

**Свідоцтво про державну реєстрацію:** № KB 21158-10958ПР від 23.01.2015.

**Проблематика:** фізіологія і біохімія, ветеринарна медицина, живлення та годівля, розведення і селекція тварин, морфологія, клітинна та молекулярна біологія, імунологія, генетика, екологія і токсикологія, цитологія, мікробіологія та біотехнологія; огляди актуальних проблем біології; методичні роботи, в яких описано нові або вдосконалені методи досліджень; статті з історії біологічної, ветеринарної та сільськогосподарської наук, що висвітлюють еволюцію ідей, виникнення і розвиток наукових шкіл або присвячені творчим портретам учених; дискусійні статті рецензій на нові книги та на журнальні публікації; наукова хроніка.

**Засновник:** Інститут біології тварин НААН.

**Рік заснування:** 1998. **Періодичність:** 4 рази на рік.

**Мова видання:** українська, англійська.

**Науковий журнал «Біологія тварин» індексується у** *The Index Copernicus International, Google Scholar, Cross Ref, WorldCat, DOAJ, CABI.*

**Головний редактор:** Салига Ю. Т., д. біол. н.

**Науковий редактор:** Вудмаска І. В., д. с.-г. н.

**Відповідальний секретар:** Судин К. Ю.

**Комп'ютерна верстка:** Судин К. Ю.

**Certificate of print media State registration:** No. KB 21158-10958ПР of 23.01.2015.

**Aims and Scope:** physiology and biochemistry, veterinary medicine, nutrition and feeding animals, breeding and selection, morphology, cellular and molecular biology, immunology, genetics, ecology and toxicology, cytology, microbiology, biotechnology; reviews on actual problems of biology; methodical works describing new or improved research methods; articles about the history of biological, agricultural and veterinary sciences highlighting the evolution of ideas, the conception and development of scientific schools or dedicated to creative portraits of scientists; discussion reviews of the new books and the journal publications; scientific chronicle.

**Founder:** Institute of Animal Biology NAAS of Ukraine.

**Published since:** 1998. **Periodicity:** 4 times per year.

**Language:** Ukrainian, English.

**"The Animal Biology" scientific journal is included in:** *The Index Copernicus International, Google Scholar, CrossRef, WorldCat, DOAJ, CABI.*

**Editor-in-chief:** Yuriy Salyha, Dr. Sc.

**Scientific Editor:** Ihor Vudmaska, Dr. Sc.

**Editorial secretary:** Kateryna Sudyn.

**Page layout:** Kateryna Sudyn.

---

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

**Салига Юрій Тарасович**, Інститут біології тварин НААН (Україна) — Голова колегії, головний редактор  
**Вудмаска Ігор Васильович**, Інститут біології тварин НААН (Україна) — заступник головного редактора

**Антоняк Галина Леонідівна**, Львівський національний університет імені І. Франка (Україна)

**Бартлевскі Павел**, Ветеринарний коледж Онтаріо, Університет Гвельфа (Канада)

**Білий Ростислав Олександрович**, Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького (Україна)

**Віщур Олег Іванович**, Інститут біології тварин НААН (Україна)

**Войтюк Олександр**, Упсальський університет (Швеція)

**Гавриляк Вікторія Василівна**, Національний університет «Львівська політехніка» (Україна)

**Гладій Михайло Васильович**, Національна академія аграрних наук України (Україна)

**Гунчак Алла Володимирівна**, Інститут біології тварин НААН (Україна)

**Гжегоцький Мечислав Романович**, Львівський національний медичний університет ім Данила Галицького (Україна)

**Доліба Микола**, Пенсильванський університет (США)

**Жукорський Остап Мирославович**, Національна академія аграрних наук України (Україна)

**Заячківська Оксана Станіславівна**, Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького (Україна)

**Іскра Руслана Ярославівна**, Львівський національний університет імені І. Франка (Україна)

**Калачнюк Лілія Григорівна**, Національний університет біоресурсів і природокористування України (Україна)

**Кльоцек Чеслав**, Сільськогосподарський університет імені Гуго Коллонтая у Кракові (Польща)

**Ковальські Зигмунд**, Сільськогосподарський університет імені Гуго Коллонтая у Кракові (Польща)

**Ковальчук Ірина Іванівна**, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Ґжицького (Україна)

**Корпан Ярослав Ізидорович**, Інститут молекулярної біології і генетики НАН України (Україна)

**Коцюмбас Ігор Ярославович**, Державний науково-дослідний контрольний інститут ветеринарних препаратів та кормових добавок (Україна)

**Кришталь Олег Олександрович**, Інститут фізіології імені О. О. Богомольця НАН України (Україна)

**Кулік Джордж**, Медичний центр Університету Вейк Форест (США)

**Лесик Ярослав Васильович**, Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка (Україна)

**Луговий Богдан**, Університет Маунт Сент Вінсент (Канада)

**Луцак Володимир Іванович**, Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника (Україна)

**Мадіч Алла Всеволодівна**, Кембриджський університет (Великобританія)

**Мароунек Мілан**, Інститут тваринництва (Чехія)

**Медина Ігор**, Середземноморський інститут нейробіології (Франція)

**Мудронь Павол**, Університет ветеринарної медицини та фармації в Кошице (Словаччина)

**Муравські Мацей**, Сільськогосподарський університет імені Гуго Коллонтая у Кракові (Польща)

**Остапів Дмитро Дмитрович**, Інститут біології тварин НААН (Україна)

**Півнева Тетяна Андріївна**, Інститут фізіології імені О. О. Богомольця НАН України (Україна)

**Снітинський Володимир Васильович**, Львівський національний університет природокористування (Україна)

**Стапай Петро Васильович**, Інститут біології тварин НААН (Україна)

**Стибель Володимир Володимирович**, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Ґжицького (Україна)

**Стойка Ростислав Степанович**, Інститут біології клітини НАН України (Україна)

**Тизьо Роман**, Середземноморський інститут нейробіології (Франція)

**Федорович Єлизавета Іллівна**, Інститут біології тварин НААН (Україна)

**Шаран Микола Михайлович**, Інститут біології тварин НААН (Україна)

---

**Адреса редакції:** Інститут біології тварин НААН,  
вул. В. Стуса, 38, м. Львів, 79034, Україна.  
**Тел./ Факс:** (+38 032) 260-07-95, (+38 032) 270-23-89.  
**Електронна скринька:** editor.animbiol@gmail.com  
**Веб-сторінка:** http://aminbiol.com.ua

**Editorial Office:** Institute of Animal Biology NAAS,  
38 Stus str., Lviv, 79034, Ukraine.  
**Тел. / Факс:** (+38 032) 260-07-95, (+38 032) 270-23-89.  
**E-mail:** editor.animbiol@gmail.com  
**Website:** http://aminbiol.com.ua



ІНСТИТУТ  
БІОЛОГІЇ  
ТВАРИН  
НААН

ISSN 1681-0015 (print)

ISSN 2313-2191 (online)

DOI: 10.15407/animbiol

# БІОЛОГІЯ ТВАРИН

## The ANIMAL BIOLOGY

2024 ▪ Volume 26 ▪ Issue 1 ▪ Issue DOI: 10.15407/animbiol26.01

### EDITORIAL COUNCIL

**Yuriy Salyha**, Institute of Animal Biology NAAS (Ukraine) — Head of the council, editor-in-chief  
**Ihor Vudmaska**, Institute of Animal Biology NAAS (Ukraine) — deputy chief editor

**Halyna Antonyak**, Ivan Franko National University of Lviv (Ukraine)  
**Paweł Mieczysław Bartlewski**, Ontario Veterinary College, University of Guelph (Canada)  
**Rostyslav Bilyy**, Danylo Halytsky Lviv National Medical University (Ukraine)  
**Nicolai M. Doliba**, University of Pennsylvania (United States)  
**Yelyzaveta Fedorovych**, Institute of Animal Biology NAAS (Ukraine)  
**Mykhailo Gladij**, The National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (Ukraine)  
**Mechyslav Gzhegotyskyi**, Danylo Halytsky Lviv National Medical University (Ukraine)  
**Viktoriia Havryliak**, Lviv Polytechnic National University (Ukraine)  
**Alla Hunchak**, Institute of Animal Biology NAAS (Ukraine)  
**Ruslana Iskra**, Ivan Franko National University of Lviv (Ukraine)  
**Liliia Kalachniuk**, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Ukraine)  
**Czesław Klocek**, University of Agriculture in Kraków (Poland)  
**Yaroslav Korpan**, Institute of Molecular Biology and Genetics NAS of Ukraine (Ukraine)  
**Igor Kotsyumbas**, State Scientific-Research Control Institute of Veterinary Medicinal Products and Feed Additives (Ukraine)  
**Iryna Kovalchuk**, Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv (Ukraine)  
**Zygmunt Maciej Kowalski**, University of Agriculture in Kraków (Poland)  
**Oleg Krishtal**, Bogomoletz Institute of Physiology NAS of Ukraine (Ukraine)  
**George Kulik**, Wake Forest University (United States)  
**Yaroslav Lesyk**, Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University (Ukraine)  
**Bohdan Luhovyy**, Mount Saint Vincent University (Canada)  
**Volodymyr Lushchak**, Vasyl Stefanyk Precarpathian National University (Ukraine)  
**Alla Madich**, University of Cambridge (United Kingdom)  
**Milan Marounek**, Institute of Animal Science (Czech Republic)  
**Igor Medina**, Mediterranean Institute of Neurobiology (France)  
**Pavol Mudroň**, University of Veterinary Medicine and Pharmacy in Košice (Slovak Republic)  
**Maciej Murawski**, University of Agriculture in Kraków (Poland)  
**Dmytro Ostapiv**, Institute of Animal Biology NAAS (Ukraine)  
**Tatyana Pivneva**, Bogomoletz Institute of Physiology NAS of Ukraine (Ukraine)  
**Mykola Sharan**, Institute of Animal Biology NAAS (Ukraine)  
**Volodymyr Snityns'kyi**, Lviv National Environmental University (Ukraine)  
**Petro Stapay**, Institute of Animal Biology NAAS (Ukraine)  
**Rostyslav Stoika**, Institute of Cell Biology NAS of Ukraine (Ukraine)  
**Volodymyr Stybel**, Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies of Lviv (Ukraine)  
**Roman Tyzio**, Mediterranean Institute of Neurobiology (France)  
**Oleg Vishchur**, Institute of Animal Biology NAAS (Ukraine)  
**Oleksandr Voytyuk**, Uppsala University (Sweden)  
**Oksana Zayachkivska**, Danylo Halytsky Lviv National Medical University (Ukraine)  
**Ostap Zhukorskyi**, The National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (Ukraine)

## ЗМІСТ

### Огляд

<i>Рубан С. Ю., Даншин В. О.</i> Ефективність використання корму молочної худоби як генетична ознака .....	3
---	---

### Дослідження

<i>Акшата Г., Бгіманна М., Ганчінал С. Г., Прабурадх А., Хавері Р. В., Нідагунді Дж. М., Лакшмікант М.</i> Дослідження реакції нормальних і опромінених самців рожевої совки на джерело феромонів .....	11
<i>Куртяк Б. М., Шевчук В. М., Сухомлин К. Б., Віщур О. І., Соловей Л. М., Романович М. С., Руденко О. П.</i> Особливості епізоотологічного нагляду та контролю за мікобактеріозами продуктивних тварин в умовах молочнотоварних господарств України .....	17
<i>Стапай П. В., Буслик Т. В., Михалюк В. В., Стахів Н. П., Смолянінова О. О., Невоструєва І. В., Сачко Р. Г., Скорохід А. В., Пахолків Н. І.</i> Співвідношення структурних протеїнів у вовні овець різних порід та з різною категорією волокон залежно від зон їх розведення .....	24
<i>Козир В., КрASNоруцький О., Руденко Є., Денісюк О., Олійник С.</i> Еволюційні зміни сірої української породи .....	29
<i>Парцей Х. Ю., Ерстенюк Г. М.</i> Дослідження форм гемоглобіну за умов споживання енергетичного напою .....	40

---

## CONTENTS

### Review

<i>Ruban S. Y., Danshyn V. O.</i> Feed efficiency of dairy cattle as genetic trait .....	3
---	---

### Experimental works

<i>Akshatha G., Bheemanna M., Hanchinal S. G., Prabhuraj A., Haveri R. V., Nidagundi J. M., Lakshmikanth M.</i> Studies on the response of normal and irradiated pink bollworm males towards pheromone source .....	11
<i>Kurtjak B. M., Shevchuk V. M., Suchomlin K. B., Vishchur O. I., Solovei L. M., Romanovich M. S., Rudenko O. P.</i> Peculiarities of epizootological surveillance and control of mycobacteriosis in productive animals in the conditions of dairy farms of Ukraine .....	17
<i>Stapay P. V., Buslyk T. V., Mykhaliuk V. V., Stakhiv N. P., Smolyaninova O. O., Nevostruyeva I. V., Sachko R. G., Skorokhid A. A., Pakholkiv N. I.</i> The ratio of structural proteins in the wool of sheep of different breeds and with different categories of fibers depending on the zones of their breeding .....	24
<i>Kozyr V., Krasnorutsky O., Rudenko Ye., Denysiuk O., Oliynyk S.</i> Evolutionary changes of the Gray Ukrainian breed .....	29
<i>Partsei Kh. Yu., Ersteniuk H. M.</i> The study of hemoglobin forms under the conditions of energy drink consumption .....	40



## Feed efficiency of dairy cattle as genetic trait

S. Y. Ruban, V. O. Danshyn

rubansy@gmail.com



National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony str., Kyiv 03041, Ukraine

### ORCID:

S. Y. Ruban <https://orcid.org/0000-0002-8114-3665>

V. O. Danshyn <https://orcid.org/0000-0001-9012-6835>

### Authors' Contributions:

RSY: Conceptualization; Data curation; Formal analysis; Supervision.

DVO: Methodology; Project administration; Writing — review & editing.

### Declaration of Conflict of Interests:

None to declare.

### Ethical approval:

Not applicable.

### Acknowledgements:

The authors acknowledge National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine for financial support.



Attribution 4.0 International  
(CC BY 4.0)

This review article is devoted to the use of feed efficiency traits in dairy cattle breeding. An efficient cow is defined as the one that produces the same amount of milk and milk solids while consuming less feed and remaining healthy and fertile; thus, allowing to reduce costs without decrease in production. Improving feed efficiency is economically important due to the increasing price of fodder. Feed efficiency is a genetically complex trait that can be described as units of product output (e.g., milk yield) per unit of feed input. Nowadays genetic evaluation of dairy cattle for feed efficiency is routinely conducted in several countries, including Australia, USA, Canada, Netherlands, Denmark, Sweden, Finland, Norway and United Kingdom. Different countries use different measures of feed efficiency of dairy cows. The main feed efficiency traits are dry matter intake, gross feed efficiency, residual feed intake, energy balance and feed saved. Genome-wide association studies demonstrated that feed efficiency is polygenic trait. Nevertheless, several genes with large effects on feed efficiency were identified. Estimates of heritability of these traits vary from 0.07 to 0.49 and show the presence of considerable genetic variation of these traits and therefore, the possibility of their genetic improvement under the conditions of inclusion in breeding programs. Changes in diet and rumen microbiome substantially impact feed efficiency of dairy cows. Feed efficiency is related to methane emissions and excess nitrogen excretion. Genetic improvement of feed efficiency requires recording of individual data on feed intake in cows. Such data are limited. Two options exist to solve this problem: use of indirect predictors and genomic prediction. Accuracy of genomic prediction varies from 0.21 to 0.61 across countries. International cooperative projects such as *Efficient Dairy Genome Project* in Canada were launched to establish large databases and to increase accuracy of feed efficiency traits genomic prediction. Future directions of research are the use of novel technologies: mid-infrared spectroscopy, artificial intelligence, holo-omics.

**Key words:** dry matter intake, energy balance, residual feed intake, feed saved, heritability, genomic selection, holo-omics

## Introduction

The purpose of this review is to describe use of feed efficiency in dairy cattle genetic improvement programs. The main tasks are to highlight the importance of reduc-

ing feed costs in milk production, to characterize traits of feed efficiency of dairy cows and their genetic architecture, to describe methods of measuring feed efficiency used in different countries, to focus on the importance of international collaboration for genomic prediction of



feed efficiency of dairy cattle. The review refers to dairy cattle breeding and genetics and considers problems of genetic improvement of dairy cattle for the purpose of increasing economic efficiency of milk production.

## Discussion

Feeds are the main cost item in milk production. For instance, according to the Agricultural Research Service of the US Department of Agriculture, in 2021 the share of the cost of feeds in the total costs of milk production was 57.8%.

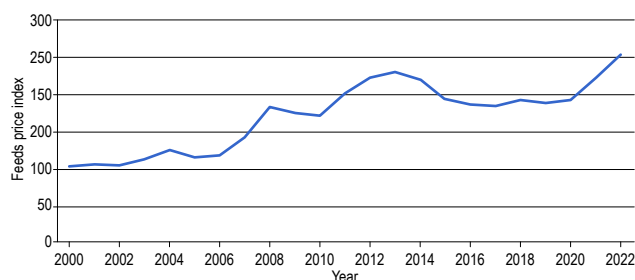
According to calculations by M. Coffey [11] in UK, in a herd of 150 cows with an average milk yield of 9,000 liters, the average annual feed costs will be equal to £125,628 (£838 per cow). Saving 10% of this amount is a big prize. The UK national herd of 1.9 million lactating cows with an average milk yield of 7,600 kg consumes feeds for approximately £1.592 billion per year. If cows consumed 10% less feeds under the same conditions, the feed savings would be 159 million pounds per year.

In fig. 1 the dynamics of prices of feeds for farm animals in the USA is presented. For the period from 2000 to 2022, the feed price index increased from 100 to 250, i.e. by 1.5 times. Thus, reducing feed costs is an important lever from the point of view of increasing the profitability of milk production, especially given the rising feed prices.

From the point of view of the need to ensure sustainable milk production, it is important to reduce feed costs by increasing the share of feed used for milk production. Feed efficiency is an important genetic trait that has recently received considerable attention due to its economic importance [41, 42].

C. M. Richardson et al. [39] showed that increasing estimated breeding value of the feed performance (defined as a kg of more efficiently used feed) by one unit (i.e. 1 kg of more efficiently converted dry matter intake during the cow's first lactation) translates to a total lifetime saving of 3.23 kg in dry matter intake with the economic value of CAD \$0.82.

K. Houlihan et al. [17] showed that the inclusion of feed efficiency in economic selection indices allows increasing significantly the efficiency of breeding programs of dairy cattle.



**Fig. 1.** Dynamics of prices of feeds for farm animals in the USA from 2000 to 2022 [36]

In dairy cattle breeding the following traits of feed efficiency are used [25]:

— **dry matter intake (DMI)** — the difference between the feed offered and that which remains uneaten;

— **gross feed efficiency (GFE)**, also known as **feed conversion efficiency** — the amount of milk produced per 1 kg of dry matter of feed consumed;

— **residual feed intake (RFI)** — the difference between actual dry matter intake and predicted dry matter intake based on energy requirements for production and maintenance;

— **energy balance (EB)** — the difference between the consumed energy of feed and the output of total energy (milk, maintenance, growth and pregnancy);

— **feed saved (FS)**, which takes into account the costs of milk production and maintenance.

Close to the residual feed intake is the **residual energy intake (REI)**, which is defined as the difference between the required and actual consumption of the net lactation energy of a dairy cow [1].

The most expensive component of diet for dairy cows is protein [6]. Based on this, Y. Chen et al. [8, 9] developed Nitrogen Efficiency Index (NEI) that includes nitrogen intake, milk true protein nitrogen, and milk urea-nitrogen yield. The NEI showed positive genetic correlations with production traits (e.g., milk yield, protein yield) and has the advantage of large-scale prediction. Genome-wide association study showed that the largest explanatory genomic regions of NEI were *Bos taurus* autosomes 14, 26, 16, and 6; 16 key candidate genes were identified for NEI and its composition traits, which are mainly expressed in the milk cell, mammary, and liver tissues [10].

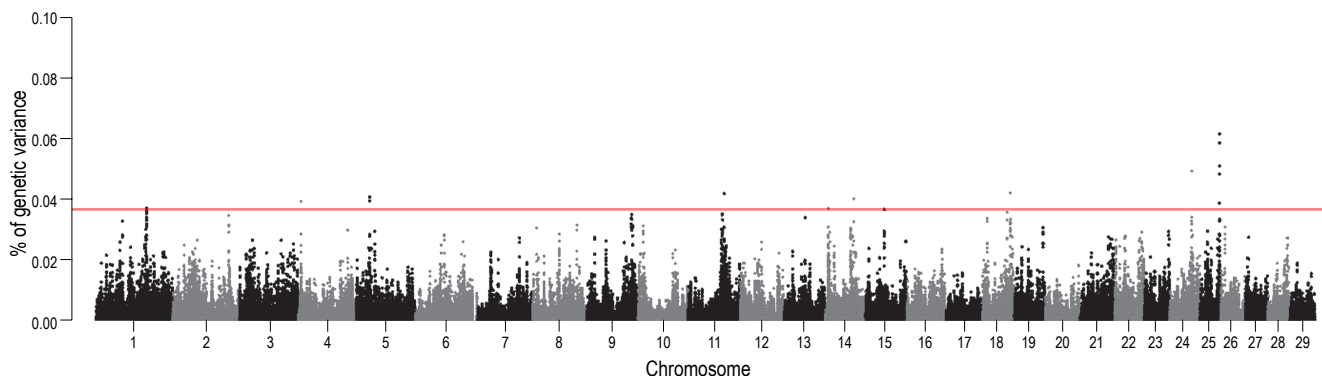
According to their genetic architecture feed efficiency traits are polygenic. B. Li et al. [23] conducted a genome-wide association study of residual feed intake of Holstein cows (fig. 2). It was shown that regions of the genome located on chromosomes 25 and 18 have the greatest influence on residual feed intake. Genes that determine this trait were identified and biological mechanisms of their action were determined.

N. Krattenmacher et al. [20] identified four quantitative trait loci (QTL) located on chromosomes 1, 10, 15 and 16 that affect energy balance in dairy cows.

S. M. Salleh et al. [44], using the gene co-expression network analysis [31], identified genes and regulators (ATP7b, IFNG, and IL10RA) that could potentially impact feed efficiency in dairy cows.

S. Lam et al. [21] based on RNA sequencing from the liver tissue of Holstein and Jersey cows found 9 genes (IN-SRR, CSK, DYNC1H1, GAB1, KAT2B, RXRA, SHC1, TRRAP, PIK3CB) that affect feed efficiency due to their participation in the processes of cell growth and regeneration, metabolism and immunity.

Estimates of the heritability of feed efficiency traits of dairy cows vary significantly between different countries, but in general the presented estimates indicate the possibility of successful genetic improvement of these traits (table 1).



**Fig. 2.** Manhattan plot of the genetic variance (%) explained by each genome region for residual feed intake in Holstein dairy cattle [23]

P. Khanal et al. [19] using multiple-trait random regression model showed that heritability of daily residual feed intake and feed saved changed during lactation both for primiparous (0.05–0.07 and 0.11–0.17, respectively) and multiparous (0.03–0.13 and 0.10–0.17, respectively) cows. However, heritability estimates based on lactation averages were substantially higher, ranging from 0.17 to 0.25 for residual feed intake and from 0.35 to 0.41 for feed saved.

In different countries different approaches are used to measure feed efficiency of dairy cattle.

Australia was the first country in the world to use breeding value estimates for feed efficiency in dairy cattle breeding [2]. Feed efficiency is expressed by the **feed saved** (Feed Saved ABV). The goal is to produce animals that give the same amount of milk with reduced maintenance requirements. Feed Saved ABV

includes residual feed intake (RFI) and maintenance requirements calculated on the basis of live weight. Feed Saved ABV is expressed in kilograms (dry matter) of feed saved per cow per year. The base (or average for breed) is zero: a positive value means saving feeds; a negative value represents additional feed consumed. Animals that are one standard deviation above the mean for the feed saved trait consume 65 kg less feed per year, while maintaining the same levels of production [37]. Feed Saved ABV is included to both selection indices used in Australian dairy farming: the Balanced Performance Index (BPI) and the Health Weighted Index (HWI), with higher weighting in the HWI.

In USA feed efficiency is expressed as **feed saved** (FSAV) based on estimates of predicted transmitting ability for residual feed intake (PTArfi) and body weight composite (PTAbwc) PTA for feed saved is calculated as [35, 47]:

$$PTA_{fsav} = -1 \text{ PTArfi} - 151.8 \text{ PTA}_{bwc} \quad (1)$$

Data from the experimental farms of University of Wisconsin-Madison, Michigan State University, Iowa State University, University of Florida, and of Animal Genomics and Improvement Laboratory of the department of agriculture are used to estimate residual feed intake. The database contains more than 650,000 feed intake records (approximately 6,200 cows).

Body weight composite (BWC) is calculated based on linear appraisal traits of cows according to the formula:

$$BWC = (0.23 \text{ Stature}) + (0.72 \text{ Strength}) + (0.08 \text{ Bodydepth}) + (0.17 \text{ Rumpwidth}) - (0.47 \text{ Dairyform}) \quad (2)$$

The American Holstein Association uses the **Feed Efficiency** index (FE\$), which is calculated using the formula:

$$FE\$ = (0.0008 \text{ PTAmilkyield}) + (1.55 \text{ PTAmilkfat}) + (1.73 \text{ PTAmilkprotein}) + (0.11 \text{ PTA}_{fsav}) \quad (3)$$

In Canada, in April 2021, Canadian Dairy Network began to publish official genetic evaluations based on

**Table 1.** Estimates of heritability ( $h^2$ ) of feed efficiency traits in dairy cows [25]

Trait	Country	Breed	$h^2$
Dry matter intake	Netherlands	Holstein	0.21–0.40
	Germany	Holstein	0.26–0.37
	Denmark and Sweden	Holstein	0.20–0.40
	Denmark	Jersey	0.17–0.42
		Holstein	0.32–0.49
	USA, Canada, UK, Netherlands	Holstein	0.23–0.32
	Canada	Holstein	0.28
Denmark, Finland and Sweden	Holstein	0.30–0.55	
Gross feed efficiency	USA	Holstein	0.43–0.47
Residual feed intake	Netherlands	Holstein	0.40
	Southern Australia	Holstein	0.27
	Australia and New Zealand	Holstein	0.22–0.38
	USA	Holstein	0.36
	Canada	Holstein	0.20
	Denmark	Holstein	0.23–0.36
	USA, Canada, UK, Netherlands	Holstein	0.13–0.14
Energy balance	Finland	Nordic Red	0.10
	USA	Holstein	0.07–0.22
	Germany	Holstein	0.29–0.49

**Feed Efficiency** for Holstein sires. Feed efficiency includes three traits: dry matter intake (DMI) to estimate feed intake, metabolic body weight to determine energy requirements for maintenance, and energy corrected milk to account for performance level. Thus, feed efficiency is an expression of how much feed an animal eats regardless of its maintenance and productivity requirements.

Initially, only the data on the first lactation were used. Starting with the publication of genetic evaluations in December 2022, relative breeding values include second lactation data. An increase in the relative breeding value for every 5 points reduces the consumption of dry matter of feeds in daughters of sire by approximately 80 kg in the first lactation and by 120 kg in the second lactation. This corresponds to 2% reduction in feed intake.

In the Netherlands, the farmer organization CRV (<https://crv4all.com>) collects daily data on feed intake of more than 2,000 lactating cows on five commercial dairy farms. This gives four million feed intake records each year. CRV combines this information with data collected from 9,000 Dutch and Flemish cows, allowing for large reference population of cows and reliable estimates of breeding values. The reliability of estimated breeding values of feed efficiency for CRV sires is 85–90%.

The evaluation of the breeding value of bulls and cows is carried out in three stages [12]:

1. Evaluation of breeding values for dry matter intake is carried out separately for the first (BVdmi1), second (BVdmi2) and third and subsequent lactations (BVdmi3). The total evaluation of the breeding value for dry matter intake (BVdmi) is calculated according to the formula:

$$\text{BVdmi} = 0.41 \text{ BVdmi1} + 0.33 \text{ BVdmi2} + 0.26 \text{ BVdmi3} \quad (4)$$

2. Estimated breeding values for feed saved for maintenance (FSM) in physical measurement are calculated according to the formula:

$$\text{FSM} = ((1000/940) (5.9 \text{ kg fat} + 3.0 \text{ kg protein} + 2.43 \text{ kg lactose})/301) - \text{BVdmi} \quad (5)$$

3. Estimated breeding values for **saved feed costs for maintenance** (SFCM) in monetary terms are calculated according to the formula:

$$\text{SFCM} = 60.20 \text{ EURO FCM} \quad (6)$$

In April 2023, CRV introduced *FeedExcel*, a breeding strategy that promises 25% increase in herd productivity or 25% less feed consumption by cows, as well as a 25% reduction in methane emissions by 2050.

The joint Danish-Finnish-Swedish consortium NAV (*Nordisk Avlsværdis Apskning* — Nordic Cattle Genetic Evaluation), which carries out genetic evaluation of dairy cattle in these three countries, to evaluate feed efficiency uses **Saved feed** index, which includes two components:

maintenance efficiency and metabolic efficiency. Maintenance efficiency is calculated on the basis of data on live weight and type traits on linear scale (stature, body depth and chest width). The heritability of this trait is 0.58–0.65. Metabolic efficiency is defined as the difference between actual and predicted feed intake (that is, it equals residual feed intake) Data on feed intake come from the international database *Efficient Dairy Genome Project* (EDGP), experimental farms in Finland and from *VikingGenetics* farms equipped with the CFIT system.

In Norway feed efficiency is expressed by the *FeedSaved™*. The goal of Norwegian breeders is to reduce the amount of feeds needed to maintain body weight. The comprehensive system of recording in the Norwegian Red breed represents 93% of all cows in Norway. Live weight records of 1.2 million cows ensure high selection accuracy for *FeedSaved™*. *FeedSaved™* calculations are based on dry matter intake. Top *FeedSaved™* Norwegian Red sires produce smaller crossbred daughters compared to the average 700 kg mature Holstein cow weight, saving maintenance feed costs at \$0.28 per day or saving of approximately 1 kg of feed per day (at a cost of 0.26 USD per 1 kg of dry matter of feed). On average, a Norwegian Red cow eats 0.6 kg less feed than a Holstein cow. In general, this saves about 101,000 US dollars on a farm with 1000 cows.

In United Kingdom, *Feed Advantage* is used — an index that is calculated as predicted transmitting ability (PTA) in kilograms of dry matter intake saved in each lactation. The development of the index is the result of over 30 years of researches and data collection at the award-winning Langhill herd in Dumfries. In researches carried out by the Scottish Rural College (SRUC) dry matter intake of Langhill cows throughout their lifetime was measured. Adjustments are made according to the size of the animal, as smaller cows require less feed than larger cows with the same level of milk production. The most efficient cows consume 400 kg less per lactation compared to the least efficient cows, meaning that the same level of performance can be achieved by reducing feed intake. The Feed Advantage index is a component of the *Enviro-Cow* index, which aims to reduce the negative impact of milk production on the environment.

Iranian scientists conducted a study on the possibility of including feed efficiency in the selection index [32]. Data from seven dairy herds were used. Calculated economic weights for traits at prices of \$0.34 for 1 kg of milk, \$6.93 for 1 kg of milk fat, \$5.53 for 1 kg of milk protein, -\$1.68 for 1 kg of consumed dry matter of feeds, -\$1.70 for 1 kg of residual feed intake, \$0.47 for 1 month of productive life and -\$2.71 for 1 day of days open. The Iranian selection index was revised from the point of view of improving feed efficiency and the sub-index of feed efficiency (FE\$), introduced by the Holstein Association of the USA, was adopted taking into account the characteristics of the economic and production system of Iran.

