 4, pp. 23–29. (In Ukrainian).

2. Balaghi, R., Benaouda, H., Snaibi, W. (2024). Climate change impact assessment on agriculture. *African and Mediterranean Agricultural Journal – Al Awamia*, no. 143, pp. 9–33. DOI: 10.34874/IMIST.PRSM/afirmed-143.48154

3. Sovhira, S.V., Honcharenko, H.Ye., Honcharenko, V.H., Berchak, V.S. (2016). Metodyka doslidzhennia ekolohichnoho stanu baseiniv malykh richok: monohrafiia [Methods for studying the ecological state of small river basins: monograph]. Uman: VOC "Vizavi", 288 p. (In Ukrainian).

4. Khom'iak, I.V., Kozyn, M.S., Kotsiuba, I.Yu., Vasylenko, O.M., Vlasenko, R.P. (2022). Obgruntuvannia neobkhidnosti okhorony vytokiv malykh richok na prykladi Slovechansko-Ovrutskoho kriazhu [Substantiation of the need to protect sources of small rivers on the example of the Slovechansk-Ovruch Ridge]. *Ekolohichni nauky [Environmental Sciences]*, Kyiv: Helvetica Publishing House, pp. 28–32. DOI:10.32846/2306-9716/2022.eco.1-40.5 (In Ukrainian).

5. Zingraff-Hamed, A. (2022). La rivière et des hommes: quelle gouvernance pour la restauration des rivières? *Sciences Eaux & Territoires*, pp. 31–38. DOI:10.20870/revue-set.2022.39.7248

6. Anastas, P.T., Warner, J.C. (2000). *Green chemistry: theory and practice*. Oxford university press, 178 p. DOI:10.1093/oso/9780198506980.001.0001

7. Vasylenko, O.O., Semernia, O.V. (2018). Toksykologichna bezpeka prysnovodnykh obiektiv rybnoho promyslu richok pivnochi Ukrainy [Toxicological safety of freshwater fishery objects of the

northern rivers of Ukraine]. *Ekologichni nauky: nauko-vo-praktychnyi zhurnal* [Ecological Sciences: Scientific and Practical Journal], Kyiv: DEA, no. 3 (22), pp. 90–94. (In Ukrainian).

8. Yakist vody ta upravlinnia vodnymy resursamy [Water quality and water resources management]. *Korotkyi opys Dyrektyv YeS ta hrafiku yikh realizatsii* [Brief description of EU Directives and their implementation schedule]. Kyiv: EPTISA, 2014, 16 p. (In Ukrainian).

9. Afanasiev, S.O. (2011). *Struktura bioty richkovykh system yak pokaznyk yikh ekologichnoho stanu: avtoref. dys. ... d-ra biol. nauk: 03.00.17.* [The structure of the biota of river systems as an indicator of their ecological state: author's abstract of the dissertation ... Doctor of Biological Sciences: 03.00.17.]. Kyiv, 38 p. (In Ukrainian).

10. Golovko, N., Golovko, T., Gelikh, A. (2016). Investigation fatty acid and mineral of soft body bivalve freshwater mussels from the family Anodonta of the northern Ukraine. *Technological Audit and Production Reserves*, no. 3/3 (29), pp. 17–23. DOI:10.15587/2312-8372.2016.71112

11. Almashova, V.S. (2024). *Kryterii otsinky vyznachennia ekologichnoho stanu vodno-bolotnykh uhid v Ukraini* [Assessment criteria for determining the ecological status of wetlands in Ukraine]. *Vodni bioresursy ta akvakultura* [Aquatic bioresources and aquaculture], no. 2 (16), pp. 62–80. DOI:10.32782/wba.2024.2.6 (In Ukrainian).

12. Vedennia silskohospodarskoho vyrobnytstva na terytoriiakh, zabrudnennykh vnaslidok Chornobylskoi katastrofy u viddalenyi period: rekomendatsii / za red. B.S. Pristera [Conducting agricultural production in the territories contaminated as a result of the Chernobyl disaster in the distant period: recommendations / edited by B.S. Priester]. Kyiv: Atika, 2007, 196 p. (In Ukrainian).

13. Herasymenko, V.Yu., Rozputnyi, O.I., Pertsovyi, I.V., Skyba, V.V., Tytariova, J.V., Saveko, M.E., Kunovskyi, Yu.V., Oleshko, V.P. (2021). Migration of ^{137}Cs and ^{90}Sr radionuclides in the rural area of the Central Forest Steppe of Ukraine after the Chernobyl Accident. *Ukrainian Journal of Ecology*, Vol. 11 (2), pp. 13–16. DOI:10.15421/2021_70

14. Rozputnii, O.I., Pertsovyi, I.V., Herasymenko, V.Yu., Saveko, M.Ye. (2018). Otsinka mihratsii ^{137}Cs i ^{90}Sr na radioaktyvno zabrudnennykh ahrolandshaftakh Lisostepu u viddalenyi period pislia Chornobylskoi katastrofy [Assessment of the migration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in radioactively contaminated agro-landscapes of the Forest-Steppe in the long term after the Chernobyl disaster]. *Chornobylska katastrofa [Chernobyl disaster]. Aktualni problemy, napriamky ta shliakhy yikh vyreshennia* [Current problems, directions and ways to solve them]. Zhytomyr: ZhNAEU, pp. 293–299. (In Ukrainian).

15. Tribuzi, G., Aragão, G.M.F.D., Laurindo, J.B. (2015). Processing of chopped mussel meat in retort pouch. *Food Science and Technology (Campinas)*, Vol. 35 (4), pp. 612–619. Available at: <https://doaj.org/article/dda612fcc5db4492b8210828bd19a72a>

16. Prysiashniuk, N.M., Slobodeniuk, O.I., Vered, P.I., Horchanok, A.V., Pishchan, S.H., Hubanova, N.L. (2021). Otsinka stanu vodnoi systemy richky Protoka za toksykolohichnymi ta bioindykativnymi pokaznykamy [Assessment of the water system of the Protoka river by toxicological and bioindicative indicators]. *Ahroekologichnyi zhurnal* [Agroecological Journal], no. 2, pp. 101–107. DOI:10.33730/2077-4893.2.2021.234465 (In Ukrainian).

17. Hrabovska, T.O., Oleshko, O.A., Babii, P.O., Kharchyshyn, V.M., Polishchuk, Z.V., Budak, O.O., Vered, P.I. (2021). Otsinka ekologichnoho stanu richky Ros v mezhakh Bilotserkivskoho raionu [Assessment of the ecological state of the Ros River within the Bila Tserkva district]. *Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktiv tvarynnystva: zbirnyk naukovykh prats* [Technology of production and processing of livestock products: collection of scientific works]. Bila Tserkva: BNAU, no. 2 (166), pp. 78–85. DOI:10.33245/2310-9289-2021-166-2-78-85 (In Ukrainian).

18. Zub, L.M., Prokopuk, M.S., Tomiltseva, A.I. (2018). Otsinka yakosti vody vodoskhovyshch mal'kykh hidroelektrostantsii (na prykladi richky Ros) [Assessment of water quality in reservoirs of small hydroelectric power plants (on the example of the Ros River)]. *Ekologichni nauky: nauko-vo-praktychnyi zhurnal* [Ecological Sciences: Scientific and Practical Journal], Kyiv: DEA, no. 3 (22), pp. 94–101. (In Ukrainian).

19. Prychepa, M.V. (2020). Suchasnyi vydovyi sklad rybnoho naseleennia livykh prytok richky Rosi: Kamianky i Protoky [Modern species composition of the fish population of the left tributaries of the Rosi River: Kamyanka and Protoky]. *Biolohiia ta ekolohiia* [Biology and Ecology]. Vol. 6 (1–2), pp. 74–81. DOI:10.33989/2020.6.1-2.225046 (In Ukrainian).

20. Shelyuk, Y.S., Shevchuk, L.M., Moshkivska, M.A. (2023). Otsinka yakosti vod urbanizovanykh terytorii za strukturoiu uhrupovan hidrobiontiv [Assessment of water quality in urbanized areas based on the structure of hydrobiont communities]. *Ukrainskyi zhurnal pryrodnychkykh nauk* [Ukrainian Journal of Natural Sciences], no. (3), pp. 76–90. DOI:10.32782/na.turaljournal.3.2023.76-90 (In Ukrainian).

