

UNS

UCZELNIA NAUK SPOŁECZNYCH



Academy of Social Sciences

**Stepan Gzhytskyi
National University
of Veterinary Medicine
and Biotechnologies Lviv**

**MODERN PROBLEMS OF VETERINARY
MEDICINE AND ANIMAL HUSBANDRY
TECHNOLOGIES**

Scientific monograph



IZDEVNIECĪBA
BALTIJA
PUBLISHING

2026

*Recommended for printing and distribution via Internet
by the Academic Council of Baltic Research Institute
of Transformation Economic Area Problems according
to the Minutes № 6 dated 24.06.2026*

Editorial Board:

Piotr Domżał – Dr, Rector of Academy of Social Sciences;

Agnieszka Szpak – Dr, Vice Rector, Academy of Social Sciences;

Joanna Skiba – Executive MBA, Academy of Social Sciences;

Ivan Parubchak – Doctor of Sciences in Public Administration, Professor, Rector of Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv;

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

Iryna Kovalchuk – Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Head of the Department of Hominal and Pathological Physiology named after Stepan Stoianovskyi, Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv.

Modern Problems of Veterinary Medicine and Animal Husbandry Technologies: Scientific monograph. Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2026. 324 p.

ISBN 978-9934-26-695-9

© Academy of Social Sciences, 2026
© Stepan Gzhytskyi National University
of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv, 2026

CONTENTS

VETERINARY MEDICINE

Chapter 1

Monitoring the safety of honey during sale and detecting its falsification using express methods (Bohatko A. F.) 2

1. Organoleptic and physicochemical indicators of honey. 4
3. Microbiological indicators of honey produced from different family apiaries. 7
4. Determination of adulteration of sodium honey with sodium bicarbonate and alkaline detergents. 8

Chapter 2

The biological role of selenium in rabbits and its importance in their nutrition (Kovalchuk I. I., Prodanchuk O. V.) 15

1. Bioavailability and metabolism of selenium in the animal organism 17
2. Functional significance of selenium in the formation of the antioxidant response. 23
3. Effects of selenium citrate on the organism of female and male growing rabbits. 25

Chapter 3

Age-related dynamics of total protein and its fractions in the blood serum of Japanese quails (Livoshchenko Ye. M., Pavlovskiy V. V., Livoshchenko O. I.) 48

1. Age-related dynamics of total protein in the blood serum of Japanese quails. 50
2. Age-related dynamics of albumins in the blood serum of Japanese quails. 52
3. Age-related dynamics of globulins in the blood serum of Japanese quails. 54
4. Age-related dynamics of immunoglobulins in the blood serum of Japanese quails. 59

Chapter 4

Effectiveness of SPT® Hemostatic Dressing for critical bleeding in pigs (Markevych O. M., Mysak A. R.) 67

1. Choice of research directions. 71
2. Research materials and methods. 78

3. Comparative analysis of hemostatic efficacy of Celox Rapid and SPT® (AHD) in clinical conditions	84
---	----

TECHNOLOGY OF PRODUCTION AND PROCESSING OF LIVESTOCK PRODUCTS

Chapter 5

Energy-saving technology for keeping Swiss cows (Prudnikov V. G., Kolisnyk O. I., Batyr R. Yu.)	130
--	------------

1. Features of energy-saving technology for keeping cows, materials and research methods	132
2. Biological and technological features of Swiss breed cows	133
3. Milk production of Swiss breed cows	135
4. Formation of milk productivity of Swiss breed cows during lactation	135

Chapter 6

The effect of lithium addition to compound feed on nutrient metabolism in the goslings' organism (Sobolev O. I., Petryshak R. A., Kosior L. T.)	146
--	------------

1. The biological role of Lithium and its using in poultry	148
2. Materials and methods	151
3. Results and discussion	153

Chapter 7

Factors influencing milk production and milk quality of mares (Tkachova I. V., Prusova G. L., Liutykh S. V.)	165
---	------------

1. Efficiency of mares' milk production	167
2. Selection of the object and methods of research	168
3. Factors influencing the milk production of mares	170
4. Factors influencing the quality indicators of mares' milk	178

AQUATIC BIORESOURCES AND AQUACULTURE

Chapter 8

Soluble forms of quercetin in innovative technologies for the preservation of fish products (Falko O. V., Chyzhevskiy V. V., Klochkov V. K.)	194
---	------------

1. Means and methods for achieving the goal	196
---	-----

2. Results and Analysis	197
3. Searching for explanations for non-trivial (unclear) results	203

BIOTECHNOLOGY AND BIOENGINEERING

Chapter 9

Optimisation of reproductive biotechnologies in goats: the role of cryopreservation (Bogdaniuk A. O., Yurchuk T. O., Petrushko M. P.)	211
1. Methodological and laboratory approaches to goat reproduction using ART	213
2. Biotechnological aspects of goat embryo collection and development: our experience	216

Chapter 10

Biotechnology and bioengineering: Bacterial lectins as components of original medicinal products of biological/biotechnological origin (Welchinska O. V.)	225
1. Biological properties of lectins	227
2. Bacterial lectins as components of original pharmaceutical compositions	234

Chapter 11

Production of postbiotics using the latest non-thermal technologies (Nehoda T. S., Polova Z. M.)	241
1. The benefits of postbiotics	244
2. Factors influencing postbiotic production	249
3. Promising methods for the production of postbiotics	252
4. The potential use of the latest non-thermal technologies in post-biotic production	255
5. Non-thermal treatment methods	267
6. Industrial applications	269
7. Regulatory framework for postbiotics	277

ORGANIZATION OF VETERINARY AND AGRICULTURAL PRODUCTION

Chapter 12

Organization of veterinary and agricultural production

Integrated biosecurity system as a foundation

for the competitiveness of livestock and aquaculture enterprises

(Lavryniuk O. O., Borshchenko V. V., Verbelchuk S. P.) 286

1. Strategic and organizational frameworks for ensuring biosecurity in animal husbandry 287

2. Digitalization and sector-specific biosecurity features in integrated agrosystems 293

3. Economic determinants of biosecurity and strategic quality management tools for agricultural products 300

01

SECTION

VETERINARY
MEDICINE

**MONITORING THE SAFETY OF HONEY DURING SALE
AND DETECTING ITS FALSIFICATION USING
EXPRESS METHODS**

Bohatko A. F.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-695-9-1>

INTRODUCTION

Honey safety control is carried out in accordance with current regulatory documents that regulate access to the sale of honey on the domestic and foreign markets, in particular in European countries, on the basis of positive laboratory tests on the safety and quality of honey. Average consumers prefer high-quality and safe honey with good organoleptic characteristics, medicinal properties and attractive color¹.

The issue of safety and quality of honey during production is becoming increasingly important, as consumers prefer safe food products, in particular as a product for the treatment and prevention of many diseases².

The regulatory document "Requirements for Honey" regulates the requirements for proper labeling of each batch of honey of the same botanical origin, as well as the presence of pollen grains of the corresponding type of honey to ensure its naturalness, quality and safety³.

Regulated requirements have been established for the content of fructose and glucose – not less than 60 g per 100 g of honey; the content of sucrose for all types of honey – not more than 5 g/100 g, and for honey from white acacia – not more than 10 g/100 g; all types of honey must have no more than 20% moisture content; the content of free acids (or active acidity of honey) – not more than 50 milliequivalents of NaOH with a mass concentration of 0.1 mol/dm³

¹ Adamchuk L. O., Silonova N. B., Sukhenko V. Yu., Pylypko K. V. Regulatory regulation of honey safety and quality indicators. *Animal Science and Food Technology*. 2020. Vol. 11. No. 4. ISSN 2706-8331. Doi: 10.31548/animal2020.04.005.

² Bernklau E., Bjostad L., Hogeboom A., Carlisle A., Arathi H.S. Dietary phytochemicals, honey bee longevity and pathogen tolerance. *Insects*. 2019 10:14. doi: 10.3390/insects10010014.

³ Requirements for honey: regulatory document. Approved by order of the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine dated 06/19/2019 No. 330; as amended by order of the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine dated 11/12/2024 No. 409; registered with the Ministry of Justice of Ukraine on July 04, 2024 under No. 725/33696. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0725-19#Text>.

of acid per 1000 g of honey; diastase activity (according to the Scheid scale) – except for honey for confectionery products, must have no less than 8 units; the content of hydroxymethylfurfural (HMF) – in all types of honey, except for honey for confectionery products, must have no more than 40 mg/kg⁴

We tested different types of honey from family apiaries in Ukraine: No. 1 – “Konyushyna”, Cherkasy region, top-grade acacia honey; No. 2 – “Bartnik”, Khmelnytskyi region, first-grade buckwheat honey; No. 3 – “Beehive”, Cherkasy region, top-grade sunflower honey; No. 4 – “Vedmedyk”, Chernivtsi city, first-grade mixed herb honey. In terms of safety and quality, the studied samples of different types of honey met the requirements of the national standard DSTU 4497 according to the indicators of the highest and first grades. The organoleptic assessment of the studied honey samples corresponded to these types of nectar-bearing plants and grades – the highest and first. There were no signs of souring in all honey samples, and no mechanical impurities were detected. In honey sample No. 1, white acacia pollen grains made up 99.0%; in honey sample No. 2, 89.0% buckwheat pollen grains; in honey sample No. 4, 85.0% sunflower pollen grains; in honey sample No. 4, buckwheat – 29.0% buckwheat pollen grains, 25.0 sunflower pollen grains, 28% alfalfa pollen grains. It was found that the highest mass fraction of water was observed in sample No. 4 – 19.37±0.03%, the lowest – in sample No. 1 – 17.12±0.03%; the diastase number was the highest in sample No. 4 – 13.04±0.03 units, and the lowest – in sample No. 1 8.76±0.02 units.

The active acidity of honey was the highest in samples No. 3 and 4, respectively: 32.52±0.02 and 29.06±0.03 mEq of NaOH (0.1 mol/dm³) per 1 kg of honey; the mass fraction of reducing sugars in honey was the highest in sample No. 3 – 88.41±0.03%, the lowest in honey sample No. 2 – 83.64±0.03%; the sucrose content in honey samples was within the regulatory parameters, except for sample No. 3, where an increase in the indicator to 7.56±0.02% was observed; the hydroxymethylfurfural content in all honey samples did not exceed the regulatory parameters – within the range from 9.38±0.01 to 15.68±0.01 mg/kg of honey⁵.

For veterinary doctors, the search for modern effective express methods for determining the adulteration of honey with alkaline detergents using an alcoholic solution of rosolic acid with a mass concentration of 0.1% and

⁴ Machado De-Melo A. A., Bicudo de Almeida-Muradian L., Sancho M. T., Pascual-Maté A. Composition and properties of *Apis mellifera* honey: A review. *Journal of Apicultural Research*. 2018. V. 57. I. 1. P. 5–37. doi: 10.1080/00218839.2017.1338444.

⁵ Mitton G.A., Szawarski N., Mitton F.M., Iglesias A., Eguaras M.J., & Ruffinengo S.R. Impacts of dietary supplementation with p-coumaric acid and indole-3-acetic acid on survival and biochemical response of honey bees treated with tau-fluvalinate. *Ecotoxicol Environ Safety*. 2020. 189:109917. doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.109917.

a sodium bicarbonate solution using an alcoholic solution of bromothymol blue with a mass concentration of 0.05% remains an urgent issue. These express patented methods have the reliability of quality indicators in tests, respectively, – 99.8 and 99.9%⁶.

1. Organoleptic and physicochemical indicators of honey

We conducted tests on the organoleptic characteristics of different types of honey in terms of appearance, color, consistency, aroma, and taste. The organoleptic characteristics of honey are influenced by the type of various nectar-bearing plants, the method of honey production, storage, crystallization, the presence of mechanical impurities, etc. The best in terms of organoleptic characteristics are acacia, sunflower, sainfoin, linden, and buckwheat honey⁷.

Tests were also conducted for the presence of honey souring and the presence of foreign mechanical impurities. The results of determining the organoleptic indicators are presented in Table 1.

Table 1

Organoleptic characteristics of different types of honey produced from different family apiaries, $M \pm m$, $n=7$

Researched indicators	Sample No. 1	Sample No. 2	Sample No. 3	Sample No. 4
	Organoleptic characteristics of different types of honey			
Appearance	Honey packaging – glass jars with a capacity of 250 to 500 cm ³ , the container is clean, contains labels with information about this type of honey from the corresponding family producer			
Color	light yellow	yellow-brown	intense yellow	intense yellow
Consistence	liquid, no crystallization, no sediment at the bottom of the container	very viscous, no crystallization, no sediment at the bottom of the container	viscous, no crystallization, no sediment at the bottom of the container	viscous, at the bottom of the container – a slight sediment up to 0.4–0.7 cm in the form of crystals
Aroma	specific to acacia, pleasant, strong, gentle, without foreign odors	specific to buckwheat, pleasant, strong, gentle, without foreign odors	pleasant, strong, gentle, without foreign odors	pleasant, strong, gentle, without foreign odors

⁶ Yatsenko I. V., Lotskin I. M., Bogatko N. M., Evstafieva V. O., Mazanna M. G., Degtyarev M. O. Detection of adulteration of honey with sodium bicarbonate admixture using bromothymol blue indicator. Theoretical and Applied Veterinary Medicine. 2021. 9 (3). 135–139. doi: 10.32819/2021.93021.

⁷ Berenbaum M.R., Calla B. Honey as a functional food for Apis mellifera. Annu Rev Entomol. 2020. 66:185–208. doi: 10.1146/annurev-ento-040320-074933.

Continuation of table 1

Taste	sweet, delicate, pleasant, tart and irritating to the oral mucosa, without foreign flavors	sweet, delicate, pleasant, tart, irritates the mucous membrane of the oral cavity, without foreign flavors	very sweet, delicate, pleasant, not tart and does not irritate the oral mucosa, without foreign flavors	sweet, delicate, pleasant, tart and irritating to the oral mucosa, without foreign flavors
Signs of souring	missing	missing	missing	missing
Presence of mechanical impurities	missing	missing	missing	missing

The results of Table 1 indicate that honey of various types produced by family apiaries had positive organoleptic indicators that met the requirements of the national standard DSTU 4497: sample No. 1 of acacia honey – the highest grade, sample No. 2 of buckwheat honey – the first grade, sample No. 3 of sunflower honey – the highest grade, sample No. 4 of honey from various herbs – the first grade. However, in sample No. 4 of honey of viscous consistency, a slight sediment of up to 0.4–0.7 cm in the form of crystals was observed at the bottom of the container, which does not worsen the organoleptic indicators⁸. All honey samples were natural, which indicated an irritating effect (tartness) on the mucous membrane of the oral cavity⁹. There were no signs of souring in all honey samples, and no mechanical impurities were detected¹⁰.

Subsequently, physicochemical indicators of different types of honey were measured, which are presented in Table 2.