L. Cavani et al. [7] studied the relationship between feeding behavior traits of Holstein cows (number of

feeder visits per day, number of meals per day, duration of each feeder visit, duration of each meal, total duration of feeder visits, intake per visit, intake per meal, feeding rate per visit, and feeding rate per meal) with residual feed intake. The authors found that feeding behavior traits of dairy cows can be useful indicators of feed efficiency and cows with lower feeding rate use feeds more efficiently. W. E. Brown et al. [5] concluded that slower feeding rate by more efficient cows was associated with lower dry matter intake.

In several studies it was shown that feed efficiency of dairy cows largely depends on the rumen microbiome — community of microorganisms that inhabit rumen [13, 24, 29]. In Holstein and Nordic Red lactating dairy cows, R. J. Wallace et al. [48] identified 39 heritable core microbial OTUs (operational taxonomic units), with microbiability (proportion of phenotypic variance explained by microorganisms) estimates ranging from 0.20 to 0.60. According to B. Hayes [16], the accuracy of predicting feed efficiency based on cow genome was 0.33, while the accuracy of predicting this trait based on rumen microbiome data was 0.49; combined prediction using both sources of information (cow genome and rumen microbiome) made it possible to achieve a prediction accuracy of 0.57. Therefore the perspective direction for increasing feed efficiency is application of holo-omics — analysis and prediction of feed efficiency based on simultaneous accounting for influence of both cow genome and metagenome (genome of microorganisms) of rumen [38]. Scheme of this approach is presented on fig. 3.

A. Fischer et al. [15] studied the dependence of feed efficiency of dairy cows (residual feed intake) on the diet. The authors found that feed efficiency was less reproducible across diets than within the same diet, and that it varied more after diet changes than during successive stages of lactation.

According to J. Karlsson et al. [18], dairy cows with high feed efficiency mobilized more of their body reserves both at the beginning of lactation and during full lactation.

It was shown that most feed efficient cows had improved reproductive performance compared with the least efficient cows [34].

S. Y. Ruban et al. [40] revealed significant influence of the “genetic group” factor on the main economic traits of dairy cows, including feed conversion.

An important aspect of improving feed efficiency is its relationship with methane emissions. The conducted studies show that genetic improvement of feed efficiency will contribute to the reduction of methane emissions in ruminants, and with the inclusion of both traits (feed efficiency and methane emission) in breeding goal, it is possible to achieve significant success both in terms of increasing the economic efficiency of milk production and reducing the negative impact on the environment [26, 27].

M. Nehme Marinho et al. [33] showed that the most feed-efficient cows were also characterized by less excess excretion of nitrogen which is related to environmental challenges.

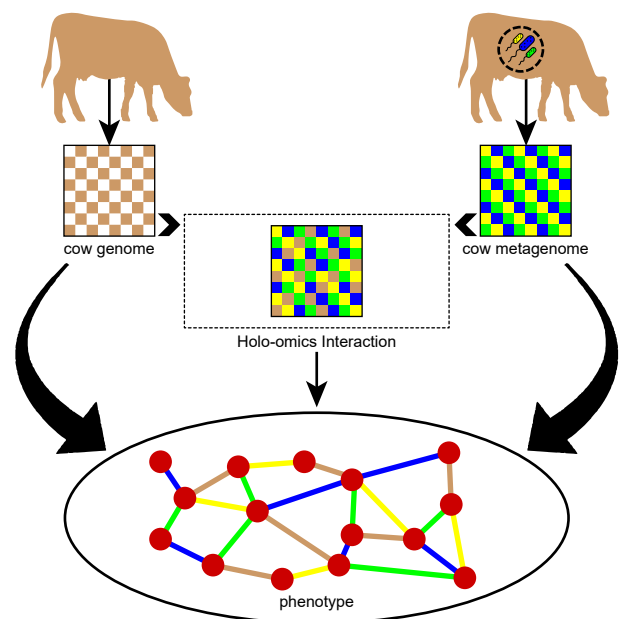


Fig. 3. Scheme of application of holo-omics in dairy cattle [37]

The main problem of using feed efficiency in breeding is the limitation of individual data on feed intake by cows [45]. Individual recording of feed intake requires the availability of appropriate equipment on the farm. There are two ways to solve this problem:

- 1) use of indirect (proxy) predictors,
- 2) genomic prediction [4].

As predictors can be used milk production traits, live weight, body condition scores, behavior traits, metabolites, etc. [28, 49].

J. R. R. Dórea et al. [14] using an artificial neural network approach developed models to estimate dry matter intake based on milk mid-infrared (MIR) spectral data.

Genomic prediction is based on the use of SNP markers and requires the definition of reference (training or predictor) population — group of animals for which their phenotypes and genotypes are known. Based on these data, the effects of the genotypes of each marker on quantitative trait are calculated, which are then used to obtain genomic estimates of breeding values (genomic estimated breeding values, GEBV) of genotyped animals [43].

The accuracy of genomic prediction depends on the number of animals in the reference population. The sizes of reference populations with data on traits, which are necessary for evaluating feed efficiency in each individual country, are quite limited; therefore, international cooperation for combining relevant data is of great importance.

The Global Dry Matter Initiative (gDMI) was established in 2014 to strengthen and coordinate the work on breeding dairy cattle for feed efficiency at the international level. Currently, it includes 15 participants from 10 countries. The main task of the organization is the collection and harmonization of data necessary for evaluating feed efficiency of dairy cows.

The Efficient Dairy Genome Project (EDGP, [www.genomedairy.ualberta.ca](http://www.genomedairy.ualberta.ca)) is an international research



**Table 2.** Accuracy of genomic predictions of feed efficiency traits in dairy cattle [25]

Trait	Country	Breed	Accuracy
Dry matter intake	UK, Netherlands and Australia	Holstein	0.35
	Europe, North America and Australia	Holstein	0.37
	Ireland, UK and Netherlands	Holstein	0.33
	Netherlands	Dutch dairy	0.21–0.38
	Germany	Holstein	0.33–0.61
Residual feed intake	Australia and New Zealand	Holstein	0.40
	Australia	Holstein	0.27
	USA, Canada, Netherlands and UK	Holstein	0.25–0.39
Energy balance	Netherlands	Holstein	0.29
	Germany	Holstein	0.27–0.47

project in Canada aimed at developing the strategic research, tools and infrastructure needed to implement genetic and genomic evaluations to improve feed efficiency and reduction of methane emissions in dairy cattle [30].

Values of accuracy of genomic prediction of feed efficiency traits in dairy cattle vary from 0.21 to 0.47 (table 2).

As part of this project, the Canadian Dairy Network (CDN) and the University of Guelph, together with international partners, created the EDGP database, which is located at the CDN (Guelph, Ontario, Canada). The database contains the following information: 1) pedigree, 2) calving, 3) performance, 4) events (including data on feed efficiency and methane emissions), 5) genotypes, 6) milk mid-infrared spectroscopy data.

As of February 1, 2023, the database contained information on 13,609 cows from the USA, Canada, Germany, Denmark, Switzerland, Spain, and Australia.

In the study of S. Bolormaa et al. [3] it was proved that the use of the international EDGP database allows to substantially increase the accuracy of genomic prediction of feed efficiency of dairy cows.

Genetic evaluation of dairy cattle for feed efficiency requires individual recording of feed intake. Usually this work is carried out using special equipment — automatic feeders. Such equipment is very expensive — approximately at the level of \$220,000 for 24 feeders — and is installed only on experimental farms [11]. However, in recent years, individual feed intake recording systems have been developed for commercial farms, the most famous of which is the *Cattle Feed InTake* (CFIT) system. Such systems are based on the use of 3D video cameras and are much cheaper. In CFIT system artificial intelligence is used capable of both identifying individual cows in a herd and measuring individual feed intakes [22, 46].

## Conclusions

Feed efficiency is an important genetic due to the significant share of feeds among the costs of milk production.

Feed efficiency traits are polygenic, i.e. determined by a large number of genes. Heritability estimates indicate the presence of significant genetic variability of these traits and, therefore, the possibility of their improvement under the conditions of inclusion in breeding programs. A number of gene were identified that considerably influence feed efficiency of dairy cows.

Feed efficiency depends on diet and to large extent on rumen microbiome of cows.

In different countries various approaches are used to determine feed efficiency of dairy cows.

Due to the limitation of amount of individual data on cows, necessary for genetic evaluation based on feed efficiency, the best tool for such work is the use of genomic selection. International cooperation plays an important role, the purpose of which is the creation of relevant databases, the use of which allows increasing the accuracy of genomic prediction.

Perspective research directions are the use of modern technologies, such as mid-infrared spectroscopy, artificial intelligence, as well as holo-omics (estimating genetic values with the simultaneous inclusion of information on both the cow genome and the metagenome, i.e. the genome of the rumen microbiota).

## References

1. Becker VAE, Stamer E, Spiekers H, Thaller G. Genetic parameters for dry matter intake, energy balance, residual energy intake, and liability to diseases in German Holstein and Fleckvieh dairy cows. *J Dairy Sci.* 2022; 105 (12): 9738–9750. DOI: 10.3168/jds.2022-22083.
2. Bolormaa S, MacLeod IM, Khansefid M, Marett LC, Wales WJ, Nieuwhof GJ, Baes CF, Schenkel FS, Goddard M E, Pryce JE. Evaluation of updated Feed Saved breeding values developed in Australian Holstein dairy cattle. *JDS Commun.* 2022; 3 (2): 114–119. DOI: 10.3168/jdsc.2021-0150.
3. Bolormaa S, MacLeod IM, Khansefid M, Marett LC, Wales WJ, Miglior F, Baes CF, Schenkel FS, Connor EE, Manzanilla-Pech CIV, Stothard P, Herman E, Nieuwhof GJ, Goddard ME, Pryce JE. Sharing of either phenotypes or genetic variants can increase the accuracy of genomic prediction of feed efficiency. *Genet Sel Evol.* 2022; 54: 60. DOI: 10.1186/s12711-022-00749-z.
4. Brito LF, Oliveira HR, Houlahan K, Fonseca PAS, Lam S, Butty AM, Seymour DJ, Vargas G, Chud TCS, Silva FF, Baes CF, Cánovas A, Miglior F, Schenkel FS. Genetic mechanisms underlying feed utilization and implementation of genomic selection for improved feed efficiency in dairy cattle. *Canad J Anim Sci.* 2020; 100 (4): 587–604. DOI: 10.1139/cjas-2019-0193.
5. Brown WE, Cavani L, Peñagaricano F, Weigel KA, White HM. Feeding behavior parameters and temporal patterns in mid-lactation Holstein cows across a range of residual feed intake values. *J Dairy Sci.* 2022; 105 (10): 8130–8142. DOI: 10.3168/jds.2022-22093.
6. Cantalapiedra-Hijar G, Dewhurst RJ, Cheng L, Cabrita ARJ, Fonseca AJM, Nozière P, Makowski D, Fouillet H, Ortigues-Marty I. Nitrogen isotopic fractionation as a biomarker for nitrogen use efficiency in ruminants: A meta-analysis. *Animal.* 2018; 12 (9): 1827–1837. DOI: 10.1017/S1751731117003391.
7. Cavani L, Brown WE, Parker Gaddis KL, Tempelman RJ, VandeHaar MJ, White HM, Peñagaricano F, & Weigel KA. Estimates of genetic parameters for feeding behavior traits and their associations with feed efficiency in Holstein cows. *J Dairy Sci.* 2022; 105 (9): 7564–7574. DOI: 10.3168/jds.2022-22066.

8. Chen Y, Vanderick S, Mota RR, Grelet C, GplusE Consortium, Gengler N. Estimation of genetic parameters for predicted nitrogen use efficiency and losses in early lactation of Holstein cows. *J Dairy Sci.* 2021; 104 (4): 4413–4423. DOI: 10.3168/jds.2020-18849.
9. Chen Y, Atashi H, Grelet C, Vanderick S, Hu H, Gengler N. Defining a nitrogen efficiency index in Holstein cows and assessing its potential effect on the breeding program of bulls. *J Dairy Sci.* 2022; 105 (9): 7575–7587. DOI: 10.3168/jds.2021-21681.
10. Chen Y, Atashi H, Grelet C, Mota RR, Vanderick S, Hu H, GplusE Consortium, Gengler N. Genome-wide association study and functional annotation analyses for nitrogen efficiency index and its composition traits in dairy cattle. *J Dairy Sci.* 2023; 106 (5): 3397–3410. DOI: 10.3168/jds.2022-22351.
11. Coffey M. Advances in dairy cattle breeding to incorporate feed conversion efficiency in national genetic evaluations. In: *Advances in breeding of dairy cattle*. Ed. by J. van der Werf, J. Pryce. Burleigh Dodds Science Publishing Limited, 2020: 173–189. DOI: 10.19103/AS.2019.0058.11.
12. De Jong G, Bouwmeester-Vosman JJ, van der Linde C, de Haas Y, Schopen GCB, Veerkamp RF. Feed intake genetic evaluation: progress and an index for saved feed cost. Proceedings of the 2019 Interbull Meeting, Cincinnati, OH (USA), 23–26 June 2019. *Interbull Bull.* 2019; 55. Available at: <https://journal.interbull.org/index.php/ib/article/view/171>
13. Delgado B, Bach A, Guasch I, González C, Elcoso G, Pryce JE, Gonzalez-Recio O. Whole rumen metagenome sequencing allows classifying and predicting feed efficiency and intake levels in cattle. *Sci Rep.* 2019; 9: 11. DOI: 10.1038/s41598-018-36673-w.
14. Dórea JRR, Rosa GJM, Weld KA, Armentano LE. Mining data from milk infrared spectroscopy to improve feed intake predictions in lactating dairy cows. *J Dairy Sci.* 2018; 101 (7): 5878–5889. DOI: 10.3168/jds.2017-13997.
15. Fischer A, Dai X, Kalscheur KF. Feed efficiency of lactating Holstein cows is repeatable within diet but less reproducible when changing dietary starch and forage concentrations. *Animal.* 2022; 16 (8): 100599. DOI: 10.1016/j.animal.2022.100599.
16. Hayes B. *Genomes, phenomes and microbiomes to improve health, welfare and productivity of livestock*. The University of Queensland, Australia, 2019: 25 p.
17. Houlahan K, Schenkel FS, Hailemariam D, Lassen J, Kargo M, Cole JB, Connor EE, Wegmann S, Oliveira Júnior GA, Miglior F, Fleming A, Chud TCS, Baes CF. Effects of incorporating dry matter intake and residual feed intake into a selection index for dairy cattle using deterministic modeling. *Animals.* 2021; 11 (4): 1157. DOI: 10.3390/ani11041157.
18. Karlsson J, Danielsson R, Åkerlind M, Holtenius K. Full-lactation performance of multiparous dairy cows with differing residual feed intake. *PLoS ONE.* 2022; 17 (8): e0273420. DOI: 10.1371/journal.pone.0273420.
19. Khanal P, Parker Gaddis KL, Vandehaar MJ, Weigel KA, White HM, Peñagaricano F, Koltjes JE, Santos JEP, Baldwin RL, Burchard JF, Dürr JW, Tempelman RJ. Multiple-trait random regression modeling of feed efficiency in US Holsteins. *J Dairy Sci.* 2022; 105 (7): 5954–5971. DOI: 10.3168/jds.2021-21739.
20. Krattenmacher N, Thaller G, Tetens J. Analysis of the genetic architecture of energy balance and its major determinants dry matter intake and energy-corrected milk yield in primiparous Holstein cows. *J Dairy Sci.* 2019; 102 (4): 3241–3253. DOI: 10.3168/jds.2018-15480.
21. Lam S, Miglior F, Fonseca PAS, Gómez-Redondo I, Zeidan J, Suárez-Vega A, Schenkel F, Guan LL, Waters S, Stothard P, Cánovas A. Identification of functional candidate variants and genes for feed efficiency in Holstein and Jersey cattle breeds using RNA-sequencing. *J Dairy Sci.* 2021; 104 (2): 1928–1950. DOI: 10.3168/jds.2020-18241.
22. Lassen J, Thomassen JR, Hansen RH, Nielsen GGB, Olsen E, Stentebjerg PRB, Hansen NW, Borchersen S. Individual measures of feed intake on in-house commercial dairy cattle using 3D camera technology. *Proc. World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*. Auckland, New Zealand, 2018: 635.
23. Li B, Fang L, Null DJ, Hutchison JL, Connor EE, VanRaden PM, VandeHaar MJ, Tempelman RJ, Weigel KA, Cole JB. High-density genome-wide association study for residual feed intake in Holstein dairy cattle. *J Dairy Sci.* 2019; 102 (12): 11067–11080. DOI: 10.3168/jds.2019-16645.
24. Li F, Li C, Chen Y, Liu J, Zhang C, Irving B, Fitzsimmons C, Plastow G, Guan LL. Host genetics influence the rumen microbiota and heritable rumen microbial features associate with feed efficiency in cattle. *Microbiome.* 2019; 7: 92. DOI: 10.1186/s40168-019-0699-1.
25. Madilindi MA, Zishiri OT, Dube B, Banga CB. Technological advances in genetic improvement of feed efficiency in dairy cattle: A review. *Livestock Sci.* 2022; 258: 104871. DOI: 10.1016/j.livsci.2022.104871.
26. Manzanilla-Pech CIV, Løvendahl P, Mansan Gordo D, Difford GF, Pryce JE, Schenkel F, Wegmann S, Miglior F, Chud TC, Moate PJ, Williams SRO, Richardson CM, Stothard P, Lassen J. Breeding for reduced methane emission and feed-efficient Holstein cows: An international response. *J Dairy Sci.* 2021; 104 (8): 8983–9001. DOI: 10.3168/jds.2020-19889.
27. Manzanilla-Pech CIV, Stephansen RB, Difford GF, Løvendahl P, Lassen J. Selecting for feed efficient cows will help to reduce methane gas emissions. *Front Gen.* 2022; 13: 885932. DOI: 10.3389/fgene.2022.885932.
28. Martin MJ, Dórea JRR, Borchers MR, Wallace RL, Bertics SJ, Denise SK, Weigel KA, White HM. Comparison of methods to predict feed intake and residual feed intake using behavioral and metabolite data in addition to classical performance variables. *J Dairy Sci.* 2021; 104 (8): 8765–8782. DOI: 10.3168/jds.2020-20051.
29. McGovern E, Kenny DA, McCabe MS, Fitzsimmons C, McGee M, Kelly AK, Waters SM. 16S rRNA sequencing reveals relationship between potent cellulolytic genera and feed efficiency in the rumen of bulls. *Front Microbiol.* 2018; 9: 1842. DOI: 10.3389/fmicb.2018.01842.
30. Miglior F, Baes C, Cánovas A, Coffey M, Connor E, De Pauw M, Goddard E, Hailu G, Lassen J, Malchiodi F, Osborne V, Pryce J, Sargolzaei M, Schenkel F, Wall E, Wang Z, Wegman S, Wright T, Stothard PA. Progress report for the Efficient Dairy Genome Project. *J Anim Sci.* 2018; 96 (3): 123. DOI: 10.1093/jas/sky404.271.
31. Montenegro JD. Gene Co-expression network analysis. In: Edwards D. (ed.). *Plant Bioinformatics: Methods and Protocols. Method Mol Biol.* 2022; 2443: 387–404. DOI: 10.1007/978-1-0716-2067-0\_19.
32. Nadri S, Sadeghi-Sefidmazgi A, Zamani P, Ghorbani GR, Toghiani S. Implementation of feed efficiency in Iranian Holstein Breeding Program. *Animals.* 2023; 13 (7): 1216. DOI: 10.3390/ani13071216.
33. Nehme Marinho M, Zimpel R, Peñagaricano F, Santos JEP. Assessing feed efficiency in early and mid lactation and its associations with performance and health in Holstein cows. *J Dairy Sci.* 2021; 104 (5): 5493–5507. DOI: 10.3168/jds.2020-19652.
34. Nehme Marinho M, Santos JEP. Association of residual feed intake with blood metabolites and reproduction in Holstein cows. *Front Anim Sci.* 2022; 3: 847574. DOI: 10.3389/fanim.2022.847574.
35. Parker Gaddis KL, VanRaden PM, Tempelman RJ, Weigel KA, White HM, Peñagaricano F, Koltjes JE, Santos JEP, Baldwin RL, Burchard JF, Dürr JW, VandeHaar MJ. Implementation of Feed Saved evaluations in the U.S. Proceedings of the 2021 Interbull Meeting, Leeuwarden (Netherlands), April 26–30, 2021. *Interbull Bull.* 2021; 56: 147–152. Available at: <https://journal.interbull.org/index.php/ib/article/view/72>
36. Price of Feed. *IBISWorld*, published April 23, 2024. Available at: <https://www.ibisworld.com/us/bed/price-of-feed/745>
37. Pryce JE, Nguyen TTT, Axford M, Nieuwhof G, Shaffer M. Symposium review: Building a better cow — the Australian experience and future perspectives. *J Dairy Sci.* 2018; 101 (4): 3702–3713. DOI: 10.3168/jds.2017-13377.
38. Qadri QR, Zhao Q, Lai X, Zhang Z, Zhao W, Pan Y, Wang Q. Estimation of complex-trait prediction accuracy from the different holo-omics interaction models. *Genes.* 2022; 13 (9): 1580. DOI: 10.3390/genes13091580.
39. Richardson CM, Baes CF, Amer PR, Quinton C, Martin P, Osborne VR, Pryce JE, Miglior F. Determining the economic value of daily dry

- matter intake and associated methane emissions in dairy cattle. *Animal*. 2020; 14 (1): 171–179. DOI: 10.1017/S175173111900154X.
40. Ruban SY, Perekrestova AV, Shablia VP, Bochkov VM. Feed conversion efficiency in different groups of dairy cows. *Ukr J Ecol*. 2018; 8 (1): 124–129. DOI: 10.15421/2018\_196.
41. Ruban SY, Danshin VO, Fedota AM. Possibilities of application of feed efficiency and reproduction traits in dairy cattle breeding of Ukraine. *Anim Sci Food Tech*. 2019; 10 (3): 41–55. DOI: 10.31548/animal2019.03.041. (in Ukrainian)
42. Ruban SY, Danshin VO, Kyrii AA. Genetic improvement of dairy cattle for feed efficiency and fertility. *Dynamics of the development of world science: VII International scientific and practical conference, Vancouver (Canada), March 18–20, 2020*: 157–162.
43. Ruban S, Danshin V. Perspectives for the use of genomic selection for genetic improvement of dairy cattle in Ukraine. *Ukr Black Sea Reg Agr Sci*. 2023; 27 (1): 20–29. DOI: 10.56407/bs.agrarian/1.2023.20.
44. Salleh SM, Mazzoni G, Løvendahl P, Kadarmideen HN. Gene co-expression networks from RNA sequencing of dairy cattle identifies genes and pathways affecting feed efficiency. *BMC Bioinform*. 2018; 19: 513. DOI: 10.1186/s12859-018-2553-z.
45. Seymour DJ, Cánovas A, Baes CF, Chud TCS, Osborne VR, Cant JP, Brito LF, Gredler-Grandl B, Finocchiaro R, Veerkamp RF, de Haas Y, Miglior F. Invited review: Determination of large-scale individual dry matter intake phenotypes in dairy cattle. *J Anim Sci*. 2019; 102 (9): 7655–7663. DOI: 10.3168/jds.2019-16454.
46. Thomasen JR, Lassen J, Nielsen GGB, Borggard C, Stentebjerg PRB, Hansen RH, Hansen NW, Borchersen S. Individual cow identification in a commercial herd using 3D camera technology. *Proc. World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*. Auckland (New Zealand), 2018: 613.
47. VanRaden PM, Cole J, Neupane M, Toghiani S, Parker Gaddis KL, Tempelman RJ. Net merit as a Measure of Lifetime Profit: 2021 Revision. *AIP RESEARCH REPORT NM\$8 (05-21)*. 2021: 20 p. Available at: [https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/80420530/Publications/ARR/nmcalc-2021\\_ARR-NM8.pdf](https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/80420530/Publications/ARR/nmcalc-2021_ARR-NM8.pdf)
48. Wallace RJ, Sasson G, Gamsworthy PC, Tapio I, Gregson E, Bani P, Huhtanen P, Bayat AR, Strozzi F, Biscarini F, Snelling TJ, Saunders N, Potterton SL, Craigon J, Minuti A, Trevisi E, Callegari ML, Piccioli Cappelli F, Cabezas-Garcia EH, Vilkki J, Pinares-Patino C, Fliegerová KO, Mrázek J, Sechovcová H, Kopečný J, Bonin A, Boyer F, Taberlet P, Kokou F, Halperin E, Williams JL, Shingfield KJ, Mizrahi I. A heritable subset of the core rumen microbiome dictates dairy cow productivity and emissions. *Sci Adv*. 2019; 5 (7): eaav8391. DOI: 10.1126/sciadv.aav8391.
49. Zhang L, Gengler N, Dehareng F, Colinet F, Froidmont E, Soyeurt H. Can we observe expected behaviors at large and individual scales for feed efficiency-related traits predicted partly from milk mid-infrared spectra? *Animals*. 2020; 10 (5): 873. DOI: 10.3390/ani10050873.

## Ефективність використання корму молочної худоби як генетична ознака

С. Ю. Рубан, В. О. Даншин  
rubansy@gmail.com

Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна

Цю оглядову статтю присвячено визначенню показників ефективності використання корму в розведенні молочної худоби. Ефективною вважають корову, яка дає однакову кількість молока та його сухих компонентів, споживаючи менше корму і залишаючись здоровою та плідною, що дозволяє скоротити витрати без зниження об'єму виробництва. Підвищення ефективності використання корму є економічно важливим через зростання вартості кормів. Ефективність використання корму — генетично складна ознака, яку можна описати в одиницях виходу продукту (наприклад, надій) на одиницю спожитого корму. На сьогодні генетичну оцінку ефективності використання корму молочної худоби регулярно проводять у кількох країнах, серед яких — Австралія, США, Канада, Нідерланди, Данія, Швеція, Фінляндія, Норвегія та Велика Британія. У різних країнах використовують різні показники ефективності використання корму молочних корів. Основними ознаками ефективності використання корму є споживання сухої речовини, валова ефективність використання корму, залишкове споживання корму, енергетичний баланс і економія корму. Повногеномні дослідження зв'язків показали, що ефективність використання корму є полігенною ознакою. Тим не менш, було виявлено кілька генів, які значно впливають на ефективність використання корму. Оцінки успадкованості цих ознак коливаються від 0,07 до 0,49, показують наявність значної генетичної мінливості цих ознак і, отже, можливість їх генетичного покращення за умов введення до селекційних програм. Зміни в раціоні та мікробіом рубця суттєво впливають на ефективність використання корму молочних корів. Ефективність використання корму пов'язана з емісією метану і надлишковим виділенням азоту. Генетичне покращення ефективності використання корму потребує обліку індивідуальних даних про споживання корму коровами. Такі дані обмежені. Існує два варіанти вирішення цієї проблеми: використання непрямих предикторів і геномне передбачення. Точність геномного передбачення в різних країнах коливається від 0,21 до 0,61. Міжнародні спільні проекти (такі, як *Efficient Dairy Genome Project* в Канаді) були запроваджені з метою створення великих баз даних і підвищення точності геномного передбачення ознак ефективності використання корму. Майбутніми напрямками досліджень є використання новітніх технологій — спектроскопії середнього інфрачервоного діапазону, штучного інтелекту, голо-оміки.

**Ключові слова:** споживання сухої речовини, енергетичний баланс, залишкове споживання корму, економія корму, успадкованість, геномна селекція, голо-оміка





## Studies on the response of normal and irradiated pink bollworm males towards pheromone source

G. Akshatha, M. Bheemanna, S. G. Hanchinal, A. Prabhuraj,  
R. V. Haveri, J. M. Nidagundi, M. Lakshmikanth

akshatha.g24@gmail.com



University of Agricultural Sciences, Raichur, Karnataka 584101, India

### ORCID:

G. Akshatha <https://orcid.org/0000-0002-6981-9407>  
M. Bheemanna <https://orcid.org/0009-0003-8725-407X>  
S. G. Hanchinal <https://orcid.org/0000-0002-6162-6133>

### Authors' Contributions:

**GA:** Conceptualization; Methodology; Validation; Supervision; Formal analysis; Visualization; Writing — review & editing.  
**MB:** Conceptualization; Methodology; Validation.  
**SGH:** Methodology; Validation; Formal analysis; Visualization; Writing — review & editing.  
**AP:** Investigation; Data curation; Writing — original draft.  
**HR:** Investigation; Data curation.  
**NJM:** Investigation; Validation; Formal analysis.  
**LM:** Investigation; Validation; Formal analysis.

### Declaration of Conflict of Interests:

None to declare.

### Ethical approval:

Not applicable.

### Acknowledgements:

None.



Attribution 4.0 International  
(CC BY 4.0)

Sterile Insect Technique (SIT) is the right eco-friendly method to overcome the pink bollworm *Pectinophora gossypiella* (Saunders) menace. In SIT attractiveness of released moths to their natural counterpart is most important as such this ability was examined in our study. For this, newly emerged five virgin female gamma irradiated with 0–250 Gy were used. These females were placed inside small plastic vial provided with aeration and suspended inside the delta traps by providing 10% honey solution. Traps were placed in the field during evening. Moth catches in each trap were counted and removed daily and these observations continued up to 5 days. In a same manner irradiated males were released separately inside the field cage to know its attractiveness to virgin female. The results indicated that attraction of male moths to irradiated virgin females decreased significantly with increasing doses of radiation i.e., at 200 and 250 Gy. The number of males captured per female was greatest on day 2<sup>nd</sup> due to its peak sexual activity, i.e., 25.60, 23.05, 19.45, 14, 9.4 and 5.9 moths at 0, 50, 100, 150, 150, 200, and 250 Gy, respectively. Gamma radiation also affected the irradiated males to find their natural mates at a higher dose; however, the maximum number of 5.30, 5.95 and 5.10 irradiated male moths were attracted to the natural pheromone secreted by female moths at 50, 100 and 150 Gy respectively, compared to the 6.80 moths at 0 Gy. The results on attractiveness of irradiated male moths towards virgin female-baited traps were considered a good measure of male competitiveness.

**Key words:** *Pectinophora gossypiella*, Gamma radiation, competitiveness, Sterile Insect Technique

## Introduction

Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) is the most important commercial crop producing natural fiber; this white gold is being grown in more than 111 countries as a commercial crop across the world. India is the largest producer of cotton globally; this crop holds significant importance for the Indian economy and the livelihood of Indian cotton farmers. India ranks first in cotton cultivation with 120.69 lakh hectares with an annual production of 340.62 lakh bales and a mean productivity of 469 kg/ha [3]. In Karnataka, cotton is being cultivated in 8.97 lakh hectares with a pro-

duction of 21.48 lakh bales and productivity of 407 kg/ha [15]. Despite the promising scenario in cotton, several biotic and abiotic factors are responsible for the reduction in yield and quality deterioration of cotton in India. Among the biotic factors, insect pests are major in India.

Among the biotic problem, bollworms such as *Helicoverpa armigera* (Hub.), *Earias vittella* (F) and *Pectinophora gossypiella* (Saunders) are important [22]. The first two species of bollworms ruled cotton production before the introduction of *Bt* cotton in 2002. But in recent years, pink bollworm has emerged as a threat to cotton cultivation across the India.