21. Biedunkova, O.O., Statnyk, I.I., Kuchko, O.M. (2019). Otsiniuvannia stanu vodnoi ekosystemy richky Ustia za naborom indykatsiinykh ta testovykh parametriv [Assessment of the state of the aquatic ecosystem of the Ustia River using a set of indicator and test parameters]. *Ekolohiia, ikhtiolojiia ta akvakultura* [Ecology, ichthyology and aquaculture]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk* [Tavria Scientific Bulletin], no. 109, Part 1, pp. 173–181. (In Ukrainian).

22. Ukrainets, A.I., Bolshak, Yu.V., Marynin, A.I., Sviatnenko, R.S. (2018). Okysno-vidnovnyi balans pytnoi vody – pokaznyk yii yakosti ta fiziologichnoi povnotsinnosti [Redox balance of drinking water as a quality indicator]. *Kharchova promyslovist* [Food industry], no. 24, pp. 6–14. Available at: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/30042> (In Ukrainian).

23. Rylskyi, O.F., Petrusha, Yu.Yu., Hvozdiak, P.I., Rylska, Ya.S., Dombrovskiy, K.O., Masikevych, A.Yu. (2022). Vazhlyvyi pokaznyk rikoho bioseredovyscha – oksyno-vidnovnyi potentsial (ohliad literatury) [An important indicator of a liquid bioenvironment is the redox potential (literature review)]. *Klinichna ta eksperymentalna patolohiia* [Clinical and experimental pathology], Vol. 21, no. 3 (81), pp. 69–79. DOI:10.24061/1727-4338.XXI.3.81.2022.10 (In Ukrainian).

24. Herasymenko, V.Yu. (2009). Stan ornykh uhid zabrudnennykh terytorii Bilotserkivskoho raionu za aktyvnistiu ^{137}Cs i ^{90}Sr [State of arable lands contaminated by radionuclides]. *Ahrarni visti* [Agricultural news], no. 1, pp. 16–18. (In Ukrainian).

25. Gerasimenko, V., Rozputny, O., Pertsovyi, I., Skyba, V., Saveko, M. (2017). Migration and prognosis of radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in vegetable produce: the case of villages of the Central Forest-Steppe of Ukraine in the remote period after Chernobyl Disaster. *Ukrainian Journal of Ecology*, Vol. 7 (3), pp. 246–250. DOI:10.15421/2017_75

26. Furdychko, O.I., Chobotko, H.M., Landin, V.P., Raichuk, L.A. (2012). Metodichni rekomendatsii z vedennia silskohospodarskoho vyrobnytstva na radioaktyvno zabrudnennykh terytoriiakh Kyivskoho Polissia [Methodical recommendations for conducting agricultural production in radioactively contaminated areas of Kyiv Polissia]. Kyiv, 36 p. (In Ukrainian).

27. DSTU EN ISO 5667-6:2022 Yakist vody. Vidbyrannia prob. Chastyna 6. Nastanovy shcho do vidbyrannia prob iz richok i strumkiv (EN ISO 5667-6:2016, IDT; ISO 5667-6:2014, IDT) [DSTU EN ISO 5667-6:2022 Water quality. Sampling. Part 6. Guidelines for sampling from rivers and streams (EN ISO 5667-6:2016, IDT; ISO 5667-6:2014, IDT)]. Kyiv: DP "UkrNDNTS", 2022. Available at: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=99606 (In Ukrainian).

Assessment of the Status of the Kamianka River Aquatic Ecosystem in the Bila Tserkva District, Kyiv Region

Vered P., Herasymenko V., Bityutskyy V., Prysiashniuk N., Tsekhmistrenko S., Kunovsky Y.

A comprehensive assessment of the ecological status of the Kamianka River in the Bila Tserkva District, Kyiv Region (villages of Pyshchyky and Fursy) was conducted using bioindication methods,

hydrochemical analysis, and radiological monitoring. Fluctuating asymmetry of meristic traits in the Prussian carp (*Carassius gibelio*) was employed as a bioindicator method for evaluating water quality. Hydrochemical parameters of water, including pH, total dissolved solids (TDS), and oxidation-reduction potential (ORP), were determined. In addition, the specific activity and density of radioactive contamination in the riparian zone by ^{137}Cs and ^{90}Sr were assessed. The study was carried out in April 2025, a period characterized by gradual temperature increase and the absence of peak eutrophication processes. At the same time, intense precipitation combined with surrounding agricultural landscapes posed a potential ecological risk.

The study objects included water and riparian soil samples, bottom sediments, and a bioindicator—the typical hydrobiont, Prussian carp (*Carassius gibelio*). It was found that TDS values below the dam were statistically higher, although they remained within the permissible limits. The pH values indicated normal environmental conditions, assessed as “good.” The measured ORP (176–185 mV) reflected an oxidative geochemical environment, indicating the presence of dissolved oxygen in the water, particularly below the dam, and the presence of several elements in their highest valence states.

Fluctuating asymmetry analysis of Prussian carp development revealed that even under relatively safe hydrochemical conditions, environmental factors negatively affected the hydrobionts during the study period. These findings underscore the necessity of conducting detailed laboratory analyses (molecular and biochemical), as well as repeated studies in other periods of the year, particularly during peak eutrophication events.

The presence and density of contamination by long-lived, biologically active radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in the riparian zone of the Kam'yanka River were determined at four locations in the villages of Pyshchyky and Fursy, Bila Tserkva District, Kyiv Region. Radioactive contamination was found to be mosaic in nature; however, soil contamination levels did not exceed critical thresholds and corresponded to conditionally clean areas.

Keywords: ecotoxycant, ecological status, aquatic ecosystem, hydrobionts, water quality, ORP, TDS, pH, radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr , riparian zone, bioindication.



Copyright: Веред П.І. та ін. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Веред П.І.
Герасименко В.Ю.
Бітюцький В.С.
Присяжнюк Н.М.
Цехмістренко С.І.
Куновський Ю.В.

<https://orcid.org/0000-0001-6548-4622>
<https://orcid.org/0000-0002-5678-9624>
<https://orcid.org/0000-0002-2699-3974>
<https://orcid.org/0000-0002-4737-0143>
<https://orcid.org/0000-0002-7813-6798>
<https://orcid.org/0000-0003-2720-3927>

ЕКОЛОГІЯ

UDC 636.087.72

**Ecotoxicological assessment
of nanocrystalline cerium dioxide preparations****Tsekhmistrenko O.** , **Tsekhmistrenko S.** , **Bityutskyy V.** *Bila Tserkva national agrarian university*

Tsekhmistrenko O. E-mail: Tsekhmistrenko-oksana@ukr.net



Цехмістренко О.С., Цехмістренко С.І.,
Бітюцький В.С. Екотоксикологічна оцін-
ка препаратів нанокристалічного церію
діоксиду. Збірник наукових праць «Тех-
нологія виробництва і переробки продук-
ції тваринництва», 2025. № 2. С. 121–132.

Tsekhmistrenko O., Tsekhmistrenko S., Bi-
tyutskyy V. Ecotoxicological assessment of
nanocrystalline cerium dioxide preparations.
«Animal Husbandry Products Production
and Processing», 2025. № 2. PP. 121–132.

Рукопис отримано: 03.10.2025 р.

Прийнято: 13.10.2025 р.

Затверджено до друку: 27.11.2025 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2025-198-2-121-132

Cerium is the most common rare earth metal and an element of industrial importance. Cerium dioxide (CeO₂) is the best-known cerium compound, due to its unsurpassed redox properties and ability to guarantee excellent oxygen mobility. Upon conversion to a nanocrystalline state, the compound significantly alters its physicochemical properties, which determine the material's unique biological activity.

Recent literature reports the use of metal nanoparticles, especially cerium, as new natural feed additives in animal husbandry to increase productivity. However, there are still insufficient reports on the toxicodynamics and toxicokinetics of nanoparticles in humans and animals, as well as their environmental impact. Nanoparticles may have toxic effects because they can penetrate cells, bypass barriers such as the respiratory, dermal, gastrointestinal, blood-brain, and placental barriers, and selectively accumulate in cells and subcellular structures.

The aim of the research was to determine the acute and chronic toxicity of nanodispersed cerium dioxide obtained by the employees of the Nanomedtech laboratory (Kyiv, Ukraine) and the Department of Interferon and Immunomodulators of the D.K. Zabolotny Institute of Microbiology and Virology.

The results of the study of biochemical blood parameters showed that the research compound, after 10 days of daily administration, affected the functional state of the liver, as evidenced by impaired hepatocytes and a significant increase in transaminase activity and the mass coefficient of this organ. Hypertriacylglycerolemia, which is observed in organ lesions, also indicates impaired liver function.