According to the indicators in Table 2, we have the results that all the studied honey samples in terms of pollen grain composition were dominated by these nectariferous plants: in sample No. 1, white acacia pollen grains accounted for 99.0%; in sample No. 2, 89.0% buckwheat pollen grains; in sample No. 4, 85.0% sunflower pollen grains; in sample No. 4, buckwheat – 29.0% buckwheat pollen grains, 25.0 sunflower pollen grains, 28% alfalfa

⁸ On beekeeping: Law of Ukraine dated 22.02. 2000 No. 1492-III. Date of update: 29.09.2013 No. 442-VII; edition dated 02.03.2026, basis – 4718-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1492-14/comp20280117>

⁹ Yiğit Y., Yalçın S., Onbaşlar E.E. Effects of different packaging types and storage periods on physicochemical and antioxidant properties of honeys. *Foods*. 2022. 13(22):3594. doi: 10.3390/foods13223594.

¹⁰ Quirantes-Piné R., Sanna G., Mara A., Borrás-Linares I., Mainente F, Picó Y, & Ciulu M. Mass spectrometry characterization of honeydew honey: A critical rReview. *Foods*. 2024. 13(14):2229. doi: 10.3390/foods13142229.

Table 2

Physico-chemical parameters of honey produced from different family apiaries, $M \pm m$, $n=7$

Indicators	Sample No. 1	Sample No. 2	Sample No. 3	Sample No. 4
Pollen analysis result and species composition of pollen grains, %	white acacia – 99.0%, phacelia – 1.0%	buckwheat – 89.0%, red clover – 11.0%	sunflower – 85.0%, espartate – 15.0%	buckwheat – 29%, sunflower – 25%, alfalfa – 28%, field thistle – 11% phacelia – 7%
Mass fraction of water, %	17.12±0.03	18.45±0.03	19.11±0.04	19.37±0.03
Mass fraction of water	8.76±0.02	12.21±0.03	10.05±0.02	13.04±0.03
Acidity (active), mEq NaOH (0.1mol/dm ³) per 1 kg of honey	22.13±0.02	25.08±0.02	29.06±0.03	32.52±0.02
Mass fraction of reducing sugars (to anhydrous substance), %	85.77±0.03	83.64±0.03	88.41±0.03	84.09±0.03
Mass fraction of sucrose (on an anhydrous basis), %	3.61±0.01	5.17±0.02	7.56±0.02	5.86±0.02
GMF content, mg per 1 kg	9.38±0.01	10.44±0.01	13.16±0.01	15.68±0.01

Note: The content of GMF is no more than 40 mg per 1 kg of honey in the highest and first grades, respectively.

pollen grains. Our results were consistent with those of researchers in the field of honey safety control¹¹.

The highest mass fraction of water was observed in sample No. 4 – 19.37±0.03%, the lowest – in sample No. 1 – 17.12±0.03%. The diastase number according to the Shade scale was the highest in sample No. 4 (forbs) 13.04±0.03 units, and the lowest – in sample No. 1 8.76±0.02 units. The active acidity of honey in all samples varied within the normal range from 22.13±0.02 to 32.52±0.02 mEq of NaOH with a mass fraction of 0.1 mol/dm³ per 1 kg of honey (sample No. 4). All types of honey samples were natural, in which the mass fraction of reducing sugars was more than 70%, in particular, sample No. 3 had the highest content of them – 88.41±0.03%. In sample No. 3, the sucrose content was higher than the norm, and was 7.56±0.02%, which

¹¹ Akpınar S., Mutlu N. Multidimensional analysis of honey from Eastern Anatolia (Kars): Pollen spectrum, physicochemical properties, and antimicrobial activity. PLoS One. 2025. 20(7): e0327861. doi: 10.1371/journal.pone.0327861.

confirmed the too sweet taste of sunflower honey. Our results were consistent with those of researchers in the field of honey safety control¹².

The content of hydroxymethylfurfural in all honey samples did not exceed the norms – no more than 40 mg per 1 kg of honey.

3. Microbiological indicators of honey produced from different family apiaries

We conducted microbiological tests on honey of all types and grades based on the number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms; the presence of *Escherichia coli* bacteria; pathogenic microorganisms, in particular *Salmonella* bacteria, the content of yeast and mold fungi). The results of microbiological research of honey obtained from various Ukrainian producers are presented in Table 3.

Table 3

Microbiological indicators of honey produced from different family apiaries, M±m, n=7

Indicators	Sample No. 1	Sample No. 2	Sample No. 3	Sample No. 4
Number of MAFAnM, CFU/g	(0.72±0.02)×10 ²	(1.12±0.02)×10 ²	(1.27±0.02)×10 ²	(1.52±0.03)×10 ²
BGKP (not allowed in 0.1 g of honey)	not detected	not detected	not detected	not detected
<i>Esherichia coli</i> , in 1 g of honey	not detected	not detected	not detected	not detected
<i>Staphylococcus aureus</i> , в 1 г меду	not detected	not detected	not detected	not detected
Pathogenic microorganisms, including <i>Salmonella</i> bacteria, in 25 g of honey	not detected	not detected	not detected	not detected
Yeast content, in 50 g of honey	not detected	not detected	not detected	not detected
Presence of mold fungi, CFU/g	2.1±0.2	8.8±0.3	17.4±0.3	58.6±0.5

Note: standards for the content of MAFAnM in natural honey – 2.5•10⁴ CFU/g; the content of mold fungi – 1.0x10³ CFU/g; the content of BGCP (coliform bacteria), Esherichia coli, Staphylococcus aureus in 1 g of honey; yeast in 50 g, pathogenic microorganisms, including bacteria of the genus Salmonella in 50 g – are not allowed.

¹² Abeslami A., El Farissi H., Cacciola F., El Bachiri A., Sindic M., Fauconnier M.L., Bruneau E., Talhaoui A. Unveiling the mineral and sugar richness of moroccan honeys: A study of botanical origins and quality indicators. *Molecules*. 2025. 30(1):150. doi: 10.3390/molecules30010150.

According to microbiological indicators, the content of yeast and mold fungi, it was established that all honey samples from different producers met the regulatory requirements of the national standard of Ukraine DSTU 449713. However, the highest content of KMAFAnM was found in sample No. 4 (1.52 ± 0.03)x 102 CFU/g, the lowest in sample No. 1 – (0.72 ± 0.02) x102 CFU/g¹⁴. It was found that the number of mold fungi in all honey samples was within the standards and varied from 2.1 ± 0.2 to 58.6 ± 0.5 CFU/g, which indicated the naturalness and safety of honey¹⁵. Honey safety scientists confirmed our test results¹⁶.

4. Determination of adulteration of sodium honey with sodium bicarbonate and alkaline detergents

We have developed express methods for detecting honey adulteration with alkaline detergents and sodium bicarbonate solution¹⁷. To prevent the adulteration of honey with various chemical reagents, veterinary and sanitary requirements should be observed during the production and circulation of honey¹⁸.

For the first time, tests were conducted to determine the adulteration of honey samples with alkaline detergents using an indicator of an alcoholic solution of hydrochloric acid. The patented technique was based on a change in the color of the tested honey solution upon adulteration – the formation of a pink color¹⁹. A honey solution was prepared in a ratio of 1:2, filtered and 2 cm³ of the honey solution was taken with a graduated pipette and 0.2 cm³ of an alcoholic solution of hydrochloric acid with a mass concentration of

¹³ Natural honey. Technical conditions: DSTU 4497:2005. [Valid from 2005-12-28]. K: Derzhspozhyvstandart of Ukraine, 2007. 21 p. (National standard of Ukraine).

¹⁴ Almasaudi S. The antibacterial activities of honey. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2021. 28:2188–96. doi: 10.1016/j.sjbs.2020.10.017.

¹⁵ Rosiak E., Madras-Majewska B., Teper D., Lepecka A., Zielińska D. Cluster analysis classification of honey from two different climatic zones Based on Selected Physicochemical and of Microbiological Parameters. *Molecules*. 2021. 26(8):2361. doi: 10.3390/molecules26082361.

¹⁶ Al-Waili N., Salom K., Al-Ghamdi A., Ansari M.J. Antibiotic, pesticide, and microbial contaminants of honey: human health hazards. *Scientific World Journal*. 2012. 2012:930849. doi: 10.1100/2012/930849.

¹⁷ Bogatko A.F., Bogatko N.M. Hygiene and medical expertise. Methods for determining honey falsification: scientific and practical recommendations for postgraduate students of veterinary medicine managers and specialists and students in the specialty H6 "Veterinary Medicine". Bila Tserkva, 2024.70 p.

¹⁸ Hygienic requirements for facilities where beekeeping products are produced and/or traded: regulatory document. Approved by order of the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine dated 15.11.2023 No. 1968; registered with the Ministry of Justice of Ukraine on December 27, 2023 under No. 2262/41318. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z2262-23#n7>.

¹⁹ Brudzynski K. Honey as an ecological reservoir of antibacterial compounds produced by antagonistic microbial interactions in plant nectars, honey and honey bee. *Antibiotics*. 2021. 10:551. doi: 10.3390/antibiotics10050551.

0.1% was added, and the color of the contents of the test tube was recorded for 1–2 seconds: in the absence of adulteration – the formation of a yellow color; in the case of adulteration – the formation of a pink color. Also, tests were conducted for the presence of adulteration of honey with a sodium bicarbonate solution using an alcohol solution of bromothymol blue as an indicator. The patented technique was based on a change in the color of the tested honey solution upon adulteration – the formation of a green color.

A honey solution was prepared in a ratio of 1:2, filtered and 2 cm³ of the honey solution was taken with a graduated pipette and 0.05 cm³ of an alcoholic solution of bromothymol blue with a mass concentration of 0.05% was added, and the color of the contents of the test tube was recorded for 3–4 seconds: in the absence of adulteration – the formation of a blue color; in the case of adulteration – the formation of a green color.

The test results are presented in Table 4.

Table 4

Indicators of detection of honey adulteration with sodium bicarbonate and alkaline detergents by the intensity of the color of the honey solution, M±m, n=7

Indicators	Sample No. 1	Sample No. 2	Sample No. 3	Sample No. 4
Adulteration of honey with alkaline detergents using an alcoholic solution of hydrochloric acid (0.1%) in the number of honey samples/in %				
Presence of falsification	pink color, n=0/0	pink color, n=4/57,1	pink color, n=2/28,6	pink color, n=6/85,7
No falsification	yellow color, n=7/100	yellow color, n=3/42,9	yellow color, n=5/71,4	yellow color, n=1/14,3
Фальсифікація меду розчином натрію гідрокарбонату за використання спиртового розчину бромтимолового синього (0,05%) у кількості зразках меду/у %				
Presence of falsification	green color, n=0/0	green color, n=5/71,4	green color, n=4/57,1	green color, n=7/100
No falsification	blue color, n=7/100	blue color, n=2/28,6	blue color, n=3/42,9	blue color, n=0/0

From the results of Table 4, it was found that the sample of honey No. 1 from white acacia did not contain an admixture of alkaline detergents and sodium bicarbonate solution. However, the largest number of honey samples No. 2 and No. 4 were adulterated with alkaline detergents, 57.1 and 85.7% respectively, and honey samples No. 2, No. 3, No. 4 were adulterated with sodium bicarbonate solution, 71.4, 57.1 and 100.0% respectively. It should be noted that the reliability of qualitative indicators for determining impurities of alkaline detergents in honey was 99.8%, and sodium bicarbonate solution

– 99.9% compared to the indicators of conventional methods for determining the safety and quality of honey. Counterfeit honey samples are dangerous and are not allowed for sale, as this will harm the health of the average consumer²⁰.

Scientists share the opinion that the adulteration of food products, in particular natural honey, poses a danger to consumers. Therefore, a judicial investigation should be conducted in accordance with legal documents, taking into account the cause and factors of honey adulteration, the social problem and impartiality in conducting tests. Methods for detecting honey adulteration should be developed that would be accessible to veterinary medicine specialists²¹.

Veterinary inspectors should carry out tests to determine the adulteration of honey with alkaline detergents and sodium bicarbonate solution during the production and circulation of honey. Guided by EU Regulation 625/2017, risk-based control of honey during production and circulation should be carried out, which should be transparent and clear, taking into account hazardous factors and applying the systems of control of hazardous factors at critical control points – HACCP and the system of prevention of adulteration – VACCP at production facilities²².

It is the VACCP system implemented by food market operators that will prevent food fraud during their production, storage and sale.

CONCLUSIONS

When producing honey in family apiaries, sanitary and hygienic requirements should be observed during the production, storage and sale of honey. Therefore, the primary task of veterinary medicine inspectors of the State Service for Food Safety and Consumer Protection of Ukraine is perfect impartial control of the safety and quality of honey according to organoleptic, physicochemical and microbiological indicators. It was established that the data studied indicators of all honey samples produced in family apiaries of Ukraine complied with regulatory and legal documents. According to express methods, the reliability of qualitative indicators of detection of alkaline detergents and sodium bicarbonate solution was, respectively, 99.8 and 99.9% compared to the indicators of conventional methods for determining the safety and quality of honey.

²⁰ Mara A., Mainente F., Soursou V., Picó Y., Perales I., Ghorab A., Sanna G., Borrás-Linares I., Zoccatelli G., Ciulu M. New Insights on Quality, Safety, Nutritional, and Nutraceutical Properties of Honeydew Honeys from Italy. *Molecules*. 2025. 30(2):410. doi: 10.3390/molecules30020410.

²¹ On forensic examination: Law of Ukraine dated 02.25.1995, No. 4038-XII. Current version dated 01.01.2026, basis – 5695-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4038-12#Text>

²² Regulation (EU) No 2017/625 of the European Parliament and of the Council of 15 March 2017 on official controls and other official activities performed to ensure the verification of compliance with feed and food law, animal health and welfare rules and plant health rules. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_026-17#Text.