The pink bollworm (PBW), *Pectinophora gossypiella* (Saunders), is one of the key pests of cotton, which damages the seeds and fiber, thereby causing economic losses. The cotton pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Saunders), was originally reported from India in 1842. It feeds on cotton, okra, hibiscus and a few other species of *Malvaceous* plants. The incidence of pink bollworm goes unnoticed by the farmers since young larvae enter the cotton boll during the developing stage and remain inside the seeds. Its damage will be seen only when bad-opened bolls with damaged seeds are found at the harvesting stage. As cotton is used for both fiber and seed oil the damage is twofold.

After the introduction of *Bt* cotton, farmers reaped the benefits of high lint yield and major bollworm control until 2010. But, since 2010 pink bollworm has slowly increased its pest status. PBW resistance to Cry1Ac was first confirmed in four districts of Gujarat [11]. Studies conducted clearly indicated that the PBW developed resistance to cry toxins deployed in Bollgard II [16]. Surveys conducted across India showed progressive increases in the survival rate of PBW larvae in green bolls of *Bt*-II cotton  $F_1$  hybrid varieties [21]. The pink bollworm damage to *Bt* cotton varies across India, In south zone, highest larval recovery and green boll damage due to PBW was recorded at Raichur (10.9–50.83%). In central zone, the green boll damage (%) due to PBW ranged from 0.0–40.0 and maximum damage was observed at Akola and in north zone the green boll damage (%) due to PBW was ranged from 0.50–11.25 and maximum damage was recorded at Sirsa [15].

All the efforts were failed to prevent pink bollworm further losses including conventional pesticides; the pest exasperate and caused 40–80% damage in different parts of the country [16]. In these incongruous situations, such as resistance to chemicals and *Bt* toxins by PBW, farmers need an alternative eco-friendly control measures for cotton pink bollworm. Mass trapping [4, 5], mating disruption by SPLAT-PBW [24] are currently promising eco-friendly technologies in *Bt* cotton eco-system to manage pink bollworm. Along with these, sterile insect technique (SIT) is also gaining equal importance. In sterile insect technique, exposed gamma radiation make insects reproductively sterile by causing germ-cell chromosome fragmentation that leads to dominant lethal mutations, resulting in imbalanced gametes, the inhibition of mitosis and the ultimate death of the embryo.

Now, the modified version of the sterile insect technique, i.e.,  $F_1$  sterility technique, is widely used across the world to target lepidopteran pests. In  $F_1$  sterility male parents are exposed to a sub-sterilizing dose of radiation and are released into fields to mate with wild females of the pest species, Thus, the resulting  $F_1$  progeny are more sterile than the irradiated parent. The modification over original SIT technique is mainly because to optimize radio tolerance in lepidoptearans. These, lepidoptearans are radio resistant compared with most other

insects. Possible molecular mechanisms responsible for the high radio resistance in lepidoptera might be due to their holokinetic chromosomes nature [18].

Further, because the sterile  $F_1$  progeny developed under field conditions, the detrimental effects of laboratory rearing, handling, and irradiation are eliminated and the biological rhythms of the  $F_1$  generation are in synchrony with those of the wild population [17]. All studies have shown that  $F_1$  sterility is compatible with other pest control tactics [7, 8, 19, 20].

The pragmatic application of  $F_1$  sterility or inherited sterility technique has been studied for many economically important lepidopteran species.  $F_1$  sterility is successfully used to eradicate the pink bollworm along with the transgenic *Bt* cotton in USA [25]. USA scientist joined the forum to eradicate the pink bollworm in Mexico and China [25]. This technique is being practiced in limited field conditions in Egypt [12]. In India, S. Hanchinal et al. [14] studied the effect of various gamma radiation dose (50–250 Gy) on reproductive biology of pink bollworm and selected 150 Gy as an appropriate ionizing dose to be employed for  $F_1$  sterility technique. G. Akshatha [2] who studied the impact of gamma radiation on the reproductive behaviour of pink bollworm and reported that 150 Gy is sub-sterilizing dose for pink bollworm males wherein the same dose causes complete sterility in females, Further, this 150 Gy did not downstream the mating quality of the released males and contributes 100 % sterility in the all the  $F_1$  out crosses. Hence, ability of the both irradiated male and female (0–250 Gy) to attract their natural counterpart play an important role in population suppression especially when both sexes are irradiated and released. As such this ability was examined in our studies. Here the effect of both female and male age on their attractiveness to natural counterpart was also determined here.

## Materials and Methods

### Rearing of *P. gossypiella* on semi synthetic diet

The individual field collected larvae were reared on an artificial diet in bioassay trays with 158 cavities and covered with a perforated cap until pupation. The fresh diet was supplemented whenever necessary. Sex differentiation of the pink bollworm was done both in the larval and pupal stages, as mentioned by [10] for pairing adult moths. After adult emergence, they were collected and released in oviposition jars of 45×30×30 cm (l×b×h) cm size containing cotton twigs with terminal leaves and squares inserted in a small plastic container with a 10 per cent sucrose solution as adult food and also for egg laying. The bottom of the twigs was immersed in water to retain the turgidity of the tissue. Cotton twigs were changed once every three days in the oviposition jars; cut-off twigs were transferred to a transparent plastic container covered with black cloth and tightly fastened with a rubber band for egg

hatching. And this setup was maintained for up to 7–10 days. Once eggs passed their incubation period, the hatched first instar larvae were transferred individually into rearing trays containing a semi synthetic diet [10] and covered with a perforated cap.

The final instar larvae were later transferred individually to a plastic vial with perforations on the cap for aeration. A fresh diet was supplemented whenever necessary until pupation. Larvae were maintained in the growth chamber by maintaining the temperature at  $27\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , relative humidity of  $65\pm 5\%$  and photoperiod of 14L:10D until pupation. This culture was utilized for further investigations into radiobiological studies under the laboratory conditions mentioned above.

#### Sex differentiation in pink bollworm

The determination of sexes based on external characteristics was essential for the mass-rearing of pink bollworms. The identifying characters of pupae are mainly based on the position of the genital and anal openings. Males and females were differentiated in the larval stage itself based on the presence of a pair of dark-colored testis in the 7<sup>th</sup>–8<sup>th</sup> abdominal segments of male. Whereas in female it is absent.

#### Irradiation technique and sterilization process of pink bollworm

Most commonly used radiation source, cobalt-60 ( $\text{CO}^{60}$ ) was used for the exposure of mature pupae through Gamma Chamber-5000.

#### Irradiation unit-Gamma Chamber-5000: Working principle

Gamma Chamber-5000 is a compact self-shielded cobalt-60 gamma irradiator providing an irradiation volume of approximately 5000 cc. The material for irradiation placed in sample chamber located in the vertical drawer inside the lead flask. This drawer can be moved up and down with the help of a system of motorized drive which enables precise positioning of the sample chamber at the center of the radiation field. Radiation field is provided by a set of stationary cobalt-60 sources placed in a cylindrical cage. The sources are doubly encapsulated in corrosion resistant stainless steel pencils and are tested in accordance with international standards. Two access holes of 8 mm diameter are provided in the vertical drawer for introduction of service sleeves for gases, thermocouple, etc. A mechanism for rotating/stirring samples during irradiation is also facilitated. The lead shield provided around the source is adequate to keep the external radiation field well within permissible limits.

#### Response of the normal and irradiated pink bollworm population towards the pheromone source

The ability of irradiated male and females to attract their natural counterpart play an important role in population suppression especially when both sexes are irradiated and released.

#### Response of normal pink bollworm males towards irradiated females pheromone source

For this study, mature female PBW pupae were irradiated at 0, 50, 100, 150, 200 and 250 Gy (Plate 6) and these pupae were kept separately. Newly emerged females from each dose were used as bait in Delta traps separately. Here five irradiated virgin females were confined inside small plastic vial (perforated for aeration) and suspended inside the traps for each dose. The females were provided with a 10% honey solution on a cotton wick and this honey was provided every alternate day by using syringe. Traps were hung at the level of plant canopy and placed in the field in the evening. Moth catches in each trap and in respective replications were counted. and removed daily and these observations continued up to 8 days. The effect of gamma dose and female age on their attractiveness to male moths was also determined.

#### Response of irradiated pink bollworm males towards normal female pheromone source

The cage experiment was conducted to study the response of gamma irradiated male moths to natural pheromone released by the female moths. This study was conducted under shade net and each blocks were separated by net. Cotton plants were raised in a 360 m<sup>2</sup> area as per the package of practices. During the flowering stage of the crop, the crop was covered with nylon nets of size 25×30m<sup>2</sup>, as such, six blocks were made inside the shade net. The native population of PBW remaining inside the field cages was monitored using gossypure-baited traps and inspection of cotton fruiting bodies on a weekly basis. Monitoring was continued until no individuals were present in the gossypure baited trap. Later, five normal virgin females were confined inside small plastic vial (perforated for aeration) and suspended inside the traps instead of gossypure for each dose. The females were provided with a 10% honey solution on a cotton wick and this honey was provided every alternate day by using a syringe. Traps were hung at the level of the plant canopy and placed in the shade net house in the evening, Meantime, 100 PBW male adults irradiated at 0, 50, 100, 150, 200 and 250 Gy were released separately in each nylon net containing five virgin normal females suspended inside the trap. Here irradiated male moths captured in each trap were counted and removed daily.

### **Results and discussion**

#### Studies on the response of the normal and irradiated pink bollworm moths towards the pheromone source

The ability of the irradiated females and males to attract their natural counterparts plays an important role in population suppression especially when both sexes are irradiated and released. As such, this ability was examined in the present studies.

**Table 1.** Response of normal pink bollworm males to irradiated female pink bollworm as a pheromone source

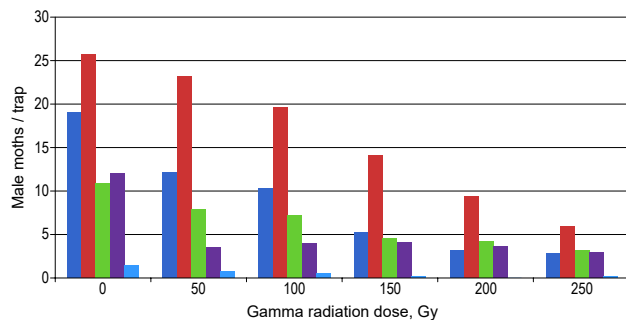
Treatments	Number of male moths attracted to irradiated virgin female				
	1 <sup>st</sup> day	2 <sup>nd</sup> day	3 <sup>rd</sup> day	4 <sup>th</sup> day	5 <sup>th</sup> day
T <sub>1</sub> : 0 Gy	18.90 (4.40) <sup>c*</sup>	25.60 (5.11) <sup>c*</sup>	10.80 (3.36) <sup>b*</sup>	11.95 (3.53) <sup>b*</sup>	1.40 (1.38) <sup>b*</sup>
T <sub>2</sub> : 50 Gy	12.10 (3.55) <sup>b</sup>	23.05 (4.85) <sup>c</sup>	7.85 (2.89) <sup>b</sup>	3.55 (2.01) <sup>a</sup>	0.70 (1.10) <sup>a</sup>
T <sub>3</sub> : 100 Gy	10.20 (3.27) <sup>b</sup>	19.45 (4.47) <sup>b</sup>	7.05 (2.75) <sup>b</sup>	4.00 (2.12) <sup>a</sup>	0.55 (1.02) <sup>a</sup>
T <sub>4</sub> : 150 Gy	5.20 (2.39) <sup>a</sup>	14.00 (3.81) <sup>b</sup>	4.40 (2.21) <sup>a</sup>	4.05 (2.13) <sup>a</sup>	0.10 (0.77) <sup>a</sup>
T <sub>5</sub> : 200 Gy	3.15 (1.91) <sup>a</sup>	9.40 (3.15) <sup>a</sup>	4.05 (2.13) <sup>a</sup>	3.65 (2.04) <sup>a</sup>	0.00 (0.71) <sup>a</sup>
T <sub>6</sub> : 250 Gy	2.80 (1.82) <sup>a</sup>	5.90 (2.53) <sup>a</sup>	3.10 (1.90) <sup>a</sup>	2.85 (1.83) <sup>a</sup>	0.05 (0.74) <sup>a</sup>
SE, m±	0.25	0.17	0.23	0.23	0.15
CD @ 5%	0.75	0.87	0.67	0.69	0.45
CV, %	16.28	14.05	18.12	19.52	20.20

Note. \* — figures in the parentheses are  $\sqrt{X+0.5}$  transformed values.

**Response of normal pink bollworm males towards irradiated female**

The mean number of PBW males captured in each trap baited with virgin females irradiated at different doses was shown in table 1. Our results showed that male moths responded to all the female exposed to different doses radiation. However, female attractiveness was significantly reduced at higher doses of 200 and 250 Gy. The responses of males to traps baited with untreated control females were significantly higher than for traps baited with irradiated females. Female age also affected the male moths capture. Male moths captured in each trap baited with females irradiated at different doses of irradiation were drastically reduced when calling females were older than two days.

The number of male moths captured at 24 hours after the sleeve funnel traps were installed in the field was 18.90, 12.10, 10.20, 10.11, 8.51, and 2.8 moths at 0, 50, 100, 150, 200, and 250 Gy exposed females, respectively. Whereas maximum male moths were captured on the second day, i.e., 25.60, 23.05, 19.45, 14, 9.4 and 5.9 moths at 0, 50, 100, 150, 200, and 250 Gy,

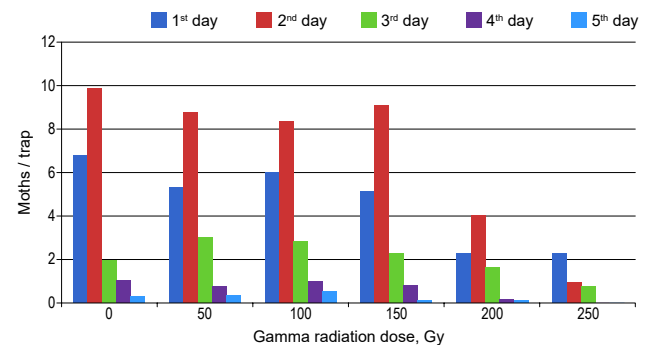


**Fig. 1.** Mean number of pink bollworm male moths captured at different day intervals towards the virgin females irradiated at different doses

**Table 2.** Response of irradiated pink bollworm males to normal female as a pheromone source in the caged condition

Treatments	Number of irradiated male moths attracted to virgin female				
	1 <sup>st</sup> day	2 <sup>nd</sup> day	3 <sup>rd</sup> day	4 <sup>th</sup> day	5 <sup>th</sup> day
T <sub>1</sub> : 0 Gy	6.80 (2.70) <sup>b</sup>	9.90 (3.22) <sup>c</sup>	4.10 (2.14) <sup>b</sup>	1.05 (1.24)	0.30 (0.89)
T <sub>2</sub> : 50 Gy	5.30 (2.41) <sup>b</sup>	9.10 (3.10) <sup>c</sup>	3.00 (1.87) <sup>b</sup>	0.80 (1.14)	0.35 (0.92)
T <sub>3</sub> : 100 Gy	5.95 (2.54) <sup>b</sup>	8.75 (3.04) <sup>c</sup>	2.85 (1.83) <sup>b</sup>	1.00 (1.22)	0.50 (1.00)
T <sub>4</sub> : 150 Gy	5.10 (2.37) <sup>b</sup>	8.79 (3.04) <sup>c</sup>	2.25 (1.66) <sup>a</sup>	0.85 (1.16)	0.10 (0.77)
T <sub>5</sub> : 200 Gy	2.30 (1.67) <sup>a</sup>	4.05 (2.13) <sup>b</sup>	1.65 (1.47) <sup>a</sup>	0.15 (0.81)	0.10 (0.77)
T <sub>6</sub> : 250 Gy	2.25 (1.66) <sup>a</sup>	0.95 (1.20) <sup>a</sup>	0.80 (1.14) <sup>a</sup>	0.00 (0.71)	0.00 (0.71)
SE, m±	0.19	0.29	0.22		
CD @ 5%	0.57	0.88	0.68	NS	NS
CV, %	6.49	7.69	9.16		

respectively. The mean number of male moths captured 72 hours after the female exposed in trap ranged from 10.80 to 3.1 moths at 0–250 Gy. On the 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> day, the mean number of male moths captured ranged from 11.95 to 2.85 and 1.40 to 0.05 at 0–250 Gy, respectively. Higher dose of 150, 200 and 250 Gy affected the calling behavior of irradiated females kept in the trap even for the first two days (fig. 1). In general, when radiation dosages increased, male moths' attractiveness to irradiated virgin females declined noticeably. Male moths reacted more quickly to untreated virgin females than to females that had received radiation. On the second day, there were more males captured per female. It might be due to the peak mating activity for both treated and native moths began at 23:00 hours after emergence and peak sexual activity was recorded during the early morning (02:00–03:00) as documented by the number of mating pairs collected from mating tables containing treated, native or mixed source clipped-wing females revealed that mating activity for both treated and native PBW moths began at 23:00 hours. Peak sexual activity was recorded during the early morning (02:00–03:00) [1].



**Fig. 2.** Number of irradiated male moths attracted to the virgin females kept in the trap under field cage conditions



The results are in concurrent with the results of Hendricks and Garcia indicated that virgin female pink bollworms irradiated with 25 krad were somewhat less attractive than untreated virgin females, traps containing 15 live irradiated females were exposed in the field for 10 days and averages of 4.49 and 3.90 moths were caught for untreated and irradiated females, respectively. In contradictory to the present results, H. M. Flint et al. [13] reported that trap tests with female pink bollworms irradiated with doses of 0 or 25 krad indicated no reduction of their attractiveness when compared with untreated female, they supported their findings as, attractiveness of continuous mass reared insects are more compared to the native insects, the difference was mainly witnessed when their fecundity was reduced at higher dose like 250 Gy. The results are in agreement with the N. Ahmad et al. [1] who reported that attraction of pink bollworm male moths to irradiated virgin females decreased significantly with the increasing doses of radiation (0–200 Gy). The highest number of male moths was captured at 48 hours after the release. Female age was also affected the male moth capture. Captures of male moths was drastically reduced when calling females were older than two days.

#### Studies on the response of irradiated pink bollworm males towards normal female pheromone source in the caged condition

Gamma radiation affected the irradiated males to find their mates at a higher dose; however, the maximum number of 5.30, 5.95 and 5.10 irradiated male moths were attracted to the natural pheromone secreted by female moths at 50, 100 and 150 Gy respectively, compared to the 6.80 moths at 0 Gy. At higher doses of 200 and 250 Gy, 2.30 and 2.25 moths were attracted 24 hours after the release. It indicated that an increase in the dose of irradiation affected male moths orientation towards virgin female moths.

The maximum attraction of the released irradiated male moths towards the natural female was noticed on the 2<sup>nd</sup> day, i.e., 8.75, 8.30, 9.10, 4.05 and 0.95 at 50, 100, 150, 200 and 250 Gy, respectively compared to the untreated control, where it was 9.90 moths. 72 hours after the release, irradiated male moths attracted towards the virgin females ranged from 4.10 to 0.80 moths at 0–250 Gy (fig. 2). The number of irradiated male moths captured in virgin female-baited traps was considered a good measure of male competitiveness. On the 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> days after the release, the number of irradiated male moths attracted to the virgin females differed non-significantly among all the dosages, including the untreated control (table 2). Our present findings suggested that the responses of males irradiated at sub-sterilized doses up to 150 Gy, towards pheromone traps in the field cages were not different from non-irradiated control moths. Adequate responses of sub sterilized male moths towards pheromone baited traps are one of the important parameters that provide indications for successful mating. Similarly,

J. E. Carpenter et al. [9] conducted study on *H. zea*, observed that males captured in pheromone traps were considered measures of male competitiveness and no significant differences were found between non-irradiated and 100 Gy-treated males. The results are in line with S. Bloem et al. [6] who examined the inherited sterility in the Codling moth (*Lepidoptera: Tortricidae*), reported that males treated with 100 Gy responded to calling virgin females in larger percentages than those treated with 200 and 250 Gy. Similarly, R. K. Seth [23] examined the mating behavior of irradiated *Spodoptera litura* (*Lepidoptera: Noctuidae*) males and their F<sub>1</sub> progeny for use of inherited sterility in pest management approaches, reported that response of males irradiated at sub-sterilized doses of 100 and 130 Gy towards pheromone traps or virgin female baited traps in field cages were not different from non-irradiated control moths.

The response of both normal males and irradiated males towards virgin irradiated females and normal females depends on the age of the female moth and also the dose. Attractiveness was found to be highest at 2<sup>nd</sup> after the release and the dose range above 150 Gy was significantly reduced the attractiveness of both sexes.

#### References

- Ahmad N, Ashraf M, Hussain T, Qureshi AZ. Feasibility of integrating radiation-induced F<sub>1</sub> sterility and biological control for population suppression of the pink bollworm *Pectinophora gossypiella*, in Pakistan. *IAEA*. 2002; 33 (19): 69–81. Available at: [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/33/018/33018393.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/33/018/33018393.pdf)
- Akshatha G. Studies on inherited sterility in the cotton Pink bollworm *Pectinophora gossypiella* (Saunders) (*Lepidoptera: Gelechiidae*). PhD Thesis, Univ. Agric. Sci. Raichur (India), 2023.
- Area production productivity. Cotton Corporation of India, 2022. Available at: <https://cotcorp.org.in>
- Athanassiou CG, Buchelos CT, Kavallieratos NG, Barbetaki AE. Evaluation of the mating disruption method for the control of the pink bollworm *Pectinophora gossypiella* (Saund.) (*Lepidoptera: Gelechiidae*) and comparison of this method with insecticidal treatments. *IOBC-WPRS Bull.* 2002; 25: 1–13.
- Attique MR, Ahmad MM, Ahmad Z. Efficacy of different sex pheromone traps for monitoring and control of pink bollworm *Pectinophora gossypiella* (Saunders): *Gelechiidae: Lepidoptera. Pakistan J Biol Sci.* 2000; 3 (2): 309–312. DOI: 10.3923/pjbs.2000.309.312.
- Bloem S, Bloem KA, Carpenter JE, Calkins CO. Inherited sterility in codling moth (*Lepidoptera: Tortricidae*): Effect of substerilizing doses of radiation on insect fecundity, fertility, and control. *Ann Entomol Soc Am.* 1999; 92 (2): 222–229. DOI: 10.1093/aesa/92.2.222.
- Bloem S, Bloem KA, Carpenter JE, Calkins CO. Season-long releases of partially sterile males for control of codling moth (*Lepidoptera: Tortricidae*) in Washington apples. *Environ Entomol.* 2001; 30 (4): 763–769. DOI: 10.1603/0046-225X-30.4.763.
- Carpenter JE, Hidryani, Sheehan W. Compatibility of F<sub>1</sub> sterility and a parasitoid, *Cotesia marginiventris* (*Hymenoptera: Braconidae*), for managing *Spodoptera exigua* (*Lepidoptera: Noctuidae*): acceptability and suitability of host. *Florida Entomol.* 1996; 79 (3): 289–295. DOI: 10.2307/3495576.

9. Carpenter JE, Sparks AN, Pair SD, Cromroy HL. *Heliothis zea* (Lepidoptera: Noctuidae): effects of radiation and inherited sterility on mating competitiveness. *J Econ Entomol.* 1989; 82 (1): 109–113. DOI: 10.1093/jee/82.1.109.
10. Dharajothi B, Valarmathi R, Nagarajanm T, Rajan TS. Larval sex differentiation of pink bollworm — an essay tool for pairing of adults for mass rearing. *CICR Newsletter* Nagpur. 2010; 26 (3): 5.
11. Dhurua S, Gujar GT. Field-evolved resistance to Bt toxin Cry1Ac in the pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Saunders) (Lepidoptera: Gelechiidae), from India. *Pest Managem Sci.* 2011; 67 (8): 898–903. DOI: 10.1002/ps.2127.
12. El-Bassouiny HM. Environmental friendly technique to control cotton pink bollworm *Pectinophora gossypiella* in Egypt. *Intern J Trop Insect Sci.* 2021; 41 (1): 1683–1687. DOI: 10.1007/s42690-020-00369-4.
13. Flint HM, Staten RT, Bariola LA, Palmer DL. Gamma-irradiated pink bollworms: Attractiveness, mating, and longevity of females. *Environ Ent.* 1973; 2 (1): 97–100. DOI: 10.1093/ee/2.1.97.
14. Hanchinal SG, Bheemanna M, Akshatha G. Feasibility of adopting sterile insect technique (SIT) for the management of pink bollworm in India. *Proceedings of national symposium "Paradigm shift in cotton cultivation"*, 2022: 317–323.
15. ICAR-All India Coordinated Research Project on Cotton. Annual Report. 2022. Available at: <https://www.aiccp.cicr.org.in/index.html>
16. Kranthi KR. Pink bollworm Strikes Bt-Cotton. *Cotton Stat News.* 2015; 16 (35):
17. La chance LE. *Genetic methods for the control of lepidopteran species.* USA Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 1985. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.132962>
18. La Chance LE. The induction of dominant lethal mutations in insects by ionizing radiation and chemicals — as related to the sterile-male technique of insect control. *Mutation Res.* 1967: 575–581.
19. Mannion CM, Carpenter JE, Gross HR. Integration of inherited sterility and a parasitoid, *Archytas marmoratus* (Diptera: Tachinidae), for managing *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae): acceptability and suitability of hosts. *Environ Entomol.* 1995; 24 (6): 1679–1684. DOI: 10.1093/ee/24.6.1679.
20. Mannion CM, Carpenter JE, Gross HR. Potential of the combined use of inherited sterility and a parasitoid, *Archytas marmoratus* (Diptera: Tachinidae), for managing *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae). *Environ Entomol.* 1994; 23 (1): 41–46. DOI: 10.1093/ee/23.1.41.
21. Naik VCB, Kumbhare S, Kranthi S, Satija U, Kranthi KR. Field evolved resistance of pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Saunders) (Lepidoptera: Gelechiidae) to transgenic Bt-cotton expressing Cry1Ac and Cry2Ab in India. *Pest Managem Sci.* 2018; 74 (11): 2544–2554. DOI: 10.1002/ps.5038.
22. Parmar VR, Patel CC. Pink bollworm: Notorious pest of cotton: A review. *AGRES Intern e-J.* 2016; 5 (2): 88–97. Available at: <https://arkgroup.arkgroup.co.in/upload/Article/6641%20Rev.pdf>
23. Seth RK, Khan Z, Rao DK, Zarin M. Appraisal of sperm dynamics as a crucial trait of radiosterilized *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) and its F<sub>1</sub> progeny for evaluation of the 'inherited sterility technique for pest suppression. *Fla Entomol.* 2016; 99 (1): 105–118. DOI: 10.1653/024.099.sp114.
24. Sreenivas AG, Markandeya G, Harischandra Naik R, Usha R, Hanchinal SG, Badariprasad PR. SPLAT-PBW: An eco-friendly, cost-effective mating disruption tool for the management of pink bollworm on cotton. *Crop Protect.* 2021; 149: 105784. DOI: 10.1016/j.cropro.2021.105784.
25. Tabashnik BE, Liesner LR, Ellsworth PC, Unnithan GC, Fabrick JA, Naranjo SE, Li X, Dennehy TJ, Antilla L, Staten RT, Carrière Y. Transgenic cotton and sterile insect releases synergize eradication of pink bollworm a century after it invaded the United States. *PNAS.* 2021; 118 (1): 2019115118. DOI: 10.1073/pnas.2019115118.

## Дослідження реакції нормальних і опромінених самців рожевої совки на джерело феромонів

Г. Акшата, М. Бгіманна, С. Г. Ганчінал, А. Прабурадх, Р. В. Хавери, Дж. М. Нідагунді, М. Лакшмікант  
akshatha.g24@gmail.com

Університет сільськогосподарських наук, Райчур, Карнатака 584101, Індія

Метод стерилізаційної боротьби з комахами (*Sterile Insect Technique*, SIT) — це екологічний метод подолання загрози рожевої совки *Pectinophora gossypiella* (Saunders). У SIT привабливість випущених метеликів для природних представників їхнього виду є найважливішою, тож ми дослідили цю здатність у нашій роботі. Для цього використали п'ять незайманих самок, які щойно вилупилися. Їх опромінювали гамма-променями 0–250 Гр, поміщали в невеликий пластиковий флакон з аерацією та залишали всередині дельта-пасток, забезпечуючи 10% розчин меду. Пастки були розміщені на полі протягом вечора. Улов молі в кожній пастці щодня підраховували та видаляли. Ці спостереження тривали до 5 днів. Аналогічно опромінених самців випускали окремо всередину польової клітки, щоб визначити їхню привабливість для незайманої самки. Результати показали, що привабливість самців молі для опромінених незайманих самок значно зменшилася зі збільшенням доз радіації, тобто за опроміненень 200 і 250 Гр. Кількість спійманих самців на одну самку була найбільшою на 2-й день через пік її статеві активності, тобто 25,60; 23,05; 19,45; 14; 9,4 і 5,9 місяця за опромінення 0, 50, 100, 150, 150, 200 і 250 Гр відповідно. Гамма-випромінювання також впливало на те, що опромінені самці знаходили своїх природних партнерів за вищих доз; однак максимальна кількість 5,30; 5,95 і 5,10 опромінених самців метеликів була приваблена природним феромоном, виділеним самками молі, за 50, 100 і 150 Гр відповідно порівняно з 6,80 метеликами за 0 Гр. Результати щодо привабливості опромінених самців молі до пасток із незайманими самками вважалися хорошим показником конкурентоспроможності самців.

**Ключові слова:** *Pectinophora gossypiella*, гамма-випромінювання, конкурентоспроможність, метод стерилізаційної боротьби з комахами



## Особливості епізоотологічного нагляду та контролю за мікобактеріозами продуктивних тварин в умовах молочнотоварних господарств України

Б. М. Куртяк<sup>1</sup>, В. М. Шевчук<sup>2</sup>, К. Б. Сухомлин<sup>3</sup>, О. І. Віщур<sup>4</sup>,  
Л. М. Соловей<sup>3</sup>, М. С. Романович<sup>1</sup>, О. П. Руденко<sup>1</sup>



<sup>1</sup>Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, вул. Пекарська, 50, м. Львів, 79010, Україна

<sup>2</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна

<sup>3</sup>Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, 43025, Україна

<sup>4</sup>Інститут біології тварин НААН, вул. В. Стуса, 38, м. Львів, 79034, Україна

### ORCID:

Б. М. Куртяк <https://orcid.org/0000-0001-8401-5928>  
В. М. Шевчук <https://orcid.org/0000-0002-5937-3333>  
К. Б. Сухомлин <https://orcid.org/0000-0003-1206-5373>  
О. І. Віщур <https://orcid.org/0000-0003-4503-3896>  
Л. М. Соловей <https://orcid.org/0009-0001-1814-4403>  
М. С. Романович <https://orcid.org/0000-0001-6369-217X>  
О. П. Руденко <https://orcid.org/0000-0002-0749-0466>

### Authors' Contributions:

**KBM:** Supervision; Formal analysis.  
**SVM:** Methodology; Data curation; Writing — original draft, review & editing.  
**SKB:** Conceptualization; Validation; Writing — original draft, review & editing.  
**VOI:** Data curation; Validation; Writing — review & editing.  
**SLM:** Project administration; Data curation; Writing — original draft.  
**RMS:** Investigation; Writing — original draft.  
**ROP:** Investigation; Visualization.

### Declaration of Conflict of Interests:

None to declare.

### Ethical approval:

The research biomaterial was obtained from animals slaughtered at the meat processing enterprises. No animals were slaughtered intentionally for the study purposes.

### Acknowledgements:

None.