As a result of studying the toxic effects of NDC, administered daily to white rats for 10 days, it was found that the compound suppressed erythro- and leukocytopoietic functions of the hematopoietic organs, regardless of dose. It caused depletion, especially in the bone marrow, and reduced body reactivity, affecting the liver and spleen. Inflammatory processes, both acute and chronic, occurred under the compound's influence. These compounds also affected some aspects of lipid metabolism and the liver's functional state, possibly increasing the liver's mass coefficient and the activities of ALT and AST.

Keywords: nanocompounds, cerium dioxide, toxicity, rats, blood, internal organs, biochemical parameters.

Problem statement and analysis of recent research. Nanodispersed cerium dioxide is currently included in the top ten priority nanomaterials by experts from the Interagency Programme on the Sound Management of Chemicals (IOMC) and the Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) [13]. Cerium is the most common rare earth metal and an element of industrial importance. Cerium dioxide (CeO_2) is the best-known cerium compound, due to its unsurpassed redox properties and ability to guarantee excellent oxygen mobility [24]. It is a powerful oxidant used in catalysis and medicine.

The interest in studying cerium dioxide stems from the fact that, upon transitioning to the nanocrystalline state, its physicochemical properties change significantly [1; 23]. In particular, as particle size decreases, the unit cell parameter of CeO_2 increases. At the same time, a change in the oxygen non-stoichiometry of cerium dioxide is observed, due to an increase in the fraction of atoms at the particle surface, which alters its electronic and electrophysical properties [28].

The pronounced influence of size on the physicochemical properties of nanodispersed cerium dioxide determines its unique biological activity [21]. Low toxicity and high oxygen non-stoichiometry define the prospects and features of its application [2; 9; 15; 29]. Low toxicity ensures the comparative safety of cerium dioxide nanoparticles *in vivo*. High oxygen non-stoichiometry drives the activity of nanodispersed CeO_2 in cellular redox processes, especially in the inactivation of active oxygen species [15; 21; 28]. CeO_2 can regenerate its oxygen non-stoichiometry [3; 6; 15], returning to its original state shortly after redox participation. This enables repeated use of cerium dioxide nanoparticles [13; 28; 30].

Because of their small size, nanoparticles easily enter the body through the respiratory, digestive, and skin systems. Their large surface area per unit mass causes more pronounced biological activity [21; 28].

Despite the risks, nanotechnologies are widely used in all branches of industry and agriculture [4; 7; 12; 14; 19]. Once inside a biological system, nanoparticles face various physical and chemical features of the organism. These features affect nanoparticle properties and can change the organism's response [15; 20]. The ability to undergo a redox cycle between two natural oxidation states (Ce^{3+} and Ce^{4+}) [30] is a key factor. However, it was previously believed that CeO_2 nanoparticles are stable [23] and only poorly soluble [20] or insoluble under

environmental conditions. Solubility depends on the carrier, pH, and particle size. The dissolution of nanoparticles depends on the ratio of Ce^{3+} to Ce^{4+} on their surface [20]. As nanoparticle size decreases, they become less oxygen-vacancy-rich in their lattice, locally reducing the amount of Ce^{4+} .

In recent years, the literature has reported the use of metal nanoparticles, particularly cerium, in animal husbandry as new natural additives to feed to increase animal productivity [4; 8; 12; 14].

The effect of nanocrystalline cerium dioxide has been studied, and the lethal and semi-lethal compound doses have been established. The LD50 of nanocrystalline cerium dioxide exceeds 2000 mg/kg, confirming that this compound belongs to toxicity class V and indicating very low toxicity [9; 29]. The positive antibacterial potential of CeO_2 nanoparticles against poultry pathogens has been revealed [17].

The high biocompatibility, low toxicity, and catalytic activity of nanodispersed cerium dioxide make it a promising nanobiomaterial for use in biology, medicine, and agriculture [6; 11]. However, the mechanisms underlying its biological activity are currently poorly understood and require further research.

Widespread use of metal nanoparticles and their oxides is impossible without assessing their potential impact on end consumers [10; 25]. The biosafety of nanomaterials is multifaceted and ambiguous, requiring a comprehensive, safe, responsible and scientifically sound approach. Currently, there are insufficient reports on the toxicodynamics and toxicokinetics of nanoparticles in humans and animals, as well as their impact on the environment [10; 22]. For this purpose, it is necessary to systematize information on the relationships between nanoparticle toxicity and their composition, concentration, size, shape, reactivity, etc. [16]. It is important to investigate the molecular mechanisms underlying the impact of nanoparticles on the body, organs, tissues, and cells, the mechanisms underlying the development of remote toxic effects, and ways to eliminate or reduce their undesirable effects. Such studies are possible when using key systemic characteristics of biological systems under *in vivo* and *in vitro* conditions (physiological, biochemical, immunological, genetic, cytological, etc.) sensitive to toxic effects [18]. The toxic effects of nanoparticles may be due to their ability to penetrate cells, bypassing respiratory, dermal, gastrointestinal, blood-brain, placental, and other barriers, and selectively accumulate in cells and subcellular structures [5].

The aim of the research was to determine the acute and chronic toxicity of nanodispersed cerium dioxide.

Material and methods of research. Nanocrystalline cerium dioxide (NCD) is a representative of a new class of inorganic antioxidants that can inactivate active forms of Oxygen, but does not exhibit photocatalytic activity. NCD 1 is a light yellow powder with a particle size of 4–11 nm, obtained by employees of the Nanomedtech laboratory (Kyiv, Ukraine) and excipients to create the optimal composition of the base. Cerium dioxide nanoparticles (NCD 2) were created and provided for testing by the Department of Interferon and Immunomodulators of the D.K. Zabolotny Institute of Microbiology and Virology (Head of the Department, Doctor of Biological Sciences, Corresponding Member of the NAS of Ukraine, M.Ya. Spivak) for the purpose of preventing antioxidant stress. The authors express their sincere gratitude to colleagues for providing consulting assistance and support.

The purpose of determining the acute toxicity of NDC compounds was to establish the degree of toxicity (the limits of fluctuation of toxic action) and their lethal doses.

Studying chronic toxicity is relevant for two reasons. First, it allows the study of toxic effects during long-term tests. Second, it helps identify dose levels at which no toxic effects are observed under the given experimental conditions.

To determine the toxicity of the studied feed additives in rats, doses of 1000, 3000, and 5000 mg/kg body weight were administered. 6 laboratory animals were used for each dose. The 5000 mg/kg dose was administered to twice as many animals.

After the administration of the studied feed additives, laboratory animals were observed for 14 days. The following indicators were taken into account: appearance, behaviour of animals, condition of fur, visible mucous membranes, attitude to food, rhythm, respiratory rate, time of onset and nature of intoxication, its severity, course, time of death of animals or their recovery.

When studying subacute toxicity, the results from acute toxicity were used to guide the study. Supplements were administered intragastrically, daily for 30 days. During the experiment, the animals' clinical condition and behaviour were observed. Subacute toxicity was studied in 24 white rats weighing 200–220 g. For this purpose, a control group and three experimental groups of 6 rats each were formed. The animals of the control group were given drinking water. Animals of the first experimental group were administered the feed additive in a therapeutic

dose of 0.05 g/kg of body weight, those of the second experimental group were administered five times the therapeutic dose of 0.25 g/kg, and those of the third experimental group were administered ten times the therapeutic dose of 0.5 g/kg of body weight. In the subacute experiment, the compound was administered to rats for 30 days. The next day after the end of the administration, laboratory animals were decapitated under light ether anesthesia, blood samples were taken, hematological and biochemical studies were performed according to generally accepted methods, and organs were dissected, and organ mass coefficients were determined, compared with the control group.

For hematological studies, blood stabilized with EDTA was used; for biochemical studies, serum was used. In stabilized blood, the following were determined: hemoglobin content, erythrocyte count, hematocrit, leukocyte count, MCH, MCV, and MCNS - using a Mythic-18 hematological analyzer. In blood serum, the following were determined: total protein, enzyme activities (ALT, AST, LDH), total bilirubin, creatinine, urea, and total cholesterol using a semi-automatic biochemical analyzer Humalyzer 3000 with standard kits from Human.

During the research, the general principles of bioethics, legislative norms and requirements were adhered to in accordance with the provisions of the “European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Research and Scientific Purposes” (Strasbourg, 1986), “General Ethical Principles of Experiments on Animals” (Ukraine, 2001) and the “Ethical Committee of the Bila Tserkva National Agrarian University on the Treatment of Animals in Scientific Research and the Scientific Process” (No. 6 dated 05.22.2018).