SUMMARY

Tests were conducted on the quality and safety indicators of various types of honey samples: from family apiaries of Ukraine: No. 1 – “Konyushyna”, Cherkasy region, acacia honey of the highest grade; No. 2 – “Bartnik”, Khmelnytskyi region, buckwheat honey of the highest grade; No. 3 – “Beehive”, Cherkasy region, sunflower honey of the highest grade; No. 4 – “Vedmedyk”, Chernivtsi city, honey from various herbs of the highest grade. It was found that the organoleptic indicators of different types of honey corresponded to certain types of nectar-bearing plants, in particular, honey sample No. 3 (sunflower honey) had a too sweet taste, which was explained by the increased sucrose content to $7.56 \pm 0.02\%$. The pollen composition of the studied floral honeys was also established: in honey sample No. 1, white acacia pollen grains accounted for 99.0%; in honey sample No. 2, 89.0% buckwheat pollen grains; in honey sample No. 4, 85.0% sunflower pollen grains; in honey sample No. 4, buckwheat, 29.0% buckwheat pollen grains, 25.0 sunflower pollen grains, 28% alfalfa pollen grains. It was found that the highest mass fraction of water was observed in sample No. 4, $19.37 \pm 0.03\%$, the lowest in sample No. 1, $17.12 \pm 0.03\%$; the diastase number was the highest in sample No. 4, 13.04 ± 0.03 units, and the lowest in sample No. 1, 8.76 ± 0.02 units; The active acidity of honey was the highest in samples No. 3 and 4, respectively: 32.52 ± 0.02 and 29.06 ± 0.03 mEq of NaOH with a mass fraction of 0.1 mol/dm³ per 1 kg of honey; The mass fraction of reducing sugars in honey was the highest in sample No. 3 – $88.41 \pm 0.03\%$, the lowest in honey sample No. 2 – $83.64 \pm 0.03\%$; the sucrose content in honey samples was within the regulatory parameters, except for sample No. 3, where an increase in the indicator was observed; the content of hydroxymethylfurfural in all honey samples did not exceed the regulatory parameters – within the range from 9.38 ± 0.01 to 15.68 ± 0.01 mg/kg of honey. Honey samples were tested for adulteration with alkaline detergents and sodium bicarbonate solution: honey sample No. 1 from white acacia did not contain any impurities of alkaline detergents and sodium bicarbonate solution. However, the largest number of honey samples No. 2 and No. 4 were adulterated with alkaline detergents, 57.1 and 85.7%, respectively, and honey samples No. 2, No. 3, No. 4 were adulterated with sodium bicarbonate solution, 71.4, 57.1 and 100.0%, respectively. The reliability of qualitative indicators for determining impurities of alkaline detergents in honey was 99.8%, and of sodium bicarbonate solution – 99.9% compared to the indicators of conventional methods for determining the safety and quality of honey.

Bibliography

1. Адамчук Л. О., Сілонова Н. Б., Сухенко В. Ю., Пилипко К. В. Нормативне регулювання показників безпеки та якості меду. Тваринництво та харчові технології. 2020. 11 (4). ISSN 2706-8331. Doi: 10.31548/animal2020.04.005.
2. Bernklau E., Bjostad L., Hogeboom A., Carlisle A., Arathi H.S. Dietary phytochemicals, honey bee longevity and pathogen tolerance. *Insects*. 2019 10:14. doi: 10.3390/insects10010014.
3. Вимоги до меду: нормативний документ. Затверджено наказом Міністерства аграрної політики та продовольства України від 19.06.2019 № 330; зі змінами, внесеними наказом Міністерства аграрної політики та продовольства України від 12.11.2024 № 409; зареєстровано в Міністерстві юстиції України 04 липня 2024 року за № 725/33696. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0725-19#Text>.
4. Machado De-Melo A. A., Bicudo de Almeida-Muradian L., Sancho M. T., Pascual-Maté A. Composition and properties of *Apis mellifera* honey: A review. *Journal of Apicultural Research*. 2018. V. 57. I. 1. P. 5–37. doi: 10.1080/00218839.2017.1338444.
5. Mitton G.A., Szawarski N., Mitton F.M., Iglesias A., Eguaras M.J., & Ruffinengo S.R. Impacts of dietary supplementation with p-coumaric acid and indole-3-acetic acid on survival and biochemical response of honey bees treated with tau-fluvalinate. *Ecotoxicol Environ Safety*. 2020. 189:109917. doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.109917.
6. Яценко І. В., Лоцкін І. М., Богатко Н. М., Євстаф'єва В. О., Мазанна М. Г., Дегтярьов М. О. Виявлення фальсифікації меду з домішкою гідрокарбонату натрію за допомогою індикатора бромтимолового синього. *Теоретична та прикладна ветеринарна медицина*. 2021. 9 (3). 135–139. doi: 10.32819/2021.93021.
7. Berenbaum M.R., Calla B. Honey as a functional food for *Apis mellifera*. *Annu Rev Entomol*. 2020. 66:185–208. doi: 10.1146/annurev-ento-040320-074933.
8. Про бджільництво: Закон України від 22.02.2000 № 1492-III. Дата оновлення: 29.09.2013 № 442-VII; редакція від 02.03.2026, підстава – 4718-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1492-14/comp20280117>.
9. Yiğit Y., Yalçın S., Onbaşılar E.E. Effects of different packaging types and storage periods on physicochemical and antioxidant properties of honeys. *Foods*. 2022. 13(22):3594. doi: 10.3390/foods13223594.
10. Quirantes-Piné R., Sanna G., Mara A., Borrás-Linares I., Mainente F, Picó Y, & Ciulu M. Mass spectrometry characterization of honeydew honey: A critical rReview. *Foods*. 2024. 13(14):2229. doi: 10.3390/foods13142229.

11. Akpınar S., Mutlu N. Multidimensional analysis of honey from Eastern Anatolia (Kars): Pollen spectrum, physicochemical properties, and antimicrobial activity. *PLoS One*. 2025. 20(7):e0327861. doi: 10.1371/journal.pone.0327861.
12. Abeslami A., El Farissi H., Cacciola F., El Bachiri A., Sindic M., Fauconnier M.L., Bruneau E., Talhaoui A. Unveiling the mineral and sugar richness of moroccan honeys: A study of botanical origins and quality indicators. *Molecules*. 2025. 30(1):150. doi: 10.3390/molecules30010150.
13. Мед натуральний. Технічні умови: ДСТУ 4497:2005. [Дійсний з 28.12.2005]. К: Держспоживстандарт України, 2007. 21 с. (Національний стандарт України).
14. Almasaudi S. The antibacterial activities of honey. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2021. 28:2188–96. doi: 10.1016/j.sjbs.2020.10.017.
15. Rosiak E., Madras-Majewska B., Teper D., Łepecka A., Zielińska D. Cluster analysis classification of honey from two different climatic zones Based on Selected Physicochemical and of Microbiological Parameters. *Molecules*. 2021. 26(8):2361. doi: 10.3390/molecules26082361.
16. Al-Waili N., Salom K., Al-Ghamdi A., Ansari M.J. Antibiotic, pesticide, and microbial contaminants of honey: human health hazards. *Scientific World Journal*. 2012. 2012:930849. doi: 10.1100/2012/930849.
17. Богатко А.Ф., Богатко Н.М. Гігієна та ветеринарна експертиза. Методи визначення фальсифікації меду: науково-практичні рекомендації для аспірантів, керівників та спеціалістів ветеринарної медицини та студентів спеціальності Нб «Ветеринарна медицина». Біла Церква, 2024. 70 с.
18. Гігієнічні вимоги до об'єктів, де виробляється та/або продається продукція бджільництва: нормативний документ. Затверджено наказом Міністерства аграрної політики та продовольства України від 15.11.2023 № 1968; зареєстровано в Міністерстві юстиції України 27 грудня 2023 року за №2262/41318. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z2262-23#n7>
19. Brudzynski K. Honey as an ecological reservoir of antibacterial compounds produced by antagonistic microbial interactions in plant nectars, honey and honey bee. *Antibiotics*. 2021. 10:551. doi: 10.3390/antibiotics10050551.
20. Mara A., Mainente F., Soursou V., Picó Y., Perales I., Ghorab A., Sanna G., Borrás-Linares I., Zoccatelli G., Ciulu M. New Insights on Quality, Safety, Nutritional, and Nutraceutical Properties of Honeydew Honeys from Italy. *Molecules*. 2025. 30(2):410. doi: 10.3390/molecules30020410.
21. Про судову експертизу: Закон України від 25.02.1995 р. № 4038-XII. Чинна редакція від 01.01.2026 р., підстава – 5695-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4038-12#Text>

22. Регламент (ЄС) № 2017/625 Європейського Парламенту та Ради від 15 березня 2017 року про офіційний контроль та іншу офіційну діяльність, що здійснюється для забезпечення перевірки дотримання законодавства про корми та харчові продукти, правил здоров'я та добробуту тварин, а також правил здоров'я рослин. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_026-17#Text

Information about the author:

Bohatko Alona Fedorivna,

Doctor of Philosophy (PhD) in Veterinary Hygiene,
Sanitation and Expertise,

Assistant at the Department of Veterinary and Sanitary Expertise, Hygiene
of Animal Products and Pathological Anatomy named after Y. S. Zagaevsky
Bila Tserkva National Agrarian University
8/1, Soborna Square, Bila Tserkva, Ukraine

БІОЛОГІЧНА РОЛЬ СЕЛЕНУ ТА ЙОГО ЗНАЧЕННЯ У ЇХ ЖИВЛЕННІ

Ковальчук І. І., Проданчук О. В.
DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-695-9-2>

ВСТУП

На сьогодні проблема підвищення ефективності функціонування галузі кролівництва є актуальною. Важливим викликом перед галуззю стоїть низка завдань, що потребують подальших наукових досліджень. Зокрема, удосконалення методів підвищення продуктивних якостей, створення оптимальних умов їх утримання, оптимізація складу кормів з урахуванням потреб у мікроелементах та біологічно активних речовинах, розробка ефективних програм профілактики інфекційних і незаразних хвороб, а також впровадження сучасних технологій утримання та годівлі¹.

Ефективний розвиток галузі кролівництва потребує обґрунтованих рішень у сфері ветеринарної медицини, зокрема щодо оптимізації годівлі та профілактики захворювань. Однією з основних проблем галузі є забезпечення збереженості поголів'я кролів².

Сучасне кролівництво стикається з серйозною проблемою підвищеної загибелі тварин, що зумовлено труднощами підтримання стабільного функціонування кишечника без застосування антибіотиків, використання яких обмежене у тваринництві Європейського Союзу відповідно до Регламенту (ЄС) № 1831/2003. У цьому контексті перспективним напрямом стало включення до раціонів нетрадиційних кормових добавок, що демонструють доведені переваги у зміцненні кишкового здоров'я, зокрема пребіотиків, антиоксидантів та імуномодуляторів^{3,4}.

¹ Башенко М. І., Гончар О. Ф., Бойко О.В. Кролівництво в Україні. Монографія. Черкаси: Черкаська дослідна станція біоресурсів НААН, 2020. С. 219.

² Ібагуллін І. І., Башенко М. І., Жукорський О. М. Повноцінна годівля сільськогосподарських тварин. Київ: Аграрна наука, 2016. С. 300.

³ De Jesus Raposo, M.F.; De Morais, A.M.M.B.; De Morais, R.M.S.C. Emergent Sources of Prebiotics: Seaweeds and Microalgae. *Mar. Drugs*. 2016. Vol. 14 № 2. P. 27. doi: 10.3390/md14020027

⁴ Nutritional Requirements of Meat Rabbits. Ministry of Agriculture and Rural Affairs: NY/T 4049-2021; Beijing, China, 2021.

Особливу увагу привертають добавки рослинного походження, що є цінним джерелом харчових волокон, високоякісного білка, вітамінів, поліненасичених жирних кислот та поліфенольних сполук, що сприяють підвищенню резистентності організму та оптимізації метаболічних процесів. Поряд з цим, важливим вектором слугує вивчення ролі мікроелементів у підтриманні гомеостазу та резистентності організму кролів. Варто зазначити, що мікроелементи впливають на обмін речовин і формування імунної відповіді, що безпосередньо позначається на збереженості та продуктивності поголів'я. Достатній рівень мікроелементів у раціоні сприяє оптимізації обміну речовин, підвищує стійкість тварин до стресових факторів та інфекційних агентів, а також позитивно позначається на продуктивності та збереженості поголів'я^{5, 6}.

Серед мікроелементів особливе значення має селен, що належить до незамінних факторів живлення та бере участь у регуляції життєво важливих процесів, сприяє росту й розвитку тварин^{7, 8}. Споживання Se та достатня кількість у раціоні тварин впливає на активність антиоксидантної системи, репродуктивну функцію, гормональний метаболізм та імунну систему^{9, 10}.

До раціонів Se може бути доданий у формі неорганічних, органічних і наночастинок¹¹. У рослинних корми, що традиційно є основною складовою частиною раціонів сільськогосподарських тварин різних видів, у тому числі і кролів, в середньому містять селену 0,04–0,08 мг/кг

⁵ Cullere, M.; Dalle Zotte, A. Rabbit Meat Production and Consumption: State of Knowledge and Future Perspectives. *Meat Sci.* 2018. Vol. 143. P. 137–146. DOI: 10.1016/j.meatsci.2018.04.029

⁶ AlSoufi, S.; García, J.; Muñíos, A.; López-Alonso, M. Marine Macroalgae in Rabbit Nutrition – A Valuable Feed in Sustainable Farming. *Animals.* 2022. Vol. 12 № 18. P. 2346. <https://doi.org/10.3390/ani12182346>

⁷ Dawood, M.A.O., Basuini, M.F.E., Yilmaz, S., Abdel-Latif, H.M.R., Kari, Z.A., Abdul Razab, M.K.A., Ahmed, H.A.; Alagawany, M., Gewaily, M.S. Selenium Nanoparticles as a Natural Antioxidant and Metabolic Regulator in Aquaculture: A Review. *Antioxidants.* 2021. Vol. 10 № 9. P. 1364. <https://doi.org/10.3390/antiox10091364>

⁸ Mohapatra, P., Swain, R.K., Mishra, S.K., Behera, T., Swain, P., Behura, N.C., Sahoo, G., Sethy, K., Bhol, B.P., Dhama, K. (2014). 'Effects of nano-selenium Supplementation on the performance of layer grower birds' *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances.* 2014. Vol. 9, № 10. P. 641–652.

⁹ Grossi S.; Rossi L.; De Marco M.; Sgoifo Rossi, C.A. The Effect of Different Sources of Selenium Vanm Supplementation on the Meat Quality Traits of Young Charolaise Bulls during the Finishing Phase. *Antioxidants.* 2021. Vol. 13, № 10(4). P. 596. DOI: 10.3390/antiox10040596

¹⁰ Mahima, A.K., Amit, K., Anu, R., Vinod, K., Debashis, R. Inorganic versus organic selenium supplementation: a review. *Pak. J. Biol. Sci.* 2012. Vol. 15, № 9. P. 418–425. DOI: 10.3923/pjbs.2012.418.425

¹¹ Wang, Z.-N., Li, H.; Tang, H., Zhang, S.-J., Pauline, M., Bi, C.-L. Short Communication: 'Effects of Dietary Selenium Supplementation on Selenium Deposition and Antioxidant Status in Postpartum Mice. *Biol. Trace Elem.* Vol. 199, P. 1488–1492. DOI: 10.1007/s12011-020-02260-2

сухої речовини, однак у більшості цього недостатньо для забезпечення фізіологічних потреб¹².

Таким чином, сучасні виклики у галузі кролівництва зумовлюють необхідність пошуку інноваційних рішень. Особливе значення має використання нанотехнологічних форм селену, зокрема цитрату, що характеризуються підвищеною біодоступністю та здатністю ефективніше забезпечувати участь у метаболічних процесах організму. Їх застосування відкриває перспективи оптимізації антиоксидантного захисту, посилення резистентності та стимуляції росту й розвитку кролів, підвищення продуктивності та збереженості поголів'я.