Зростання поширеності мікобактеріозів — інфекційних захворювань, спричинених нетуберкульозними мікобактеріями, — є актуальною проблемою гуманної медицини. Мікобактеріози тварин у більшості країн світу також є однією з актуальних проблем ветеринарії. В Україні постійно зростає кількість господарств, де виявляють продуктивних тварин з параалергічними реакціями на туберкулін, що ускладнює діагностику туберкульозу. У молочному скотарстві ця проблема стосується також і господарсько-економічної сфери, оскільки нерідко призводить до вимушеного забою племінного молодняка і високопродуктивних корів. Водночас ідентифікація у хворих на мікобактеріози людей видів нетуберкульозних мікобактерій, причетних до сенсibilізації організму корів, надає проблемі профілактики мікобактеріозів тварин ще й медико-соціального значення. Все це слугувало підставою для встановлення причин перманентного виявлення корів, які реагують на туберкулін, в одному із молочнотоварних господарств Волинської обл., котре завжди було благополучним щодо туберкульозу. Комплексне дослідження з використанням методу епізоотологічного аналізу, клінічного, патологоанатомічного, гістологічного, бактеріологічного та статистичного методів дослідження проводили впродовж 2018–2023 рр. Встановлено, що серед поголів'я великої рогатої худоби молочнотоварної ферми функціонує епізоотичний процес, спричинений нетуберкульозними мікобактеріями *Mycobacterium scrofulaceum*, *M. fortuitum* і *Nocardia spp.*, які були виділені з лімфатичних вузлів, лімфоїдної тканини підслизового шару товстого кишечника тварин. Ці мікобактерії провокують значні гістологічні та патологоанатомічні зміни, що свідчить про наявність латентного інфекційного процесу, який супроводжується сенсibilізацією організму тварин. Завдяки епізоотологічному аналізу результатів алергічних досліджень з використанням симультанної проби, а також багаторазовим бактеріологічним дослідженням біоматеріалу від тварин із позитивною реакцією на ППД-туберкулін та алерген атипових мікобактерій, встановлено, що алергічні реакції на туберкулін мали параалергічну природу і віддзеркалювали наявність інфекційного процесу в організмі тварин.

**Ключові слова:** велика рогата худоба, туберкульоз, туберкулін, алерген атипових мікобактерій, епізоотологічний нагляд і контроль, інфекційний процес, алергічні реакції, діагностика



Attribution 4.0 International  
(CC BY 4.0)



## Вступ

Мікобактеріози тварин у багатьох країнах світу стали актуальною проблемою ветеринарної медицини [15, 30]. Найбільше епізоотологічне та медико-біологічне значення мають мікобактеріози великої рогатої худоби — тварин, які є основними продуцентами молока, молочних і м'ясних продуктів [3, 5]. Неспецифічні (параалергічні) реакції на ППД-туберкулін (*Purified Protein Derivate*) у корів благополучних щодо захворювання на туберкульоз молочнотоварних ферм — явище досить поширене у багатьох країнах світу, зокрема і в Україні [16, 19, 33]. У випадках поодинокого виявлення параалергічних реакцій на туберкулін їх зазвичай не реєструють, причин їхнього виникнення не встановлюють, а тварин, у яких виявляли ці реакції, вибраковують [6–7]. У випадках появи таких реакцій у значної кількості тварин застосовують симультанну пробу із використанням двох алергенів — ППД-туберкуліну для ссавців і ААМ (алергену атипичних мікобактерій) [18]. Спеціалісти державних установ ветеринарної медицини України параалергічні реакції на туберкулін у великої рогатої худоби переважно не фіксують, оскільки вважають, що нетуберкульозні мікобактерії (НТМБ) можуть провокувати лише сенсibilізацію організму тварин, але не інфекційний процес [32]. З огляду на це, сенсibilізація організму тварин — це не результат прихованого інфекційного процесу, спричиненого НТМБ, а перманентне явище, яке не призводить до появи патологічних змін в організмі.

Більшість науковців гуманної і ветеринарної медицини вважають, що мікобактеріози — це інфекційна хвороба, яка спричинена НТМБ, має свій етіопатогенез, характерні патологоанатомічні та специфічні гістоморфологічні зміни і характеризується переважно безсимптомною, перманентною за проявом сенсibilізації формою та хронічним перебігом [8, 22, 25, 26].

Дати об'єктивну оцінку напруженості епізоотичної ситуації щодо мікобактеріозів тварин в Україні з огляду на низку причин складно. Об'єктивною причиною цього є значне скорочення поголів'я продуктивних тварин. Зокрема, поголів'я великої рогатої худоби скоротилося з 28 млн. голів у 1993 р. до 2,4 млн. голів у 2023 р. [2], а також майже повністю ліквідовані такі тваринницькі галузі, як конярство та вівчарство, і меншою мірою — кролівництво. Значно зменшилися терміни господарської експлуатації корів на молочнотоварних фермах, що пов'язане зі зміною технології виробництва молока.

Незадовільний рівень якості діагностики лікарями-практиками ветеринарної медицини, низька мотивація спеціалістів державних установ ветеринарної медицини у діагностуванні нової інфекційної патології негативно вплинули на реальний стан епізоотичної ситуації щодо мікобактеріозів. Це, зі свого боку, призвело до зниження запиту на розробку сучасних методів діагностики та засобів профілактики інфекцій, спричинених атипичними мікобактеріями (АТМБ).

Біологічні властивості АТМБ, зокрема, винятковість будови клітинної стінки мікобактерій, пов'язана із

наявністю у ній жировмісних та воскоподібних сполук, забезпечують як високі адаптаційні можливості мікобактерій до мінливих умов довкілля, так і стійкість до фагоцитозу [31]. Це забезпечує мікобактеріям можливість виживати у мінливих умовах довкілля і є одним із головних факторів убиквітарності мікобактерій [1, 23].

Вивчення особливостей інфекційного процесу у всіх випадках виявлення тварин із позитивною реакцією в кожному стаді великої рогатої худоби, незалежно від його епізоотологічного статусу, здійснення моніторингу за особливостями прояву епізоотичного процесу у кожному випадку виявлення параалергічних реакцій з допомогою симультанної алергічної проби, може суттєво доповнити наші знання про інфекції, спричинені АТМБ. Отримані дані можуть слугувати основою для створення інформаційної бази з поглибленого вивчення екології збудників цих інфекцій та епізоотології мікобактеріозів. А це, в свою чергу, стане об'єктивним підґрунтям для розробки концепції щодо контролю та управління інфекційним та епізоотичним процесами за мікобактеріозів тварин.

**Мета дослідження** — з'ясування природи параалергічних реакцій на туберкулін у корів благополучного щодо туберкульозу господарстві.

## Матеріали і методи досліджень

Дослідження проводили в одному із господарств молочнотоварного напрямку Волинської обл. впродовж 2018–2023 рр. У роботі використано метод епізоотологічного аналізу, клінічний, алергічний, патологоанатомічний, гістологічний, бактеріологічний та статистичний методи дослідження.

Аналіз епізоотичної ситуації щодо туберкульозу здійснювали на основі результатів алергічних досліджень, які проводили згідно з календарем протиепізоотичних заходів спеціалісти районного управління ветеринарної медицини з нашою особистою участю впродовж вказаного періоду.

За клінічного обстеження звертали увагу на загальний стан тварин, їхню вгодованість, стан лімфатичних вузлів — залоткових, підщелепних, передлопаткових, надвим'яних і колінної складки.

Алергічні дослідження тварин на туберкульоз проводили із застосуванням симультанної проби. Алергени вводили внутрішньошкірно безголковим ін'єктором у ділянку середньої третини шиї дозою 0,1 см<sup>3</sup>, зліва — ППД-туберкулін для ссавців, справа — алерген з атипичних мікобактерій (ААМ).

Для діагностичного забору брали тварин, які позитивно реагували як на ППД-туберкулін, так і на ААМ. Забій тварин проводили на 5–7-у добу після алергічного дослідження.

Від забитих з діагностичною метою тварин відбирали лімфатичні вузли (залоткові, підщелепні, передлопаткові, бронхіальні, середостінні, портальні, брижейкові, надвим'яні, колінної складки), а також

шматочки паренхіматозних органів (легень, печінки, селезінки), змінені ділянки товстого кишечника.

З лімфатичних вузлів і внутрішніх органів готували мазки-відбитки, які фарбували за методом Ціля-Нільсена (для звичайної світлової мікроскопії) та аураміном О (для люмінесцентної мікроскопії).

Матеріал для гістологічного дослідження фіксували у 10% розчині нейтрального формаліну. Після ретельного промивання матеріал заливали парафіном. Нарізання парафінових блоків проводили серійно, товщина зрізів — 5 мкм. Зрізи забарвлювали гематоксиліном та еозином [21].

Мікрозйомку здійснювали на мікроскопі ZEISS Primo Star 3 з допомогою кольорової цифрової камери AxioCam 208 та програмного забезпечення Zen ZEISS.

Бактеріологічне дослідження біоматеріалу здійснювали висівом на середовище Левенштейна-Йенсена. Передпосівну обробку матеріалу проводили за методикою Алікаєвої [14].

## Результати та їх обговорення

Контроль епізоотичного процесу за туберкульозу великої рогатої худоби здійснюють комплексно. Проте перевагу при цьому віддають своєчасній та ефективній діагностиці, основним у якій вважають алергічний метод [10].

Вивчення інфекційного процесу мікобактеріозу у корів молочнотоварної ферми досліджуваного господарства проводили комплексно після кожного планового алергічного дослідження дійного стада з використанням клінічного, патологоанатомічного, гістоморфологічного та мікробіологічного методів. Аналіз отриманих

даних дав можливість розкрити особливості прояву інфекційного процесу та виявити основні рушійні сили епізоотичного процесу за мікобактеріозу тварин у стаді.

Протягом 2018–2023 рр. було проведено 12 алергічних досліджень (табл.).

Як бачимо із даних табл., в результаті проведених алергічних досліджень за увесь період виявлено 1452 тварини, які реагували, з них тільки на ППД-туберкулін для ссавців — 68 голів, на ААМ — 529 голів і на обидва алергени — 855 голів. Середній відсоток таких тварин від загальної кількості досліджених становив: із реакцією на ППД-туберкулін для ссавців — 1,4%; тільки ААМ — 11% і на обидва алергени одночасно — 17,7%. Тобто співвідношення кількості тварин, що реагували на туберкулін, до кількості тварин, які дали позитивні реакції на ААМ і ААМ та туберкулін, становить 1 : 20,5. Ці дані вказують на те, що алергічні реакції на ААМ є визначальними, а реакції на ППД-туберкулін виступають як побічні, випадкові. Отримані результати досліджень свідчать про те, що організм тварин перебуває під постійним антигенним пресингом НТМБ, а алергічні реакції тварин на введення туберкуліну не мають стосунку до туберкульозного процесу. Водночас можна стверджувати, що антигенні детермінанти окремих видів НТМБ мають високу спорідненість до антигенів мікобактерій туберкульозу, і результати алергічних досліджень, які ми проводили впродовж тривалого періоду, це підтверджують.

Отже, з імунологічної точки зору ситуація є зрозумілою і не дає приводу для стурбованості, бо навіть на основі епізоотологічного аналізу видно, що в досліджуваному стаді тварин циркулює популяція або популяції НТМБ, які спричиняють сенсibiliзацію організму корів і ймовірно, що й інфекційний процес, а сенсibiliзація є лише його проявом.

**Таблиця.** Результати алергічних досліджень на туберкульоз корів за 2018–2023 рр.

**Table.** Results of allergy examination to tuberculosis in cows during 2018–2023 years

№ п/п No.	Дата дослідження Date of testing	Досліджено алергічно, гол. Tested allergically, animals	Виявлено тварин, які реагували на: / Detected animals reacting to:					
			ППД / PPD (Purified Protein Derivate)		ААМ (Allergen of atypical mycobacteria)		ППД і ААМ PPD and AAM	
			гол. / animals	%	гол. / animals	%	гол. / animals	%
1	29.05–1.06.2018	330	9	2,7	38	11,5	132	40,0
2	28.11–1.12.2018	419	12	2,9	56	13,4	95	22,7
3	11–14.06.2019	341	10	2,9	34	10,0	102	29,9
4	16–19.10.2019	429	9	2,1	21	4,9	106	24,7
5	18–21.03.2020	356	3	0,8	55	15,4	103	28,9
6	20–23.10.2020	446	3	0,7	60	13,5	108	24,2
7	20–23.04.2021	369	7	1,9	66	17,9	99	26,8
8	26–29.10.2021	395	2	0,5	17	4,3	36	9,1
9	18–21.04.2022	446	5	1,1	54	12,1	25	5,6
10	19–22.10.2022	432	0	0,0	35	8,1	20	4,6
11	17–20.05.2023	438	3	0,7	69	15,8	11	2,5
12	24–10.10.2023	428	5	1,2	24	5,6	18	4,2
	Всього	4829	68	1,4	529	11,0	855	17,7

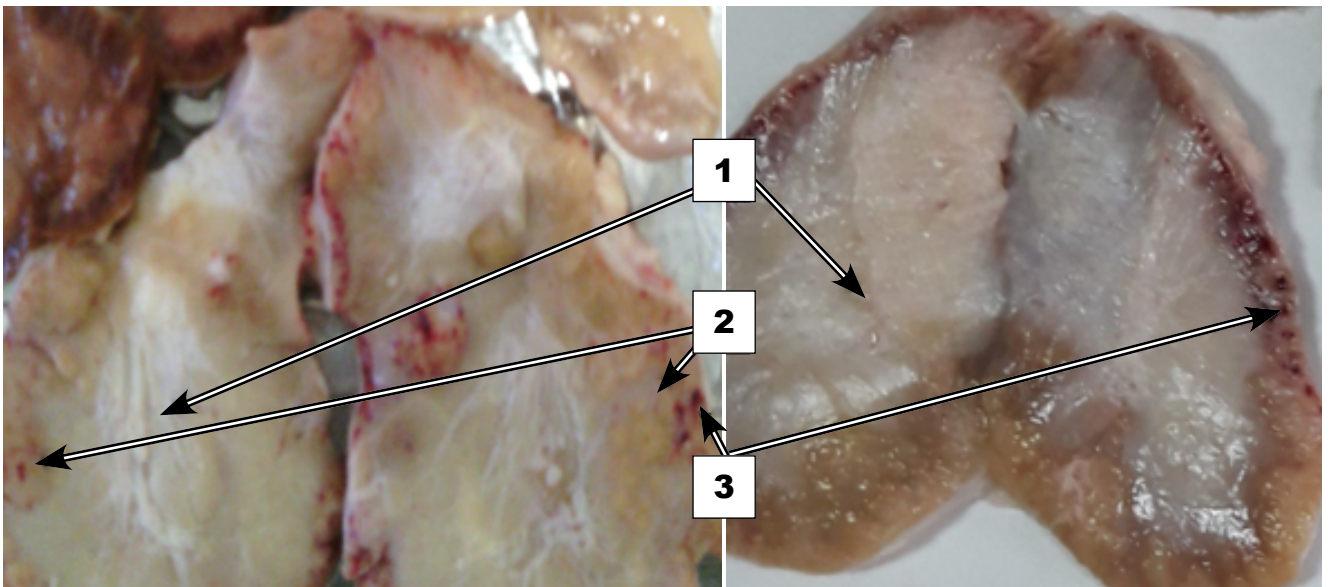
З позиції епізоотологічного контролю і нагляду, за планових алергічних досліджень на туберкульоз виявлення тварин, які реагують на ППД-туберкулін, передбачає тривалу і кропітку роботу зі встановлення природи цих реакцій. Нерідко в такій ситуації фахівці державної служби ветеринарної медицини ігнорують вимоги «Інструкції з профілактики та боротьби з туберкульозом тварин» (2009) і відправляють тварин із позитивною реакцією на забій без проведення додаткових досліджень [6–7]. З кожним наступним алергічним дослідженням стада кількість тварин, які позитивно реагують на туберкулін, не зменшується, а навпаки, збільшується. Такий підхід неминуче веде до невиправданої здачі на забій продуктивних тварин, а в сучасних умовах невеликих за поголів'ям молочнотоварних ферм — нерідко до повної ліквідації молочного стада. При цьому ситуація залишається неконтрольованою щодо епізоотичного благополуччя та, найважливіше, невивченою, а тому непрогнозованою щодо подальшого використання приміщень і території ферми.

За період з 2018 по 2023 рр. було проведено 12 комплексних досліджень дійного стада з організацією діагностичних забоїв, в яких було досліджено біологічний матеріал від 74 тварин із реакцією на обидва алергени.

Результати клінічного огляду тварин, котрі позитивно реагували на один або обидва алергени, не виявили у жодної із досліджуваних тварин ознак, які могли б свідчити про інфекційний процес туберкульозу в їхньому організмі — схуднення чи кахексію, зниження молочної продуктивності, збільшення поверхневих лімфатичних вузлів, кашель або інші ознаки уражень легень.

Вивчаючи епізоотологічні особливості мікобактеріозу корів у конкретному господарстві, виявлено, що кількість корів із реакцією на обидва алергени є значно (у 2–3 рази) вищою за алергічного дослідження після зимово-стійлового утримання тварин порівняно із таким за літньо-вигульного (табл.). Таким чином, утримання тварин у літній період упродовж кількох місяців на вигульних майданчиках супроводжується оздоровленням організму тварин від так званої «хлівної» мікрофлори, зокрема й від мікобактерій різних видів. Можливо, що суттєве зменшення антигенного навантаження на організм корів НТМБ звело б нанівець інфекційний процес в організмі інфікованих тварин і, таким чином, сенсibilізацію організму корів до алергенів атипичних мікобактерій.

Із 74 забитих з діагностичною метою тварин, у яких виявляли позитивні реакції на алергени, патологоанатомічних змін, характерних для туберкульозу, не було виявлено у жодної з них. Проте у всіх забитих із діагностичною метою корів відзначали низку інших патологічних змін у лімфатичних вузлах, зокрема грануломатозні вогнища, атрофію лімфоїдної і розростання епітеліоїдної тканин, гіперплазію різної інтенсивності та характеру, крапчасті крововиливи у кірковій зоні. Окрім цього, у лімфовузлах виявляли зміни кольору паренхіми (почервоіння або темно-сіре забарвлення), саловидність, заміну паренхіми вузла сполучною тканиною, що вказує на наявність атрофічних процесів. Про атрофію лімфоїдної тканини свідчить розростання сполучної тканини, яка витісняє лімфоїдну тканину на периферію кіркової зони, залишки котрої у вигляді вузької смужки видно на периферії вузла (рис. 1).



**Рис. 1.** Патологоанатомічні зміни у надвим'яних лімфовузлах. 1 — переродження з повною атрофією паренхіми мозкового шару; 2 — залишки паренхіми у кірковому шарі; 3 — крововиливи у кірковій зоні.

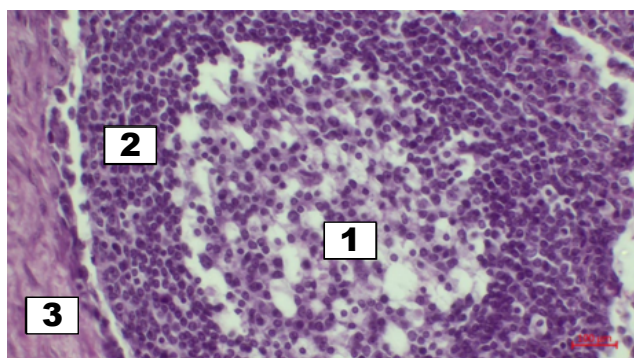
**Fig. 1.** Pathological anatomical changes in supramammary lymph nodes. 1 — degeneration with complete atrophy of the brain layer parenchyma; 2 — remnants of parenchyma in the cortical layer; 3 — hemorrhages in the cortical area.



Гіперплазія лімфовузлів проявлялися розростанням лімфоїдної тканини, інфільтрацією лімфоцитами, що свідчить про наявність прихованих запальних процесів у тканинах самих вузлів. Наявність гіперплазії свідчить про клітинну реакцію лімфоїдної тканини на чужорідні антигени — бактерії, гриби тощо. У цьому випадку такими є кислотостійкі види НТМБ, виділені із тканини лімфатичних вузлів у бактеріологічному дослідженні. Вони сенсibiliзували імунну систему не лише до власних антигенів, що проявлялося як алергічні реакції на ААМ, а й до антигенів інших видів мікобактерій, зокрема туберкульозних, що й було причиною параалергічних реакцій на туберкулін.

Детальний епізоотологічний аналіз параалергічних реакцій на обидва антигени вказує на їхній перманентний характер — у частини корів реакції протягом періоду спостережень неодноразово випадали і з'являлися знову. Очевидно, з віком внаслідок зниження імунореактивності, яке розвивається на тлі атрофії лімфоїдної тканини лімфатичних вузлів і, ймовірно, й інших причин імуноалергічного характеру, знижується сенсibiliзація, що супроводжується відсутністю цих реакцій. У гістозрізах із лімфатичних вузлів виявлені гістологічні зміни, які свідчать про активний інфекційний процес — ймовірно, спричинений продуктами життєдіяльності бактерій (рис. 2). На місці загибелі лімфоцитів формується клітинний детрит, утворюється виражений первинний вузлик, оточений значним шаром лімфоцитів.

Подібні морфологічні зміни виявили на гістозрізах із надвим'яних лімфатичних вузлів, де спостерігали утворення первинних вузликів з клітинним детритом у центрі, периферичним скупченням лімфоцитів та утворенням добре помітної капсули з епітеліоїдних елементів.



**Рис. 2.** Формування вузликів в інфікованих НТМБ лімфатичних вузлах на пізніших стадіях інфекційного процесу. 1 — некроз лімфоцитів у центрі вузлика, фрагментація ядер та конденсація хроматину, випадання цілих ділянок змертвілих клітин; 2 — зона лімфоцитів навколо детриту; 3 — капсула із епітеліоїдних клітин. Забарвлення гематоксилином та еозином, збільшення  $\times 400$

**Fig. 2.** Formation of nodules in non-tuberculous mycobacteria-infected lymph nodes at later stages of the infectious process. 1 — lymphocyte necrosis in the center of the nodule, nuclear fragmentation and chromatin condensation, shedding of entire areas with dead cells; 2 — zone with lymphocytes around detritus; 3 — capsule with epithelioid cells. Hematoxylin and eosin,  $\times 400$

У попередніх наших роботах встановлено, що інкубаційний період у тварин за мікобактеріозу, спричиненого НТМБ, є значно тривалішим (у нашому випадку — понад 18–26 місяців), ніж за туберкульозної інфекції, спровокованої *M. bovis*. Цим фактом можна пояснити причини запізненого реагування тварин на введення алергенів [6–7]. Таку думку також поділяють науковці, котрі вивчали патогенез мікобактеріозів у людей [27, 34].

У бактеріологічному дослідженні біологічного матеріалу (лімфатичних вузлів та уражених ділянок товстого кишківника) від тварин з реакцією на обидва алергени виділено та ідентифіковано кислотостійкі НТМБ, зокрема *M. fortuitum*, *M. scrofulaceum*, *Nocardia spp.*). Результати бактеріологічного дослідження біоматеріалу від забитих з діагностичною метою тварин дають підстави стверджувати, що алергічні реакції на ППД-туберкулін та ААМ — це результат прихованого інфекційного процесу, який призводить до сенсibiliзації організму цими мікроорганізмами. Очевидно, що сенсibiliзація організму до антигенів НТМБ починається вже на стадії формування первинних вузликів у реактивних центрах лімфатичних вузлів і перманентно підтримується кожним черговим потраплянням в організм свіжої порції НТМБ із зовнішнього абіотичного середовища.

Аліментарний та аерогенний шляхи потрапляння НТМБ в організм тварин вважають основним, бо мікроорганізми колонізують переважно органи травлення та дихання і найдовше затримуються у регіонарних лімфатичних вузлах цих органів, призводячи до глибоких патоморфологічних змін на клітинному і тканинному рівнях, що було виявлено завдяки патологоанатомічним та гістологічним дослідженням.

Локалізація патологоанатомічних змін, спричинених НТМБ, у проксимальному відділі товстого кишківника свідчить про тропізм мікобактерій до тканин і органів, багатих на лімфоїдні елементи [29]. Тут мікобактерії можуть перебувати в ентобіотичній фазі існування, колонізуючи не лише місця концентрації лімфоїдних елементів, якими є бляшки Пейєра, але й інші структури підслизового шару стінки товстого відділу кишківника [6–7]. Ентобіотична фаза існування НТМБ в організмі є ендogenous джерелом постійного інфікування тканин та органів організму, а отже, підтримання інфекційного процесу мікобактеріозу в організмі та його сенсibiliзації.

Значні патологоанатомічні та гістоморфологічні зміни у надвим'яних лімфатичних вузлах свідчать про елімінацію НТМБ через молочну залозу, тому молоко варто розглядати як важливий фактор у механізмі передачі збудника інфекції.

Зважаючи на значне поширення НТМБ мікобактерій у природі [13, 28], їхню важливу роль в інфекційній патології людини [4, 12, 20] і тварин [11, 17, 24], кожний випадок встановлення функціонування епізоотичного процесу мікобактеріозів у стадах продуктивних тварин, а особливо корів, повинен розглядатися крізь призму біоризиків для здоров'я людей через продукти харчування, отримані хворих на мікобактеріози від

тварин, і бути предметом епізоотологічного контролю та нагляду з боку спеціалістів державної служби ветеринарної медицини.

У комплексному дослідженні великої рогатої худоби на туберкульоз у благополучному щодо туберкульозу господарстві Волинської обл. впродовж 2018–2023 рр. із застосуванням епізоотологічних, алергічних, клінічних, патологоанатомічних, гістологічних і бактеріологічних методів встановлено, що алергічні реакції на туберкулін мали параалергічну природу, виникли як результат інфекційного процесу в організмі корів, був спричиненого нетуберкульозними мікобактеріями.

Інкубаційний період за інфікування організму великої рогатої худоби НТМБ є значно тривалішим, ніж за інфікування збудником туберкульозу, і становить 18–26 місяців, а прояв параалергічних реакцій має перманентний характер, що пов'язано насамперед з інтенсивністю інфікування тварин НТМБ.

Нетуберкульозні мікобактерії колонізують переважно органи травлення та дихання, що свідчить про аліментарний та аерогенний шляхи їх потрапляння в організм тварин. Найдовше вони затримуються у регіонарних лімфатичних вузлах цих органів, де спричиняють глибокі і нерідко незворотні патоморфологічні зміни на клітинному і тканинному рівнях, які вдалося виявити завдяки патологоанатомічним та гістологічним дослідженням. Значні патологоанатомічні та гістоморфологічні зміни у надвимв'яних лімфатичних вузлах свідчать про елімінацію НТМБ через молочну залозу, а тому тканини молочної залози та молоко треба розглядати як фактор у механізмі передачі збудника інфекції.

За виявленими патоморфологічними змінами у тварин із позитивною реакцією можна констатувати наявність в їхньому організмі інтенсивного інфекційного процесу, спричиненого НТМБ, а в дійному стаді корів — функціонування епізоотичного процесу мікобактеріозу, а тому таких тварин необхідно розглядати як активне джерело НТМБ.

Детальне вивчення видового складу НТМБ, які спричинили інфекційний процес в інфікованих тварин та функціонування епізоотичного процесу на території ферми, екології ідентифікованих і ще не ідентифікованих на території господарства НТМБ, встановлення їхніх потенційних патогенетичних властивостей матиме не лише епізоотологічне, господарсько-економічне, але й медико-епідеміологічне значення.

Зважаючи на значну роль НТМБ в інфекційній патології людини, кожний випадок встановлення функціонування епізоотичного процесу мікобактеріозів у стадах продуктивних тварин потрібно розглядати як джерело потенційних біоризиків для здоров'я людей у харчовому ланцюзі. Тому наступні дослідження будуть зосереджені на поглибленому вивченні інших аспектів інфекційного процесу мікобактеріозів, їхньої етіології та патогенезу і ранньої діагностики, екології НТМБ на території молочнотоварної ферми, способів мінімізувати біоризики інфікування людей НТМБ через м'ясні і молочні харчові продукти.