The experimental part, approbation and production checks of the research results were performed in the laboratories of the Research Institute of Ecology and Biotechnology in Animal Husbandry and the Laboratory of Bio- and Histochemical Research Methods of the Bila Tserkva National Agrarian University (BNAU). Toxicological studies of the compounds were performed on the scientific basis of the vivarium of a certified laboratory of pharmacology and toxicology, included in the Register of the UkrSEPRO certification system of the State Scientific Research Control Institute of Veterinary Drugs and Feed Additives (DNDKIVPKD) in Lviv. Chromatographic studies were performed in accordance with the Kyiv Regional Scientific and Production Center for Standardization, Metrology and Certification.

Variational and statistical data processing was carried out in Microsoft Excel using the formulas we created. We determined indicators such as the arithmetic mean (M), standard error (m), and mean square deviation (s).

Variational and statistical data processing was carried out in Microsoft Excel using the formulas we created. We determined indicators such as the arithmetic mean (M), standard error (m), and mean square deviation (σ). The reliability of the changes was assessed using the Student's t-test. The critical reliability levels for testing statistical hypotheses in the studies were set at 0.95, 0.99, and 0.999. The number of experiments (n) corresponds to the number of people studied in each case.

Research results and discussion. Under conditions of acute toxicity, it was found that white rats died from the use of the studied NDCs, mainly on the first day after intramuscular administration. The mortality rates of laboratory animals and their clinical symptoms at the corresponding doses of the two compounds were identical; therefore, the study data for determining acute toxicity are presented as a single set for both NDC 1 and NDC 2. The identity of the studies was also established in the case of repeated administrations.

In previous stages of the research, the lethal (DL100) and maximally tolerated (DL0) doses of the NDC compounds, both in the dosage form and in their active substance, were identified. As a result of the research, 100% mortality of white rats (DL100) was observed at a dose of 32 ml/kg of the compounds, and no mortality of laboratory animals (DL0) at a dose of 24 ml/kg of the compounds (Table 1).

In rats, when large doses of the studied compounds were administered, the same symptoms were observed, including impaired coordination of movements, head tremor, and, later, whole-body tremor, leading to death.

The data obtained on the death of white rats, depending on the administered doses of NDC compounds, are shown in Table 2.

After the results were obtained, calculations of the average lethal doses of cerium dioxide preparations were carried out using the methods of G. Kerber, G. Pershin, B.M. Shtabsky, V.B. Prozorovsky, J. Litchfield and F. Wilcoxon. To improve understanding of the material and facilitate calculations, the administered doses of the preparations were reported in ml/kg and then converted to mg/kg.

In the final table 3, for the study of acute toxicity, the median lethal doses (LD50) of the NDC for laboratory animals were determined and calculated at the expanded stage in terms of the finished dosage form and the active substance, trivalent cerium (Ce^{3+}), are presented. It should be noted that if, during the study of the toxicity of newly developed drugs, the median lethal doses calculated by different methods coincide, then the experiment was conducted correctly and the drug belongs to the corresponding toxicity class. The median lethal doses of the studied drugs in white rats, regardless of the calculation method, were similar and exceeded 4500 mg/kg body weight. The DL50 indicators for the active substance ranged from 2286 to 2618 mg/kg, which do not exceed the parameters of class V (1501-4500 mg/kg).

Table 1 – **Lethal (DL100) and maximum tolerated dose (DL0) values of NDC doses for white rats after intramuscular administration, n = 9**

The name of the compound	By compound	By compound	Based on active substance, mg/kg	Based on active substance, mg/kg
The name of the compound	DL100	LD0	DL100	LD0
NDC ml/kg (mg/kg)	32 (32000)	24 (24000)	2720	2040
NDC 2 (mg/kg)	32 (32640)	24 (24480)	2720	2040

Table 2 – **Survival and mortality rates of white rats during the determination of acute toxicity of nanocrystalline cerium dioxide following intramuscular administration, n=60**

Doses by compound, ml/kg (by active ingredient, mg/kg)	24 (2040)	26 (2210)	28 (2380)	30 (2550)	32 (2720)
Survival rats	6	5	4	2	0
Died rats	0	1	2	4	6

Table 3 – Values of median lethal doses of NDC for white rats after intramuscular administration

Calculation methods by:	Median Lethal Dose (DL50)	Median Lethal Dose (DL50)
	NDC preparation (ml/kg)	NDC preparation (ml/kg)
G. Kerber	28,7	28,7
G. Pershin	28,7	28,7
J. Litchfield and F. Wilcoxon	28,8 (27,2 ÷ 30,4)	28,8 (27,2 ÷ 30,4)
V.B. Prozorovsky	28,7 (26,9 ÷ 30,4)	28,7 (26,9 ÷ 30,4)
B.M. Shtabsky	28,9 (27,0 ÷ 30,8)	28,9 (27,0 ÷ 30,8)
	Per compound	Per active ingredient
	NDC preparation (mg/kg)	NDC preparation (mg/kg)
G. Kerber	28667	2436,695
G. Pershin	28670	2436,950
J. Litchfield and F. Wilcoxon	28750 (27200 ÷ 30389)	2444 (2312 ÷ 2583)
V.B. Prozorovsky	28659 (26898 ÷ 30420)	2436 (2286 ÷ 2586)
B.M. Shtabsky	28889 (26975 ÷ 30803)	2456 (2293 ÷ 2618)
	NDC-citrate preparation (mg/kg)	NDC-citrate preparation (mg/kg)
G. Kerber	29240	2436,695
G. Pershin	29243	2436,950
J. Litchfield and F. Wilcoxon	29325 (27744 ÷ 30997)	2444 (2312 ÷ 2583)
V.B. Prozorovsky	29232 (27436 ÷ 31028)	2436 (2286 ÷ 2586)
B.M. Shtabsky	29467 (27515 ÷ 31419)	2456 (2293 ÷ 2618)

Therefore, the conducted studies have established that the NDC data, according to the classification of toxicity of substances when administered intramuscularly by degree of danger [26] belong to toxicity class VI (relatively harmless substances), and in terms of the main active ingredient, trivalent cerium (Ce³⁺), which is in this dosage form, to toxicity class V (practically non-toxic substances).

Summarizing the results, it can be concluded that the toxicity of the studied compounds when administered intramuscularly belongs to the VI toxicity class (relatively harmless substances) for white rats, and their active substance, trivalent cerium (Ce³⁺), which is in this form, belongs to the V toxicity class (practically non-toxic substances). The median lethal dose of the NDC drug for white rats when administered intramuscularly is 28889 (26975 ÷ 30803) mg/kg.

Under the conditions of intramuscular administration of the NDC drug to white rats during the study of chronic toxicity, no deaths of laboratory animals were detected.

In rats of the experimental groups, which were administered the drug NDC for a long time, a trend was found, correspondingly with a decrease in body weight, compared to the control group, a decrease in total and average daily gains, which were characterized even by

negative indicators compared to the weight of the animals at the beginning of the experiment, especially in the third group of animals, which were administered the drug in the highest dose (Table 4).

Under the conditions of long-term daily administration of the NDC compound to rats in the doses studied to determine the toxic effect of the dosage form on the body, on the 10th day, compared to the control, a significant increase in the coefficients of liver mass by 36 and 80% ($p < 0.001$) was found when the drug was administered in therapeutic and 5-fold higher than therapeutic doses, respectively, and spleen by 33% ($p < 0.05$) when administered in a dose 5-fold higher than therapeutic (Table 5).

So, in our opinion, under prolonged administration of the drug NDC, its toxic effect was manifested, especially at the highest dose, which caused a decrease in the body weight of laboratory animals with a simultaneous increase in the weight of the liver and spleen.

According to blood tests, the severity of the course is determined, and the body's complications from the drug's toxic effects are detected. The waste products of various organs are excreted into the blood. The amount of waste products excreted can indicate the functional state of the internal organs and the immune defence system.