1. Біодоступність та метаболізм селену в організмі тварин

Селен – есенціальний мікроелемент, відкритий Й. Я. Берцеліусом у 1817 році. У зв'язку з цим, знаковою подією для біології та медицини, у 2017 році було святкування 200-річчя відкриття селену, що поєднали із проведенням міжнародної науково-практичної конференції «Se 2017–200 Years of Selenium Research» у Стокгольмі (Швеція). Такий масштабний інтерес наукової спільноти пояснюється надзвичайно широким спектром біологічних функцій цього мікроелемента, що бере участь у формуванні антиоксидантного захисту, регуляції гормонального метаболізму, підтриманні імунної відповіді та забезпеченні гомеостазу організму¹³.

Завдяки здатності утворювати різноманітні сполуки з киснем та іншими елементами, селен бере участь у багатьох реакціях окиснення-відновлення, а також входить до складу біологічно активних молекул, що мають важливе значення для функціонування живих організмів. Для оксигеновмісних сполук характерні ступені окиснення +6, +4 та +2, тоді як у бінарних сполуках він перебуває у відновленій формі зі ступенем окиснення – 2.

Селен надходить в організм тварин у вигляді органічних та неорганічних форм. До природних джерел належать селеновмісні амінокислоти – селенометіонін (Se-Met) та селеноцистеїн (Se-Cys), що інтегруються у структуру білків і забезпечують виконання ключових біологічних функцій. Штучні джерела селену представлені добавками, що застосовуються за недостатнього надходження мікроелемента з кормами. Найчастіше

¹² Косяненко О. М., Чернюк С. В., Чернявський О. О. Продуктивність молодяку кролів за різних доз селену в комбікормах залежно від статі. Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва. 2012. № 8. С. 52–55.

¹³ Путько Л.М., Котко Д.М., Гончарук Н.Л. Есенціальний мікроелемент селен (Se) та його роль у метаболізмі спортсменів під час виконання інтенсивних фізичних навантажень (огляд спеціальної літератури). Спортивна медицина, фізична терапія та ерготерапія. 2021. № 1. С. 21–25 <https://doi.org/10.32652/spmed.2021.1.21-25>

використовують селен у вигляді неорганічних сполук – селеніту або селенату натрію, а також у формі органічних – мікробного походження¹⁴.

Після надходження в організм сполуки селену включаються у різні метаболічні процеси та взаємоперетворення. Основне всмоктування відбувається в нижніх відділах тонкої кишки за механізмами, подібними до засвоєння сірковмісних сполук. Всмоктування селену у кишечнику тварин залежить від його форми та від вмісту сірки у кормах. Разом з тим, здійснюється переважно парацелюлярним шляхом пасивної дифузії, тоді як органічні форми – селенометіонін і селеноцистеїн – всмоктуються трансцелюлярно за участю специфічних транспортних білків, що забезпечують перенесення метіоніну та цистеїну¹⁵. Загалом коефіцієнт засвоєння органічних сполук селену з кормів становить 70–95%¹⁶, що визначається як ступенем перетравлення селеновмісних протеїнів, так і хімічною формою мікроелемента¹⁷.

Після абсорбції у шлунково-кишковому тракті сполуки селену надходять у кровотік і транспортуються до печінки, де реалізуються різні механізми їхнього метаболізму. Селенометіонін переноситься у комплексі з альбуміном, тоді як інші форми можуть циркулювати самостійно^{18, 19, 20}. За результатами досліджень, саме печінка виступає ключовим органом регуляції обміну селена²¹. Водночас у гепатоцитах визначаються основні напрями його подальшої трансформації – синтез біологічно активних сполук і селенопротеїнів або утворення метаболітів, що підлягають екскреції. Важливим етапом є біосинтез селенопротеїну Р (SelP), який секретується у системний кровотік та виконує функцію транспорту селена до різних органів і тканин, забезпечуючи його використання для формування інших селеновмісних білків.

¹⁴ Vickerman D.B., Trumble J.T., George G.N. Selenium biotransformations in an insect ecosystem: effects of insects on phytoremediation. *Environ. Sci. Technol.* 2004. Vol. 38, № 13, P. 3581–3586. <https://doi.org/10.1021/es049941s>

¹⁵ Baltaci AK, Mogulko RJ, Akil M. Selenium: Its metabolism and relation to exercise. *Pakistan Journal of pharmaceutical Sciences.* 2016. Vol. 29, № 5. P. 1719–1735.

¹⁶ Кравців Р.Й., Янович Д.О. Роль селену в життєдіяльності тварин (біологічні, ветеринарно-медичні, екологічні аспекти) *Біологія тварин.* 2003. № 1-2. С. 23–38.

¹⁷ Drutel A, Garon P. Selenium and the thyroid gland: more news for clinicians. *Clinical endocrinology.* 2019. Vol. 78, № 2. P. 155–164.

¹⁸ Emre MH, Diizova H, Sancak B. Serum selenium response to maximal anaerobic exercise among sportsmen trained at various levels. *The journal of Trace Elements in Experimental Medicine.* 2004. Vol. 17, № 2. P. 90–100.

¹⁹ Fairweather-Tait SJ, Bao Y, Broadley MR, Ford D. Selenium in human health and disease, Antioxidants and redox signaling. 2011. Vol. 14, № 7. P. 1337–1387. <https://doi.org/10.1089/ars.2010.3275>

²⁰ Fordyce FM. Selenium deficiency and toxicity in the environment. In *Essentials of medical geology.* 2013. P. 375–416.

²¹ Ghaffari-Niaki A, Taibi M. Serum Selenium Lipoproteins and Testosterone Re Responses. *College Students. The International journal of Humanities.* 2007. Vol. 14, № 3. P. 89–98.

Селенометіонін (SeMet) включається у синтез протеїнів аналогічно до метіоніну, завдяки чому добре акумулюється у тканинах. Водночас не може підтримувати активність SeCys-ферментів без попереднього перетворення у селенід (H_2Se) через селеноцистеїн. Селенцистеїн (SeCys), що надходить із кормів, не інтегрується безпосередньо у білки ферментів, а трансформується у селенід, що використовується для синтезу SeCys-вмісних ензимів, проте менш ефективно зберігається у тканинах.

Селенід (H_2Se) є проміжною сполукою, що може перетворюватися у леткі та розчинні форми, а також виводитися з організму через легені (диметилселенід, $(CH_3)_2Se$) або нирки (триметилселеноній, $(CH_3)_3Se^+$).

Селенцистеїн (SeCys), що надходить із кормів, не інтегрується безпосередньо у білки ферментів. Він трансформується у селенід, який використовується для синтезу SeCys-вмісних ензимів, проте характеризується меншою здатністю до збереження у тканинах.

Найбільш поширеною формою селену, що використовували у годівлі кролів був селеніт натрію. Через низьку біологічну доступність селену, малий рівень акумуляції його в тканинах тварин та високу токсичність спостерігається заміна селенітів на сполуки органічного походження^{22, 23}.

Тривале згодовування селену у складі незбалансованих за поживними речовинами раціонів не сприяє підвищенню продуктивності, а навпаки призводить до її зниження. Препарати селену неорганічного походження, що застосовуються у годівлі сільськогосподарської птиці (селеніт натрію, селенат, металевий селен), належать до сильнодіючих токсичних речовин. Саме тому селеновмісні препарати, що використовуються у виробництві комбикормів і преміксів, характеризуються надто вузьким інтервалом між оптимальними та небезпечними дозами. Навіть у мінімальних кількостях (близько 3 мг/кг корму) селен може проявляти токсичність і за характером дії на організм подібний до сполук миш'яку²⁴.

Після всмоктування у тонкому кишечнику селен транспортується у крові за участю альбумінів, а також α - та β -глобулінів. Вміст цього

²² Білецька Е.М., Онул Н.М. Селен у доквіллі: еколого-гігієнічні аспекти проблеми: Монографія. Дніпропетровськ, 2013. С. 292.

²³ Соболев О.І. Біологічне значення селену та застосування його у годівлі сільськогосподарської птиці Вісник аграрної науки. 2002. № 6. С. 151–156.

²⁴ Soma, S. Y., Hasan, M. M., Parvez, M. M., Islam, R., Rashid, M. B., Sarkar, S., Tonu, N. S., & Shahadat, M. N. Effects of Selenium and vitamin E against arsenic toxicity in Broiler. *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*. 2025. Vol. 8, № 2. P. 7–15. <https://doi.org/10.32718/ujvas8-2.02>

мікроелемента у тканинах тварин варіює залежно від віку, статі, генетичних особливостей та фізіологічного стану. У сироватці крові жуйних тварин концентрація селену становить 0,6–1,4 мкмоль/л, тоді як у свиней – 1,2–2,0 мкмоль/л.²⁵

Рівень селену у печінці жуйних, свиней і курей коливається в межах 0,5–2,5 мг/кг сухої речовини, а у пігментованому волоссі великої рогатої худоби – 0,25–0,50 мг/кг. Вміст селену в сечі корелює з його кількістю у раціоні^{26, 27}. При дефіциті цього мікроелемента його концентрація у плазмі крові та шерсті знижується повільніше, ніж у тканинах. За умов нормального споживання селену (0,1–0,3 мг/кг корму) м'язова тканина тварин містить 0,3–0,4 мг/кг, тоді як печінка більшості видів акумулює приблизно у чотири рази більше. Нирки бичків і свиней здатні накопичувати у 10–16 разів більше селену порівняно з м'язами²⁸.

Дослідники зазначають^{29, 30, 31}, що більш високий рівень забезпеченості селеном у окремих груп тварин пояснюють специфікою годівлі (зокрема більшим споживанням кормів, багатих на зерно), локально високими рівнями надходження мікроелемента, а також наслідками антропогенного впливу на довкілля. Ці відмінності значною мірою зумовлені фізіологічними особливостями різних видів та статевих груп тварин, гормональними чинниками, а також більшим рівнем надходження токсичних елементів професійного походження у господарствах із підвищеним техногенним навантаженням.

Біозасвоєння мікроелемента збільшується під впливом вітамінів А, Е та інших жиророзчинних вітамінів, акумуляція яких також відбувається в тонкому кишківнику. Активує всмоктування селену також наявність в їжі

²⁵ Kyoung H, Shin I, Kim Y, Cho JH, Park KI. Mixed supplementation of dietary inorganic and organic selenium modulated systemic health parameters and fecal microbiota in weaned pigs. *Front Vet Sci.* 2025. Vol. 12. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1531336>

²⁶ Mehdi Y, Hornick JL, Istasse L, Dufresne I. Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions. *Molecules.* 2013. Vol. 18, № 3. P. 3292–3311. doi: 10.3390/molecules18033292.

²⁷ Robberecht H.J., Deelstra H.A. Selenium in human urine: concentration levels and medical implications *Clinica Chimica Acta.* 1984. Vol. 136, № 2-3. P. 107–120. [https://doi.org/10.1016/0009-8981\(84\)90282-1](https://doi.org/10.1016/0009-8981(84)90282-1)

²⁸ Kyoung H, Shin I, Kim Y, Cho JH, Park KI. Mixed supplementation of dietary inorganic and organic selenium modulated systemic health parameters and fecal microbiota in weaned pigs. *Front Vet Sci.* 2025. Vol. 12. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1531336>

²⁹ Pecoraro BM, Leal DF, Frias-De-Diego A, Browning M, Odle J, Crisci E. The health benefits of selenium in food animals: a review. *J Anim Sci Biotechnol.* 2022. Vol. 13, № 1. P. 58. DOI: 10.1186/s40104-022-00706-2

³⁰ Alexander J. Selenium. *Novartis Found Symp.* 2007;282:143-9; discussion 149-53, 212-8.

³¹ Hassan F., Mobarez S., Mohamed M., Attia Y., Mekawy A., Mahrose K. Zinc and/or selenium enriched spirulina as antioxidants in growing rabbit diets to alleviate the deleterious impacts of heat stress during summer season. *Animals.* 2021. Vol. 11, № 3. P. 756. <https://doi.org/10.3390/ani11030756>

вітаміну С, В₆ ^{32, 33, 34}. Щодо надходження селену дихальним шляхом наявні лише обмежені експериментальні дані, отримані на тваринах. Порівняльні дослідження інгаляційної абсорбції селенистої кислоти та елементного селену показали, що швидкість переходу селену в кров була нижчою при введенні елементної форми, хоча після всмоктування обидві форми проявляли подібні метаболічні властивості. Особливо ефективним є засвоєння селену в легенях у вигляді летких сполук, зокрема диметилселеніду, що підкреслює значення респіраторного шляху як додаткового механізму його надходження в організм³⁵.

Здатність щитоподібної залози накопичувати селен (Se) свідчить про його виняткове значення для фізіологічного функціонування органа та підтримання гомеостазу організму. Відомо, що концентрація селену в тканинах щитоподібної залози перевищує його вміст у мозку та більшості інших органів, що підкреслює його ключову роль у процесах гормонального синтезу та регуляції метаболізму. Така особливість пояснюється тим, що селен входить до складу селенопротеїнів, що забезпечують перетворення тироксину (Т4) у біологічно активний трийодтиронін (Т3), а також беруть участь у захисті клітин від оксидативного стресу³⁶.

Тиреоїдні гормони вирізняються багатогранним спектром біологічної дії, що охоплює регуляцію метаболічних процесів та підтримання гомеостазу. Вони забезпечують оптимальний рівень функціональної активності організму на різних рівнях його організації, сприяють диференціюванню тканин, підтримують енергетичні та біосинтетичні процеси й визначають темпи росту та розвитку. Завдяки цьому тиреоїдні гормони виступають ключовими регуляторами фізичної та розумової активності, інтегруючи метаболічні та морфогенетичні механізми у єдину систему забезпечення життєдіяльності³⁷.

³² Yuan D., Zhan X. A., Wang Y. X. Effect of selenium sources on the expression of cellular glutathione peroxidase and cytoplasmic thioredoxin reductase in the liver and kidney of broiler breeders and their offspring. *Poultry Science*. 2012. Vol. 91, № 4. P. 936–942. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01921>

³³ Wischhusen, P., Heraud, C., Broughton, R., Surget, A., Lanuque, A., Terrier, F., Fontagné-Dicharry, S., Betancor, M. B. Vitamin B6 and selenium supplementation induce contrasting effects in the transsulfuration pathway of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) with interactive effects in stressed fish Aquaculture. 2024. Vol. 593, № 741354. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741354>

³⁴ Zeng H., Combs G.F. Selenium as an anticancer nutrient: roles in cell proliferation and tumor cell invasion *J. Nutr. Biochem*. 2008. Vol. 19, № 1. P. 1–7. DOI: 10.1016/j.jnutbio.2007.02.005

³⁵ Jiang H, Yang G, Chen J, Yuan S, Wu J, Zhang J, Zhang L, Yuan J, Lin J, Chen J, Yin Y. (2024) The correlation between selenium intake and lung function in asthmatic people: a cross-sectional study. *Front Nutr*. 17; 11: 1362119. doi: 10.3389/fnut.2024.1362119.