## Джерела

1. Armstrong DT, Eisemann E, Parrish NA. Brief update on mycobacterial taxonomy, 2020 to 2022. *J Clin Microbiol.* 2023; 61 (4): e0033122. DOI: 10.1128/jcm.00331-22.
2. Association of milk producers. Available at: <https://www.avm-ua.org/uk> (in Ukrainian)
3. Aydın F, Ulger M, Emekdaş G, Aslan G, Günel S. Isolation and identification of *Mycobacterium bovis* and non-tuberculous mycobacteria in raw milk samples in Mersin province. *Bull Microbiol.* 2012; 46 (2): 283–289. PMID: 22639317.
4. Barbova OA, Trofimova AI, Myronchenko PS. Study of species diversity of nontuberculous mycobacteria in different regions of Ukraine using phenogenotypic identification methods. *Ukr Pulmonol J.* 2019; 1: 27–30. (in Ukrainian)
5. Bolaños CA, Paula CL, Guerra ST, Franco MM, Ribeiro MG. Diagnosis of mycobacteria in bovine milk: an overview. *Rev Inst Med Trop São Paulo.* 2017; 59; e40. DOI: 10.1590/s1678-9946201759040.
6. Boyko PK, Boyko OP, Nychyk SA, Sytnik VA, Mazur VM. Formation of infection of cattle with atypical mycobacteria in a separate herd. *Vet Biotechnol Bull.* 2020; 36: 9–21. DOI: 10.31073/vet\_biotech36-01.
7. Boyko PK, Nychyk SA, Boyko OP, Mandigra YM, Shevchuk VM. Some peculiarities of mycobacteriosis infectious and epizootic process in cattle caused by atypical acidresistant mycobacteria. *Vet Biotechnol.* 2020; 37: 7–19. DOI: 10.31073/vet\_biotech37-01.
8. Boyko PK, Nychyk SA, Boyko OP, Tytiuk OV, Shevchuk VM. Is cattle mycobacteriosis an accidental infection of an individual herd or a complex epidemiological problem? *Vet Biotechnol Bull.* 2021; 39: 18–28. DOI: 10.31073/vet\_biotech39-02.
9. Busol V, Boyko P, Bednarski M, Shevchuk V, Mazur V. Pathomorphological changes in the organs of the peripheral immune system in mycobacteriosis of cattle. *Ukr J Vet Sci.* 2023; 14 (2): 9–27. DOI: 10.31548/veterinary2.2023.09.
10. Busol VO, Shevchuk VM, Mazur VM, Kovalenko LV. The evolution of intensity of the epizootic process of bovine tuberculosis in the countries of the world. *Sci Release Vet Med.* 2014; 14 (114): 74–77.
11. Cvetnić Ž, Tuk MZ, Duvnjak S, Reil I, Mikulić M, Pavlinec Ž, Špičić S. Tuberculous and nontuberculous mycobacteria in human and animal infection. *Vet J Republ Srpska.* 2018; 18 (2): 342–369. DOI: 10.7251/vetjen1802342c.
12. Dahl VN, Floe A, Wejse C. Nontuberculous mycobacterial infections in a Danish region between 2011 and 2021: evaluation of trends in diagnostic codes. *Infect Diseases.* 2023; 55 (6): 439–443. DOI: 10.1080/23744235.2023.2194411.
13. Falkinham JO. Ecology of nontuberculous mycobacteria — where do human infections come from? *Semin Respir Crit Care Med.* 2013; 34 (1): 95–102. DOI: 10.1055/s-0033-1333568.
14. Feshchenko YI, Zhurylo OA, Barbova AI. *Laboratory diagnosis of tuberculosis infection.* A manual. Kyiv, Medicine, 2019: 304 p. (in Ukrainian)
15. Franco MMJ, Paes AC, Ribeiro MG, Pantoja JCF, Santos ACB, Miyata M, Leite CQF, Motta RG, Listoni FJP. Occurrence of mycobacteria in bovine milk samples from both individual and collective bulk tanks at farms and informal markets in the southeast region of Sao Paulo, Brazil. *BMC Vet Res.* 2013; 9: 85. DOI: 10.1186/1746-6148-9-85.
16. Gorzheev VM, Kassich YY, Zavhorodny AI, Pavlenko MS, Kassich VY. Achievements in the fight against tuberculosis of cattle in the farms of Ukraine. *Vet Med Interdepart Them Sci Collect.* 2004; 84: 268–271.
17. Hejlíček K, Tremf F. Epizootiology and pathogenesis of avian mycobacteriosis in domestic pigeons (*Columba livia f. domestica*). *Vet Med.* 1994; 39 (10): 615–624. PMID: 7992471. (in Czech)

18. Kassych YY, Zavhorodnyi AI, Kassych VY. Simultaneous allergic test for the diagnosis of tuberculosis (Cows kept in peasant farms of various regions of Ukraine). *Veterinaria*. 2004; 8: 16–18.
19. Leite CQF, Anno IS, Leite SRA, Roxo E, Morlock GP, Cooksey RC. Isolation and identification of mycobacteria from livestock specimens and milk obtained in Brazil. *Memór Inst Oswaldo Cruz*. 2003; 98 (3): 319–323. DOI: 10.1590/S0074-02762003000300005.
20. Lipner EM, Knox D, French J, Rudman J, Strong M, Crooks JL. A geospatial epidemiologic analysis of nontuberculous mycobacterial infection: An ecological study in Colorado. *Ann Amer Thoracic Soc*. 2017; 14 (10): 1523–1532. DOI: 10.1513/AnnalsATS.201701-081OC.
21. Manchenko VM, Trotsenko ZR, Pavlenko MS. *Guidelines for the diagnosis of tuberculosis in animals and poultry*. A manual. Kyiv, Urozhai, 1994: 39 p. (in Ukrainian)
22. Montero E, Rojo-Solis C, Castro N, Fernández M, Pérez V, Corpa JM, Ortega J. Clinical and pathological findings associated with mycobacteriosis in captive syngnathids. *Animals*. 2022; 12 (23): 3259. DOI: 10.3390/ani12233259.
23. Nuratinov RA. Ecological conditions of existence of mycobacteria populations. *South Russ Ecol Dev*. 2014; 2: 18–30. DOI: 10.18470/1992-1098-2014-2-18-30.
24. Radulski Ł, Kalicki M, Krajewska-Wędzina M, Lipiec M, Szulowski K. Pulmonary mycobacteriosis of sitatunga antelope caused by *M. avium* ssp. *hominissuis*. *Ann Agricult Environm Med*. 2022; 29 (2): 220–223. DOI: 10.26444/aaem/145158.
25. Sandlund N, Skår C, Karlsbakk E. First identification of mycobacteriosis in Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*). *J Fish Diseases*. 2023; 46 (5): 527–533. DOI: 10.1111/jfd.13765.
26. Schmidt V, Köhler H, Heenemann K, Möbius P. Mycobacteriosis in various pet and wild birds from Germany: pathological findings, co-infections, and characterization of causative mycobacteria. *Microbiol Spectr*. 2022; 10 (4): e0045222. DOI: 10.1128/spectrum.00452-22.
27. Shevchenko OS, Todoriko LD, Poteyko PI, Pogorelova OS. Issues of diagnosis and treatment of non-tuberculous mycobacteriosis. *East Eur J Intern Family Med*. 2019; 1: 36–53. DOI: 10.15407/internalmed2019.01.036.
28. Turko IB, Kulyaba OV, Semanyuk VI, Pelenho RA. Circulation of atypical mycobacteria in the external environment and the body of animals as a cause of positive allergic reactions. *Sci Bull LNU-VMBT S. Z. Gzhytsky*. 2010; 12(3/45/1): 274–280. (in Ukrainian)
29. Urbanovych PP, Pototskyi MK, Gevkan II, Zon GA, Borysevich BV, Papchenko IV, Kryvutenko OI, Kotsyumbas GI, Khmil EP, Shkil MI, Zhyla MI, Lukashik GV, Omelyanenko MM, Stronsky M, Dankovich RS. Pathological anatomy of animals. Kyiv, Vetinform, 2008: 896 p. (in Ukrainian)
30. Varela-Castro L, Barral M, Arnal MC, Fernández de Luco D, Gortázar C, Garrido JM, Sevilla IA. Beyond tuberculosis: Diversity and implications of non-tuberculous mycobacteria at the wild-life-livestock interface. *Transbound Emerg Diseases*. 2022; 69 (5): e2978–e2993. DOI: 10.1111/tbed.14649.
31. Weisfeiler YK. *Biology and variability of Mycobacterium tuberculosis and atypical mycobacteria: Experimental and theoretical studies*. Budapest, Publishing House of the Academy of Sciences of Hungary, 1975: 334 p. (in Hungarian)
32. Zavhorodnii AI, Bilushko VV, Kalashnyk MV, Pozmogova SA, Kalashnyk NV. Pseudoallergic reactions to tuberculin in cattle. *Vet Biotechnol*. 2018; 32 (2): 176–184. DOI: 10.31073/vet\_biotech32(2)-20.
33. Zavhorodnii AI, Bilushko VV, Zagrebelnyi VO, Balyim YP. Study of sensitizing properties of atypical mycobacteria isolated from biomaterial from cattle and from environmental objects. *Vet Med Interdepart Them Sci Collect*. 2016; 102: 84–87.
34. Zimina VN, Degtyaryova SY, Beloborodova EN, Kulabukhova EI, Rusakova LI, Fesenko OV. A current state of mycobacteriosis. *Clin Microbiol Antimicrob Chemother*. 2017; 19 (4): 276–282.

## Peculiarities of epizootological surveillance and control of mycobacteriosis in productive animals in the conditions of dairy farms of Ukraine

B. M. Kurtjak<sup>1</sup>, V. M. Shevchuk<sup>2</sup>, K. B. Suchomlin<sup>3</sup>, O. I. Vishchur<sup>4</sup>, L. M. Solovei<sup>3</sup>, M. S. Romanovich<sup>1</sup>, O. P. Rudenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Stepan Gzhytsky Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv, 50 Pekarska str., Lviv, 79010, Ukraine

<sup>2</sup>National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroyiv Oborony str., Kyiv, 03041, Ukraine

<sup>3</sup>Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, 43025, Ukraine

<sup>4</sup>Institute of Animal Biology NAAS, 38 Stusa str., Lviv, 79034, Ukraine

The increase in mycobacteriosis, an infectious disease caused by non-tuberculous mycobacteriosis, has become an urgent issue for humane medicine. The mycobacteriosis of animals is a subject of intense study by veterinary scientists across most countries globally. In Ukraine, the number of farms with productive animals exhibiting paraallergic reactions to tuberculin is steadily rising, making the diagnosis of tuberculosis more complicated. In dairy cattle breeding, this issue also has significant economic implications. The forced slaughter of breeding young stock and high-producing cows is often a consequence. On the other hand, the identification of various non-tuberculous mycobacteria species in human mycobacteriosis patients, which can sensitize the cows, gives the issue of preventing animal mycobacteriosis both medical and social significance. All of the factors mentioned previously led to the decision to permanently retain cows that react positively to tuberculin testing on a dairy farm in the Volyn region, which has historically been free of tuberculosis. A comprehensive study was conducted from 2018 to 2023, utilizing methods of epizootological analysis as well as clinical, pathological, histological, bacteriological, and statistical research techniques. It was shown that an epizootic process, caused by the infection of cattle with non-tuberculosis mycobacteria, is occurring on the dairy farm. *Mycobacterium scrofulaceum*, *M. fortuitum*, and *Nocardia* spp. were isolated and identified from the lymph nodes and lymphoid tissue of the large intestine submucosa in the infected animals. These pathogens cause significant histological and pathological changes, indicating the presence of a clinically covert infectious process accompanied by sensitization of the animal organism. Epizootological analysis of the results from simultaneous allergic testing, as well as multiple bacteriological studies of samples from animals that reacted positively to both purified protein derivate tuberculin and atypical mycobacteria allergens, established that the allergic reactions to tuberculin were paraallergic in nature. This indicated the presence of an active infectious process within the animals' bodies.

**Key words:** tuberculosis, tuberculin, allergen of atypical mycobacteria, epizootic process, infectious process, allergic reactions, diagnosis





## Співвідношення структурних протеїнів у вовні овець різних порід та з різною категорією волокон залежно від зон їх розведення

П. В. Стапай, Т. В. Буслик, В. В. Михалюк, Н. П. Стахів, О. О. Смолянїнова,  
І. В. Невоструєва, Р. Г. Сачко, А. В. Скорохід, Н. І. Пахолків

tvbuslyk@gmail.com



Інститут біології тварин НААН, вул. В. Стуса, 38, м. Львів, 79034, Україна

### ORCID:

P. V. Stapay <https://orcid.org/0000-0002-4183-4605>

T. V. Buslyk <https://orcid.org/0000-0002-9369-2178>

V. V. Mykhaliuk <https://orcid.org/0000-0002-0015-913X>

N. P. Stakhiv <https://orcid.org/0000-0002-4302-1229>

O. O. Smolyaninova <https://orcid.org/0000-0002-6848-5310>

I. V. Nevostruyeva <https://orcid.org/0000-0002-5797-5592>

R. G. Sachko <https://orcid.org/0000-0001-6552-2959>

A. V. Skorokhid <https://orcid.org/0000-0002-9621-0621>

N. I. Pakholkiv <https://orcid.org/0000-0002-5774-2940>

### Authors' Contributions:

**SPV:** Conceptualization; Project administration;

Data curation; Supervision; Formal analysis;

Writing — review & editing.

**BTV:** Methodology; Investigation; Data curation;

Formal analysis; Visualization; Writing — original draft..

**MVV:** Methodology; Investigation; Formal analysis;

Writing — original draft.

**SNP:** Data curation; Investigation; Writing — original draft.

**SOO:** Investigation; Validation.

**NIV:** Investigation; Validation.

**SRG:** Investigation; Data curation; Visualization;

Writing — original draft, review & editing.

**SAV:** Investigation; Writing — original draft.

**PNI:** Investigation; Writing — original draft.

### Declaration of Conflict of Interests:

None to declare.

### Ethical approval:

Not applicable.

### Acknowledgements:

The authors are grateful to researchers for the assistance

in collecting of wool samples from different breeds:

Prof. I. A. Pomitun, V. V. Mykytiuk, PhD O. B. Lesyk,

M. M. Svystula, O. S. Tiutiunnyk.

Вовняне волокно складається з комплексу протеїнів-кератинів, які відрізняються як за своїми фізико-хімічними властивостями, так і за функціональними характеристиками. Попри успіхи, досягнуті у вивченні структурної організації волокон, ще мало з'ясованим залишається питання впливу факторів довколишнього середовища, характеру і рівня живлення, а також породних особливостей на склад і співвідношення структурних протеїнів. З огляду на це, ми дослідили співвідношення структурних протеїнів вовни овець різних порід, яких розводять в окремих зонах України, зокрема тонкорунних, напівтонкорунних та грубововнових. У дослідженні структурних протеїнів вовни овець різних порід, які різняться між собою тониною волокон, встановлено, що методом електрофоретичного розділення ці протеїни чітко розділяються на три різні групи, зокрема це протеїни інтермедіальних філаментів (ІФ) I і II типів з молекулярною масою, відповідно, 55–65 і 45–55 кДа, а також кератин-асоційованих протеїнів (КАП) з молекулярною масою 25–35 кДа. Проте в окремих порід, зокрема, асканійської м'ясо-вовнової чорноголового типу та української гірськокарпатської, серед ІФ I типу виявлено ще дві групи протеїнів, які за відсотковим співвідношенням майже не відрізняються між собою. Встановлено, що в межах досліджуваних груп овець спостерігаються окремі міжпородні особливості: в групі тонкорунних порід найбільший відсоток припадає на ІФ II (35,9%), на дві інші фракції припадає майже однаковий відсоток — 32,1% (ІФ I) і 31,8% (КАП). Майже аналогічна картина співвідношення фракцій протеїнів зафіксована у групі тварин з грубою вовною. Водночас у групі овець з напівтонкою вовною, зокрема, у волокнах овець асканійської м'ясо-вовнової породи, відсоток КАП найвищий і менше ІФ II, а у волокнах асканійської м'ясо-вовнової чорноголового типу, відповідно, менше протеїнів ІФ II і КАП. Отримані дані вказують на породні особливості вмісту та співвідношень окремих груп протеїнів, які можуть бути генетично детермінованими, а отже, слугувати відповідними маркерами в межах як окремих порід, так і в межах порід з різною категорією волокон.

**Ключові слова:** ярки, порода, вовна, структура, протеїни, Сульфур, електрофорез



Attribution 4.0 International  
(CC BY 4.0)



## Вступ

Основною речовиною вовни, яка визначає її фізико-хімічні властивості, є протеїн — кератин, кількість якого сягає майже 96%, решту становлять структурні ліпіди (~2%), мінеральні елементи (~1%), нуклеїнові кислоти, вуглеводи тощо [16, 17]. Кератини — це поліпептиди, побудовані з амінокислот, зв'язаних міжмолекулярними зв'язками з цистеїном та внутрішньомолекулярними зв'язками з їхніми полярними та неполярними групами. У молекулі кератину є велика кількість цистеїнових залишків (7–20% від загальної кількості), що якісно відрізняє кератин від інших структурних протеїнів. Залишки цистеїну містять тіолові групи, які утворюють міцні дисульфідні зв'язки, що призводить до зшивання матричної молекули. Дисульфідні зв'язки надають кератинам високої стійкості до хімічних та ензиматичних чинників [15]. Кератини можуть мати три конфігурації:  $\alpha$ -кератини зі структурою  $\alpha$ -спіралі,  $\alpha$ -кератини зі структурою  $\beta$ -листка та  $\gamma$ -кератини. Альфа-кератини, які мають структуру  $\alpha$ -спіралі, належать до протеїнів інтермедіальних філаментів (ІФ) з низьким вмістом Сульфуру (1,5–2,0%) і мають молекулярну масу в діапазоні від 40 до 70 кДа. Гамма-кератини характеризуються аморфною структурою з високим вмістом Сульфуру (4–8%). Локалізуються вони у матриці волокна, а їхня молекулярна маса варіює в діапазоні 25–35 кДа — це кератин-асоційовані протеїни (КАП). Взаємодія  $\alpha$ -спіралі та  $\beta$ -листка робить кератинове волокно еластичним, а дисульфідні зв'язки між молекулами цистеїну — стабільними та важкорозчинними [4, 12, 13].

Літературні дані свідчать, що характеристика кератинів різного походження залежить від співвідношення між ІФ і КАП. Зокрема є повідомлення про міжвидові відмінності в кількісному співвідношенні різних груп кератинів. Було встановлено, що різні кератинові волокна мають подібні патерни у діапазоні 65–35 кДа, тоді як відмінності стосуються матриксних протеїнів (30–10 кДа) [14, 17].

Проте, попри досягнуті у вивченні структурної організації вовняних волокон успіхи, ще мало з'ясованими залишаються питання впливу факторів навколишнього середовища, зокрема сонячної радіації, змін температурного режиму, вологості, рівня живлення та умов утримання різних порід овець у конкретних зонах їх розведення. У результаті цих впливів може відбуватися деструкція структурної організації волокон, зміна їхнього хімічного складу та фізичних показників. Аналогічні зміни можуть відбуватися і залежно від рівня та характеру живлення та умов утримання різних порід овець у конкретних зонах їх розведення.

Метою роботи було дослідити породні особливості співвідношення окремих груп протеїнів у різних категоріях вовняних волокон овець, зокрема тонких, напівтонких та грубих.

## Матеріали і методи

Дослідження проведені на зразках вовни ярок різних порід овець, яких розводять у різних регіонах країни. Це зокрема буковинський тип асканійської м'ясо-вовнової породи (кросбредний тип) і буковинський тип асканійської каракульської породи (ФГ «Вівчарик» і «Дана» Чернівецької обл.); асканійська м'ясо-вовнова (кросбредний тип), асканійська м'ясо-вовнова (чорноголовий тип), асканійський породний тип багатоплідного каракулю (чорного забарвлення) і асканійська тонкорунна порода (дослідні господарства Інституту «Асканія-Нова» Херсонської обл.); харківський внутрішньопородний тип породи прекос та сокільська смушкова порода (ДПДГ «Гонтарівське» Харківської обл.); придніпровська м'ясна порода та олібс (господарства Дніпропетровської обл.); порода лакон та мериноландшаф (господарства Кам'янець-Подільського р-ну, Хмельницької обл.); Українська гірськокарпатська порода (приватне господарство Чернівецької обл.).

**Таблиця 1.** Характеристика вовни ярок різних порід (M±SD, n=5)  
**Table 1.** Characteristics of the wool from different breeds (M±SD, n=5)

Вид вовни Wool type	Порода Breed	Тонина, мкм Fineness
Тонка Fine	Асканійська тонкорунна Ascanian fine-woolen	19,2±0,287
	Харківський внутрішньопородний тип породи прекос Kharkiv intrabreed type of prekos	20,3±0,357*
	Олібс / OLIBS	23,4±0,501*
	Французький лакон French lacaune	24,8±0,288*
Напівтонка Semi-fine	Мериноландшаф Merinolandschaf	25,8±0,324*
	Придніпровська м'ясна Prydniprovskia meat	27,1±0,741
	Асканійська м'ясо-вовнова, чорноголовий тип Ascanian meat and wool, black-headed type	25,5±0,413
	Асканійська м'ясо-вовнова, кросбредний тип Ascanian meat and wool, crossbred type	26,6±0,485*
	Буковинський тип асканійської м'ясо-вовнової з кросбредною вовною Bukovynian type of Ascanian meat and wool with crossbred wool	28,4±0,447*
Груба Coarse	Українська гірськокарпатська Ukrainian Carpathian Mountain	45,3±0,799
	Асканійський породний тип багатоплідних каракульських овець Ascanian type of multifetal qaraqul	49,0±0,773
	Буковинський тип асканійської каракульської породи Bukovynian type of Ascanian qaraqul	65,2±0,566*
	Сокільська смушкова Sokilka lambskin	50,9±0,668

*Примітка.* Порівняння проведено до найменшого показника в межах кожного виду вовни. \* — P<0,05; \*\* — P<0,01; \*\*\* — P<0,001.  
*Note.* In comparison with the smallest indice for every wool type. \* — P<0.05; \*\* — P<0.01; \*\*\* — P<0.001.

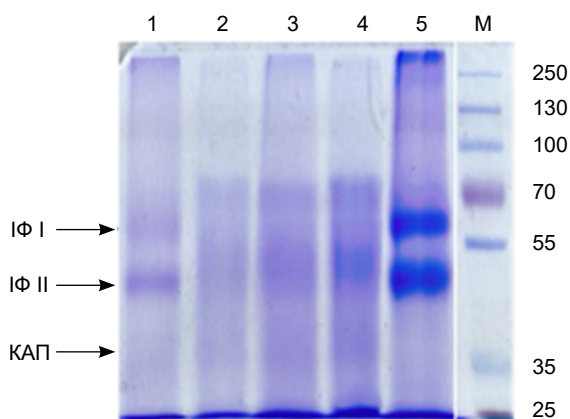
Загалом охоплено 13 порід з різним характером вовняного покриву, серед яких тонкорунні, напівтонкорунні і грубововнові. Досліджувалися зразки вовни, ріст якої припав на весняно-літньо-осінній періоди.

З метою вивчення вмісту і складу структурних протеїнів вовни усі дослідження проведено в лабораторних умовах згідно з методичними рекомендаціями [9]. Екстракцію протеїнів провели за методом, описаним А. Nakamura [11], а їхній вміст — колориметрично за допомогою реагенту Бредфорда [1]. Для розділення протеїнів використали метод електрофорезу в 12,5% поліакриламідному гелі в денатуруючих умовах з додецилсульфатом натрію у буферній системі Леммлі [5–8].

Одержані цифрові дані опрацьовані статистично за допомогою пакету програм *Microsoft Office Excel 2016* з використанням коефіцієнта Стьюдента.

### Результати й обговорення

У результаті проведених досліджень насамперед встановлено, що структурні протеїни вовни овець різних порід, які різняться між собою тониною волокон, методом електрофорезу розділяються на три різні групи. Це протеїни інтермедіальних філаментів (ІФ) з низьким вмістом Сульфуру, з молекулярною масою, відповідно, 55–65 і 45–55 кДа, та протеїни з високим вмістом Сульфуру, молекулярна маса яких становить 25–35 кДа — кератин-асоційовані протеїни (КАП). Протеїни ІФ у кератиновому волокні упаковані у суперструктури — так звані макрофібрили, а КАП формують глобулярну протеїнову решітку, яка утримує кортикальні клітини. Така КАП-решітка впливає не лише на макрофібрили ІФ, а й на міцність та звивистість волокон [16, 17].



**Рис.** Типова електрофореграма протеїнів, екстрагованих з волокон вовни (1–5). М — маркер молекулярної маси (*PageRuler Plus, ThermoScientific*), ІФ I та ІФ II — протеїни інтермедіальних філаментів, КАП — кератин-асоційовані протеїни  
**Fig.** Typical electrophoregram of proteins extracted from wool fibers (1–5). M — molecular weight marker (*PageRuler Plus, ThermoScientific*), IF I and IF II — proteins of intermediate filaments, KAP — keratin-associated proteins

З результатів електрофоретичного розділення видно (рис.), що смуги КАП забарвлюються менш інтенсивно, ніж протеїни ІФ. Причиною цього є те, що молекули кератину з високим вмістом Сульфуру гірше адсорбують барвник, ніж протеїни з низьким вмістом Сульфуру. Щоправда, у деяких порід овець, зокрема асканійської м'ясо-вовнової (чорноголової типу) та української гірськокарпатської породи, серед ІФ I виявлено ще дві фракції протеїнів, які за відсотковим співвідношенням майже тотожні. Поки що ми не можемо чітко сказати, чи це є породною ознакою, оскільки за характером вовняного покриву ці породи значно відрізняються між собою.

Аналізуючи отримані дані, констатуємо, що в групі тонкорунних порід (табл. 2) найбільший відсоток припадає на ІФ II — 35,9%. На дві інші фракції припадає майже однаковий відсоток — 32,1% (протеїни ІФ I) і 31,8% (КАП). Майже аналогічна картина співвідношень фракцій протеїнів зафіксована у групі тварин з грубою вовною (табл. 3), тобто найвищий відсоток становлять протеїни ІФ II (33,4%), а дві інші фракції не відрізняються між собою — 30,1% протеїнів ІФ I та 30,7% КАП. Це може бути пов'язано з тим, що вовна грубововнових порід досліджувалася без попереднього розділення на остьові і пухові волокна. Водночас інше співвідношення структурних протеїнів зафіксовано у групі овець з напівтонкою вовною (табл. 4). Тут чисельно домінують протеїни ІФ I і ІФ II — відповідно, 35,9 і 33,9%.

Аналіз отриманих даних виявив, що в межах досліджуваних груп овець спостерігаються окремі міжпородні особливості. В групі овець з напівтонкою вовною, зокрема овець асканійської м'ясо-вовнової породи, у волокнах найвищий відсоток 35,6% КАП і, відповідно, менше протеїнів ІФ II — 32,6%, а у волокнах асканійської м'ясо-вовнової чорноголового типу вірогідно менше протеїнів ІФ II і КАП — 25,2 і 26,2% відповідно. В групі овець з грубою вовною найбільш характерні різниці стосуються протеїнів ІФ II типу. Зокрема, у вовні тварин української гірськокарпатської породи, каракульських (асканійський породний багатоплідний тип) їх вірогідно менше порівняно з сокільською смушковою породою.

Отже, отримані за результатами досліджень дані вказують на породні особливості вмісту і співвідношення окремих груп структурних протеїнів, які можуть бути генетично детерміновані, а отже, слугувати відповідними маркерами як в межах окремих порід, так і серед порід з різною категорією волокон.

Особливої уваги заслуговують КАП, оскільки вони багаті не лише на Сульфур, але й на структурні ліпиди, які зв'язують між собою кутикулу і кортекс [3]. Ці протеїни суттєво впливають на формування поверхневих властивостей волокон та їхньої здатності до захисту від дії зовнішніх чинників [15], тобто мають властивість зміцнювати структуру волокон, зменшувати їхню проникність та підвищувати міцність на розрив [2].

**Таблиця 2.** Співвідношення структурних протеїнів у тонкій вовні, % (M±SD, n=4)  
**Table 2.** Ratio of structural proteins in fine wool % (M±SD, n=4)

Фракції протеїнів Protein fractions	Порода / Breed			
	Асканійська тонкорунна Ascanian fine-woolen	Харківський тип породи прекокс Kharkiv type of prekos	Олібс OLIBS	Французький лакон French lacaune
Протеїни інтермедіальних філаментів I (55–65 кДа) Proteines of intermediate filaments I (55–65 kDa)	33,41±0,406	31,03±1,118**	30,01±0,451***	34,44±1,672
Протеїни інтермедіальних філаментів II (45–55 кДа) Proteines of intermediate filaments II (45–55 kDa)	36,27±1,312	35,71±3,674	37,30±0,629	34,29±1,111
Кератин-асоційовані протеїни (25–35 кДа) Keratine associated proteins (25–35 kDa)	30,32±0,989	33,25±2,647	32,69±0,178*	31,27±1,435

*Примітка.* Порівняння до асканійської тонкорунної породи: \* — P≤0,05, \*\* — P≤0,01, \*\*\* — P≤0,001. / *Note.* In comparison with the Ascanian fine-woolen breed. \* — P<0.05; \*\* — P<0.01; \*\*\* — P<0.001.

**Таблиця 3.** Співвідношення структурних протеїнів у грубій вовні, % (M±SD, n=4)  
**Table 3.** Ratio of structural proteins in coarse wool, % (M±SD, n=4)

Фракції протеїнів Protein fractions	Порода / Breed			
	Українська гірськокарпатська Ukrainian Carpathian Mountain	Асканійський породний тип багатоплідних каракульських овець Ascanian type of multifetal qaraqul	Буковинський тип асканійської каракульської породи Bukovynian type of Ascanian qaraqul	Сокільська смушкова Sokilka lambskin
Протеїни інтермедіальних філаментів I (55–65 кДа) Proteines of intermediate filaments I (55–65 kDa)	22,88±1,985	32,91±0,440	31,45±0,918	31,72±1,516
Протеїни інтермедіальних філаментів II (45–55 кДа) Proteines of intermediate filaments II (45–55 kDa)	24,41±3,491	33,41±1,352**	35,96±2,227	38,01±1,660
Кератин-асоційовані протеїни (25–35 кДа) Keratine associated proteins (25–35 kDa)	26,24±3,276***	33,68±1,257	32,59±1,436	30,27±3,010

*Примітка.* Порівняння до сокільської смушкової породи: \* — P≤0,05, \*\* — P≤0,01, \*\*\* — P≤0,001. / *Note.* In comparison with the Sokilka lambskin. \* — P<0.05; \*\* — P<0.01; \*\*\* — P<0.001.

**Таблиця 4.** Співвідношення структурних протеїнів у напівтонкій вовні, % (M±SD, n=4)  
**Table 4.** Ratio of structural proteins in semi-fine wool, % (M±SD, n=4)

Фракції протеїнів Protein fractions	Порода / Breed				
	Мериноландшаф Merinolandschaf	Придніпровська м'ясна Prydniprovskia meat	Асканійська м'ясо-вовнова, чорноголовий тип Ascanian meat and wool, black-headed type	Асканійська м'ясо-вовнова, кросбредний тип Ascanian meat and wool, crossbred type	Буковинський тип асканійської м'ясо-вовнової з кросбредною вовною Bukovynian type of Ascanian meat and wool with crossbred wool
Протеїни інтермедіальних філаментів I (55–65 кДа) Proteines of intermediate filaments I (55–65 kDa)	32,81±0,594	31,81±1,211	23,62±1,145	31,75±0,739	30,9±1,124*
Протеїни інтермедіальних філаментів II (45–55 кДа) Proteines of intermediate filaments II (45–55 kDa)	37,8±1,588	37,78±2,025	24,61±2,678	32,65±0,488**	36,03±2,867
Кератин-асоційовані протеїни (25–35 кДа) Keratine associated proteins (25–35 kDa)	29,4±1,124	30,41±2,301	25,29±0,623 ***	35,6±1,169***	32,11±4,626

*Примітка.* Порівняння до мериноландшафної породи: \* — P≤0,05, \*\* — P≤0,01, \*\*\* — P≤0,001. / *Note.* In comparison with the Merinolandschaf. \* — P<0.05; \*\* — P<0.01; \*\*\* — P<0.001.

Електрофоретичний профіль кератинів вовни характеризується наявністю трьох зон протеїнів різної молекулярної маси: протеїни з низьким вмістом Сульфору з молекулярною масою 55–65 кДа і 45–55 кДа — це протеїни інтермедіальних філаментів I і II; протеїни з високим вмістом Сульфору, молекулярна маса яких становить 25–35 кДа — це кератин-асоційовані протеїни.

Встановлено породні особливості у співвідношенні окремих зон протеїнів у волокнах різних категорій, зокрема у тонкій і грубій вовні найвищий відсоток протеїнів інтермедіальних філаментів II, а у напівтонкій вовні — протеїнів інтермедіальних філаментів I. Окрім того, у межах досліджуваних груп спостерігаються окремі міжпородні різниці.

Необхідні подальші дослідження щодо пошуку генетичних маркерів відповідальних за формування окремих груп протеїнів, зокрема кератин-асоційованих протеїнів, які багаті не лише на Сульфур, але й на структурні ліпіди і мають значний вплив на формування поверхневих властивостей волокон та підвищують їхню міцність на розрив.

## Джерела

- Bradford MM. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dyebinding. *Analyt Biochem.* 1976; 72 (1–2): 248–254. DOI: 10.1006/abio.1976.9999.
- Coderch L, Oliver MA, Carrer V, Manich AM, Martí M. External lipid function in ethnic hairs. *J Cosmet Dermatol.* 2019; 18 (6): 1912–1920. DOI: 10.1111/jocd.12899.
- Coderch L, Oliver MA, Martínez V, Manich AM, Rubio L, Martí M. Exogenous and endogenous lipids of human hair. *Skin Res Technol.* 2017; 23 (4): 479–485. DOI: 10.1111/srt.12359.
- Conway JF, Parry DA. Structural features in the heptad substructure and longer range repeats of two-stranded  $\alpha$ -fibrous proteins.