Table 4 – **Dynamics of changes in body weight and growth in white rats during the determination of chronic toxicity of the drug nanocrystalline cerium dioxide, g, M $\pm$ m, n=6**

animal group	Body weight	Body weight	Body weight	Body weight	Body weight gain	Body weight gain	Body weight gain
animal group	at the beginning of the experiment	at the beginning of the experiment	on the 10th day of administration	on the 10th day of administration	Total for the month by group	average daily calculated:	average daily calculated:
animal group	Total for group	Average of one animal	Total for group	Total for group	Total for the month by group	average daily calculated:	average daily calculated:
animal group	Total for group	Average of one animal	Total for group	Total for group	Total for the month by group	for all rats in the group	per rat in the group
1	835	139,2 $\pm$ 5,23	930	155,3 $\pm$ 9,04	95	9,5	1,6
2	831	138,5 $\pm$ 4,86	799	133,2 $\pm$ 4,87	-32	-3,2	-0,5
3	835	139,2 $\pm$ 7,79	765	127,5 $\pm$ 11,31	-70	-7,0	-1,2

Table 5 – **Weight coefficients of white rats' internal organs on the 10th day for the study of NDC compound chronic toxicity, %, M $\pm$ m, n=6**

Organs examined	Group of animals	Group of animals	Group of animals
Organs examined	1	2	3
Heart	3,9 $\pm$ 0,13	4,0 $\pm$ 0,24	4,8 $\pm$ 0,23
Spleen	5,2 $\pm$ 0,25	5,7 $\pm$ 0,44	6,9 $\pm$ 0,64*
Kidneys (both)	8,4 $\pm$ 0,47	8,1 $\pm$ 0,37	9,4 $\pm$ 0,45
Right kidney	4,3 $\pm$ 0,22	4,1 $\pm$ 0,24	4,8 $\pm$ 0,34
Left kidney	4,1 $\pm$ 0,25	4,0 $\pm$ 0,24	4,6 $\pm$ 0,33
Liver	38,7 $\pm$ 1,73	52,6 $\pm$ 2,34***	69,7 $\pm$ 4,13***
Lungs	11,1 $\pm$ 1,14	11,9 $\pm$ 1,32	11,7 $\pm$ 0,91

Note: here and further the difference is significant at: * – $p<0,05$; ** – $p<0,01$; *** – $p<0,001$, compared to group 1.

Analysis of the morphological picture of the rats' blood on the 10th day of NDC administration showed that the compound significantly affected hematopoietic processes in the rats' bodies. We found that with prolonged administra-

tion of the drug in therapeutic doses and in doses 5 times higher than therapeutic, a significant decrease in the number of erythrocytes, respectively, by 48% ($p<0.001$) and 40% ($p<0.01$) and leukocytes by 43% and 50% ($p<0.01$) (Table 6).

Table 6 – **Hematological parameters in white rats for determining the toxicity of the nanocrystalline cerium dioxide preparation, M $\pm$ m, n=6**

Indicators	Group of animals	Group of animals	Group of animals
Indicators	1	2	3
Hemoglobin, g/l	101,3 $\pm$ 5,74	96,0 $\pm$ 8,93	97,2 $\pm$ 7,73
Erythrocytes, T/l	9,0 $\pm$ 0,44	4,7 $\pm$ 0,33***	5,4 $\pm$ 1,03**
Hematocrit value, l/l	0,36 $\pm$ 0,02	0,38 $\pm$ 0,02	0,38 $\pm$ 0,02
Color index	0,35 $\pm$ 0,02	0,60 $\pm$ 0,06**	0,63 $\pm$ 0,02***
Average hemoglobin content in erythrocytes, pg	11,3 $\pm$ 0,64	20,6 $\pm$ 2,23**	20,8 $\pm$ 0,92**
Average erythrocyte volume, μ m ³	40,9 $\pm$ 2,93	73,6 $\pm$ 8,42**	81,9 $\pm$ 5,03**
Leukocytes, G/l	16,6 $\pm$ 2,03	9,5 $\pm$ 0,72**	8,3 $\pm$ 0,74**

Hematocrit is used to determine the average erythrocyte volume and to characterize certain types of anemia. In our experiment, prolonged administration of the compound at therapeutic and 5-fold higher than therapeutic doses resulted in a significant increase in the average erythrocyte volume by 80% and 100%, respectively ($p<0.01$).

Hemoglobin is a respiratory iron-containing blood protein contained in erythrocytes and provides transport of Oxygen from the lungs to the tissues and carbon dioxide to the lungs. In the experiment, prolonged administration of the two studied doses showed a general tendency to increase hematocrit and decrease hemoglobin. A probable decrease in the number of erythrocytes, as already indicated, contributed to a probable increase in the levels of red blood indices, namely: color index – by 71% ($p<0.01$) and by 80% ($p<0.001$) and the average hemoglobin content in erythrocytes - by 82.3% ($p<0.01$) and by 84.0% ($p<0.001$) upon administration of NDC, respectively, in therapeutic and 1/3 LD50 doses. It should be noted that erythrocytopenia exceeded the physiological norm.

Hematological indicators after long-term compound administration to rats indicate the intoxication effect of NDC regardless of the dose, which led to anemia, and this, in turn, is confirmed by pronounced hyperchromia. The determined erythrocytopenia and leukocytopenia indicate the inhibitory effect of the drug on the hematopoietic organs, the suppression of the organs of erythro- and leukocytopoietic function (bone marrow, spleen, lymph nodes), that is, the effect of NDC on erythro- and leukocytopoiesis, their depletion and a decrease in the reactivity of the organism. In addition, there was damage to the spleen, leading to an increase in its mass coefficient. In addition, a decrease in erythrocyte count and an increase in red blood indices indicate macrocytic anemia. A higher average erythrocyte volume, in turn, may indicate liver damage, and leukocytopenia - a decrease in the reactivity of the organism [27]. Determining the total number of leukocytes does

not indicate the number of individual leukocyte types. Such data can be obtained by deriving a leukogram - the percentage ratio between individual types of leukocytes.

Analysis of the morphological picture of the blood of rats showed (Table 7) that with prolonged administration of NDC, regardless of the dose, a significant increase in segmented neutrophils was noted in the leukogram, compared with the control, by 2.3 ($p<0.001$) and 2.7 ($p<0.01$) times and a decrease of 13.6 and 22.0% ($p<0.01$) of lymphocytes during administration of the drug, respectively, in therapeutic and 1/3 LD50 doses.

A tendency to increase monocyte levels by 8% and 67% was observed with compound administration at therapeutic and 5-fold higher than therapeutic doses, respectively. As for eosinophils, for the administration of NDC at a therapeutic dose, a tendency to decrease their level compared to the control by 21.4% was observed, and for a dose of 1/3 LD50, their level increased by 7.1%.

The significant increase in segmented neutrophils, combined with pronounced leukocytopenia, indicates chronic processes and suggests bone marrow depletion. At the same time, the detected lymphocytopenia against the background of neutrophilia indicates acute septic processes. Lymphocytopenia, in combination with leukocytopenia, also indicates depletion of the body's defences. A tendency to increase monocyte counts, in combination with drug administration at a 5-fold higher dose than the therapeutic dose, may also indicate a chronic process [27].

The compound has been shown to affect protein and lipid metabolism, as well as the activity of intracellular enzymes (Table 8).

In the animal body, the concentration of total protein in blood serum is within a narrow range and changes significantly with significant metabolic pathology, liver disease, and other organ diseases. Our studies did not reveal significant changes in the protein content with prolonged administration of NDC in a therapeutic dose.

Table 7 – Blood leukogram of white rats on the 10th day of a long-term experiment to study the toxic properties of the NDC compound, %, $M\pm m$, $n=6$

Group	Eosinophils	Neutrophils	Neutrophils	Lymphocytes	Monocyte
Group	Eosinophils	rod-nucleated	segment-nucleated	Lymphocytes	Monocyte
1	2,8 $\pm$ 0,75	–	9,5 $\pm$ 2,23	86,5 $\pm$ 2,53	1,2 $\pm$ 0,43
2	2,2 $\pm$ 0,81	–	21,8 $\pm$ 1,24***	74,7 $\pm$ 2,13**	1,3 $\pm$ 0,74
3	3,0 $\pm$ 1,02	–	27,2 $\pm$ 3,74**	67,5 $\pm$ 3,63**	2,0 $\pm$ 0,74

Table 8 – **Biochemical blood parameters of white rats on the 10th day of a long-term experiment to study the toxic properties of the NDC compound, $M \pm m$, $n=6$**

Indicators	Group of animals	Group of animals
Indicators	control	Therapeutic
ALT, $\mu\text{kat/l}$	$0,36 \pm 0,011$	$0,77 \pm 0,061^{***}$
AST, $\mu\text{kat/l}$	$0,67 \pm 0,039$	$0,94 \pm 0,031^{***}$
LF, $\mu\text{kat/l}$	$1,4 \pm 0,06$	$1,3 \pm 0,04$
Total protein, g/l	$87,9 \pm 3,03$	$88,3 \pm 3,23$
Total lipids, g/l	$2,4 \pm 0,24$	$2,3 \pm 0,12$
Triacylglycerols, mmol/l	$0,34 \pm 0,033$	$0,63 \pm 0,034^{***}$
Total cholesterol, mol/l	$4,5 \pm 0,09$	$4,2 \pm 0,22$
Free cholesterol, mol/l	$1,5 \pm 0,04$	$1,6 \pm 0,13$
Bound cholesterol, mol/l	$3,0 \pm 0,09$	$2,6 \pm 0,34$
Glucose, mmol/l	$4,1 \pm 0,35$	$3,5 \pm 0,25$

As for lipid metabolism, which depends on the functions of intestines, pancreas and thyroid glands, liver and other organs, a significant increase in the blood serum of the studied rats, compared with the control rats, which were administered NDC for a long time in a therapeutic dose, was found, a significant increase by 85% ($p < 0.001$) in the content of triacylglycerols and a tendency to decrease by 13% in the content of bound cholesterol.