³⁶ Gorini F, Sabatino L, Pingitore A, Vassalle C. Selenium: An Element of Life Essential for Thyroid Function. *Molecules*. 2021. Vol. 26(23): 7084. doi: 10.3390/molecules26237084

³⁷ Van Uytvanghe K, Ehrenkranz J, Halsall D, Hoff K, Loh TP, Spencer CA, Köhrle J. (2023) Thyroid Stimulating Hormone and Thyroid Hormones (Triiodothyronine and Thyroxine): An American Thyroid Association-Commissioned Review of Current Clinical and Laboratory Status. 2023. Vol. 33, № 9. P. 1013–1028. DOI: 10.1089/thy.2023.0169

Відомо, що щитоподібна залоза є особливо багатою на селен (Se), входить до складу ключових антиоксидантних ферментів – глутатіонпероксидази (GPx), тіоредоксинредуктази (TrxR), а також трьох дейодиназ (D1, D2, D3). Дейодинази (D1, D2, D3) – це селенозалежні ферменти, які виконують ключову роль у регуляції тиреоїдного гомеостазу, забезпечуючи перетворення тироксину (T4) у біологічно активний трийодтиронін (T3) або у його неактивну форму – реверсний трийодтиронін (rT3)^{38, 39, 40}.

Як зазначають окремі автори^{41, 42} дейодиназ (D1, D2, D3) відрізняються за клітинною локалізацією та функціональною роллю: D1 і D3 розташовані на рівні плазматичної мембрани, тоді як D2 – на мембрані ендоплазматичного ретикулу. Основним тиреоїдним гормоном, що синтезується щитоподібною залозою, є тироксин (T4), який за допомогою D1 та D2 перетворюється на біологічно активний трийодтиронін (T3) шляхом дейодування зовнішнього кільця молекули. T3 вважається головним регулятором метаболізму, тоді як T4 виконує переважно роль прогормону. Інактивуюче дейодування внутрішнього кільця здійснюється переважно D3 (а частково D1), що призводить до утворення катаболічних неактивних продуктів – реверсного трийодтироніну (rT3) та T2. Водночас, різні типи дейодиназ забезпечують тонкий контроль гормонального статусу організму, регулюючи співвідношення між активними та неактивними формами тиреоїдних гормонів і підтримуючи метаболічний гомеостаз.

Завдяки такому механізму підтримують баланс між стимуляцією та гальмуванням метаболічних процесів, що дозволяє організму адаптуватися до змін енергетичних потреб. Дейодинази належать до групи селенопротеїнів, тому їхня активність безпосередньо залежить від рівня селену, що забезпечує не лише гормональну регуляцію, а й антиоксидантний захист клітин щитоподібною залозою від

³⁸ Ventura M., Melo M., Carrilho F. Selenium and Thyroid Disease: From Pathophysiology to Treatment. *Int. J. Endocrinol.* 2017, 1297658. doi: 10.1155/2017/1297658

³⁹ Schomburg L. The other view: The trace element selenium as a micronutrient in thyroid disease, diabetes, and beyond. *Hormones.* 2020. Vol. 19, № 1. P. 15–24. doi: 10.1007/s42000-019-00150-4

⁴⁰ Kielczykowska M., Kocot J., Paździor M., Musik I. Selenium – A fascinating antioxidant of protective properties. *Adv. Clin. Exp. Med.* 2018. Vol. 27, № 2. P. 245–255. doi: 10.17219/acem/67222.

⁴¹ Baqui M., Gereben B., Harney J.W., Larsen P.R., Bianco A.C. Distinct subcellular localization of transiently expressed types 1 and 2 iodothyronine deiodinases as determined by immunofluorescence confocal microscopy. *Endocrinology.* 2000. Vol. 141, № 11. P. 4309–4312. doi: 10.1210/endo.141.11.7872.

⁴² Bianco A.C., da Conceição R.R. The Deiodinase Trio and Thyroid Hormone Signaling. *Thyroid Horm. Nucl. Recept.* 2018. Vol. 1801. P. 67–83. DOI: 10.1007/978-1-4939-7902-8_8

оксидативного стресу. Водночас, ці ферменти є критично важливими для нормального функціонування ендокринної системи та підтримання загального метаболічного гомеостазу організму.

Таким чином, рівень надходження селену є необхідною умовою для стабільного функціонування щитоподібної залози та підтримання загального гомеостазу організму.

2. Функціональне значення селену у формуванні антиоксидантної відповіді

Біологічна роль селену пов'язана з його участю у функціонуванні антиоксидантних систем та синтезі ферментів, що регулюють окисно-відновні процеси. За фізіологічних умов потреба у селені для тварин визначається рівнем їхнього росту, розвитку та продуктивності. Крім того, цей мікроелемент залучений до обміну жиророзчинних вітамінів А та Е, а також до синтезу коензиму Q – каталізатора енергетичних процесів на клітинному рівні. Селен проявляє захисні властивості при інтоксикаціях, спричинених надмірним надходженням кухонної солі, солей важких металів та різних токсинів.

Варто зазначити, що селен розглядають як потужний антиоксидант, здатний забезпечувати ефективний захист клітин від ушкоджувальної дії активних форм кисню та підтримувати гомеостаз організму⁴³. Він входить до складу глутатіонпероксидази (ГП), що відновлює H_2O_2 і гідропероксиди ліпідів⁴⁴. Цей мікроелемент діє як кофактор в утворенні селенопротеїнів, що беруть участь у каталізі гідропероксиду. Водночас, активність ензимів у тканинах організму залежить від кількості спожитого Селену^{45, 46, 47}.

⁴³ Holmgren, A. Antioxidant Function of Thioredoxin and Glutaredoxin Systems, *intiox. Redox Signal*. 2000. Vol. 2, № 4. P. 811–820. DOI: 10.1089/ars.2000.2.4-811

⁴⁴ Holovska, K. & Holovska, J. Antioxidant enzyme activities in liver tissue of chickens fed diets supplemented with various forms and amounts selenium. *Journal of animal and feed sciences*. 2003. Vol. 12, № 1. P. 143–152. DOI: 10.22358/jafs/67691/2003

⁴⁵ Hassan F., Mobarez S., Mohamed M., Attia Y., Mekawy A., Mahrose K. Zinc and/or selenium enriched spirulina as antioxidants in growing rabbit diets to alleviate the deleterious impacts of heat stress during summer season. *Animals*. 2021. Vol. 11, № 3. P. 756. <https://doi.org/10.3390/ani11030756>

⁴⁶ Shima A Amer, A.E. Omar, and M.E. Abd El-Hack Effect of selenium and chromium enriched diets on growth performance, lipid profile and mineral concentration in different tissues of growing rabbits. *Biol. Trace Element Res*. 2019. Vol. 187, № 1. P. 92–99, doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1356-4>.

⁴⁷ Zhang Y., Zhu S., Wang X., Wang C., Li F. The effect of dietary selenium levels on growth performance, antioxidant capacity and glutathione peroxidase 1 (GSHPx1) mRNA expression in growing meat rabbits. *Animal Feed Science and Technology*. 2011. Vol. 169, № (3–4). P. 259–264. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2011.07.006>

Селен (Se) – один із мікроелементів, що проявляє протипухлинні властивості завдяки комплексному впливу на клітинні процеси. Водночас знижує рівень оксидативного стресу через активацію антиоксидантних ферментів, стимулює апоптоз трансформованих клітин, модулює експресію генів, що відповідають за репарацію ДНК та регуляцію клітинного циклу, а також посилює активність імунних клітин, здатних розпізнавати й знищувати пухлинні структури; у результаті це забезпечує антипроліферативний ефект і формує багаторівневий захист організму від канцерогенних впливів^{48, 49}.

Що стосується імуномодуючої дії селену, то вона охоплює як гуморальні, так і клітинні ланки імунної системи; зокрема, дефіцит цього мікроелемента в організмі призводить до зниження продукції антитіл та порушення диференціації Т-лімфоцитів.

Селен (Se) в організмі виконує каталітичну та регуляторну функції, активуючи дію ферментів, вітамінів і гормонів, чим забезпечує ефективне функціонування різних біологічних систем. Важливо зазначити, цей мікроелемент попереджує утворення і зменшує кількість вільних радикалів, що знищують клітини в організмі та є життєво необхідним для нормальної життєдіяльності тварин. Найважливішою властивістю Селену, в організмі тварин, є його антиоксидантна активність. Без Селену не відбувається синтез необхідних ензимів глутатіонпероксидази, ключового ферменту системи антиоксидантного захисту, що попереджає окислення в клітинах. Захищаючи клітинні мембрани, Селен не допускає їх деформації і порушень у структурі ДНК, відновлює пошкоджені клітини і сприяє утворенню та росту нових, здорових і неушкоджених клітин^{50, 51}. Результати дослідження підтверджує, що Se є одним із основних антиоксидантів, який використовується як дієтична добавка разом з вітаміном Е для контролю процесів окислення ліпідів і білків, оскільки він має здатність покращувати як якісні характеристики м'яса.

⁴⁸ Boiko, O.V., Honchar, O.F., Lesyk, Y.V., Kovalchuk, I., Gutyj, B.V., & Dychok-Niedzielska, A.Z. Effect of consumption of I, Se, S and nanoaquacitrates on hematological and biochemical parameters of the organism of rabbits. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2021. Vol. 12, № 2. P. 335–340. doi: 10.15421/022145

⁴⁹ Kieliszek, M., & Dourou, M. Effect of Selenium on the Growth and Lipid Accumulation of *Yarrowia lipolytica* Yeast. *Biol Trace Elem Res*, 2021. Vol. 199. P. 1611–1622. doi: 10.1007/s12011-020-02266-w.

⁵⁰ Shakibaie, M., Forootanfar, H., Golkari, Y., Mohammadi-Khorsand, T. and Shakibaie, M.R. Anti-Biofilm Activity of Biogenic Selenium Nanoparticles and Selenium Dioxide against Clinical Isolates of *Staphylococcus Aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Proteus mirabilis*. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2015. Vol. 29, P. 235–241. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2014.07.020>

⁵¹ Rehman R, Sial N, Ismail A, Hussain S, Abid S, Javed M, Nadeem K, Ayoub M. Growth Response in *Oryctolagus cuniculus* to Selenium Toxicity Exposure Ameliorated with Vitamin E. *Biomed Res Int*. 2022. Vol. 2022, № 1. DOI: 10.1155/2022/8216685

За нестачі Se в раціоні тварин відбувається його перерозподіл в органах і тканинах. У мозку, ендокринних та статевих органах вміст селену довгий час залишається незмінним, тоді як печінка, м'язи, шкіра швидко його втрачають. Дефіцит селену зазвичай проявляється підвищеною частотою затримки плаценти, метритом, маститом, абортами, зниженням фертильності та підвищеною сприйнятливістю до інфекцій⁵². В селенодефіцитних органах і тканинах мікроелемент швидко мобілізується з цитозольної глутатіонпероксидази, тоді як експресія фосфоліпідної глутатіонпероксидази, дейодиназ та тіоредоксинредуктази суттєво не змінюється, а іноді навіть підвищується.

Дефіцит селену в раціоні може негативно вплинути на перетворення ліноленової кислоти в ейкозапентаєнову кислоту та докозагексаєнову кислоту, що може призвести до зміни співвідношення жирних кислот (n-6/n-3) у ліпідах клітинних мембран. Окрім того, додавання Se до кормів для тварин сприяє зміні профілю жирних кислот у м'язовій тканині⁵³. Se пом'якшує окислювальний стрес і перекисне пошкодження UFA і впливає на ефективність біосинтезу жирних кислот у тканинах тварин⁵⁴.

3. Вплив цитрату Se на організм самок та самців молодняку кролів

На сьогодні питання значення мінеральних речовин у вирощуванні кролів порівняно з іншими видами сільськогосподарських тварин висвітлено в літературі недостатньо. Водночас встановлено пряму залежність між високою інтенсивністю росту, рівнем збереженості молодняку та оптимальним забезпеченням раціону мінеральними компонентами. Це свідчить про ключову роль мінерального живлення у підтриманні фізіологічної рівноваги, формуванні резистентності організму та реалізації продуктивного потенціалу кролів⁵⁵.

⁵² Hosnedlova, B., Kepinska, M., Skalickova, S., Fernandez, C., Ruttkay-Nedecky, B., Malevu, T.D., Sochor, J., Baron, M., Melcova, M., Zidkova, J., & Kizek, R. A Summary of New Findings on the Biological Effects of Selenium in Selected Animal Species – A Critical Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 2017. Vol. 18, № 10. 2209. doi: 10.3390/ijms18102209

⁵³ Mylostyva, D., Gutyj, B., Borshenko, V., Marenkov, O., Yaremko, O., Lesnovska, O., Izhboldina, O., Mylostyvyi, R., Farafonov, S., Levytskyi, T., Kushnir, H., & Ryvak, H. Content of fatty acids and lipid peroxidation products in the blood serum of young ukrainian beef breed under the action salt of copper, selenium and manganese. *Fiziol. Zh.* 2023. Vol. 69, № 6. P. 60–68. doi: 10.15407/fz69.06.060.

⁵⁴ Bień, D., Michalczyk, M., Szkopek, D., Kinsner, M., & Konieczka, P. Changes in lipids metabolism indices as a result of different form of selenium supplementation in chickens. *Sci Rep.* 2022. Vol. 12, № 13817. doi: 10.1038/s41598-022-18101-2

⁵⁵ Damgaard L. H., Rydmer L, Lovendahl P., Grandinson K. Genetic parameters for within-litter variation in piglet birth weight and change in within-litter variation during sucklingto *J. Anim. Sci.* 2003. Vol. 81, № 3. P. 604–610. DOI: 10.2527/2003.813604x

Дані літератури свідчать, що організм кролів у процесі нейтралізації вільних радикалів значною мірою залежить від антиоксидантної дії вітаміну Е, тоді як роль селену у цьому аспекті є менш вираженою порівняно з іншими видами ссавців⁵⁶. Водночас експериментальні дослідження показують, що додаткове введення селену у раціон кролиць у дозі 0,1 мг/кг корму сприяє збільшенню маси приплоду, проте підвищення рівня до 0,3 мг/кг не забезпечує подальшого позитивного ефекту⁵⁷.

У кролівництві досі не встановлено чітких норм потреби у селені, тому практично застосовують орієнтовну кількість 0,05 мг/кг корму, що ґрунтується на поодиноких дослідженнях. Це свідчить про недостатню вивченість питання та потребу у систематичних дослідженнях, які б дозволили визначити оптимальний рівень цього мікроелемента для забезпечення росту, відтворної здатності та резистентності кролів⁵⁸.

Застосування Селену в якості добавки для сільськогосподарських тварин у вигляді неорганічної сполуки має певні обмеження через його токсичність, низьку засвоюваність та накопичення в організмі^{59, 60}.

Наночастинки Se (Nano-Se) характеризуються високою біодоступністю та ефективністю, високу адсорбуючу здатність і низьку токсичність порівняно з іншими джерелами Se⁶¹. Нанотехнологічні цитрати біотичних елементів мають негативний заряд і швидко всмоктуються у кишечнику, проникаючи через мембранні стінки. Однак на відміну від цитратних комплексів хімічного синтезу, вони містять надлишок лимонної кислоти, що підвищує їхню біологічну доступність і здатність до комплексоутворення.