- Intern J Biol Macromol.* 1990; 12 (5): 328–334. DOI: 10.1016/0141-8130(90)90023-4.
- Havryliak VV, Mykhaliuk VV. The factors impacting the efficiency of the extraction of keratin wool fibers. *Visnyk Lviv Univer Biol Ser.* 2016; 73: 47–50. Available at: <http://publications.lnu.edu.ua/bulletins/index.php/biology/article/view/7819> (in Ukrainian)
- Isarankura Na Ayutthaya S, Tanpichai S, Wootthikanokkhan J. Keratin extracted from chicken feather waste: extraction, preparation, and structural characterization of the keratin and keratin/biopolymer films and electrospuns. *J Polymer Environ.* 2015; 23 (4): 506–516. DOI: 10.1007/s10924-015-0725-8.
- Kakkar P, Madhan B, Shanmugam G. Extraction and characterization of keratin from bovine hoof: A potential material for biomedical applications. *SpringerPlus.* 2014; 3 (1): 596. DOI: 10.1186/2193-1801-3-596.
- Laemmli UK. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature.* 1970; 227: 680–685. DOI: 10.1038/227680a0.
- Mykhaliuk VV, Buslyk TV, Stapay PV, Smolyaninova OO, Stakhiv NP, Nevostruyeva IV, Sachko RG. *Electrophoretic analysis of sheep wool proteins.* Guidelines. Lviv, Institute of Animal Biology NAAS, 2024: 17 p. (in Ukrainian)
- Naito S, Arai K. Type and location of SS linkages in human hair and their relation to fiber properties in water. *J Appl Polymer Sci.* 1996; 61 (12): 2113–2118. DOI: 10.1002/(SICI)1097-4628(19960919)61:12<2113::AID-APP9>3.0.CO;2-D.
- Nakamura A, Arimoto M, Takeuchi K, Fujii T. A rapid extraction procedure of human hair proteins and identification of phosphorylated species. *Biol Pharmac Bull.* 2002; 25 (5): 569–572. DOI: 10.1248/bpb.25.569.
- Posati T, Giuri D, Nocchetti M, Sagnella A, Gariboldi M, Ferroni C, Aluigi A. Keratin-hydroxycalcites hybrid films for drug delivery applications. *Eur Polymer J.* 2018; 105: 177–185. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2018.05.030.
- Saha S, Arshad M, Zubair M, Ullah A. Keratin as a Biopolymer. In: *Keratin as a Protein Biopolymer.* Springer, Cham, 2019: 163–185. DOI: 10.1007/978-3-030-02901-2\_6.
- Tkachuk VM, Havrylyak VV, Stapay PV, Sedilo HM. Comparative characteristics of internal lipids in wool fibres of different types. *Biol Tvarin.* 2013; 15 (2): 131–139. DOI: 10.15407/animbiol15.02.131.
- Tkachuk VM, Havrylyak VV, Stapay PV, Sedilo HM. Internal lipids of felted, yellowed and pathologically thin wool. *Ukr Biochem J.* 2014; 86 (1): 131–138. DOI: 10.15407/ubj86.01.131.
- Zahn H, Wortmann F. Chemistry and structure of wool. *Chem Our Time.* 1997; 31 (6): 280–290. DOI: 10.1002/ciuz.19970310604.
- Zahn H, Wortmann FJ, Wortmann G. *Wool.* Weinheim, Wiley — VCH Verlag GmbH & Co.KGaa, 2005: 31 p.

## The ratio of structural proteins in the wool of sheep of different breeds and with different categories of fibers depending on the zones of their breeding

P. V. Stapay, T. V. Buslyk, V. V. Mykhaliuk, N. P. Stakhiv, O. O. Smolyaninova, I. V. Nevostruyeva, R. G. Sachko, A. V. Skorokhid, N. I. Pakholkiv [tvbuslyk@gmail.com](mailto:tvbuslyk@gmail.com)

Institute of Animal Biology NAAS, 38 V. Stus str., Lviv, 79034, Ukraine

Wool fiber consists of a complex of protein-keratins, which differ in both their physical and chemical properties and functional characteristics. Despite the progress achieved in the study of the structural organization of fibers, the issue of the influence of environmental factors, the nature and level of nutrition, as well as breed characteristics, remains poorly understood. With this in mind, we investigated the ratio of structural proteins in the wool of sheep of different breeds, which are bred in separate zones of Ukraine, in particular, fine-wool, semi-fine-wool, and coarse-wool. Therefore, during the study of the structural proteins of the wool of sheep of different breeds, which differ among themselves in the thinness of the fibers, it was established that by the method of electrophoretic separation, these proteins are clearly divided into three different groups, in particular, these are proteins of intermediate filaments (IF) of I and II types with a molecular weight of 55–65 and 45–55 kDa, respectively, as well as keratin-associated proteins (KAP) with a molecular weight of 25–35 kDa. However, in some breeds, in particular, the Ascanian meat-wool of the black-headed type and the Ukrainian Mountain Carpathian type, two more fractions of proteins were found among IF type I, which almost do not differ from each other in terms of percentage. It was established that within the studied groups of sheep, certain interbreed features are observed, so in the group of thin-wooled breeds, the largest percentage falls on IF II (35.9%). The other two fractions account for almost the same percentage — 32.1% (IF I) and 31.8% (KAP). An almost similar picture of the ratio of protein fractions was recorded in the group of animals with coarse wool. At the same time, in the group of sheep with semi-fine wool, in particular, the fibers of sheep of the Ascanian meat-wool breed have the highest percentage of KAP and, accordingly, less IF II, and in the fibers of the Ascanian meat-wool black-headed type, respectively, less proteins of IF II and KAP. Therefore, the obtained data clearly indicate breed characteristics of the content and ratios of certain groups of proteins, which can be genetically determined, and therefore serve as appropriate markers both within individual breeds and within breeds with different fiber categories.

**Key words:** sheep, breed, wool, structure, proteins, Sulfur, electrophoresis





## Еволюційні зміни сірої української породи

В. Козыр<sup>1</sup>, О. Красноруцький<sup>2</sup>, Є. Руденко<sup>2</sup>, О. Денисюк<sup>1</sup>, С. Олійник<sup>1</sup>  
izkzoo3337@gmail.com



<sup>1</sup>Державна установа «Інститут зернових культур НААН», вул. Володимира Вернадського, 14, м. Дніпро, 49027, Україна

<sup>2</sup>Інститут тваринництва НААН, вул. Тваринників, 1А, м. Харків, 61026, Україна

### ORCID:

V. Kozyr <https://orcid.org/0000-0002-0275-475X>

O. Krasnorutsky <https://orcid.org/0000-0003-1744-3257>

Ye. Rudenko <https://orcid.org/0000-0002-2200-2758>

O. Denysiuk <https://orcid.org/0000-0002-8371-7271>

### Authors' Contributions:

**KV:** Conceptualization; Methodology; Supervision; Writing — review & editing.

**KO:** Investigation; Data curation; Writing — original draft.

**DO:** Investigation Formal analysis; Writing — original draft.

**OS:** Validation; Writing — review & editing.

### Declaration of Conflict of Interests:

None to declare.

### Ethical approval:

Not applicable.

### Acknowledgements:

None.



Attribution 4.0 International  
(CC BY 4.0)

Наведено макро- і мікроеволюційні зміни сірої української породи за останні понад 100 років, які можна використати в селекційно-племінній роботі для збереження наявної генофондної популяції і в її подальшому використанні у поточний час, а також будуть корисними у породотворному процесі не тільки в Україні, а й в інших країнах. При цьому тварини і навіть родини, які були слабкими, хворобливими і не відповідали вимогам програми її розвитку і збереження, виражировувались і не брали участі у розведенні. Порівняно з тваринами-аналогами, які вибули зі стада, вдалося поліпшити в історичному аспекті деякі екстер'єрні показники — довжину тулуба, ширину в клубах і обхват грудей, що відобразилось на живій масі худоби. Дуже велике значення полягає в тому, що для неї характерні високі відтворювальні властивості (вихід телят становить 97–98 на 100 корів, чого немає в жодній м'ясній спеціалізованій породі світу) і відмінні материнські якості. При цьому збереглася міцна конституція, стійкість до захворювань, дрібноплідність і добра пристосованість до сухого жаркого клімату, безпасовищного утримання й екологічних кормових і технологічних умов степової зони України. За подовженого періоду вирощування тварин за відгодівельною якістю (бугайці 30 місяців на відгодівлі понад 1000 г/добу) і забійними показниками сіра українська порода не поступається класичним м'ясним породам світу — забійний вихід зріс до 60%. Яловичина за кулінарними і смаковими якостями оцінюється у 4,5 бала за 5-бальною шкалою, формується мрамуровість м'яса, що приваблює переробника і споживача. Високу оцінку має шкіра тварин: вже в однорічному віці бугайців шкіру зараховують до категорії важких (понад 25 кг), що дозволяє використовувати її для виготовлення високоякісної продукції. За сукупності господарсько корисних ознак сіра українська худоба належить до категорії м'ясної і сприяє становленню м'ясного скотарства в державі.

**Ключові слова:** велика рогата худоба, порода, еволюція, збереження, генетика, селекція, м'ясна продуктивність, жива маса

## Вступ

У класичному розумінні науковці сформулювали еволюцію як природний процес розвитку живих істот, який під впливом навколишнього середовища і виробничо-господарчої діяльності людини супроводжується різними змінами генетичного складу популяцій

і формуванням нових видоутворень та вимиранням слабких видів з перетворенням екосистем і біосфери загалом [1, 19, 35, 32]. Одним з історичних прикладів цього є еволюція сірої української породи великої рогатої худоби. Цілеспрямована народна селекційна робота з нею була розпочата від одомашнення дикого тура з часів доісторичної трипільської культури, продовжувалась

заводчиками у наступні періоди і триває на науковій основі в наш час. При цьому використовують класичні зоотехнічні методи дослідження, а також методи маркер-асоціованої селекції. Вона є продуктом тривалої еволюції, який зберіг біологічні ознаки і незамінний неповторний комплекс генетичних асоціацій [4, 43, 25]. Сіра українська худоба має славетну історію. Раніше нею (бугаями і коровами) орали землю, її дарували поважним, впливовим іноземцям. Вона давала людям м'ясо і молоко, які постачали і до царського столу. Тварини прикрашали міжнародні і вітчизняні виставки й аукціони. Вона пройшла досить складне породоутворення і зараз є однією зі спеціалізованих м'ясних порід України. На її основі створено першу національну українську м'ясну породу великої рогатої худоби і декілька м'ясних типів [45, 2, 7, 15].

Мета роботи — вивчити особливості формування еволюційних змін сірої української худоби за останні десятиріччя її розведення.

## Матеріали і методи

У дослідженні було використано ретроспективний аналіз даних зоотехнічного обліку тварин, проведені генетичні дослідження за сучасними методами [5, 9, 23, 24, 25, 29, 30]. Особливості формування будови тіла сірої української худоби в досліді вивчали згідно з чинними нормативними документами [26, 28]. Біохімічні дослідження сироватки крові проводили за загальноприйнятими методами [22].

Етологію сірої української породи вивчали згідно з методикою, наведеною С. О. Олійник [31]. Обробку даних проводили за допомогою комп'ютерної програми SPSS-20.

## Результати й обговорення

Для сірої української породи характерні міцна конституція, міцний кістяк, стійкість до захворювань, високий рівень адаптації, відмінна пристосованість до



**Рис. 1.** Бугай-плідник сірої української породи  
**Fig. 1.** Gray Ukrainian bull

сухого жаркого клімату і безпасовищного утримання, екологічних, кормових і технологічних умов степової зони України [40, 13, 16], а також висока конверсія кормів і відтворювальні якості, відгодівельні властивості та забійні показники, кулінарні і смакові якості яловичини, які приваблюють переробника і споживача, що сприяє становленню м'ясного скотарства у державі (рис. 1, 2).

Тварини крупні, світлої масті з темною стрічкою по хребту, навколо очей — темні «окуляри». Носове дзеркало, округлі і тонкі роги, копита, вульва — темні. Тіло довге з гармонійно добре розвинутими м'язами. Груді глибокі. Крижі дещо завислі. Голова легка, широкий лоб, на якому росте «гривка». Конституція міцна, таз широкий, спина рівна, кінцівки високі. Жива маса повновікових корів становить 620–630 кг, бугаїв — 940–950 кг. Середньодобові прирости бугайців на відгодівлі сягають 1200 г. Середня тривалість використання — 7 років. У корів висока молочність, після першого отелу вона становить 230 кг, другого і третього — 280 кг. Телята народжуються вузькотілими, що сприяє легкості отелення.

Роль породи збільшується у зв'язку з тим, що в ході еволюційного процесу з кожним роком ризик втрати наявних генетичних ресурсів не знижується через природний відбір, як в інших автохтонних породах світу.

У зв'язку з тим, що частина аборигенних порід опинилася на межі зникнення, світова наукова спільнота визнає проблему збереження селекційно-генетичних ресурсів тварин однією з найактуальніших для сучасного сільського господарства. Враховуючи, що автохтонна сіра українська порода великої рогатої худоби теж є в зоні ризику, Верховна рада України прийняла низку законодавчих актів з цього питання, чим засвідчила пріоритетність зазначеної проблеми як однієї з найважливіших [6, 17, 33, 46].

Головне завдання збереження генофонду полягає не тільки в збільшенні чисельності поголів'я і його продуктивності, а й у стабілізації кількісних і якісних ознак, гетерозиготного стану, резистентності і характерних для породи особливостей у подальшому еволюційному розвитку.



**Рис. 2.** Корови сірої української породи з телятами  
**Fig. 2.** Gray Ukrainian cows with calves

На Державне підприємство «Дослідне господарство „Поливанівка”» Інституту зернових культур НААН покладена дуже відповідальна державна місія — збереження у виробничих умовах цього цінного національного надбання. Підприємство засновано на базі колишнього поміщика Кашенка у 1921 р. Надаючи особливо велике значення наявній популяції, держава з початком II Світової війни 800 голів основного стада евакуювала в Казахстан, а після завершення війни було повернуто лише 117 корів і чотири бугаї. Зараз тут налічується 847 голів, зокрема 266 корів. За живою масою стадо вирівняне, заводської вгодованості.

Особливо негативний вплив на чисельність поголів'я відбувся під час воєнних подій XX століття, а також внаслідок схрещування сірої української породи з іншими вітчизняними й іноземними імпортними породами різного напрямку продуктивності. Аналіз змін кількості тварин за понад 100 років свідчить про значне її зменшення до сьогодення (табл. 1).

У зв'язку зі змінами напрямку спеціалізації сірої української породи великої рогатої худоби (у 1955 р. тварин цієї породи переведено з категорії «робоча» у категорію «м'ясо-робоча», у 1960 р. — «м'ясо-молочна», у 1970 р. — «молочно-м'ясна», у 80-х рр. — «спеціалізована м'ясна») значно скоротилась її чисельність.

У замкнутій популяції важливо провести внутрішньопородну диференціацію структурних одиниць за окремими селекційними ознаками. Тому, крім визначення генетичних параметрів соматометричних показників, доцільно проводити аналіз розподілу часток, які, незважаючи на близькі середні значення, суттєво відрізняються у різних ліній. У племінній роботі одним з основних є відбір за генетичними, селекційними, технологічними ознаками [10–13, 16].

Популяційно-фенетичний аналіз стада свідчить, що сучасному маточному поголів'ю характерні сім типів масті, основною з яких є А1 — сіра (54,0%). Забарвлення голови представлено дев'ятьма типами, основними серед них є В8 — світло-сіре волосся на фронтальній частині, темно-сірий низ (35,1%) та В1 — повністю сіра (21,4 %). 65,5% корів несуть фен С1 (чорні «окуляри» навколо очей), 94,0% — фен D1 (відсутнє чорне обрамлення на вухах, 58,9% — фен F2 (відсутній завиток шерсті на лобі), 6,5% — фен G1 (горбоносність — сагайдача морда), 83,3% — фен H1 (світло забарвлене кільце навколо носо-губного дзеркала), 94,6% — фен K1 (підпалини темно-сірого, червоно-сірого кольору на тугубі і кінцівках). 64,3% корів мають світлий ремінь по хребту (I3) та 73,2% — чорне забарвлення вульви (J2). За феногрупою L (розподіл світлих і темних ділянок забарвлення покривів) у 36,3% поголів'я тугуб забарвлений рівномірно (L3), 34,5% має «борсучий тип забарвлення» — верх світлий, низ темний (L1) та у 29,2% корів передня третина тугуба темна (L2). Формулу умовної типової (найчастіші фени) сучасної корови можна записати так: A1B8C1D1F2G2H1I2I3J2K1L3.

**Таблиця 1.** Динаміка чисельності поголів'я худоби сірої української породи на території України  
**Table 1.** Dynamics of the gray Ukrainian cattle population on the territory of Ukraine

Роки Years	Чисельність, тис. голів Number, thousands	% до загального поголів'я % of the total population
1900	5800,0	75,3
1916	2800,0	36,6
1939	101,6	4,3
1955	203,0	3,7
1960	196,0	2,0
1970	2,516	0,7
1980	2,112	0,4
1990	2,037	0,3
2000	0,891	0,1
2010	0,897	0,1
2020	0,858	0,1
2023	0,863	0,1

Імуногенетичний аналіз стада показує, що серед породоспецифічних алелей є В, В2, G3, J1, Q, T1, G2, K, V, E, O. Коефіцієнт гомозиготності для системи В становить 0,14, що свідчить про достатню генетичну різноманітність. Аналіз біохімічних маркерів протеїнів сироватки крові показує, що альбумін і постальбумін виявлено у трьох фенотипів AA, BB, і AB, пострасформами — теж у трьох фенотипів FF, FS, і SS. За гемоглобіном усі досліджені тварини стада мають тип А. За рестрикційним аналізом мітохондріальної ДНК поліморфізм виявлений тільки за ендонуклеазою Eco 471. Тобто завдяки селекційній роботі створено збалансований, стабільний та унікальний поліморфний геном породи. Високий рівень генетичної різноманітності у стаді пояснюється дією природного добору, який запобігає зниженню резерву спадкової мінливості. При цьому внутрішньогенні рекомбінації сприяють створенню нових алелей.

За останні 80 років з 49 антигенів систем груп крові стало менше на один еритроцитарний антиген «Z» в А-системі і «J» — в В, найбільш інформативній системі, з 41 алелі залишилось 24, з 16 дослідних локусів вдалося виявити лише п'ять алелей з усіх можливих фенотипів, зокрема три рідкісних трансферини фенотипу альбуміну і два — постальбуміну. Деяко заспокоює низький коефіцієнт гомозиготності (0,14), що свідчить про достатнє генетичне різноманіття. Тому для створення високопродуктивного стада ключовим є цільовий відбір [47, 48, 18, 38].

Генетичні ресурси — найцінніший скарб у тваринництві. Порода зберегла біологічні ознаки і незамінний неповторний комплекс генетичних асоціацій. Худоба досягає подальшого розвитку і закріплення селекційно-генетичних особливостей. Батьки стійко передають нащадкам позитивні властивості. Її унікальність полягає в тому, що є носієм окремих генів і специфічних генних комплексів, еритроцитарних антигенів і резервуаром спадкових якостей, яких немає у жодній із наявних у світі порід. А саме тому породі притаманна



висока успадкованість ( $r = 0,68$ ) таких ознак, як відмінна екологічна адаптивність, пропорційність будови тіла, резистентність, довголіття, стресостійкість, врівноважений темперамент, легкість отелення, доброзичливі материнські якості, інтенсивна довгорослість та гармонійність розвитку м'язів.

Кращими біологічними маркерами стану породи є біохімічні показники сироватки крові. Результати дослідження біохімічних показників сироватки крові молодняку сірої української породи різних генотипів за генами гормону росту (GH), пролактину (PRL) та лептину (LEP) представлені в табл. 2–4.

Одержані результати характеризують біологічні процеси, які відбуваються в організмі. Певна різниця показників свідчить про різний рівень інтенсивності метаболізму генотипів, хоча більшість з них залишається в межах фізіологічної норми, що підтверджує збереження загального гомеостазу.

Полігенно зумовлені кількісні ознаки обумовлені глибокими змінами обміну речовин, що відображається на гематологічному статусі організму і незначних міжлінійних коливаннях (табл. 5). У генетичній структурі худоба дослідного стада належить до двох ліній — Петушка 191-У (62% маточного поголів'я) і Шамріна — ХУ-41 (38% корів) та 20 родин.

Альбуміни, постальбумін і посттрансформи виявлено лише у трьох фенотипів. За гемоглобіном тварини мають тип «А», поліморфізм митохондріальний ДНК — тільки ендонуклеази E-471. У крові плазма займає 65%, формені елементи — 37%, еритроцити — 5–8 млн/мм<sup>3</sup>, гемоглобін — 9–14%, лейкоцити — 5–13 тис/мм<sup>3</sup>.

Завдяки селекційній роботі створено збалансований, стабільний та унікальний поліморфний геном породи. Високий рівень генетичної різноманітності в стаді можна пояснити дією природнього добору, який запобігає зниженню резерву спадкової мінливості. При цьому внутрішньогенні рекомбінації сприяють створенню нових алелів [8].

Важливе значення для успішного розвитку скотарства мають відтворні якості маточного поголів'я. Економічне значення цього показника у м'ясному скотарстві більше, ніж у молочному. Яловість завдає господарствам великих збитків. Це пояснюється тим, що м'ясна корова дає практично єдиний товарний продукт — теля. Тому одержання теляти щороку від кожної корови є золотим правилом рентабельного ведення галузі [39, 42, 37, 38, 14].

Отримані дослідні дані свідчать, що за тривалого чистопородного розведення у невеликій замкнутій популяції сіра українська худоба зберегла основні специфічні особливості: пристосованість до місцевих умов, дрібноплідність і високі показники відтворювальних якостей (табл. 6).

Дані про відтворювальні якості показують, що їхній високий рівень досягається за рахунок тривалості міжотельного періоду. Як наведено у табл. 6, тривалість міжотельного періоду зменшується і у 2022 р.

становить 308 днів, а сервіс-період, порівняно з 1936 р., протягом цього періоду зменшився і становить 23 дні. Тому й вихід телят на 100 корів поступово зростає і уже в 2020–2022 рр. становив 98–99%.

На покращення відтворення вплинула ефективна підготовка корів і ремонтних телиць до осіменіння. Результати досліджень свідчать про високу інтенсивність відтворювання маток і високі запліднювальні якості бугайців, які становлять еволюційне та селекційне надбання популяції.

Зазнали змін і відповідні соматометричні проміри екстер'єрних показників (табл. 7). Незначні коливання показників екстер'єрних промірів тулуба тварин можна пояснити зміною структури раціону. Раніше (100 років тому) худобу годували переважно грубими кормами — соломою і сіном. У наш час у раціонах тварин майже 50% становлять соковиті (силос, коренеплоди) і зелені корми, що не могло не вплинути позитивно на структуру тіла [3, 17, 27, 34].

Зі збільшенням габітусу тварин закономірно зростала і жива маса поголів'я. Деякі її коливання пов'язані насамперед із різною забезпеченістю кормами в окремі історичні періоди. Кормова база, структура раціону безпосередньо залежали від кліматичної посушливості в окремі роки. З 1997 р. жива маса новонароджених телят збільшується внаслідок поліпшення рівня годівлі маточного поголів'я та ремонтного молодняку (табл. 8). Це відбувалось як на маточному поголів'ї, так і на новонароджених бугайцях і теличках протягом вирощування до 30-місячного віку, а також технологічними особливостями — ручне випоювання молодняку і на підсосі, прив'язне і безприв'язне утримання. Але соматометричні показники росту і розвитку постійно були в межах стандарту породи. За живою масою на цьому етапі стадо вирівняне, заводської вгодованості.

Морфологічний склад туші залежить від маси худоби. Важкі туші мають більше цінної м'язової тканини, в них вищий коефіцієнт м'ясності — співвідношення м'язової тканини та кісток. Яловичина з вмістом жиру до протеїну 1 : 0,9, що надає м'ясу мрамуровості та чудових органолептичних особливостей (соковитість, ніжність і аромат за низької уварюваності та інших кулінарних переваг), має підвищений попит у споживачів.

Чим важчі туші, тим кращий їхній морфологічний склад. Ріст маси парної туші з віком тварин випереджав темпи росту передзайної маси (табл. 9). Наприкінці досліджень (30 місяців) маса туші бугайців, порівняно з їхньою масою у річному віці, зросла у 2,2 раза, а передзайна маса — в 1,9 раза, зокрема за день життя — відповідно, 964 і 734 г.

Технологія — комплекс заходів, спрямованих на створення генотипу і забезпечення відповідних умов для проявлення ним генетичного потенціалу продуктивності, — повинна бути ресурсозберігаючою, енергозберігаючою, економічною, екологічною, пристосованою до місцевих умов, безвідходною, безпечною, простою та зрозумілою для виконавців.

**Таблиця 2.** Біохімічні показники сироватки крові молодяку сірої української породи великої рогатої худоби різних генотипів за геном гормону росту (GH)**Table 2.** Blood serum biochemical indices in Gray Ukrainian breed young cattle of different genotypes by the growth hormone (GH) gene

Показники Indices	Біометричні показники Biometric indices	Генотип / Genotype	
		LL (n=7)	LV (n=14)
Загальний білок, г/л Total protein, g/L	X±Sx	83,81±0,586	82,56±0,626
	Cv, %	1,85	2,83
Альбуміни, % Albumins, %	X±Sx	42,85±0,796	42,23±0,557
	Cv, %	4,91	4,93
Сума глобулінів, % The amount of globulins, %	X±Sx	57,14±0,796	57,76±0,557
	Cv, %	3,69	3,61
Коефіцієнт А/Г A/G ratio	X±Sx	0,75±0,029	0,73±0,016
	Cv, %	10,40	8,61
Альфа-глобуліни, % Alpha globulins, %	X±Sx	15,10±1,157	12,80±1,116
	Cv, %	20,30	32,61
Альфа1-глобуліни, % Alpha1 globulins, %	X±Sx	5,90±0,461	4,62±0,391
	Cv, %	20,70	31,71
Альфа2-глобуліни, % Alpha2 globulins, %	X±Sx	9,20±1,34	8,17±1,037
	Cv, %	37,70	47,51
Бета-глобуліни, % Beta globulins, %	X±Sx	11,24±1,214	11,45±0,585
	Cv, %	28,60	19,11
Гамма-глобуліни, % Gamma globulins, %	X±Sx	30,80±1,315	33,50±1,324
	Cv, %	11,30	14,79
Фосфор неорганічний, ммоль/л Inorganic phosphorus, mmol/L	X±Sx	1,87±0,094	1,76±0,052
	Cv, %	13,30	11,02
Кальцій загальний, ммоль/л Total calcium, mmol/L	X±Sx	2,48±0,045	2,57±0,031
	Cv, %	4,89	4,60
Глюкоза, ммоль/л Glucose, mmol/L	X±Sx	3,31±0,045	3,26±0,042
	Cv, %	3,67	4,89
Холестерол, ммоль/л Cholesterol, mmol/L	X±Sx	3,52±0,137	3,48±0,071
	Cv, %	10,30	7,70
АсАТ, од/л AST, unit/L	X±Sx	27,28±1,475	26,85±1,821
	Cv, %	14,30	25,37
АлАТ, од/л ALT, unit/L	X±Sx	20,00±1,951	19,64±1,117
	Cv, %	25,80	21,28
Фосфатаза лужна, од/л Alkaline phosphatase, unit/L	X±Sx	186,42±3,476	182,71±6,698
	Cv, %	4,93	13,71
Сечовина, ммоль/л Urea, mmol/L	X±Sx	4,07±0,114	3,89±0,064
	Cv, %	7,47	6,17
Креатинін, моль/л Creatinine, mol/L	X±Sx	90,57±1,962	91,07±1,126
	Cv, %	5,73	4,62

**Таблиця 3.** Біохімічні показники сироватки крові молодянку сірої української породи великої рогатої худоби різних генотипів за геном пролактину (PRL)**Table 3.** Blood serum biochemical indices in Gray Ukrainian breed young cattle of different genotypes by the prolactin (PRL) gene

Показники Indices	Біометричні показники Biometric Indices	Генотип / Genotype		
		AA (n – 10)	BB (n – 2)	AB (n – 9)
Загальний білок, г/л Total protein, g/L	X±Sx	83,34±0,482	81,95	82,80±0,822
	Cv, %	1,83		2,97
Альбуміни, % Albumins, %	X±Sx	43,02±0,710	40,70	42,18±0,630
	Cv, %	5,22		4,48
Сума глобулінів, % The amount of globulins, %	X±Sx	56,98±0,710	59,30	57,81±0,630
	Cv, %	3,94		3,27
Коефіцієнт А/Г A/G ratio	X±Sx	0,76±0,026	0,70	0,73±0,017
	Cv, %	11,09		6,81
Альфа-глобуліни, % Alpha-globulins, %	X±Sx	12,31±1,401	16,95	14,22±0,982
	Cv, %	36,01		20,73
Альфа1-глобуліни, % Alpha1-globulins, %	X±Sx	4,89±0,486	6,00	5,01±0,461
	Cv, %	31,46		27,62
Альфа2-глобуліни, % Alpha2-globulins, %	X±Sx	7,41±1,184	10,95	9,20±1,00
	Cv, %	50,55		32,93
Бета-глобуліни, % Beta globulins, %	X±Sx	11,00±0,967	11,05	11,88±0,708
	Cv, %	27,79		17,88
Гамма-глобуліни, % Gamma globulins, %	X±Sx	33,67±1,378	31,30	31,70±1,663
	Cv, %	12,94		15,74
Фосфор неорганічний, ммоль/л Inorganic phosphorus, mmol/L	X±Sx	1,74±0,040	1,80	1,86±0,092
	Cv, %	7,27		14,91
Кальцій загальний, ммоль/л Total calcium, mmol/L	X±Sx	2,56±0,040	2,45	2,55±0,044
	Cv, %	4,94		5,21
Глюкоза, ммоль/л Glucose, mmol/L	X±Sx	3,27±0,039	3,20	3,31±0,051
	Cv, %	3,82		4,64
Холестерол, ммоль/л Cholesterol, mmol/L	X±Sx	3,61±0,112	3,35	3,41±0,071
	Cv, %	9,81		6,29
АсАТ, од/л AST, unit/L	X±Sx	27,00±1,693	33,0	25,67±2,204
	Cv, %	19,83		25,77
АлАТ, од/л ALT, unit/L	X±Sx	17,80±1,412	24,0	21,00±1,290
	Cv, %	25,09		18,44
Фосфатаза лужна, од/л Alkaline phosphatase, unit/L	X±Sx	190,50±3,019	183,0	176,88±9,818
	Cv, %	5,01		16,65
Сечовина, ммоль/л Urea, mmol/L	X±Sx	3,94±0,102	3,95	3,96±0,079
	Cv, %	8,21		6,04
Креатинін, моль/л Creatinine, mol/L	X±Sx	92,80±1,289	93,5	88,22±1,320
	Cv, %	4,39		4,49

**Таблиця 4.** Біохімічні показники сироватки крові молодяку сірої української породи великої рогатої худоби різних генотипів за геном лептину (LEP)**Table 4.** Blood serum biochemical indices in Gray Ukrainian breed young cattle of different genotypes by the leptin (LER) gene

Показники Indices	Біометричні показники Biometric Indices	Генотип / Genotype		
		CC (n – 10)	CT (n – 2)	TT (n – 9)
Загальний білок, г/л Total protein, g/L	X±Sx	83,02±0,510	82,07±1,650	84,8
	Cv, %	2,53	3,48	
Альбуміни, % Albumins, %	X±Sx	42,31±0,490	43,03±1,734	42,9
	Cv, %	4,77	6,98	
Сума глобулінів, % The amount of globulins, %	X±Sx	57,68±0,490	56,96±1,734	57,1
	Cv, %	3,50	5,27	
Коефіцієнт А/Г A/G ratio	X±Sx	0,73±0,014	0,76±0,067	0,80
	Cv, %	8,24	15,06	
Альфа-глобуліни, % Alpha-globulins, %	X±Sx	13,04±0,879	15,43±3,437	16,9
	Cv, %	27,80	38,57	
Альфа1-глобуліни, % Alpha1-globulins, %	X±Sx	5,21±0,386	4,06±0,284	5,2
	Cv, %	30,57	12,13	
Альфа2-глобуліни, % Alpha2-globulins, %	X±Sx	7,82±0,791	11,36±3,166	11,7
	Cv, %	41,70	48,24	
Бета-глобуліни, % Beta globulins, %	X±Sx	11,42±0,626	11,46±1,674	10,4
	Cv, %	22,59	25,29	
Гамма-глобуліни, % Gamma globulins, %	X±Sx	33,21±1,111	30,06±3,068	29,8
	Cv, %	13,79	17,67	
Фосфор неорганічний, ммоль/л Inorganic phosphorus, mmol/L	X±Sx	1,80±0,055	1,73±0,067	2,0
	Cv, %	12,72	6,67	
Кальцій загальний, ммоль/л Total calcium, mmol/L	X±Sx	2,55±0,029	2,56±0,088	2,4
	Cv, %	4,82	5,95	
Глюкоза, ммоль/л Glucose, mmol/L	X±Sx	3,30±0,034	3,16±0,088	3,2
	Cv, %	4,34	4,82	
Холестерол, ммоль/л Cholesterol, mmol/L	X±Sx	3,51±0,077	3,40±0,100	3,50
	Cv, %	9,11	5,09	
АсАТ, од/л AST, unit/L	X±Sx	26,52±1,500	30,33±2,667	25,0
	Cv, %	23,31	15,22	
АлАТ, од/л ALT, unit/L	X±Sx	19,23±1,076	21,33±2,667	24,0
	Cv, %	23,06	21,65	
Фосфатаза лужна, од/л Alkaline phosphatase, unit/L	X±Sx	181,17±5,366	197,67±5,364	190,0
	Cv, %	12,21	4,70	
Сечовина, ммоль/л Urea, mmol/L	X±Sx	3,92±0,068	4,03±0,120	4,20
	Cv, %	7,18	5,16	
Креатинін, моль/л Creatinine, mol/L	X±Sx	91,17±1,120	90,67±2,403	87,0
	Cv, %	5,07	4,59	



За створення високопродуктивного стада доцільні такі технологічні рішення, які забезпечують здоров'я тварин: система утримання — прив'язна та безприв'язна, боксова, на суцільній або щільній підлозі, на глибокій підстилці або без неї; спосіб роздавання кормів — мобільним транспортом в годівниці або на кормові столи, стаціонарним обладнанням; спосіб напування тварин — автонапувалки (ПА-1, ПА-2), з підігрівом або без підігріву води, варіант водоймища; прибирання приміщення — самосплав, гідрозмив, бульдозер, шкребокві транспортери, щільна підлога; створення мікроклімату спеціальним обладнанням —  $T = 12^{\circ}\text{C}$ , відносна вологість повітря 70–80%, кількість повітря на голову 90 м<sup>3</sup>/год, швидкість руху повітря 0,3 м/с, освітлення 1:10–15 (співвідношення площі вікон та площі підлоги) або штучне освітлення 20 люкс.