The glucose content of the blood is relatively constant. Blood glucose is constantly replenished by the tissues, liver, and intestines. In our studies, no significant changes in glucose levels were observed with prolonged administration of NDC at a therapeutic dose; only a tendency to reduce glucose concentration by 15% was observed compared with the control.

The study of enzyme activity in the blood serum in the diagnosis of liver diseases is gaining increasing importance. Enzyme diagnostics help recognize the disease at an early stage and detect minor changes in liver function and structure. Our experiments revealed a significant 2-fold increase in ALT activity and a 40% increase in AST activity ($p < 0.001$) compared with the control, following long-term administration of NDC at a therapeutic dose.

Thus, biochemical blood parameters showed that the compound, after 10 days of daily administration, affected the liver's functional state due to hepatocyte dysfunction, as evidenced by a significant increase in transaminase activity and the mass coefficient of this organ. Hypertriacylglycerolemia, which is observed in organ lesions, also indicates impaired liver function [27].

As a result of studying the toxic effect of NDC, under the conditions of its daily administration to white rats for 10 days, it was estab-

lished that the compound, regardless of the dose, suppressed the erythropoietic and leukocytopoietic functions of the hematopoietic organs (bone marrow, spleen, lymph nodes), caused their depletion, especially the bone marrow, and reduced the reactivity of the body, affecting the functional state of the liver and spleen. Under the influence of the compound, inflammatory processes of both acute and chronic nature took place.

As a result of studying the toxic effect of NDC, under the conditions of its daily administration to white rats for 10 days, it was found that the compound affected the hematopoietic organs and the immune system regardless of the dose (a probable decrease in the number of erythrocytes, leukocytes and lymphocytes and an increase in segmented neutrophils, red blood indices, mean erythrocyte volume and spleen mass coefficient) and this, in our opinion, indicates the transition of the acute process into a chronic one and depletion of the bone marrow. In addition, this drug affected some aspects of lipid metabolism (a probable increase in triacylglycerol content) and the functional state of the liver (a probable increase in the mass coefficient of this organ and the activity of ALT and AST).

However, it should be noted that when NDC was administered at the doses studied, no decrease in the AST-to-ALT ratio below 1 or a significant increase above 1.33 (De Ritis coefficient) was detected in the blood serum of rats, indicating minimal liver damage [27]. No significant changes were found in the content of total protein and total lipids, and cholesterol, as well as in the level of glucose. In addition, increased morphological and biochemical blood parameters in experimental animals compared with controls may indicate compensatory processes in response to the drug.

Conclusions. Summarizing the results of the conducted studies, it can be concluded that prolonged intramuscular administration of NDC, especially at a dose 5 times the therapeutic dose, resulted in a toxic effect on the mass of laboratory animals. The compound, when administered daily for prolonged periods to white rats, affected the functional state of the liver and spleen, as well as lipid metabolism. Administration of NDC to white rats for 10 days suppressed the erythropoietic and leukocytopoietic functions of the hematopoietic organs and reduced the protective functions of the body.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Catalytic applications of cerium dioxide / E. Aneggi et al. In Cerium Oxide (CeO₂): Synthesis, Properties and Applications. Elsevier. 2020. P. 45–108. URL: <https://hdl.handle.net/11368/2969601>
2. Awashra M., Mlynarz P. The toxicity of nanoparticles and their interaction with cells: an in vitro metabolomic perspective. *Nanoscale Advances*. 2023. 5 (10). P. 2674–2723. DOI:10.1039 / D2NA00534D
3. Brandão Da Silva Assis M., Nestal De Moraes G., De Souza K.R. Cerium oxide nanoparticles: Chemical properties, biological effects and potential therapeutic opportunities (Review). *Biomedical reports*. 2024. 20 (3). 48 p. DOI:10.3892/br.2024.1736
4. Çiçek B., Danişman B. Cerium Oxide Nanoparticles Rescue Dopaminergic Neurons in Parkinson's Disease Model of SH-SY5Y Cells via Modulating Nrf2 Signaling and Ameliorating Apoptotic Cell Death. *Archives of Basic and Clinical Research*. 2023. 5 (2). P. 284–290. DOI:10. 5152/ABCR.2023.23150
5. Fischer H.C., Chan W.C. Nanotoxicity: the growing need for *in vivo* study. *Current opinion in biotechnology*. 2007. 18 (6). P. 565–571. DOI:10.1016/j.copbio.2007.11.008
6. Ceria nanoparticles: Biomedical applications and toxicity / X. Fu et al. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B*. 2024. 25 (5). P. 361–388. DOI:10.1631/jzus.B2300854
7. Safety assessment and gastrointestinal retention of orally administered cerium oxide nanoparticles in rats / H.Y. Han et al. *Scientific Reports*. 2024. 14 (1). 5657 p. DOI:10.1038/ s41598-024-54659-9
8. He M.L., Wehr U., Rambeck W.A. Effect of low doses of dietary rare earth elements on growth performance of broilers. *Journal of animal physiology and animal nutrition*. 2010. 94 (1). P. 86–92. DOI:10.1111/j.1439-0396.2008.00884.x
9. Uptake and toxicity of cerium dioxide nanoparticles with different aspect ratio / M.S. Kang et al. *Toxicology Letters*. 2023. 373. P. 196–209. DOI:10.1016/j.toxlet.2022.11.013
10. Kaphle A., Navya P.N., Umapathi A., Daima H.K. Nanomaterials for agriculture, food and environment: applications, toxicity and regulation. *Environmental Chemistry Letters*. 2018. 16 (1). P. 43–58. DOI:10.1007/s10311-017-0662-y
11. Exploring the potential of green synthesized cerium oxide nanoparticles in mitigating chromium toxicity in maize / M. Latif et al. *Journal of King Saud University-Science*. 2024. 36 (8). DOI:10.1016/j.jksus.2024.103323
12. Cerium oxide nanoparticles prepared through Bio-combustion using *Ficus carica* as effective antioxidant, anticancer and dye degrading agent / S. Majani et al. *Scientific Reports*. 2025. 15 (1). DOI:10.1038/s41598-025-13914-3
13. Melchionna M., Trovarelli A., Fornasiero P. Synthesis and properties of cerium oxide-based materials. In *Cerium Oxide (CeO₂): Synthesis, Properties and Applications*. Elsevier. 2020. P. 13–43. DOI:10.1016/B978-0-12-815661-2.00002
14. Cerium-based nanoparticles for neurodegeneration: emerging redox therapeutics beyond pharmaceuticals / K. Mishra et al. *RSC advances*. 2025. 15 (45). P. 37540–37569. DOI:10. 1039/D5RA03599F
15. Cerium oxide nanoparticles, physical and chemical properties, applications and toxicological implications: A review / M. Mohajeri et al. *Results in Chemistry*. 2025. DOI:10. 1016/j.rechem.2025.102302
16. Navya P.N., Daima H.K. Rational engineering of physicochemical properties of nanomaterials for biomedical applications with nanotoxicological perspectives. *Nano Convergence*. 2016. 3 (1). P. 1–14. DOI:10.1186/s40580-016-0064-z
17. Ravikumar S., Gokulakrishnan R. The Inhibitory Effect of Metal Oxide Nanoparticles against Poultry Pathogens. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research*. 2012. 4 (2). P. 157–159. URL: <http://www.ijpsdr.com/pdf/vol4-issue2/16.pdf>
18. Roman'ko M.Y. Biochemical markers of safety of nano-particles of metals on the model of isolated subcultural fractions of eukaryotes. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2017. 8 (4). P. 564–568. DOI:10.15421/021787
19. Intravenous contrast medium aggravates the impairment of pancreatic microcirculation in necrotizing pancreatitis in the rat / J. Schmidt et al. *Annals of surgery*. 1995. 221 (3). P. 257–264. DOI:10.1097/00000658-199503000-00007
20. Dissolved cerium contributes to uptake of Ce in the presence of differently sized CeO₂-nanoparticles by three crop plants / F. Schwabe et al. *Metalomics*. 2015. 7 (3). P. 466–477. DOI:10.1039/ c4mt00343h
21. Shcherbakov A.B., Zhlobak N.M., Ivanov V.K. Biological, biomedical and pharmaceutical applications of cerium oxide. In *Cerium Oxide (CeO₂): Synthesis, Properties and Applications*. Elsevier. 2020. P. 279–358. DOI:10.1016/B978-0-12-815661-2.00008-6
22. Nanotechnologies and environment: A review of pros and cons / O.S. Tsekhmistrenko et al. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. 10 (3). P. 162–172. DOI:10.15421/2020_149
23. Persistence of engineered nanoparticles in a municipal solid-waste incineration plant / T. Walser

et al. *Nature Nanotechnology*. 2012. 7 (8). P. 520–524. DOI:10.1038/nnano.2012.64