Тому триває пошук нових добавок Селену, що б характеризувалися оптимальною кількістю діючої речовини та її формою та забезпечували підтримку енергетичної, прооксидантно-антиоксидантної рівноваги

⁵⁶ Del Razo Rodríguez, O.E., Gaspar, J.M.C., Casas, R.L. Effects of Selenium Supplementation on Growth Performance, Antioxidant and Metabolic Status in Fattening Lambs: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Biol Trace Elem Res*. 2026. <https://doi.org/10.1007/s12011-026-05078-6>

⁵⁷ Abu Hafsa S. H., Centoducati G., Hassan A. A., Maggolino A., Elghandour M. M. M. Y., Salem A. Z. M. Effects of dietary supplementations of vitamin C, organic selenium, betaine, and pomegranate peel on alleviating the effect of heat stress on growing rabbits. *Animals*. 2024. Vol. 14, № 6. P. 950. DOI: 10.3390/ani14060950

⁵⁸ Snarska A, Grzybowska D. The role of selenium in small ruminants: implications for haematopoiesis and supplementation strategies – a review. *Pol J Vet Sci*. 2025. Vol. 28, № 3. P. 497–503. <https://doi.org/10.24425/pjvs.2025.156076>

⁵⁹ Yakubets T., Bochkov V. Influence of males of the paternal line with different weight index on the productivity of rabbits of the maternal form of the Hyla Cross. *Animal Science and Food Technology*. 2023. Vol. 14, № 1, P. 113–125 <https://doi.org/10.31548/animal.1.2023.113>

⁶⁰ Abd Allah S, Hashem KS. Selenium nanoparticles increase the testicular antioxidant activity and spermatogenesis in male rats as compared to ordinary selenium. *Int J Adv Res*. 2015. Vol. 3, № 1. P. 792–802.

⁶¹ Skalickova S, Milosavljevic V, Cihalova K, Horky P, Richtera L, Adam V. Selenium nanoparticles as a nutritional supplement. *Nutrition*. 2017. Vol. 33, P. 83–90. DOI: 10.1016/j.nut.2016.05.001

і направленості обмінних процесів в організмі тварин, зумовлювали стимулюючий вплив на їх продуктивність.

У зв'язку з вищевикладеним метою досліджень було визначення впливу нанотехнологічного цитрату селену на життєздатність бджіл, ліпідний склад та вміст продуктів перекисного окиснення ліпідів в їх організмі.

Для проведення другого досліду було відібрано кролів віком 45 діб та поділено на чотири групи: дві контрольні – К I (самки, ♀) та К III (самці, ♂), і дві дослідні – Д II (самки, ♀) та Д IV (самці, ♂). Тварини були диференційовані за статтю, що дозволило врахувати можливі фізіологічні та гормональні відмінності між самцями та самками. Кролів формували за принципом аналогів (вік, маса тіла, клінічний стан) у групи по 5–6 тварин, середньою масою тіла 1000–1200 г. Тварин утримували в приміщенні з регульованим мікрокліматом, освітленням, у сітчастих клітках розміром 50×120×30 см відповідно до чинних ветеринарно-санітарних норм. У кожній групі утримували по 5 голів, підібраних за принципом аналогів (маса тіла, клінічний стан). Кролі контрольних груп отримували стандартний гранульований комбікорм та необмежений доступ до питної води. Тварини дослідних груп щодобово отримували з питною водою цитрат селену у дозі 200 мкгSe/л. У дослідженні використовували Se у формі нанотехнологічного цитрату⁶². Тривалість випоювання становила 30 діб, протягом яких здійснювали систематичне спостереження за клінічним станом, динамікою росту та метаболічними показниками організму кролів.

Забір крові у кролів, у підготовчий та дослідні періоди, здійснювали з крайової вушної вени шляхом проколу одноразовою стерильною голкою з подальшим аспіруванням у стерильний шприц. Місце взяття попередньо обробляли 70% етиловим спиртом та розчином димексиду для індукції місцевої гіперемії.

Для гематологічного дослідження кров відбирали в пробірки, що містили дикальєву сіль етилендіаміну – тетраоцтову кислоту (EDTA – К 2+), що служила антикоагулянтом. У крові кролів визначали загальну кількість еритроцитів та еритроцитарні індекси (середній об'єм еритроцита, середній вміст гемоглобіну в еритроциті, середня концентрація гемоглобіну в еритроциті, ширина розподілу еритроцитів), кількість лейкоцитів та їх форм – лімфоцитів, моноцитів, гранулоцитів.

⁶² Патент України на корисну модель № 38391. МПК (2006): C07C 51/41, C07F 5/00, C07F 15/00, C07C 53/126 (2008.01), C07C 53/10 (2008.01), A23L 1/00, B82B 3/00. Спосіб отримання карбоксилатів металів. Нанотехнологія отримання карбоксилатів металів / Косінов М. В., Каплуненко В. Г. – Опубл. 12.01.2009. Бюл. № 1/2009

Дослідження проводили за допомогою автоматичного гематологічного аналізатора (“Orphee Mythic 18”, Швейцарія)⁶³.

Для проведення біохімічних досліджень, як антикоагулянт застосовували 1% розчин гепарину. У плазмі крові визначали вміст загального кальцію та неорганічного фосфору. Аналіз проводили за допомогою автоматичного біохімічного аналізатора HumaLyzer 2000, що забезпечує високу точність та відтворюваність результатів.

У плазмі крові та тканинах печінки, нирок, серця та шерсті визначали вміст Zn, Se, Fe, Cu, Cd, Pb за використанням атомно-абсорбційного спектрофотометра СФ-115 ПК та індуктивно-зв’язаної плазмової атомно-емісійної спектрометрії (ICP-OES).

Утримання тварин та всі маніпуляції проводили відповідно до положень «Загальних етичних принципів експериментів на тваринах», ухвалених Першим Національним конгресом з біоетики (Київ, 2001) та «Європейської конвенції про захист хребетних тварин, які використовуються для експериментальних та інших наукових цілей» (Страсбург, 1986).

Статистичний аналіз одержаних цифрових даних проводили за допомогою програми Statystika для Windows XP⁶⁴. Після порівняння досліджуваних показників та їхніх міжгрупових різниць використовували t-критерій Стьюдента, а результат вважали вірогідним після $P < 0,05$.

Клінічні показники є важливим інструментом оцінки фізіологічного стану тварин, оскільки вони відображають рівень адаптаційних можливостей організму та його загальну резистентність. Аналіз змін клінічних параметрів дозволяє комплексно охарактеризувати перебіг метаболічних процесів, визначити вплив кормових факторів і біологічно активних речовин, а також оцінити ефективність застосування нанотехнологічних форм мікроелементів у годівлі кролів⁶⁵.

За результатами дослідження клінічні показники залишалися в межах фізіологічної норми (табл. 1).

Водночас встановлено, що ректальна температура кролів усіх груп перебувала в межах фізіологічної норми (38,5–39,5 °C). Незначні коливання показника між контрольними та дослідними групами свідчать про стабільність терморегуляторних процесів у тварин. Частота серцевих скорочень залишалася у межах норми (120–240 уд./хв.), проте

⁶³ Влізко В. В., Федорук Р. С., Ратич І. Б. Лабораторні методи досліджень у біології, тваринництві та ветеринарній медицині: монографія. Львів : Сполом; 2012. С. 764. ISBN 976-966-665-677-6.

⁶⁴ Petrovska, I.R., Salyha Y.T., & Vudmaska, I.V. Statistical methods in biological research. A monograph. Kyiv: Ahrarna Nauka. 2022. P. 172.

⁶⁵ Jimoh, O.A., Ewuola, E.O. Thermophysiological traits in four exotic breeds of rabbit at least temperature-humidity index in humid tropics. *JobAZ*. 2018. Vol. 79. P. 18. doi.org/10.1186/s41936-018-0031-9

Таблиця 1

Клінічні показники організму кролів за впоювання нанотехнологічного цитрату селену ($M \pm m$, $n=5$)

Показник	Група	Періоди досліджень, доба			Норма
		підготовчий	дослідний		
			15	30	
Ректальна температура, °C	К I ♀	38,8±0,20	38,5±0,27	39,1±0,07	38,5–39,5°C
	Д II ♀	38,7±0,10	39,2±0,17	39,2±0,11	
	К III ♂	39,0±0,22	39,1±0,07	38,3±0,20	
	Д IV ♂	38,9±0,14	39,4±0,12	38,8±0,13	
Пульс, ударів/хв.	К I ♀	140,8±4,63	126,4±2,84	124,4±8,58	120–240 ударів/хв.
	Д II ♀	132,8±4,27	120,4±1,33	122,6±2,68	
	К III ♂	129,6±2,99	126,4±2,04	123,2±6,85	
	Д IV ♂	138,0±5,70	122,6±2,68	133,6±2,71	
Дихання, вдих./хв.	К I ♀	59,6±1,83	55,8±1,10	59,4±4,81	30–60 вдих./хв.
	Д II ♀	54,8±2,15	60,0±2,02	56,2±2,82	
	К III ♂	59,6±3,37	56,4±3,49	59,6±3,37	
	Д IV ♂	59,4±1,99	55,4±2,84	60,0±3,41	

*Примітка: У цій та наступних таблицях цього підрозділу вірогідні різниці враховували порівняно з відповідними контрольними групами (К-I для Д-II; К-III для Д-IV): * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$.*

у самок дослідної групи (Д II) на 15-ту добу спостерігалось зниження до $120,4 \pm 1,33$ уд./хв порівняно до контролю.

Подібні зміни можуть бути пов'язані з адаптаційними реакціями організму на введення цитрату селену, що підтверджується даними літератури про вплив на антиоксидантну систему та серцево-судинну регуляцію⁶⁶. Частота дихальних рухів у всіх групах варіювала в межах фізіологічних значень (30–60 вдихів/хв.) без вірогідних різниць.

Відомо, що органічні сполуки селену здатні підвищувати активність глутатіонпероксидази та тіоредоксинредуктази, які відіграють ключову роль у захисті клітин від оксидативного стресу^{67, 68, 69}. Крім

⁶⁶ Polyzos SA, Kountouras J, Goulas A, Duntas L. Selenium and selenoprotein P in nonalcoholic fatty liver disease. *Hormones (Athens)*. 2020. Vol. 19, № 1. P. 61–72. doi: 10.1007/s42000-019-00127-3

⁶⁷ Surai P.F. *Selenium in Nutrition and Health*, Nottingham University Press, Nottingham, United Kingdom. 2006. P. 974.

⁶⁸ Ahmad H. Physiological and biochemical responses of rabbits to heat stress and the ameliorative role of dietary supplementation. *Journal of Thermal Biology*. 2020. Vol. 91, № 102595. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102595>

⁶⁹ Cheng, Y., Yu, S., & Fu, X. Influence of selenium nanoparticles on growth performance, antioxidant capacity, and immune response in rabbits. *Biological Trace Element Research*. 2021. Vol. 199, № 5. P. 1774–1783. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02354-4>

того, селен бере участь у регуляції функціонування мітохондрій, сприяючи оптимізації процесів окисного фосфорилування та синтезу АТФ⁷⁰.

За даними літератури введення органічних форм селену може впливати на серцево-судинну систему, зокрема через модифікацію електролітного балансу та регуляцію скоротливої активності міокарда^{71, 72, 73}. Таким чином, виявлені зміни пульсу у самок дослідної групи можна інтерпретувати як адаптивну реакцію організму на додаткове надходження мікроелемента, що узгоджується з літературними даними про його кардіотропний та метаболічний ефекти.

Кров відіграє ключову роль у процесах адаптації живого організму до нових умов існування та впливу кормових факторів. За основними показниками крові показниками можна оцінювати зміни в обміні речовин і визначати фізіологічний стан тварин⁷⁴.

Аналіз одержаних результатів свідчить про позитивний вплив впоювання селену цитрату на показники червоної крові (табл. 2). У крові тварин II дослідної групи (♀), яким застосовували цитрат селену абсолютний вміст еритроцитів був вірогідно вищим на 24% (P<0,001) та 28,8% (P<0,001) порівняно до контролю на 15 і 30 доби відповідно.

Кількість еритроцитів на 30 добу дослідження вірогідно збільшувалася у II – на 14% (P<0,05) та IV – 9% (P<0,05) дослідних групах відповідно до контролю. Встановлено тенденцію до підвищення кількості еритроцитів у кролів IV дослідної групи (♂), що може вказувати на дещо вищу інтенсивність перебігу окисно-відновних процесів у їх організмі.

Рівень гемоглобіну супроводжувався вірогідним збільшенням у крові тварин II дослідної групи (♀) на 25,8% (P<0,01) і 20,3% (P<0,001) відповідно на 15 і 30 добу дослідження. Натомість, у зразках IV дослідної групи самців кролів спостерігали тенденцію до вищого рівня вмісту гемоглобіну порівняно до контролю. Отримані дані гематологічних досліджень

⁷⁰ Rayman MP. The importance of selenium to human health. *Lancet*. 2000. Vol. 15, № 356(9225). P. 233. doi: 10.1016/S0140-6736(00)02490-9

⁷¹ Tanguy S., Grauzam S., De Leiris J., Boucher F. (2012) Impact of dietary selenium intake on cardiac health: Experimental approaches and human studies. *Version of Record*. 2012. Vol. 56, № 7. P. 1106–1121. DOI: 10.1002/mnfr.201100766

⁷² Журавльова Л.В., Філоненко М.В. Вплив селену на розвиток та прогноз серцево-судинних захворювань Ліки України. 2016. 708 (203-4), 25–28 с. [https://doi.org/10.37987/1997-9894.2016.7-8\(203-4\).205361](https://doi.org/10.37987/1997-9894.2016.7-8(203-4).205361)

⁷³ Rose A.H., Hoffmann P.R. Selenoproteins and cardiovascular stress // *Frontiers in Cardiovascular Research Thrombosis and Haemostasis*. 2015. Vol. 113, № 3. P. 494–504. DOI: 10.1160/TH14-07-0603

⁷⁴ Brooks, M. B., Harr, K. E., Seelig, D. M., Wardrop, K. J., & Weiss, D. J. Schalm's veterinary hematology. In *Schalm's Veterinary Hematology, Seventh Edition*. 2020. Vol. 52, № 1. P. 132–133. DOI:10.1111/vcp.13201

Таблиця 2

Вміст еритроцитів, гемоглобіну та гематокритної величини крові самок і самців кролів за впоювання цитрату селену ($M \pm m$, $n=5$)

Показник	Група	Період досліджень		
		підготовчий, 45 доба життя	дослідний (доба життя /період впоювання добавок)	
			60/15	75/30
Еритроцити, 1012/л	К I ♀	5,36± 0,09	5,48± 0,08	5,5± 0,12
	Д II ♀	5,55± 0,13	6,80± 0,24***	6,44± 0,10***
	К III ♂	5,28± 0,23	6,28± 0,43	6,37± 0,40
	Д IV ♂	5,45± 0,16	6,36± 0,34	6,70± 0,34
Гемоглобін, г/л	К I ♀	125,0± 1,22	126,8±1,88	130,0±0,71
	Д II ♀	129,8±4,10	159,6±4,99***	156,40±4,35***
	К III ♂	119,0±0,71	125,8±3,18	142,4±1,44
	Д IV ♂	121,4±0,68	134,0±0,71	150,0±6,20
Гематокрит, л/л	К I ♀	0,500±0,007	0,507±0,011	0,518±0,013
	Д II ♀	0,513±0,011	0,550±0,011*	0,565±0,013*
	К III ♂	0,521±0,019	0,530±0,016	0,528±0,020
	Д IV ♂	0,535±0,013	0,543±0,012	0,568±0,014

можуть вказувати на позитивний вплив селену на гемопоетичну функцію організму кролів.