Маловитратна поточно-цехова технологія передбачає рівномірний та послідовний виробничий процес у спеціалізованих цехах: родильно-пологового відділення, вільний розвиток у денниках 3×3 м; інтенсивного вирощування телят на підсосі і вільно матерями; сухостійних корів та нетелей; ремонтного молодняку (вільного ходіння бугайців та телиць), відгодівлі молодняку та відбракованих дорослих тварин (на прив'язі).

**Таблиця 5.** Біохімічні показники сироватки крові бугайців різних ліній,  $X \pm Sx$

**Table 5.** Blood serum biochemical indices in bulls of different lines,  $X \pm Sx$

Показники / Indices	Лінія / Line		
	Петушка Petushka	Шамріна Shamrina	Норма Norm
Загальний білок, г/л Total protein, g/L	83,1±0,91	83,9±0,80	70–80
Альбуміни / Albumins, %	41,4±0,64	42,6±1,22	40–50
Глобуліни / Globulins, %	58,6±0,63	57,4±1,21	47–76
Коефіцієнт А/Г / A/G ratio	0,7±0,02	0,8±0,04	—
Бета-глобуліни, % Beta globulins, %	12,0±0,69	9,5±0,66	8–16
Гамма-глобуліни, % Gamma globulins, %	36,2±1,43	35,9±0,49	25–40
Альфа-глобуліни, % Alpha-globulins, %	10,4±1,40	12,0±0,99	10–20
АсАТ, од/л / AST, unit/L	27,5±2,80	25,8±2,89	10,50
АлАТ, од/л / ALT, unit/L	18,7±1,69	20,4±2,23	10–30
Фосфатаза лужна, од/л Alkaline phosphatase, unit/L	167,5±13,33	191,0±5,61	100–200
Холестерол, ммоль/л Cholesterol, mmol/L	3,6±0,11	3,4±0,14	2,3–4,5

**Таблиця 6.** Відтворювальна здатність корів сірої української породи

**Table 6.** Reproductive capacity of the Gray Ukrainian breed cows

Показники / Indices	Роки / Years									
	1936	1940	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020	2022
Вихід телят / Yield of calves, %	81	85	90	93	95	97	96	97	99	98
Міжотельний період, діб / Interpartum period, days	326	321	316	313	311	309	310	309	307	308
Сервісний період, діб / Service period, days	41	36	31	28	26	24	25	24	22	23

**Таблиця 7.** Динаміка екстер'єру корів сірої української породи

**Table 7.** Dynamics of the exterior in the Gray Ukrainian breed cows

Показники Indices	Рік, автор / Year, author					
	1924 П. Н. Кулешов N. Kuleshov	1936 І. Ф. Шульженко I. Shulzhenko	1950 І. Г. Зорін I. Zorin	1990 Л. В. Годованець L. Hodovanets	2006 В. Д. Гуменний V. Humennyi	2023 В. С. Козир V. Kozyr
Висота в холці Height at the withers	127,3	136,3	132	132,3	139,0	132
Коса довжина тулуба Oblique body length	155,0	159,0	169	149,9	163,0	162,0
Обхват грудей Chest girth	182,9	188,4	186	194,0	196,0	198,0
Ширина грудей Chest width	42,1	43,1	42	41,2	48,0	49,0
Глибина грудей Chest depth	69,9	72,4	69	71,4	67,0	68,0
Ширина в маклаках Width in maclocks	51,9	54,3	53	50,6	53,0	52,0
Обхват п'ястку Wrist circumference	18,7	18,4	18,8	18,7	19,0	19,0

**Таблиця 8.** Динаміка живої маси молодняку сірої української породи,  $X \pm Sx$   
**Table 8.** Live weight dynamics in young gray Ukrainian breed,  $X \pm Sx$

Вік, місяців Age, months	1933 I. I. Назаренко I. Nazarenko	1940 С.С. Кромін S. Kromin	Роки і автор / Years and author						
			1964–1965 В. С. Козир V. Kozyr	1974–1975 А. П. Кругляк A. Kruhliak	1984–1985 О. П. Чиркова O. Chyrkova	1994–1995 Л. В. Годованець L. Hodovanets	2004–2005 В. Д. Гуменний V. Humennyi	2014–2015 В. С. Донець V. Donets	2023 В. С. Козир V. Kozyr
Бугайці / Bulls									
При народженні Newborn	25,1	26,0	26,4±0,38	26,6±0,38	26,9±0,3	27,0±0,3	27,4±0,6	27,5±0,20	27,9±0,31
6	168,0	148,2	156±1,9	184±1,89	194±3,2	154±2,0	155±2,6	175,4±2,70	178,0±2,09
12	321,0	224,5	224±4,95	288±3,16	327±3,5	278±3,1	352±9,3	309,5±4,80	267,0±3,08
18	436,0	343,8	363±21,94	382±4,3	430±8,7	343±4,3	491±17,1	404,3±6,35	375,4±1,56
24	—	—	—	—	631±24,6	608±21,7	597±24,5	614,2±25,13	627,2±28,51
30	—	—	—	—	667±33,1	622±28,1	668±33,7	619,4±27,43	631,7±31,23
Телиці / Heifers									
При народженні Newborn	24,9	25,7	26,6±0,34	26,7±0,43	26,8±0,32	26,9±0,8	27,1±0,6	27,3±0,77	27,5±0,17
6	152,0	142,0	145±1,32	162±1,69	164±1,73	147±173,4	150±3,8	172,3±3,88	171,0±1,33
12	260,0	217,0	220±2,12	274±3,23	289±2,38	271±2,9	271±4,1	267,7±6,89	268,3±2,44
18	355	322	308±2,35	380±3,49	385±3,05	330±5,2	376±6,4	372,7±6,77	369,2±2,61
24	—	—	—	—	561±19	577±22,5	587±21,8	588,2±26,41	581,3±29,51
30	—	—	—	—	637±28	639±32,6	647±30,6	651,4±33,26	650,7±32,64

**Таблиця 9.** Характеристика забійних показників бугайців у 30-місячному віці,  $X \pm Sx$ **Table 9.** Characteristics of the slaughter performance in bulls at the age of 30 months,  $X \pm Sx$ 

Роки Years	Показники / Indices			
	передзабійна жива маса, кг pre-slaughter live weight, kg	маса туші, кг carcass weight, kg	забійний вихід, % slaughter yield, %	вихід туші, %
1980	655,2±3,05	361,7±2,13	55,2±0,89	52,1±1,06
1990	662,8±2,31	374,2±1,82	56,5±0,91	52,5±0,88
2000	663,5±2,86	381,5±1,68	57,5±0,83	52,8±0,93
2010	663,1±1,98	386,6±1,85	58,3±0,93	53,6±0,97
2020	663,5±2,32	390,1±1,93	58,8±0,82	54,3±0,92
2022	664,0±2,57	391,8±1,64	59,0±0,94	54,4±0,96

У групі телиць, яких утримують за маловитратною технологією (безприв'язна на пасовищі), заплідненість становила 95%, тоді як у контрольній за традиційної технології (у вигульно-кормовому дворі) — 62% за використання тих же плідників.

Результати наших досліджень та інтегрована оцінка еволюційних процесів сірої української худоби за останні півстоліття свідчать про те, що тварини стали життєздатнішими, зросла відтворювальна здатність корів (вихід телят на 100 корів збільшився до 97–99%), що підтверджують також дані інших дослідників [4, 44].

Сучасні підходи у розведенні локальних та зникаючих порід великої рогатої худоби, і особливо сірої української худоби, дозволили стабілізувати поголів'я, покращити екстер'єрні показники — худоба стала крупнішою і без екстер'єрних вад [20, 21].

Аналіз результатів досліджень впродовж останніх п'ятдесят років вказує на зростання показників життєздатності тварин — збереженість молодняку зросла до 97%, що сприяло збереженню вітчизняної локальної сірої української породи [1, 38, 44].

Отже, сіра українська порода має тільки їй притаманні унікальні генетичні асоціації, які використовуються у наш час і будуть корисними у подальшому породотворному процесі не тільки в Україні, а і в інших країнах. Худоба сірої української породи сучасної Придніпровської популяції, порівняно з аналогами, які вибули зі стада, стали меншими за шириною в клубах і обхвату грудей, однак видовженішими за косою довжини тулуба і кращими за абсолютним приростом живої маси. Сіра українська порода має генетичні, селекційні, продуктивні та господарські ознаки, які зберегла впродовж тисячоліть. Стратегічна важливість наявної вітчизняної популяції сірої української породи полягає у тому, що маточне поголів'я проявляє високі відтворювальні показники і відмінні материнські якості.

## Джерела

- Basovsky DM. Modern problems of maintenance of Ukrainian local and small breeds of cattle by method of *ex situ*. *Breed Genet Anim.* 2015; 49: 221–224. Available at: <http://digest.iabg.org.ua/preservation/item/118-49-035> (in Ukrainian)
- Bashchenko MI. *Breeding Bulls in the Cherkasy Regional Center*. Kyiv, Agrarian Science. 1999: 40 p. (in Ukrainian)
- Bogdanov GO, Kandiba VM. *Norms and Rations of Full-Fledged Feeding of Cattle*. Kyiv, 2012: 296 p. (in Ukrainian)
- Chegorka PT, Humennyi VD. Historical aspects of the formation of the gray Ukrainian breed. *Bull ITCR UAAS.* 2007; 1: 151–158. (in Ukrainian)
- Dzitsyuk V, Humennyi V. Gray Ukrainian... some genetic characteristics. *Animal Husb Ukraine.* 2008; 8: 21–24. (in Ukrainian)
- Gladiy MV, Polupan YV, Basovsky DM, Vyshnevskiy LV, Kovtun SI, Sydorenko OV, Podoba BY, Biriukova OD, Rieznykova NL, Voitenko SL, Dzhus PP, Kuzebnyi SV, Sharan PI, Kruhliak OV, Kruhliak AP, Milchenko YV, Pryima SV, Reznikova YM, Martyniuk IS, Zhukorskiy OM, Kostenko OI, Bashchenko MI, Kvasha MM, Romanova OV, Ladyka VI, Khmelnychiy LM, Vdovychenko YV, Kozyr VS, Denysiuk OV, Katerynych OO. *Program for the conservation of the gene pool of local and endangered breeds of farm animals in Ukraine for 2017–2025*. Sumy, SNAU, 2018: 84 p. Available at: [https://iabg.org.ua/images/stories/prog\\_zber2.pdf](https://iabg.org.ua/images/stories/prog_zber2.pdf) (in Ukrainian)
- Gorbatenko IY, Hyl MI. *Biology of Productivity of Agricultural Animals*. Mykolayiv, MBAU, 2008: 218 p. (in Ukrainian)
- Guzev YV. Genesis of the gene pool of aboriginal breeds of cattle in Ukraine. *Sci Bull LNUVMB Ser Agricult Sci.* 2014; 6 (3/3): 72–80. (in Ukrainian)
- Guzev YV, Melnyk OV, Spyrudonov VG, Melnychuk SD. Comparative analysis of the genetic structure of the micropopulation of the gray Ukrainian breed of cattle by DNA markers. *Biol Tvarin.* 2016; 18 (1): 22–26. DOI: 10.15407/animbiol18.01.022. (in Ukrainian)
- Guzev IV, Biryukova OD, Vyshnevskiy LV, Reznikova NL, Kostenko OI. Strategic work directions in preservation of gene pool of agricultural animals in Ukraine. *Breed Genet Anim.* 2013; 47: 13–23. Available at: <http://digest.iabg.org.ua/different/item/5-47-002> (in Ukrainian)
- Guzev IV, Chyrkova OP. Methods of preserving the gene pool of local breeds in closed populations. In: *Methods of scientific research on breeding, genetics and biotechnology in animal husbandry*. Kyiv, Agrarian Science. 2005: 14–21. (in Ukrainian)
- Guzev IV, Podoba BE, Reznikova NL. Some actual issues of preserving the gene pool of animals in the modern context. *Breed Genet Anim.* 2012; 46: 69–73. Available at: <http://digest.iabg.org.ua/different/item/190-46-024> (in Ukrainian)
- Humennyi VD. Interbreed selection at preservation of gene pool of the Grey Ukrainian breed. *Breed Genet Anim.* 2009; 43: 108–115. Available at: <http://digest.iabg.org.ua/selection/item/437-43-016> (in Ukrainian)
- Humennyi VD, Shalovylo SH, Gutyj BV, Boiko AO. Ethological observations of reproductive qualities of Aberdeen-Angus and Grey Ukrainian breed in the conditions of forest steppe and steppe zones of Ukraine. *Sci Bull LNUVMB Ser Agricult Sci.* 2019; 21 (90): 98–103. DOI: 10.32718/nvlvet-a9017. (in Ukrainian)
- Humennyi VD, Shalovylo SG, Kyryliv YI. Problems of preservation and improvement of the gene pool of local, aboriginal breeds of agricultural animals and its significance for the theory and practice of selection in accordance with WTO requirements. *Sci Bull LNUVMB Ser Agricult Sci.* 2013; 15 (1/2): 61–80. (in Ukrainian)
- Humennyi VD, Vovk SO, Vuytsyk Y, Pilarchyk R. Methodological and organizational measures to preserve the gene pool of Gray Ukrainian cattle breeds. *Sci Bull LNUVMB Ser Agricult Sci.* 2014; 16 (2/3): 69–75. (in Ukrainian)
- Ibatulin II, Zhukorskiy AM. *Handbook on full-fledged feeding of farm animals*. Kyiv, Agrarian Science, 2016: 336 p. (in Ukrainian)
- International Committee for Animal Registration (ICAR). International Agreement of Recording Practices: Guidelines Approved by the General Assembly held in Niagara Falls, USA, June 18, 2008, Chapter 3. 2009: 91–189.
- Kozyr VS, Barabash VI, Oliynyk SO, Chegorka PT. *Gray Ukrainian cattle: past, present, future*. Dnipropetrovsk Delita. 2008: 243 p. (in Ukrainian)

20. Kozyr VS, Denysiuk OV. Age-related variability of the exterior and muscle tissue of young bulls of the Gray Ukrainian breed. *Bull Agr Sci.* 2023; 101 (10): 41–45. DOI: 10.31073/agrovivnyk202310-06. (in Ukrainian)
21. Kozyr VS, Denysiuk OV. Peculiarities of the behavior of bulls-calves of Ukrainian gray breed and its relationship with live weight gains. *Anim Breed Genet.* 2023; 65: 206–213. DOI: 10.31073/abg.65.20. (in Ukrainian)
22. Kozyr VS, Khalak VI, Rudenko EV, Podobed LI, Dolgaya MN, Goncharenko AA. Relationship between biochemical indicators of blood serum and productivity of bulls of different genotypes. *Sci Notes Vitebsk State Acad Vet Med.* 2018; 54 (3): 87–92.
23. Marynychuk GE. Polymorphic systems of bovine lactoproteins as gene markers of milk productivity. Diss. Dr. agr. sci. Dnipropetrovsk, 2007: 259 p. (in Ukrainian)
24. Mashurov AM. *Genetic Markers in Animal Breeding.* Kyiv, Nauka, 1980: 328 p. (in Ukrainian)
25. Mastrangelo S, Tolone M, Ben Jemaa S, Sottile G, Di Gerlando R, Cortés O, Senczuk G, Portolano B, Pilla F, Ciani E. Refining the genetic structure and relationships of European cattle breeds through meta-analysis of worldwide genomic SNP data, focusing on Italian cattle. *Sci Rep.* 2020; 10: 14522. DOI: 10.1038/s41598-020-71375-2.
26. Melnyk YF, Pischolka VA, Lytovchenko AM. *Instructions for grading beef cattle. Instruction on pedigree accounting in beef cattle breeding.* Kyiv, Aristeus, 2007: 64 p. (in Ukrainian)
27. *Methodical recommendations for energy and protein nutrition of cattle.* Kharkiv, Kharkiv City Printing House. 1987, 65 p. (in Ukrainian)
28. *Methods of scientific research in breeding, genetics and biotechnology in animal husbandry.* Kyiv, Agrarian Science, 2005: 248 p. (in Ukrainian)
29. Mokhnachova NB. Peculiarities of the genetic structure of the gray Ukrainian breed of cattle according to complex genotypes. *Anim Breed Genet.* 2018; 55: 235–242. DOI: 10.31073/abg.55.32. (in Ukrainian)
30. Mokhnachova NB, Suprovych TM, Dobryanska ML, Fursa NM. Characteristics of the Ukrainian gray cattle by DNA markers. *Anim Breed Genet.* 2016; 51: 283–289. DOI: 10.31073/abg.51.38. (in Ukrainian)
31. Oliynyk SO. *Beef cattle breeding in the steppe zone of Ukraine: technology, ethology, economics.* Donetsk, IMA-press. 2011: 176 p. (in Ukrainian)
32. Pitt D, Sevane N, Nicolazzi EL, MacHugh DE, Park SDE, Colli L, Martinez R, Bruford MW, Orozco-terWengel P. Domestication of cattle: Two or three events? *Evol Appl.* 2019; 12 (1): 123–136. DOI: 10.1111/eva.12674.
33. Polupan YP, Basovsky DM, Reznikova LM, Reznikova YM. Problem of biological diversity conservation of farm animals genetic resources. *Anim Breed Genet.* 2017; 54: 200–208. DOI: 10.31073/abg.54.26.
34. Povochnikov MG. *Systems of normalized feeding of young cattle of meat breeds.* Kamianets-Podilskyi, Axioma. 2007: 70 p. (in Ukrainian)
35. Reznikova NL. Why do we need indigenous breeds? *Anim Breed Genet.* 2017; 53: 50–60. DOI: 10.31073/abg.53.07. (in Ukrainian)
36. Reznikova YM, Polupan YP, Dzhus PP. Natural resistance of Ukrainian gray cows. *Biol Tvarin.* 2016; 18 (1): 111–116. DOI: 10.15407/animbiol18.01.111. (in Ukrainian)
37. Ruban YD, Ruban SY. *Technology of milk and beef production.* Kharkiv, Espada. 2011: 800 p. (in Ukrainian)
38. Shcherbak OV, Osypchuk OS, Lyuta IM. Use of biotechnological methods for the preservation of the gene pool of gray Ukrainian cattle. *Sci Tech Bull SRCIVDFA IAB.* 2015; 16 (2): 299–404. (in Ukrainian)
39. Siratsky J, Ferenc L, Fedorovich E, Kadysch V. The milkiest cows develop moderately. *Anim Husb Ukr.* 2006; 11/12: 18–20. (in Ukrainian)
40. *State Book of Breeding Animals of Cattle of Gray Ukrainian Breed.* Kyiv, PPNV, 2003: 171 p. (in Ukrainian)
41. Suprovych NB, Mokhnachova NB, Suprovych TM, Fursa NM. Features of the propagation of gene BoLA-DRB3 alleles in gray cattle breeds. *Anim Breed Genet.* 2017; 54: 221–228. DOI: 10.31073/abg.54.29. (in Ukrainian)
42. Ugnivenko AM, Antoniuk TA, Koropets LA, Nosevych DK, Seba MV, Povochnikov MH. *Practicum on Specialized Beef Cattle Breeding. Practice.* Kyiv, Agrarian Education, 2010: 257 p. (in Ukrainian)
43. Vdovychenko YV. *Meat cattle breeding in the steppe zone of Ukraine.* Nova Kakhovka, PIEL. 2012: 308 p. (in Ukrainian)
44. Vdovychenko YV, Fursa NM. Productivity and reproductive qualities of animals of the gray Ukrainian breed of cattle of Askaniya selection. *Sci Bull Askaniya-Nova.* 2017; 10: 157–166. (in Ukrainian)
45. Zorin IG. *Gray Ukrainian breed.* Kyiv, 1953: 130 p. (in Ukrainian)
46. Zubets MV, Bohdanov HO. *Strategy for the development of beef cattle breeding in Ukraine in the context of national food security.* Kyiv, Agrarian Science. 2005: 156–167. (in Ukrainian)
47. Zubets MV, Burkat VP, Melnychuk DO, Kostenko OI. *Report on the state of genetic resources of animal husbandry in Ukraine.* Kyiv, 2003: 72 p. (in Ukrainian)
48. Zubets MV, Burkat VP, Melnyk YF. *Methodological aspects of conservation of the gene pool of farm animals.* Kyiv, Agrarian Science. 2007; 120 p. (in Ukrainian)

## Evolutionary changes of the Gray Ukrainian breed

V. Kozyr<sup>1</sup>, O. Krasnorutsky<sup>2</sup>, Ye. Rudenko<sup>2</sup>, O. Denysiuk<sup>1</sup>, S. Oliynyk<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Grain Crops NAAS, 14 Volodymyra Velykoho str., Dnipro, 49027, Ukraine

<sup>2</sup>Livestock Farming Institute NAAS, 1A Tvarynykiv str., Kharkiv, 61026, Ukraine

The article presents the macro- and micro-evolutionary changes of the Gray Ukrainian breed over the past 100 years, which can be used in breeding and selection to preserve the existing gene pool population and in its further use, and can be useful in the breeding process not only in Ukraine, but also in other countries. At the same time, animals and even families that were weak, sickly and did not meet the requirements of the program of its development and preservation were ranked off and not used in breeding. Compared to similar animals that left the herd, it was possible to improve some external indicators in the historical aspect: body length, hips width, and chest girth, which influenced the cattle live weight. The important fact is that it is characterized by high reproductive properties (yield of calves is 97–98 per 100 cows, which is not found in any specialized meat breed in the world) and excellent maternal qualities. At the same time, a strong constitution, resistance to diseases, small fetus size and good adaptation to a dry hot climate, pasture-free maintenance and ecological fodder and technological conditions of the steppe zone of Ukraine were preserved. During the extended period of raising animals, the gray Ukrainian breed is not inferior to the classic meat breeds of the world in terms of fattening quality (30-month-old bulls on fattening more than 1000 g/day) and slaughter performance — the slaughter yield has increased to 60%. Beef is rated at 4.5 points on a 5-point scale in terms of culinary and taste qualities, it has the meat marbling which attracts the processor company and the consumer. The skin of animals is highly valued: already at the age of one year, the skin of bulls is marked as heavy (over 25 kg), which allows to use it for the high-quality products manufacture. Due to the set of economically useful characteristics, gray Ukrainian cattle are classified as meat and contribute to the establishment of state meat cattle breeding.

**Key words:** cattle, breed, evolution, conservation, genetics, selection, meat productivity, live weight





## Дослідження форм гемоглобіну за умов споживання енергетичного напою

Х. Ю. Парцей, Г. М. Ерстенюк  
hrustuna012y@gmail.com



Івано-Франківський національний медичний університет, вул. Галицька 2, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна

### ORCID:

Kh. Yu. Partsei <https://orcid.org/0009-0006-3667-5482>  
H. M. Ersteniuk <https://orcid.org/0000-0002-5291-5347>

### Authors' Contributions:

**PKY:** Investigation; Analysis; Supervision; Software; Writing — review & editing.  
**EHM:** Conceptualization; Project administration; Methodology; Data checking.

### Declaration of Conflict of Interests:

None to declare.

### Ethical approval:

A permission to conduct the research was obtained from the from the Committee on Ethics of Ivano-Frankivsk National Medical University (Protocol no. 95/17 from 27.03.2017 on ethics compliance in planning a PhD thesis, Ivano-Frankivsk, Ukraine).

### Acknowledgements:

None.



Attribution 4.0 International  
(CC BY 4.0)

В сучасному світі, де стрес та зайнятість є невід'ємною частиною повсякденного життя, енергетичні напої стали не лише засобом задоволення потреби в енергії та підтримки життєвого тону, але й символом життєвого стилю, важливим елементом сучасної культури споживання. Обіцяні ними швидкість та результативність приваблюють увагу покупців. Ці напої набули популярності не лише серед молоді, але й серед усіх, хто прагне підтримати свою активність та ефективність протягом дня. Метою роботи було дослідити динаміку змін рівня загального гемоглобіну і його форм, зокрема окси-, карбокси-, сульф-, мет- та дисгемоглобіну за умов споживання енергетичного напою. Дослідження проведено на щурах-самцях лінії Вістар масою 150–220 г, які перебували у віварії за відповідних умов освітлення, температурного режиму, вологості та стандартного раціону, з вільним доступом до корму (з розрахунку добової потреби) та води (з розрахунку 20 мл води на одного щура на добу). Дослід проведено з дотриманням вимог Європейської конвенції щодо захисту хребетних тварин (Страсбург, 1986). Піддослідних тварин розділили на п'ять груп: 1-а група отримувала питну воду (інтактний контроль), 2–5-а групи (дослідні) упродовж місяця щодобово *per os* отримували безалкогольний енергетичний напій «Burn». Розрахунок необхідної кількості напою для введення на одного щура проводили з перерахунку на 1 кг маси тіла. Тварин зважували перед початком експерименту та щотижня на кожному із його етапів. Забір крові проводили в на 1-у (2-а група), 10-у (3-я група), 20-у (4-а група) і 30-у добу (5-а група) по завершенню експерименту в умовах наркозу (внутрішньом'язово тіопентал натрію, 60 мг/кг). Рівень загального гемоглобіну визначали за допомогою гематологічного аналізатора *Mythic 18*. Визначення вмісту оксигемоглобіну, метгемоглобіну, сульфгемоглобіну та карбоксигемоглобіну проводили спектрофотометрично. Отримані дані вказують на істотні зміни як загально-го рівня гемоглобіну, так і його форм, зокрема зниження рівня оксигемоглобіну та накопичення дисгемоглобінів — таких, як метгемоглобін, сульфгемоглобін і карбоксигемоглобін. Як свідчать отримані нами результати, споживання енергетичного напою призводить до порушення кисневого гомеостазу організму, розвитку тканинної гіпоксії і може спричиняти структурно-функціональні порушення в організмі за таких умов.

**Ключові слова:** енергетичний напій, лабораторні щури, гемоглобін, оксигемоглобін, карбоксигемоглобін, сульфгемоглобін, метгемоглобін, дисгемоглобін

## Вступ

В умовах постійного тиску на досягнення успіху та високої конкуренції, енергетичні напої виявляються не лише джерелом енергії, але й символом віри у власні можливості. Вони асоціюються з активним та впевненим життєвим стилем, допомагаючи людям відчувати себе більш продуктивними та динамічними. Цей підхід до споживання енергетичних напоїв відображає потребу сучасної людини в постійному підтриманні високого тону та позитивного настрою, щоб досягати своїх цілей у різних сферах життя. Однією з проблем, пов'язаною зі збільшеним споживанням енергетичних напоїв, є ризик виникнення серйозних побічних ефектів від їх взаємодії з іншими речовинами або медикаментами. Наприклад, кофеїн, який міститься у багатьох енергетичних напоях, може взаємодіяти з ліками, зокрема антидепресантами, стимулюючи або підсилюючи їхню дію, що створює потенційну небезпеку для здоров'я [2, 4, 8, 10]. Діти та підлітки, котрі не вживають або дуже обмежено споживають кофеїн, більш схильні до інтоксикації внаслідок відсутності фармакологічної толерантності [5, 12]. Кофеїн має досить сильний стимулювальний ефект на центральну нервову систему, великі дози можуть призвести до підвищеної збудливості, тривоги, панічних атак та навіть серцевих проблем. У дорослих, які регулярно вживають кофеїн, організм здатний розвивати певний рівень толерантності до цього ефекту, тобто для відчуття такого ж рівня стимуляції виникає потреба в більшій кількості кофеїну. Оскільки багато енергетичних напоїв містять також інші стимулювальні речовини — такі, як таурин, гуарана, женьшень тощо, поєднання цих компонентів може підсилити їхню взаємодію та вплив на організм. Отже, комбіновані ефекти кофеїну з іншими складниками енергетичних напоїв дають підставу для серйозної стурбованості.

Гемоглобін відіграє ключову роль в адаптації організму до токсичних впливів, оскільки виконує декілька важливих функцій, серед яких — забезпечення киснево-транспортної функції та регуляція кислотно-основного балансу [6, 10].

**Мета роботи** — дослідити динаміку змін рівня загального гемоглобіну і його форм, зокрема окси-, карбокси-, сульф-, мет- та дисгемоглобіну за умов споживання енергетичного напою.

## Матеріали і методи

Дослідження проведено на щурах-самцях лінії Вістар масою 150–220г, які перебували у віварії за відповідних умов освітлення, температурного режиму, вологості та стандартного раціону. Усі тварини мали вільний доступ до комбікорму (з розрахунку добової потреби) та води (з розрахунку 20 мл води на одного

щура на добу). Введення безалкогольного енергетичного напою «Burn» в організм здійснювали щодобово *per os*. Розрахунок необхідної кількості напою для введення на одного щура проводили з перерахунку на 1 кг маси тіла. Вміст речовин в енергетичному напої «Burn» в перерахунку на 100 мл продукту (відомості взято з упакувань і не перевірено на достовірність): вода; сахароза; двоокис вуглецю; глюконолактон; таурин (0,4%); кофеїн (не більше 350 мг/мл); екстракт гуарани; теобромін; вітаміни B3 (0,00695%), B5 (0,0017%), B6 (0,0004%), B12 (0,00000038%), інозитол у кількості, яка не перевищує добову потребу; ароматизатори, барвники, регулятори кислотності.