24. Nanoceria-curcumin conjugate: Synthesis and selective cytotoxicity against cancer cells under oxidative stress conditions / N.M. Zholobak et al. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2020. 209 p. DOI:10.1016/j.jphoto.2020.111921

25. Додаток кормова “Наноцерій” / О.А. Демченко та ін. Технічні умови ТУ У 10.9-2960512097-003:2013.

26. Коцюмбас І.Я., Малик О.Г., Патерега І.П. Доклінічні дослідження ветеринарних лікарських засобів. Львів: Тріада плюс, 2006. 360. 8 с. URL: <http://aminbiol.com.ua/2012pdf/2.pdf>

27. Клінічна діагностика хвороб тварин / В.І. Левченко та ін. 2017. 544 с. URL:

28. Вплив нанокристалічного діоксиду церію на яєчну продуктивність перепелів / М.Я. Співак та ін. *Сучасне птахівництво*. 2013. (3). С. 22–24. URL: http://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNAU/3319/1/Vplyv_nanokrystalichnogo.pdf

29. Цехмістренко О.С., Цехмістренко С.І., Бітюцький В.С. Встановлення токсичності нанопрепаратів церію: Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво: матер. міжнар. наук.-практ. конф. 2 жовтня 2025 р. Біла Церква, С. 16–18. URL: <http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/14878>

30. Біоміметична та антиоксидантна активність наносполук діоксиду церію / О.С. Цехмістренко та ін. *Світ медицини та біології*. 2018. 1 (63). С. 196–201. DOI:10.267254/2079-8334-2018-1-63-196-201

REFERENCES

1. Aneggi, E., de Leitenburg, C., Boaro, M., Fornasiero, P., Trovarelli, A. (2020). Catalytic applications of cerium dioxide. In *Cerium Oxide (CeO₂): Synthesis, Properties and Applications*. Elsevier, pp. 45–108. Available at: <https://hdl.handle.net/11368/2969601>

2. Awashra, M., Młynarz, P. (2023). The toxicity of nanoparticles and their interaction with cells: an in vitro metabolomic perspective. *Nanoscale Advances*, 5 (10), pp. 2674–2723. DOI:10.1039/D2NA00534D

3. Brandão Da Silva Assis, M., Nestal De Moraes, G., De Souza, K.R. (2024). Cerium oxide nanoparticles: Chemical properties, biological effects and potential therapeutic opportunities (Review). *Biomedical reports*. 20 (3), 48 p. DOI:10.3892/br.2024.1736

4. Çiçek, B., Danişman, B. (2023). Cerium Oxide Nanoparticles Rescue Dopaminergic Neurons in Parkinson's Disease Model of SH-SY5Y Cells via Modulating Nrf2 Signaling and Ameliorating Apoptotic Cell Death. *Archives of Basic and Clinical Research*. 5 (2), pp. 284–290. DOI:10.5152/ABCR.2023.23150

5. Fischer, H.C., Chan, W.C. (2007). Nanotoxicity: the growing need for *in vivo* study. *Current opinion in biotechnology*, 18 (6), pp. 565–571. DOI:10.1016/j.copbio.2007.11.008

6. Fu, X., Li, P., Chen, X., Ma, Y., Wang, R., Ji, W., Zhang, Z. (2024). Ceria nanoparticles: Biomedical applications and toxicity. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B*, 25 (5), pp. 361–388. DOI:10.1631/jzus.B2300854

7. Han, H.Y., Kim, B.K., Rho, J., Park, S.M., Choi, M.S., Kim, S., Yoon, S. (2024). Safety assessment and gastrointestinal retention of orally administered cerium oxide nanoparticles in rats. *Scientific Reports*. 14 (1), 5657 p. DOI:10.1038/s41598-024-54659-9

8. He, M.L., Wehr, U., Rambeck, W.A. (2010). Effect of low doses of dietary rare earth elements on growth performance of broilers. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 94 (1), pp. 86–92. DOI:10.1111/j.1439-0396.2008.00884.x

9. Kang, M.S., Lee, G.H., Kwon, I.H., Yang, M.J., Heo, M.B., Choi, J.W., Park, E.J. (2023). Uptake and toxicity of cerium dioxide nanoparticles with different aspect ratio. *Toxicology Letters*, 373, pp. 196–209. DOI:10.1016/j.toxlet.2022.11.013

10. Kaphle, A., Navya, P.N., Umapathi, A., Daima, H.K. (2018). Nanomaterials for agriculture, food and environment: applications, toxicity and regulation. *Environmental Chemistry Letters*, 16 (1), pp. 43–58. DOI:10.1007/s10311-017-0662-y

11. Latif, M., Ali, S., Ansari, M.A., Zahoor, A.F., Nafees, M. (2024). Exploring the potential of green synthesized cerium oxide nanoparticles in mitigating chromium toxicity in maize. *Journal of King Saud University-Science*, 36 (8). DOI:10.1016/j.jksus.2024.103323

12. Majani, S.S., Singh, P., Kumari, P., Setty, P.B.S., Shivamallu, C., Srinivasa, C., Kollur, S.P. (2025). Cerium oxide nanoparticles prepared through Bio-combustion using *Ficus carica* as effective antioxidant, anticancer and dye degrading agent. *Scientific Reports*, 15 (1), 30285 p. DOI:10.1038/s41598-025-13914-3

13. Melchionna, M., Trovarelli, A., Fornasiero, P. (2020). Synthesis and properties of cerium oxide-based materials. In *Cerium Oxide (CeO₂): Synthesis, Properties and Applications*. Elsevier, pp. 13–43. DOI:10.1016/B978-0-12-815661-2.00002

14. Mishra, K., Tripathi, S., Tiwari, A.K., Rana, R., Yadav, P., Chourasia, M.K. (2025). Cerium-based nanoparticles for neurodegeneration: emerging redox therapeutics beyond pharmaceuticals. *RSC advances*. 15 (45), pp. 37540–37569. DOI:10.1039/D5RA03599F

15. Mohajeri, M., Momenai, R., Karami-Mohajeri, S., Ohadi, M., Estabragh, M.A.R. (2025). Cerium oxide nanoparticles, physical and chemical properties, applications and toxicological implications: A review. *Results in Chemistry*. DOI:10.1016/j.rechem.2025.102302

16. Navya, P.N., Daima, H.K. (2016). Rational engineering of physicochemical properties of nanomaterials for biomedical applications with nanotoxicological perspectives. *Nano Convergence*. 3 (1), pp. 1–14. DOI:10.1186/s40580-016-0064-z