Додавання цитрату селену до раціону кролів сприяло підвищенню середнього об'єму еритроцита (MCV) у крові тварин дослідних груп: у самок (II ♀) та самців (IV ♂) на 15-ту добу показник зріс відповідно на 4,7% ($P<0,05$) та 2,1% порівняно з контрольними групами тварин (табл. 3). На 30-ту добу дослідження відзначено вірогідне збільшення – на 3,6% у самок (II ♀) та 2,5 % у самців (IV ♂) ($P<0,01-0,001$) дослідних груп порівняно з контрольними. Отримані результати можуть свідчити про активацію процесів проліферації та диференціації еритроїдних клітин у кістковому мозку.

Варто зазначити, що підвищення MCV також може бути пов'язане з покращенням насиченості організму киснем, оскільки більший об'єм еритроцита забезпечує ефективніше транспортування O_2 до тканин^{75, 76, 77}.

⁷⁵ Surai, P. F., Kochish, I. I., Fisinin, V. I., & Kidd, M. T. Antioxidant defence systems and oxidative stress in poultry biology: An update. 2019. Vol. 8, № 7. P. 235. DOI: 10.3390/antiox8070235

⁷⁶ Li, Y., Zhang, Y., Wang, Y., Wang, J., & Zhu, W. Dietary selenium supplementation improves growth performance and antioxidant status of rabbits under heat stress. *Animal Feed Science and Technology*. 2020. Vol. 261, 114375. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2019.114375>

⁷⁷ Tantawi, A. A., Abd El Latif, M. A., & Mohamed, A. S. A. (2022). Evaluation of organic selenium on productive performance, blood biochemical properties, and antioxidant status of growing rabbits under hot climate. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2023. Vol. 13, № 1. P. 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00795-7>

**Еритроцитарні індекси у крові самок та самців кролів
за вживання цитрату селену ($M \pm m$, $n=5$)**

Показник	Група	Період досліджень, доба		
		підготовчий	дослідний	
			15	30
Середній об'єм еритроцита, фл	К I ♀	93,8 ± 0,21	94,0 ± 1,32	92,5 ± 0,87
	Д II ♀	94,3 ± 0,36	98,5 ± 0,67**	95,8 ± 0,44**
	К III ♂	92,4 ± 1,40	93,6 ± 1,95	94,1 ± 0,16
	Д IV ♂	94,2 ± 0,71	95,6 ± 0,47	96,5 ± 0,21***
Середній вміст гемоглобіну еритроциті, пг	К I ♀	23,0 ± 0,11	22,8 ± 0,38	23,2 ± 0,23
	Д II ♀	23,1 ± 0,30	23,5 ± 0,12	24,1 ± 0,09**
	К III ♂	22,7 ± 0,14	23,0 ± 0,45	23,4 ± 0,25
	Д IV ♂	23,1 ± 0,26	24,1 ± 0,21	24,7 ± 0,12***
Середня концентрація гемоглобіну в еритроциті, г/л	К I ♀	249,0 ± 0,71	243,0 ± 2,10	244,6 ± 1,21
	Д II ♀	250,2 ± 2,31	249,4 ± 1,90	254,8 ± 3,50
	К III ♂	244,8 ± 3,83	246,0 ± 2,10	253,2 ± 2,78
	Д IV ♂	237,4 ± 4,01	239,8 ± 1,82	256,8 ± 1,77
Ширина розподілу еритроцитів, %	К I ♀	9,9 ± 0,30	10,5 ± 0,14	10,1 ± 0,27
	Д II ♀	10,4 ± 0,33	11,0 ± 0,30	11,8 ± 0,78
	К III ♂	10,1 ± 0,11	10,8 ± 0,12	11,0 ± 0,15
	Д IV ♂	10,7 ± 0,34	11,1 ± 0,07	10,9 ± 0,04

Таким чином, введення нанотехнологічного цитрату селену сприяло оптимізації гемопоетичної функції та підвищенню біоенергетичного потенціалу організму кролів.

За результатами дослідження показників червоної крові кролів спостерігали вірогідні зміни концентрації гемоглобіну в одному еритроциті, що була вищою у крові тварин Д II ♀ і Д IV ♂ груп відповідно на 3,1 і 4,7% на 15 добу дослідження та зростала на 3,8 і 5,5% ($P < 0,01-0,001$) на 30 добу дослідження порівняно з контролем. Це свідчить про стабільний фізіологічний та гемопоетичний статус їхнього організму за рахунок додаткового надходження цитрату селену. Інші досліджувані показники еритроцитарних індексів у кролів залишалися в межах фізіологічних величин.

Відомо, що стан еритропоезу, лейкопоезу та імунної реактивності організму відображається у змінах морфологічних показників крові. Проведені дослідження морфологічних параметрів крові самок і самців

кролів за умов випоювання цитрату селену показали, що отримані результати залишалися у межах фізіологічних значень (табл. 4).

Таблиця 4

Показники морфологічного складу лейкоцитів крові самок і самців кролів за випоювання цитрату селену, (M±m, n=5)

Показник	Група	Період досліджень, доба		
		підготовчий	дослідний	
			15	30
Лейкоцити, 10 ⁹ /л	К I ♀	8,86±0,39	9,46±0,49	9,7±0,47
	Д II ♀	9,06±0,45	8,60±0,81	8,80±1,01
	К III ♂	8,92±0,63	9,10±0,51	10,2±0,74
	Д IV ♂	9,58±0,51	8,24±0,55	9,70±0,81
Лімфоцити, 10 ⁹ /л	К I ♀	5,70±0,26	5,50±0,14	5,12±0,21
	Д II ♀	5,10±0,15	5,00±0,22	5,62±0,14
	К III ♂	5,60±0,40	5,30±0,31	5,03±0,27
	Д IV ♂	4,70±0,16	5,25±0,20	5,75±0,18
Моноцити, 10 ⁹ /л	К I ♀	1,80± 0,17	2,12± 0,14	2,23± 0,09
	Д II ♀	1,70± 0,09	2,55± 0,25	2,42±0,04
	К III ♂	2,10± 0,13	1,94± 0,11	1,75± 0,06
	Д IV ♂	1,85± 0,07	1,60± 0,19	1,42± 0,17
Гранулоцити, 10 ⁹ /л	К I ♀	3,90± 0,16	4,0± 0,05	4,3± 0,27
	Д II ♀	3,40± 0,25	3,80± 0,29	4,0± 0,19
	К III ♂	4,20± 0,27	3,94± 0,20	3,56± 0,37
	Д IV ♂	4,01± 0,25	3,46± 0,34	3,10± 0,17

Аналіз кількості лімфоцитів показав вищі показники у крові кролів дослідних груп (Д II ♀; Д IV ♂) відносно контрольних. Так, на 15 добу дослідження у крові кролів самок Д II ♀ і самців Д IV ♂ дослідних груп кількість лімфоцитів була дещо нижчою. Водночас, на 30-ту добу дослідження крові спостерігали зростання кількості лімфоцитів на 9,76% у Д II ♀ та 14,3% у Д IV ♂ відповідно.

Лімфоцити відіграють ключову роль у реалізації імунологічних реакцій, забезпечуючи продукцію антитіл та частково виконуючи фагоцитарну функцію. Як основні клітини імунної системи, вони визначають рівень імунної резистентності організму. Тому виявлене підвищення їх кількості у крові кролів дослідних груп може розглядатися як показник посилення імунного потенціалу та активації захисних механізмів.

Аналіз абсолютної кількості моноцитів та гранулоцитів у крові кролів показав відсутність вірогідних різниць між дослідними та контрольними групами як самок, так і самців. Отримані результати свідчать про

стабільність показників лейкограми та збереження фагоцитарного потенціалу крові. Відсутність змін у кількості моноцитів і гранулоцитів може бути проявом адаптаційної рівноваги імунної системи, що забезпечує підтримання клітинного гомеостазу. Отже, застосування цитрату селену не спричинило порушень у функціональній активності цих популяцій лейкоцитів, а їхні значення залишалися у межах фізіологічної норми.

Аналіз даних, наведених у таблиці 5 показав, що вміст кальцію в організмі кролів характеризувався лише незначними коливаннями між контрольними та дослідними групами самок та самців. Виявлені відмінності не мали вірогідних змін та залишалися у межах фізіологічних значень, що свідчить про стабільність мінерального обміну.

Таблиця 5

Вміст загального кальцію та неорганічного фосфору в крові самок і самців кролів за вживання цитрату селену ($M \pm m$, $n=5$)

Показник	Група	Періоди досліджень, доба		
		підготовчий	дослідний	
			15	30
Загальний кальцій, ммоль/л	К I ♀	2,8±0,07	2,4±0,10	2,6±0,05
	Д II ♀	2,9±0,04	3,0±0,02	2,7±0,07
	К III ♂	2,8±0,02	2,5±0,10	2,8±0,02
	Д IV ♂	2,6±0,05	2,8±0,04	2,7±0,06
Неорганічний фосфор, ммоль/л	К I ♀	2,6±0,05	2,1±0,04	1,9±0,11
	Д II ♀	2,4±0,14	2,3±0,07	2,2±0,04*
	К III ♂	2,4±0,15	2,6±0,14	2,0±0,06
	Д IV ♂	2,5±0,04	2,3±0,10	2,4±0,13*

Вживання цитрату селену сприяло підвищенню рівня неорганічного фосфору у крові кролів дослідних груп на 21,3% Д – II ♀ ($P < 0,05$) на 30-ту добу дослідження. Фосфор належить до основних біоелементів, які забезпечують перебіг ключових метаболічних процесів. Зокрема, він бере участь у реакціях енергетичного обміну, є необхідним для синтезу нуклеїнових кислот (ДНК та РНК), а також відіграє провідну роль у процесах фосфорилування білків. Сукупність цих функцій визначає його критичне значення для підтримання біохімічної рівноваги та нормальної життєдіяльності організму

Біохімічні показники крові є важливим критерієм оцінки метаболічного стану організму та відображають функціональну активність основних систем. Серед них альбумін посідає особливе місце як головна транспортна та регуляторна білкова фракція плазми, що характеризує

стан білкового обміну та синтетичну функцію печінки. Рівень альбуміну характеризувався збільшенням у крові тварин II дослідної групи (Д II ♀) на 4,8 і 5,4% відповідно на 15 і 30 добу дослідження (табл. 6). Натомість, у зразках дослідної групи самців (Д IV ♂) кролів спостерігали вірогідно вищий рівень альбуміну на 22,0% ($P<0,05$) порівняно до контрольної групи на 30 добу дослідження.

Таблиця 6

Вміст альбуміну, креатиніну та сечовини в крові самок та самців кролів за випоювання цитрату селену ($M\pm m$, $n=5$)

Показник	Група	Періоди досліджень, доба		
		підготовчий	дослідний	
			15	30
Альбумін, г/л	К I ♀	36,6±2,65	39,4±0,73	40,6±0,90
	Д II ♀	33,0±1,10	41,3±0,75	42,8±0,84
	К III ♂	39,9±2,72	47,5±0,77	37,1±2,16
	Д IV ♂	43,8±1,93	47,0±0,90	45,3±0,75*
Креатинін, мкмоль/л	К I ♀	79,1±5,53	118,9±5,17	117,1±1,50
	Д II ♀	86,0±2,27	103,6±3,85	109,5±3,25
	К III ♂	85,6±2,26	102,4±1,06	111,6±1,52
	Д IV ♂	90,8±1,16	99,4±0,85	107,5±3,34
Сечовина, ммоль/л	К I ♀	5,0±0,16	5,8±0,26	6,4±0,37
	Д II ♀	4,8±0,22	4,8±0,22*	4,6±0,29**
	К III ♂	5,1±0,22	6,1±0,94	5,9±0,15
	Д IV ♂	4,6±0,31	4,3±0,20	4,5±0,30**

Як відомо, креатинін утворюється у м'язовій тканині як кінцевий продукт метаболізму креатину та виводиться з організму нирками, тоді як рівень сечовини у крові відображає функціональний стан нирок і інтенсивність білкового обміну. Встановлено, що випоювання цитрату селену супроводжувалося зниженням концентрації креатиніну та сечовини ($P<0,05$) у дослідних групах самок і самців кролів на 30 добу випоювання цитрату селену, що може свідчити про покращення функціональної активності нирок та активацію метаболічних процесів.

Отримані результати дозволяють припустити, що наноформа селену завдяки своїм антиоксидантним властивостям сприяє зменшенню оксидативного навантаження та підтриманню клітинного гомеостазу, що позитивно позначається на показниках азотистого обміну.

Мінеральні речовини регулюють життєво важливі процеси в організмі та характеризуються високою фізіологічною активністю⁷⁸. За даними окремих експериментальних досліджень^{79, 80, 81}, біологічна дія Селену в організмі людини й тварин має різноспрямований характер і значною мірою залежить від рівня його надходження з кормами та хімічної форми сполук. У зв'язку з цим метою досліджень було визначення впливу цитрату селену на вміст мінеральних елементів у крові та шерсті кролів на 30 добу випоювання.

За результатами дослідження встановлено, що у дослідних групах самок і самців кролів концентрація Zn у крові зростала у 1,8 раза ($P<0,05$) ДІІ♀ та 1,04 раза ДІV♂. Аналогічно вищі різниці спостерігали за результатами дослідження зразків шерсті, зокрема вірогідно вищий вміст Zn у 1,3 раза ($P<0,05$) ДІІ♀ та у 1,2 раза ДІV♂ порівняно з контролем (табл. 7). Випоювання кролям цитрату селену впродовж 30 діб характеризувалося вищим рівнем Se у крові та шерсті відповідно на 1,5 раза та 1,4 раза ($P<0,05$) для самок ДІІ♀, а також 1,7 раза ($P<0,05$) і 1,2 раза ($P<0,01$) для самців ДІV♂ порівняно до контрольних груп.