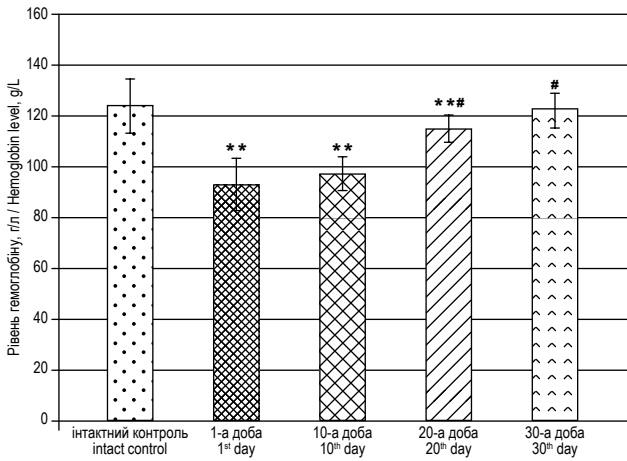
Ріст і розвиток тварин контролювали, зваживши їх на початку та наприкінці дослідів (у всіх групах спостерігався приріст маси тіла). Піддослідних тварин розділили на п'ять груп: 1-а група отримувала питну воду (інтактний контроль); 2-а група отримувала енергетичний напій упродовж місяця, забір матеріалу (крові) провели на 1-у добу по завершенню експерименту; 3-я група отримувала енергетичний напій упродовж місяця, забір матеріалу провели на 10-у добу по завершенню експерименту; 4-а група отримувала енергетичний напій упродовж місяця, забір матеріалу провели на 20-у добу по завершенню експерименту; 5-а група отримувала енергетичний напій упродовж місяця, забір матеріалу провели на 30-у добу по завершенню експерименту. Забір крові проводили в умовах наркозу (внутрішньом'язово тіопентал натрію, 60 мг/кг).

Вивчення параметрів гемограми: визначення рівня загального гемоглобіну та абсолютний вміст еритроцитів проводили за допомогою гематологічного аналізатора *Mythic 18*. Вміст оксигемоглобіну, метгемоглобіну, сульфгемоглобіну та карбоксигемоглобіну визначали спектрофотометрично [3].

Під час проведення біохімічних досліджень було дотримано відповідних етичних і законодавчих норм та вимог щодо утримання тварин, їх харчування та проведення маніпуляцій: Європейської конвенції про гуманне ставлення до лабораторних тварин (Страсбург, 18.03.1986); «Про заходи щодо подальшого вдосконалення організації форм роботи з використанням експериментальних тварин» та положення «Загальних принципів експериментів на тваринах», ухваленого Першим Національним конгресом з біоетики (Київ, 2001 р.); Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» (2010 р.). Одержані цифрові дані статистично обраховували у програмі *Statistica 7* з урахуванням *t*-критерію Стьюдента.

## Результати й обговорення

Дослідження вмісту загального гемоглобіну у крові щурів, котрі споживали енергетичний напій (рис.), показали його зниження на 1-у, 10-у та 20-у доби по завершенню експерименту на 25% ( $P < 0,001$ ), 22%



**Рис.** Рівень загального гемоглобіну під впливом енергетичного напою ( $M \pm m$ ,  $n=7$ )

**Fig.** The total hemoglobin level under the influence of energy drink ( $M \pm m$ ,  $n=7$ )

*Примітка.* \* —  $P < 0,05$ , \*\* —  $P < 0,001$  — вірогідність порівняно з показниками інтактного контролю; # —  $P < 0,001$  — вірогідність порівняно з показниками 1-ї доби.

*Note.* \* —  $P < 0,05$ , \*\* —  $P < 0,001$  — significance compared to the intact control; # —  $P < 0,001$  — significance compared to the first day results.

**Таблиця 1.** Динаміка змін оксигемоглобіну за умов споживання енергетичного напою

**Table 1.** Dynamics of oxyhemoglobin changes under the influence of energy drink consumption

Період експерименту The experimental period	Загальний Hb, г/л Total Hb, g/l	HbO <sub>2</sub> , г/л / g/l	HbO <sub>2</sub> , %
Інтактний контроль Intact control	124,25±10,63	118,47±7,21	95,35
1-а доба / 1 <sup>st</sup> day	93,00±10,39**	59,70±4,85**	64,19
10-а доба / 10 <sup>th</sup> day	97,38±6,67**	72,16±13,43**	74,10
20-а доба / 20 <sup>th</sup> day	115,00±5,50*	79,82±8,84**	69,41
30-а доба / 30 <sup>th</sup> day	122,38±6,91	65,06±2,76**	53,16

*Примітка.* Тут і далі \* —  $P < 0,05$ , \*\* —  $P < 0,001$  — вірогідність порівняно з показниками інтактного контролю.

*Note.* Here and further \* —  $P \leq 0,05$ , \*\* —  $P \leq 0,001$  — significance compared to the intact control.

**Таблиця 2.** Динаміка змін метгемоглобіну за умов споживання енергетичного напою

**Table 2.** Dynamics of changes of methemoglobin under the influence of energy drink consumption

Період експерименту The experimental period	Загальний Hb, г/л Total Hb, g/l	MetHb, г/л / g/l	MetHb, %
Інтактний контроль The experimental period	124,25±10,63	0,75±0,08	0,60
1-а доба / 1 <sup>st</sup> day	93,00±10,39**	3,60±0,76**	3,87
10-а доба / 10 <sup>th</sup> day	97,38±6,67**	2,90±0,21**	2,98
20-а доба / 20 <sup>th</sup> day	115,00±5,50*	3,18±0,23**	2,77
30-а доба / 30 <sup>th</sup> day	122,38±6,91	2,86±0,62**	2,34

( $P < 0,001$ ) та 7% ( $P < 0,05$ ) відповідно порівняно з інтактним контролем. Серед причин зниження рівня гемоглобіну можна розглядати як порушення процесів біосинтезу, так і посилений розпад цього гемопротеїну.

Порівняльний аналіз рівня гемоглобіну засвідчив, що у віддалені терміни після завершення споживання енергетичного напою цей показник поступово зростає на 20-у і 30-у доби — на 24% ( $P < 0,001$ ) та 32% ( $P < 0,001$ ) відповідно порівняно з 1-ю добою. Зростання рівня загального гемоглобіну може бути наслідком адаптивної реакції-відповіді організму тварин на споживання енергетичного напою.

Гемоглобіну належить важлива роль у процесах біохімічної адаптації до впливу різних за природою екзо- та ендогенних чинників. Формування реакції-відповіді відбувається завдяки наявності форм цього білка, який забезпечує, поряд з транспортом кисню (HbO<sub>2</sub>), виконання інших важливих функцій: зокрема, бере участь у регуляції кислотно-основної рівноваги (HbH) та виконує детоксикаційну роль (MetHb). З огляду на це, важливими є дослідження форм гемоглобіну за умов споживання енергетичного напою.

Проведені нами дослідження дозволили встановити зниження рівня оксигемоглобіну впродовж всього періоду експерименту (табл. 1). Варто зазначити про цікаву тенденцію змін: відносний вміст HbO<sub>2</sub> на 30-у добу становив тільки 53,16%, незважаючи на зростання рівня загального гемоглобіну.

Отож, нами вперше встановлено, що за умов споживання енергетичного напою спостерігається суттєве зниження HbO<sub>2</sub>, що вказує на порушення процесів оксигенації тканин, може спричинити розвиток гіпоксії і зумовлювати метаболічні порушення.

Зниження вмісту оксигемоглобіну може бути зумовлене низкою факторів: змінами морфофункціонального стану еритроцитів, що підтверджується аналізом представлених нами раніше кислотних еритрограм шурів [7]; порушенням структури гемоглобіну і спорідненості гемоглобіну до кисню. Сукупність таких факторів має безпосередній вплив на рівень активної форми гемоглобіну, що, в свою чергу, впливає на кисневий гомеостаз організму. Рівень HbO<sub>2</sub> великою мірою визначається наявністю дисгемоглобінів — таких, як метгемоглобін, сульфгемоглобін, карбоксигемоглобін, які перешкоджають гемоглобіну насичуватись киснем, зменшуючи рівень оксигемоглобіну в транспортованій крові, і сприяють розвитку тканинної гіпоксії [6].

Утворення метгемоглобіну в еритроцитах є постійним окислювальним процесом, який є результатом впливу на гемоглобін різноманітних високореактивних молекул (вільних радикалів кисню), що утворюються під час нормального клітинного метаболізму [9].

Отримані нами дані вказують на те, що рівень MetHb в інтактного контролю тварин становив 0,60% від загального гемоглобіну. Результати дослідження концентрації MetHb за умов споживання енергетичного напою подані у табл. 2. Як видно з наведених даних, окиснення оксигемоглобіну до метгемоглобіну

найвищою мірою відбувається на 1-у добу, що підтверджується і відносним вмістом MetHb, який становить 3,87% при 0,60% у крові інтактного контролю щурів. Варто зауважити, що таке підвищення вмісту цієї форми гемоглобіну відбувається на фоні зростання рівня загального гемоглобіну на 20-у та 30-у добу на 2,77% та 2,34% відповідно.

З огляду на одержані дані, можна висловити припущення щодо активізації захисної функції метгемоглобіну за умов споживання енергетичного напою. Він може виступати в ролі пероксидази та брати участь у знешкодженні вільних радикалів, які утворюються в еритроцитах внаслідок деградації гемоглобіну. Це супроводжується накопиченням гему та іонів заліза, які призводять до зміщення рівноваги системи прооксиданти — оксиданти в бік надмірного утворення супероксид-аніону і пероксиду водню, що може призвести до пероксидації ліпідів мембран еритроцитів та зумовлювати розвиток оксидативного стресу, порушення кисневотранспортної функції крові.

Карбоксигемоглобін (HbCO) — це комплекс, який утворюється в еритроцитах за впливу оксиду Карбону (II). При цьому порушується здатність кисню зв'язуватися з гемоглобіном, розвивається гіпоксія, що, в свою чергу, призводить до порушення клітинного метаболізму і зумовлює розвиток різноманітних патологічних станів [10].

**Таблиця 3.** Динаміка змін карбоксигемоглобіну за умов споживання енергетичного напою

**Table 3.** Dynamics of changes of carboxyhemoglobin under the influence of energy drink consumption

Період експерименту The experimental period	Загальний Hb, г/л Total Hb, g/l	HbCO, г/л HbCO, g/l	HbCO, %
Інтактний контроль The experimental period	124,25±10,63	4,43±0,92	3,57
1-а доба / 1 <sup>st</sup> day	93,00±10,39**	26,15±3,03**	28,12
10-а доба / 10 <sup>th</sup> day	97,38±6,67**	5,14±0,46	5,28
20-а доба / 20 <sup>th</sup> day	115,00±5,50*	8,12±1,21**	7,06
30-а доба / 30 <sup>th</sup> day	122,38±6,91	7,73±1,09**	6,32

**Таблиця 4.** Динаміка змін сульфгемоглобіну за умов споживання енергетичного напою

**Table 4.** Dynamics of changes of sulfhemoglobin under the influence of energy drink consumption

Період експерименту The experimental period	Загальний Hb, г/л Total Hb, g/l	SHb, г/л / g/l	SHb, %
Інтактний контроль The experimental period	124,25±10,63	0,43±0,08	0,35
1-а доба / 1 <sup>st</sup> day	93,00±10,39**	0,64±0,04**	0,69
10-а доба / 10 <sup>th</sup> day	97,38±6,67**	0,62±0,04**	0,64
20-а доба / 20 <sup>th</sup> day	115,00±5,50*	0,64±0,05**	0,56
30-а доба / 30 <sup>th</sup> day	122,38±6,91	0,59±0,04**	0,48

Як свідчать подані у табл. 3 результати, внаслідок споживання енергетичного напою рівень HbCO суттєво підвищився. При порівнянні відносного рівня цього деривату ми виявили, що найвищого значення він досягає на 1-у добу експерименту і становить 28,12% за 3,57% в інтактного контролю тварин. Водночас варто зауважити, що рівень загального гемоглобіну на цей період є найнижчим. В наступні періоди рівень загального гемоглобіну мав тенденцію до зростання, а вміст HbCO незначною мірою знижувався, однак залишався вірогідно вищим, ніж в інтактних тварин.

Отримані дані вказують на порушення здатності гемоглобіну зв'язувати кисень, що може призвести до розвитку гіпоксії та порушення клітинного метаболізму, розвитку різноманітних патологічних станів.

Сульфгемоглобін (SHb) є важливою формою гемоглобіну, яка утворюється внаслідок незворотнього окислення гемоглобіну розривом метинового мостика у структурі гема та вивільненням іонів заліза (Fe<sup>2+</sup> та Fe<sup>3+</sup>) [1]. Дослідження цієї форми гемоглобіну за умов вживання енергетичного напою є важливими, оскільки дозволять з'ясувати рівень пошкодження гемоглобіну.

Як видно з представлених у табл. 4. результатів, після споживання енергетичного напою спостерігали суттєве підвищення рівня SHb. При порівнянні відносного рівня цього деривату виявилось, що найвищого значення він досягає на 1-у добу експерименту і становить 0,69% за 0,35% в інтактного контролю тварин. Рівень загального гемоглобіну на цей період є найнижчим. В наступні періоди рівень загального гемоглобіну мав тенденцію до зростання, а вміст SHb незначною мірою знижувався, однак залишався вірогідно вищим, ніж в інтактних тварин.

Висока концентрація сульфгемоглобіну в еритроцитах може зумовити накопичення вільних іонів заліза, які, в свою чергу, виступають потужними ініціаторами вільнорадикальних процесів у клітинах.

Співвідношення між формами гемоглобіну, а також накопичення неактивних стосовно транспорту кисню дисгемоглобінів (dysHb) відіграє важливу роль у забезпеченні кисневотранспортної функції гемоглобіну. Проведені нами дослідження форм гемоглобіну за умов вживання енергетичного напою вказують на високий рівень неактивних форм гемоглобіну, особливо на 10-у, 20-у та 30-у добу дослідження.

Як свідчать отримані результати, споживання енергетичного напою зумовлює істотні зміни як загального рівня гемоглобіну, так і окремих форм упродовж всього періоду спостереження. Найбільш істотні зміни встановлено на 1-у добу по завершенню експерименту порівняно з показниками інтактного контролю, зокрема зниження рівня оксигемоглобіну (64,19%) і накопичення дисгемоглобінів: метгемоглобіну (3,87%), сульфгемоглобіну (0,69%) і карбоксигемоглобіну (28,12%), що, в свою чергу, впливає на кисневий гомеостаз організму, розвиток тканинної гіпоксії і може спричиняти структурно-функціональні порушення в організмі за таких умов.



## Джерела

1. Benz EJ Jr, Ebert BL. Hemoglobin variants associated with hemolytic anemia, altered oxygen affinity, and methemoglobinemias. In: Hoffman R, Benz EJ Jr, Silberstein LE, Heslop HE, Weitz JI, Anastasi J, Salama ME, Abutalib SA (eds). *Hematology. Basic Principles and Practice*. 7<sup>th</sup> ed. Elsevier, 2018: 608–615. DOI: 10.1016/B978-0-323-35762-3.00043-3.
2. Costantino A, Maiese A, Lazzari J, Casula C, Turillazzi E, Frati P, Fineschi V. The dark side of energy drinks: A comprehensive review of their impact on the human body. *Nutrients*. 2023; 15 (18): 3922. DOI: 10.3390/nu15183922.
3. Dudok KP, Burda VA, Liuta MY, Fedorovych AM, Bilyi OI, Yefimenko NV, Kaniuka OP, Sybirna NO. Physicochemical properties of hemoglobin ligand forms under experimental streptozotocin-induced diabetes and alcohol intoxication. *Studia Biologica*. 2017; 11 (2): 23–36. DOI: 10.30970/sbi.1102.527.
4. Gheith IM. Clinical pathology of caffeinated and non-caffeinated energy drinks: Review. *Life Sci J*. 2017; 14 (9): 21–36. DOI: 10.7537/marslsj140917.03.
5. Nowak D, Jasionowski A. Analysis of the consumption of caffeinated energy drinks among polish adolescents. international journal of environmental research and public health. *Int J Environ Res Publ Health*. 2015; 12 (7): 7910–7921. DOI: 10.3390/ijerph120707910.
6. Otto CN. Hemoglobin metabolism. In: Keohane EM, Otto CN, Walenga JM. *Rodak's Hematology. Clinical Principles and Applications*. 6<sup>th</sup> ed. Elsevier, 2020: 91–103. DOI: 10.1016/B978-0-323-53045-3.00016-7.
7. Partsei K, Artys M, Lytvyniuk H, Slobodian Z, Ersteniuk A. State of erythrocytic membranes and hematological indices of rats under conditions of energy drinks consumption. *Ukr Ž Med Biol Sport*. 2017; 5: 188–191. DOI: 10.26693/jmbs02.05.188.
8. Rath M. Energy drinks: What is all the hype? The dangers of energy drink consumption. *J Am Acad Nurse Practition*. 2012; 24 (2): 70–76. DOI: 10.1111/j.1745-7599.2011.00689.x.
9. Steinberg MH. Hemoglobins with altered oxygen affinity, unstable hemoglobins, M-hemoglobins, and dyshemoglobinemias. In: Greer JP, Arber DA, Glader B, List AF, Means RT, Paraskevas F, Rodgers GM (eds). *Wintrobe's Clinical Hematology*. 13<sup>th</sup> ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2014: 914–926. Available at: [https://books.google.com.ua/books/about/Wintrobe\\_s\\_Clinical\\_Hematology.html?id=NYCeAgAAQBAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ua/books/about/Wintrobe_s_Clinical_Hematology.html?id=NYCeAgAAQBAJ&redir_esc=y)
10. Steinberg MH, Benz EJ Jr, Adewoye AH, Ebert BL. Pathobiology of the human erythrocyte and its hemoglobins. In: Hoffman R, Benz EJ Jr, Silberstein LE, Heslop HE, Weitz JI, Anastasi J, Salama ME, Abutalib SA (eds). *Hematology. Basic Principles and Practice*. 7<sup>th</sup> ed. Elsevier, 2018: 447–457. DOI: 10.1016/B978-0-323-35762-3.00033-0.
11. Usman A, Jawaid A. Hypertension in a young boy: an energy drink effect. *BMC Res Notes*. 2012; 5: 591. DOI: 10.1186/1756-0500-5-591.
12. Willson C. The clinical toxicology of caffeine: A review and case study. *Toxicol Rep*. 2018; 5: 1140–1152. DOI: 10.1016/j.toxrep.2018.11.002.

## The study of hemoglobin forms under the conditions of energy drink consumption

Kh. Yu. Partsei, H. M. Ersteniuk  
hrustuna012y@gmail.com

Ivano-Frankivsk National Medical University, 2 Halytska str., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine

In today's world, where stress and busyness are an integral part of everyday life, energy drinks have become not only a means of satisfying the need for energy and maintenance of vitality, but also a symbol of lifestyle, an important element of the modern culture of consumption. The speed and efficiency they promise attract the attention of consumers, especially those who are constantly on the move. Such drinks have become popular not only among young people, but also among everyone who seek to maintain their activity and efficiency during the day. The purpose of the work was to investigate the dynamics of changes in the level of total hemoglobin and its forms, in particular oxy-, carboxy-, sulf-, met-, and dyshemoglobin under the conditions of energy drink consumption. The study was conducted using male Wistar rats weighing 150–220 g kept in the vivarium under appropriate lighting conditions, temperature, humidity and standard diet. All the animals had free access to feed (based on daily requirements) and water (based on 20 ml of water per rat per day). The experiment was carried out in compliance with the requirements of the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and Scientific Purposes (Strasbourg, 1986). The animals were divided into five groups: the 1<sup>st</sup> group received drinking water (intact control); the 2<sup>nd</sup>–5<sup>th</sup> groups received daily the non-alcoholic energy drink "Burn" *per os* for a month. The calculation of the required amount of drink for administration per one rat was based per 1 kg of body weight. To monitor the growth and development, we weighted the rats at the beginning and at each stage of the experiment. The material (blood) was taken on the 1<sup>st</sup> (2<sup>nd</sup> group), 10<sup>th</sup> (3<sup>rd</sup> group), 20<sup>th</sup> (4<sup>th</sup> group) and 30<sup>th</sup> day (5<sup>th</sup> group) after the completion of the experiment under anesthesia (intramuscularly sodium thiopental, 60 mg/kg). The total hemoglobin level was determined with the *Mythic 18* hematological analyzer. Determination of the content of oxyhemoglobin, methemoglobin, sulfhemoglobin and carboxyhemoglobin was performed spectrophotometrically. The obtained data indicate significant changes in both the total level of hemoglobin and its ligand forms, in particular, a decrease in the level of oxyhemoglobin and the accumulation of dyshemoglobins, such as methemoglobin, sulfhemoglobin, and carboxyhemoglobin. As evidenced by the obtained results, the consumption of energy drinks leads to the oxygen homeostasis violation, the development of tissue hypoxia and can cause structural and functional disorders in the body under such conditions.

**Key words:** energy drink, laboratory rats, hemoglobin, oxyhemoglobin, carboxyhemoglobin, sulfhemoglobin, methemoglobin, dyshemoglobin

# Запрошуємо до участі у **XXII** всеукраїнській конференції молодих вчених,



присвяченій 75-річчю від дня народження доктора ветеринарних наук,  
професора, члена-кореспондента НААН  
**Ростислава Степановича ФЕДУРУКА** (11.08.1949–21.06.2023)

19–20 вересня 2024 р., м. Львів, Україна

## Місце проведення:

Інститут біології тварин НААН, вул. Василя Стуса, 38, м. Львів, 79034, Україна.

## Робочі мови:

Українська, англійська.

## Формат проведення:

Змішаний офлайн/онлайн (цифрова платформа ZOOM). Участь передбачає усну доповідь з презентацією тривалістю до 10 хв, або стендову доповідь із представленням постера.

## Тематика і основні напрями:

- Актуальні проблеми сільського господарства та екології у воєнний час.
- Фізіологія і біохімія.
- Мікробіологія та біотехнологія.
- Екологія.
- Живлення тварин.
- Ветеринарна медицина.
- Розведення, селекція та генетика тварин.

## Реєстраційні внески:

**Участь онлайн — 75 грн.:** організаційні витрати, матеріали конференції в електронному форматі, електронний сертифікат учасника. **Участь офлайн — 150 грн** (за умови реєстрації **до 1 липня**), **200 грн** (до 1 серпня), **250 грн** (до 23 серпня): організаційні витрати, матеріали конференції в електронному форматі, друкований та електронний сертифікат учасника; перерви на каву/чай.

Додатково можна придбати друковану версію журналу, варітсьть — 200 грн.

Реквізити для організаційного внеску: 5169 3600 2658 3462 (Котик Богдан Іванович).

## Важливі дати і терміни:

Подання матеріалів учасниками конференції	до 23 серпня 2024 р.
Повідомлення про прийняття або відхилення матеріалів	до 26 серпня 2024 р.
Публікація програми конференції	до 12 вересня 2024 р.

## Реєстрація і подача матеріалів:

Для участі у роботі конференції та подання матеріалів потрібно пройти реєстрацію. Тези конференції будуть опубліковані у науковому журналі «Біологія тварин». Учасники, які виголосять найкращі доповіді, отримають запрошення опублікувати їх у формі статей.



## Вимоги до оформлення тез:

Мова — українська, англійська. Обсяг тез — до 5000 символів (з пробілами).

Оргкомітет залишає за собою право надсилати тези на доопрацювання, відхиляти їх за невідповідності тематиці конференції або зазначеним вимогам. Відповідальними за наукову достовірність поданих у матеріалах даних є автори.



**Сертифікати учасника будуть надані лише тим, хто представить свої доповіді!  
Публікація тез без участі у конференції неможлива!**

Контактна інформація:  
Котик Богдан Іванович  
тел. (+38 093) 192-18-73  
ibtyoungscientists@gmail.com

Сторінка  
конференції:



Подія  
у Facebook:



Запрошуємо до участі  
у Міжнародній науково-практичній конференції  
**«Актуальні проблеми  
сучасної біології, тваринництва  
та ветеринарної медицини»,**



присвяченій 100-річчю від дня народження доктора ветеринарних наук,  
професора, академка УААН, заслуженого діяча науки і техніки України,  
директора Інституту біології тварин НААН (1972–1993)  
**Петра Захаровича ЛАГОДЮКА (08.06.1924–17.02.1994)**

*3–4 жовтня 2024 р., м. Львів, Україна*

**Місце проведення:**

Інститут біології тварин НААН, вул. Василя Стуса, 38, м. Львів, 79034, Україна.

**Робочі мови:**

Українська, англійська.

**Формат проведення:**

Змішаний офлайн/онлайн (цифрова платформа ZOOM). Участь передбачає усну доповідь з презентацією тривалістю до 10 хв, або стендову доповідь із представленням постера.

**Тематика і основні напрями:**

- Фізіологія та біохімія.
- Живлення та годівля тварин.
- Ветеринарна медицина.
- Мікробіологія та біотехнологія.
- Розведення, селекція та генетика тварин.
- Екологія.

**Важливі дати і терміни:**

Подання матеріалів учасниками конференції  
Повідомлення про прийняття або відхилення матеріалів  
Публікація програми конференції

до 31 серпня 2024 р.  
до 9 вересня 2024 р.  
до 22 вересня 2024 р.

**Реєстрація і подача матеріалів:**

Для участі у роботі конференції та подання матеріалів потрібно пройти реєстрацію на сайті конференції. Тези конференції будуть опубліковані у науковому журналі «Біологія тварин».



**Вимоги до оформлення тез:**

Мова — українська, англійська. Обсяг тез — до 5000 символів (з пробілами). Оргкомітет залишає за собою право надсилати тези на доопрацювання, відхиляти їх за невідповідності тематиці конференції або зазначеним вимогам. Відповідальними за наукову достовірність поданих у матеріалах даних є автори.



Контактна інформація:  
Лучка Іван Васильович  
тел. (+38 097) 384-21-77  
inenbiol@gmail.com

Сторінка  
конференції:



Ключем до всякої науки є знак питання.

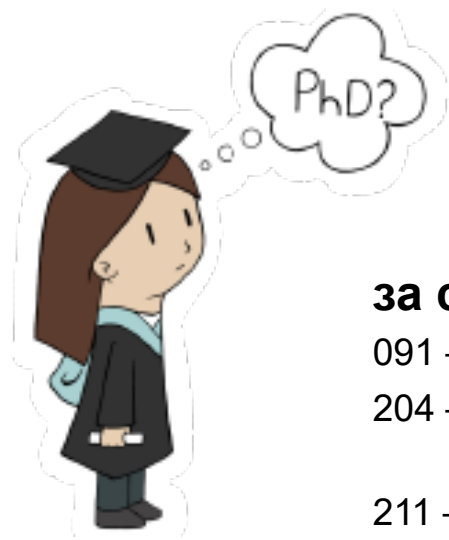
# ІНСТИТУТ БІОЛОГІЇ ТВАРИН НААН ОГОЛОШУЄ НАБІР у ДОКТОРАНТУРУ

*очна (денна) форма навчання*

# та АСПІРАНТУРУ

*очна (денна/вечірня)*

*і заочна форма навчання*



## за спеціальностями:

091 — Біологія та біохімія

204 — Технологія виробництва та переробки  
продукції тваринництва

211 — Ветеринарна медицина

У 2024 р. для допуску до вступного іспиту з іноземної мови для вступу на навчання для здобуття ступеня доктора філософії потрібні результати єдиного вступного іспиту (ЄВІ). Реєстрацію осіб, які бажають взяти участь у єдиному вступному іспиті (ЄВІ), здійснюють приймальні комісії закладів вищої освіти з 7 до 29 травня (для участі в основній сесії) і з 17 до 21 червня (для участі в додатковій сесії, у цей період матимуть змогу зареєструватися ті, хто не зміг цього зробити під час основного періоду реєстрації) за умови особистої присутності вступника(-ці) та/або дистанційно.

Підготовка в аспірантурі здійснюється за рахунок:

- коштів державного бюджету України (за державним замовленням);
- коштів юридичних та фізичних осіб (на умовах контракту).

Підготовка в докторантурі здійснюється за рахунок:

- коштів юридичних та фізичних осіб (на умовах контракту).

**Термін подання документів — з 01.07 до 31.08.2024 р.**

Проведення вступних іспитів — з 01.09 до 10.09.2024 р.

Зарахування вступників за кошти державного бюджету — до 13.09.2024 р.

Зарахування вступників за кошти фізичних/юридичних осіб — до 31.10.2024 р.

Початок навчання в аспірантурі — 16.09.2024 р.

Адреса: Інститут біології тварин НААН, вул. Стуса, 38, м. Львів, 79034, Україна.

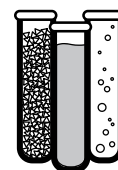
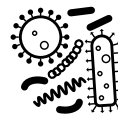
Довідки за тел.: (+38 032) 270-25-04, (+38 067) 453-36-39.

e-mail: [inenbiol@mail.lviv.ua](mailto:inenbiol@mail.lviv.ua)

<https://inenbiol.com>



# ІНСТИТУТ БІОЛОГІЇ ТВАРИН НААН ПРОВОДИТЬ:



- Дослідження біохімічних показників (аналізатор *Humalyzer 2000*, Німеччина)
- Гематологічний аналіз (аналізатор *Mythic-18Vet*, Швейцарія)
- Мікробіологічні дослідження (посів на стерильність, антибіотикограма, склад мікрофлори кишечника тварин, мікробіологічний аналіз кормів, води, повітря)
- Імуноферментні дослідження (аналізатор *Stat Fax 3000*, Німеччина)
- Оцінка репродуктивної здатності тварин, штучне осіменіння, трансплантація ембріонів
- Селекційно-генетичні дослідження
- Дослідження яєць
- Дослідження кормів
- Визначення показників якості меду
- Дослідження молока
- Дослідження вовни і волосся
- Атомно-абсорбційний і атомно-емісійний аналіз концентрації хімічних елементів
- Аналіз органічних добрив

Організовує проведення досліджень на лабораторних тваринах і надає кваліфіковану інтерпретацію отриманих результатів.

\* можливе проведення інших досліджень

\*\* всі лабораторії інституту акредитовані для проведення досліджень

Інститут біології тварин НААН, вул. В. Стуса 38, м. Львів, 79034, Україна.

Тел.: (+38 032) 270-23-89, (+38 096) 858-37-76. e-mail: [markinfo@inenbiol.com.ua](mailto:markinfo@inenbiol.com.ua)

*Завжди раді співпраці з Вами!*

## Запрошуємо розмістити рекламу Вашої компанії на сторінках наукового журналу «Біологія тварин»!

Ми готові співпрацювати з Вами для створення ефективної рекламної стратегії, яка відповідає Вашим потребам і бюджету.

Пропонуємо різні варіанти розміщення реклами, зокрема банери, оголошення або статейно-рекламні матеріали.

Реклама в нашому журналі дозволить Вам:

- залучити увагу науковців і фахівців до Вашої компанії та продукції;
- підвищити впізнаваність бренду та позиціонування Вашої компанії на ринку;
- залучити нових клієнтів і розширити Вашу клієнтську базу.

Пропозиції до співпраці на 2024 рік:

- **рекламний блок на ½ сторінки** — 1000 грн в одному номері журналу, 2500 грн у трьох номерах журналу.
- **рекламний блок на 1 сторінку** — 2000 грн в одному номері журналу, 5000 грн у трьох номерах журналу.

Контакти: (+38 096) 814-78-15, [inenbiol@gmail.com](mailto:inenbiol@gmail.com)