17. Ravikumar S., Gokulakrishnan R. (2012). The Inhibitory Effect of Metal Oxide Nanoparticles against Poultry Pathogens. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research*, 4 (2), pp. 157–159. Available at: <http://www.ijpsdr.com/pdf/vol4-issue2/16.pdf>
18. Roman'ko, M.Y. (2017). Biochemical markers of safety of nano-particles of metals on the model of isolated subcultural fractions of eukaryotes. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 8 (4), pp. 564–568. DOI:10.15421/021787
19. Schmidt, J., Hotz, H.G., Foitzik, T., Ryschich, E., Buhr, H.J., Warshaw, A.L., Klar, E. (1995). Intravenous contrast medium aggravates the impairment of pancreatic microcirculation in necrotizing pancreatitis in the rat. *Annals of surgery*. 221 (3), pp. 257–264. DOI:10.1097/0000658-199503000-00007
20. Schwabe, F., Tanner, S., Schulz, R., Rotzetter, A., Stark, W., Von Quadt, A., Nowack, B. (2015). Dissolved cerium contributes to uptake of Ce in the presence of differently sized CeO₂-nanoparticles by three crop plants. *Metallomics*, (3), pp. 466–477. DOI:10.1039/c4mt00343h
21. Shcherbakov, A.B., Zholobak, N.M., Ivanov, V.K. (2020). Biological, biomedical and pharmaceutical applications of cerium oxide. In *Cerium Oxide (CeO₂): Synthesis, Properties and Applications*. Elsevier, pp. 279–358. DOI:10.1016/B978-0-12-815661-2.00008-6
22. Tsekhmistrenko, O.S., Bityutskyy, V.S., Tsekhmistrenko, S.I., Kharchishin, V.M., Melnichenko, O.M., Rozputnyy, O.I., Malina, V.V., Prysiashniuk, N.M., Melnichenko, Y.O., Vered, P.I., Shulko, O.P., Onyshchenko L.S. (2020). Nanotechnologies and environment: A review of pros and cons. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10 (3), pp. 162–172. DOI:10.15421/2020_149
23. Walser, T., Limbach, L. K., Brogioli, R., Erismann, E., Flamigni, L., Hattendorf, B., Juchli, M., Krumeich, F., Ludwig, C., Prikopsky, K., Rossier, M., Saner, D., Sigg, A., Hellweg, S., Günther, D., Stark, W.J. (2012). Persistence of engineered nanoparticles in a municipal solid-waste incineration plant. *Nature Nanotechnology*, 7 (8), pp. 520–524. DOI:10.1038/nnano.2012.64
24. Zholobak, N.M., Shcherbakov, A.B., Ivanova, O.S., Reukov, V., Baranchikov, A.E., Ivanov, V.K. (2020). Nanoceria-curcumin conjugate: Synthesis and selective cytotoxicity against cancer cells under oxidative stress conditions. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 209. DOI:10.1016/j.jphotobiol.2020.11192
25. Demchenko, O.A., Spivak, M.Ya., Zholobak, N.M., Shcherbakov, O.B., Ivanov, O.B., Melnychenko, Vered, P.I. Dobavka kormova "Nanocerij". *Tekhnichni umovy TU U 10.9-2960512097-003:2013*. [Feed additive "Nanocerium". Technical conditions TU U 10.9-2960512097-003:2013]. (In Ukrainian).
26. Kotsyumbas, I.Ya., Malik, O.G., Paterega, I.P. (2006). *Doklinichni doslidzhennja veterynarnykh likars'kykh zasobiv* [Preclinical studies of veterinary drugs]. Lviv: Triada plus, 360, 8 p. Available at: <http://aminbiol.com.ua/2012pdf/2.pdf> (In Ukrainian).
27. Levchenko, V.I., Vlizlo, V.V., Kondrakhin, I.P., Holovakha, V.I., Morozenko, D.V., Sakhnyuk, V.V., Bogatko, L.M. (2017). *Klinichna diagnostyka hvorob tvaryn* [Clinical diagnostics of animal diseases]. 544 p. Available at: <http://rep.tbsau.edu.ua/handle/BNAU/428> (In Ukrainian).
28. Spivak, M.Ya., Demchenko, O.A., Zholobak, N.M., Shcherbakov, O.B., Zotsenko, V.M., Ivanov, V.K. (2013). Vplyv nanokrystalichnogo dioksydu ceriju na jajechnu produktyvnist' perepeliv [The effect of nanocrystalline cerium dioxide on quail egg production]. [Modern Poultry], (3), pp. 22–24. Available at: http://rep.tbsau.edu.ua/bitstream/BNAU/3319/1/Vplyv_nanokrystalichnogo.pdf (In Ukrainian).
29. Tsekhmistrenko, O.S., Tsekhmistrenko, S.I., Bityutsky, V.S. (2025) Vstanovlennja toksychnosti nanopreparativ ceriju: Ekologija, ohorona navkolyshn'ogo seredovyshha ta zbalansovane pryrodokorystuvannja: osvita – nauka – vyrobnytvo: mater. mizhnar. nauk.-prakt. konf. 2 zhovtnja 2025 r [Determination of the toxicity of cerium nanopreparations: Ecology, environmental protection and balanced nature management: education – science – production: materials of the international scientific and practical conference. October 2, 2025]. Bila Tserkva, pp. 16–18. Available at: <http://rep.tbsau.edu.ua/handle/BNAU/14878> (In Ukrainian).
30. Tsekhmistrenko, O.S., Tsekhmistrenko, S.I., Bityutskyy, V.S., Melnichenko, O.M., Oleshko, O.A. (2018). Biomimetychna ta antyoksydantna aktyvnist' nanopoluk dioksydu ceriju [Biomimetic and antioxidant activity of nano-crystalline cerium dioxide]. *Svit medycyny ta biologii* [World Medicine and Biology], 1 (63), pp. 196–201. DOI:10.267254/2079-8334-2018-1-63-196-201 (In Ukrainian).

Екотоксикологічна оцінка препаратів нанокристалічного церію діоксиду

Цехмістренко О.С., Цехмістренко С.І., Бітюцький В.С.

Церій є найпоширенішим рідкоземельним металом та елементом промислового значення. Церію діоксид (CeO₂) є найвідомішою сполукою церію, завдяки його неперевершеним окисно-відновним властивостям і здатності гарантувати чудову рухливість Оксигену. При переході в нанокристалічний стан сполука значно змінює свої фізико-хімічні властивості, що обумовлює унікальну біологічну активність матеріалу.

В останні роки у літературі зустрічаються повідомлення щодо застосування наночастинок металів, зокрема церію, у тваринництві в якості нових природних добавок до корму з метою підвищення продуктивності тварин. На сьогодні недостатньо є повідомлень щодо токсикодинаміки та токсикокінетики наночастинок у організмі людей та тварин, а також їх вплив на довкілля. Токсична дія наночастинок може бути обумовлена їх здатністю проникати в клітину, оминаючи

дихальний, дермальний, шлунково-кишковий, гематоенцефалічний, плацентарний та інші бар'єри та вибірково акумулюватися у клітинах та субклітинних структурах.

Метою досліджень було визначення гострої та хронічної токсичності нанодисперсного церію діоксиду, отриманого співробітниками лабораторії «Наномедтех» (Київ, Україна) та відділом проблем інтерферону та імуномодуляторів Інституту мікробіології та вірусології ім. Д.К. Заболотного.

Результати дослідження біохімічних показників крові показали, що препарат за 10-добового щоденного введення впливав на функціональний стан печінки, внаслідок порушення гепатоцитів, про що свідчить вірогідне підвищення активності трансаміназ та коефіцієнту маси даного органу. Про порушення функції печінки вказує і гіпертриацилгліцеролемія, яка відмічається при ураженнях органу.

У результаті вивчення токсичної дії НДЦ, за умов щодобового введення його білим щурам впродовж 10 діб встановлено, що препарат не залежно від дози пригнічував еритро- та лейкоцитопоектичну функції кровотворних органів, спричиняв їх виснаження, особливо кісткового мозку та знижував реактивність організму, впливав на функціональний стан печінки і селезінки. Під дією препарату проходили запальні процеси як гострого, так і хронічного характеру. Крім того даний препарат впливав на деякі сторони обміну ліпідів та на функціональний стан печінки (вірогідне підвищення коефіцієнту маси даного органу та активності АЛАТ і АсАТ).

Ключові слова: нанопрепарати, церію діоксид, токсичність, щури, кров, внутрішні органи, біохімічні показники.



Copyright: Tsekhmistrenko O., Tsekhmistrenko S., Bityutskyy V. ©
This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Tsekhmistrenko O.

Tsekhmistrenko S.

Bityutskyy V.

<https://orcid.org/0000-0003-0509-4627>

<https://orcid.org/0000-0002-7813-6798>

<https://orcid.org/0000-0002-2699-3974>

Наукове видання

**Технологія виробництва
і переробки продукції тваринництва**

Збірник наукових праць

№ 2 (198) 2025

*Редактор О.О. Грушко
Комп'ютерне верстання: В.С. Мельник*

Зареєстрований у сфері друкованих медіа
(ідентифікатор R30-03970, затверджено рішенням Національної ради України
з питань телебачення і радіомовлення №1425 від 25.04.2024 р.).

Формат 60¹/₈. Ум.др.арк. 15,5. Наклад 300.

Підписано до друку 27.11.2025 р.

Видавець і виготовлювач:

Білоцерківський національний аграрний університет,
09117, Біла Церква, Соборна площа, 8/1, тел. 33-11-01,
e-mail: redakciaviddil@ukr.net

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
видавців, виготовників і розповсюджувачів видавничої продукції

ДК № 3984 від 17.02.2011 р.