Таблиця 7

Вміст Se і Zn у крові та шерсті самок і самців кролів за випоювання цитрату селену ($M \pm m$, $n=5$)

Орган/ Тканина	Група	Мікроелемент	
		Zn	Se
Кров	К I ♀	1,096± 0,244	0,046 ± 0,007
	Д II ♀	1,993±0,089*	0,066 ± 0,011
	К III ♂	1,692±0,106	0,032 ± 0,002
	Д IV ♂	1,766±0,121	0,056± 0,008*
Шерсть	К I ♀	165,102±4,635	0,089 ± 0,011
	Д II ♀	216,788±20,144*	0,128± 0,009*
	К III ♂	170,364±3,293	0,083 ± 0,016
	Д IV ♂	200,674±30,221	0,156 ± 0,010**

⁷⁸ Abdel-Monem U. M., Qar Huda Kandeil M. A. Hot climate effects and their amelioration on growth performance, carcass traits, blood constituents and picture of growing kids J. Appl. Sci. 2013. Vol. 9, № 1. P. 666–671

⁷⁹ Kassim A., Marwan T., Abdel-Wareth A. Selenium nanoparticles in rabbit nutrition. A review. SVU-International Journal of Agricultural Sciences. 2022. Vol. 4, № 1. P. 90–98. <https://doi.org/10.21608/svuijas.2022.117298.1171>

⁸⁰ Kanti R., Sadhana O., Alok M., M. V. K., Chandrakanta R., Sandeep K. C. Impact of supplementation of mineral nanoparticles on growth performance and health status of animals: A review. J Entomol Zool Stud. 2018. Vol. 6, № 6. P. 1690–1694.

⁸¹ Silvestrini A., Mordente A., Martino G., Bruno C., Vergani E., Meucci E., Mancini A. The Role of Selenium in Oxidative Stress and in Nonthyroidal Illness Syndrome (NTIS): An Overview. Curr Med Chem. 2020. Vol. 27, № 3. P. 423–449. <https://doi.org/10.2174/0929867325666180201111159>

Тиреоїдна система, центральним ефекторним органом якої є щитоподібна залоза, має визначальне значення для підтримання гомеостазу організму. Її функціональна активність забезпечує регуляцію швидкості та спрямованості метаболічних процесів завдяки дії тиреоїдних гормонів, серед яких провідну роль відіграють 3,5,3'-трийодтиронін (Т3) та 3,5,3',5'-тетрайодтиронін (Т4, тироксин). Додаткове введення цитрату селену у раціони дослідних груп самців і самок кролів сприяло активації тиреоїдної функції та підвищенню рівня гормонів щитоподібної залози⁸².

За результатами дослідження вигоювання цитрату селену кролям позитивно вплинуло на стимуляцію тиреоїдної функції щитоподібної залози (табл. 8). Аналіз рівня вільного трийодтироніну (FT3) у самок II дослідної групи (Д II ♀) показав його вірогідне підвищення на 21,9% ($P < 0,01$) на 30-ту добу дослідження порівняно з контрольної групою (К I ♀). Така динаміка свідчить про стимулювальну дію цитрату селену на процеси біосинтезу та секреції тиреоїдних гормонів. У самок II дослідної групи (Д II ♀) рівень вільного тироксину (FT4) був вірогідно вищим у 1,3 рази ($P < 0,001$) на 15-ту добу експерименту порівняно з контрольної групою, що може бути наслідком активації процесів утворення тироксину за впливом цитрату селену.

Таблиця 8

Динаміка показників тиреоїдних гормонів у крові кролів за умов вигоювання цитрату селену ($M \pm m$, $n=5$)

Показник	Група	Періоди досліджень, доба		
		підготовчий	дослідний	
			15	30
1	2	3	4	5
Вільний трийодтиронін (FT3), пмоль/л	К I ♀	4,8± 0,13	4,3± 0,13	4,1± 0,12
	Д II ♀	4,5± 0,20	4,7± 0,04*	5,0± 0,23**
	К III ♂	5,1± 0,07	4,0± 0,20	3,9± 0,09
	Д IV ♂	5,5± 0,36	5,7± 0,27***	4,4± 0,07**
Вільний тироксин (FT4), пмоль/л	К I ♀	10,2±0,57	9,8±0,11	10,5±0,77
	Д II ♀	10,7±0,69	12,7±0,52***	12,5±0,28
	К III ♂	13,4± 0,42	13,9± 0,58	13,0± 1,54
	Д IV ♂	14,0± 0,60	16,3± 1,00	14,9± 0,48

⁸² Eid S. Y., El-Zaher H. M., Emara S. S., Farid O. A.-H., Michael M. I. Nano selenium treatment effects on thyroid hormones, immunity and antioxidant status in rabbits. World Rabbit Sci. 2019. Vol. 27, № 2. P. 93–100. <https://doi.org/10.4995/wrs.2019.11251>

1	2	3	4	5
Трийодтиронін (Т3), нг/мл	К I ♀	114,0± 20,23	106,0± 7,48	108,4± 6,19
	Д II ♀	126,2± 6,56	136,2± 1,62**	143,6± 11,11*
	К III ♂	127,0± 4,70	109,2± 9,39	116,0± 11,84
	Д IV ♂	131,4± 3,01	139,0± 0,95**	146,0± 4,28*
Тироксин (Т4), мкг/дл	К I ♀	0,8±0,10	0,6±0,09	0,9±0,12
	Д II ♀	0,9±0,25	1,3±0,09***	1,1±0,11
	К III ♂	1,4± 0,20	1,1± 0,30	0,8± 0,14
	Д IV ♂	1,5± 0,23	1,6± 0,10	1,8± 0,33*

У самців IV дослідної групи (Д IV ♂) спостерігалася тенденція до підвищення рівня вільного трийодтироніну (FT3), що свідчить про менш виражену або уповільнену реакцію організму на впоювання цитрату селену. Це може бути пов'язано із статевими відмінностями у метаболізмі мікроелементів, швидкості включення селену до складу селенопротеїнів та реактивності тиреоїдної тканини до мікроелементної стимуляції⁸³.

Водночас, у самок і самців дослідних груп спостерігалася зростання концентрації загальних форм Т3 та Т4 ($P<0,05-0,001$), що свідчить про посилення метаболічної активності та оптимізацію процесів енергетичного обміну. Це свідчить про позитивний вплив наноформи селену на гормональний статус кролів, що проявляється у стимуляції антиоксидантної системи, підтриманні гомеостазу та підвищенні адаптаційних можливостей організму.

ВИСНОВКИ

Зміни у морфологічних та біохімічних показниках крові кролів дослідних груп свідчать, що впоювання цитрату селену протягом 30 діб забезпечувало зростання кількості лімфоцитів (на 9,76% у самок Д II ♀ та 14,3% у самців Д IV ♂), підвищення рівня неорганічного фосфору (на 21,3%; $P<0,05$ у самок Д II ♀) та збільшення концентрації альбуміну (на 4,8–5,4% у самок Д II ♀ і на 22,0%; $P<0,05$ у самців Д IV ♂), що підтверджує стимулюючий вплив селену на імунні та метаболічні процеси організму.

Впоювання кролям цитрату селену протягом 30 діб сприяло підвищенню концентрації Zn та Se у крові й шерсті самок (1,4–1,8 раза; $P<0,05$) і самців (1,2–1,7 раза $P<0,05-0,01$) порівняно з контролем, що підтверджує позитивний вплив на мінеральний обмін.

⁸³ Chmurska-Gąsowska M., Sowińska N., Pałka S., Kmieciak M., Lenarczyk-Knapik J., Migdał Ł. Non-Invasive Measurement of Thyroid Hormones in Domestic Rabbits. *Animals*. 2021. Vol. 11, № 5. P. 1194. <https://doi.org/10.3390/ani11051194>

Встановлено, що випоювання цитрату селену кролям супроводжувалося достовірним підвищенням рівня тиреоїдних гормонів: FT3 зріс на 21,9% ($P < 0,01$) та FT4 у 1,3 раза ($P < 0,001$) у самок II дослідної групи порівняно з контролем, що відображає активацію тиреоїдної функції щитоподібної залози.

АНОТАЦІЯ

Селен є есенціальним мікроелементом, який бере участь у регуляції антиоксидантного захисту, ліпідного обміну та адаптаційно-компенсаторних реакцій організму. Особливий науковий інтерес викликають нанотехнологічні форми селену, що характеризуються високою біодоступністю та здатністю ефективно впливати на метаболічні процеси у тканинах тварин. Метою дослідження було з'ясувати фізіолого-біохімічні особливості впливу цитрату селену на ліпідний та мінеральний обмін, морфофункціональні особливості стану тиреоїдної системи кролів. У дослідженні використовували нанотехнологічний цитрат Se, з питною водою у дозі 200 мкгSe/л впродовж 30 днів.

За результатами дослідження встановлено зміни гематологічного профілю, біохімічних показників, антиоксидантного стану, ліпідного і фосфоліпідного складу крові та вмісту мікроелементів у тканинах організму кролів. Отримані результати експериментально підтвердили позитивний вплив цитрату селену на перебіг метаболічних процесів та функціональний стан тиреоїдної системи тварин. Виявлені зміни свідчать про стимулювальний вплив цитрату селену на функціональну активність щитоподібної залози, активацію тиреоїдного обміну та посилення процесів метаболічної адаптації організму. Отримані результати експериментально підтверджують доцільність використання нанотехнологічного цитрату Se у годівлі кролів як ефективного засобу оптимізації обмінних процесів, підвищення резистентності організму та інтенсивності росту тварин.

Література

1. Бащенко М. І., Гончар О. Ф., Бойко О.В. Кролівництво в Україні. Монографія. Черкаси : Черкаська дослідна станція біоресурсів НААН, 2020. С. 219.
2. Білецька Е.М., Онул Н.М. Селен у доквіллі: еколого-гігієнічні аспекти проблеми: Монографія. Дніпропетровськ, 2013. С. 292.
3. Влізло В. В., Федорук Р. С., Ратич І. Б. Лабораторні методи досліджень у біології, тваринництві та ветеринарній медицині : монографія. Львів : Сполом; 2012. С. 764 ISBN 976-966-665-677-6.

4. Журавльова Л.В., Філоненко М.В. Вплив селену на розвиток та прогноз серцево-судинних захворювань Ліки України. 2016. 7-8 (203-4), 25–28 с. [https://doi.org/10.37987/1997-9894.2016.7-8\(203-4\).205361](https://doi.org/10.37987/1997-9894.2016.7-8(203-4).205361)
5. Ібатуллін І. І., Бащенко М. І., Жукорський О. М. Повноцінна годівля сільськогосподарських тварин. Київ : Аграрна наука, 2016. С. 300.
6. Косяненко О. М., Чернюк С. В., Чернявський О. О. Продуктивність молодняка кролів за різних доз селену в комбікормах залежно від статі. Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва. 2012. № 8. С. 52–55.
7. Кравців Р.Й., Янович Д.О. Роль селену в життєдіяльності тварин (біологічні, ветеринарно-медичні, екологічні аспекти) Біологія тварин. 2003. № 1-2. С. 23–38.
8. Патент України на корисну модель № 38391. МПК (2006): C07C 51/41, C07F 5/00, C07F 15/00, C07C 53/126 (2008.01), C07C 53/10 (2008.01), A23L 1/00, B82B 3/00. Спосіб отримання карбоксилатів металів. Нанотехнологія отримання карбоксилатів металів / Косінов М. В., Каплуненко В. Г. – Опубл. 12. 01. 2009. Бюл. № 1/2009
9. Путко Л.М., Котко Д.М., Гончарук Н.Л. Есенціальний мікроелемент селен (Se) та його роль у метаболізмі спортсменів під час виконання інтенсивних фізичних навантажень (огляд спеціальної літератури). Спортивна медицина, фізична терапія та ерготерапія. 2021. № 1. С. 21–25. <https://doi.org/10.32652/spmed.2021.1.21-25>
10. Соболев О.І. Біологічне значення селену та застосування його у годівлі сільськогосподарської птиці Вісник аграрної науки. 2002. № 6. С. 151–156.
11. Abd Allah S, Hashem KS. Selenium nanoparticles increase the testicular antioxidant activity and spermatogenesis in male rats as compared to ordinary selenium. *Int J Adv Res.* 2015. Vol. 3, № 1. P. 792–802.
12. Abdel-Monem U. M., Qar Huda Kandeil M. A. Hot climate effects and their amelioration on growth performance, carcass traits, blood constituents and picture of growing kids *J. Appl. Sci.* 2013. Vol. 9, № 1. P. 666–671.
13. Abu Hafsa S. H., Centoducati G., Hassan A. A., Maggiolino A., Elghandour M. M. M. Y., Salem A. Z. M. Effects of dietary supplementations of vitamin C, organic selenium, betaine, and pomegranate peel on alleviating the effect of heat stress on growing rabbits. *Animals.* 2024. Vol. 14, № 6. P. 950. DOI: 10.3390/ani14060950
14. Ahmad H. Physiological and biochemical responses of rabbits to heat stress and the ameliorative role of dietary supplementation. *Journal of Thermal Biology.* 2020. Vol. 91, № 102595. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102595>
15. Alexander J. Selenium. *Novartis Found Symp.* 2007;282:143-9; discussion 149-53, 212-8.

16. AlSoufi, S.; García, J.; Muñños, A.; López-Alonso, M. Marine Macroalgae in Rabbit Nutrition – A Valuable Feed in Sustainable Farming. *Animals*. 2022. Vol. 12, № 18. P. 2346. <https://doi.org/10.3390/ani12182346>
17. Baltaci AK, Mogulko RJ, Akil M. Selenium: Its metabolism and relation to exercise. *Pakistan Journal of pharmaceutical Sciences*. 2016. Vol. 29, № 5. P. 1719–1735.
18. Baqui M., Gereben B., Harney J.W., Larsen P.R., Bianco A.C. Distinct subcellular localization of transiently expressed types 1 and 2 iodothyronine deiodinases as determined by immunofluorescence confocal microscopy. *Endocrinology*. 2000. Vol. 141, № 11. P. 4309–4312. doi: 10.1210/endo.141.11.7872.
19. Bianco A.C., da Conceição R.R. The Deiodinase Trio and Thyroid Hormone Signaling. *Thyroid Horm. Nucl. Recept*. 2018. Vol. 1801, P. 67–83. DOI: 10.1007/978-1-4939-7902-8_8
20. Bień, D., Michalczuk, M., Szkopek, D., Kinsner, M., & Konieczka, P. Changes in lipids metabolism indices as a result of different form of selenium supplementation in chickens. *Sci Rep*. 2022. Vol. 12, № 13817. doi: 10.1038/s41598-022-18101-2
21. Boiko, O.V., Honchar, O.F., Lesyk, Y.V., KovalchukI, I., Gutyj, B.V., & Dychok-Niedzielska, A.Z. Effect of consumption of I, Se, S and nanoaquacitrates on hematological and biochemical parameters of the organism of rabbits. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2021. Vol. 12, № 2. P. 335–340. doi: 10.15421/022145
22. Brooks, M. B., Harr, K. E., Seelig, D. M., Wardrop, K. J., & Weiss, D. J. Schalm's veterinary hematology. In *Schalm's Veterinary Hematology, Seventh Edition*. 2020. Vol. 52, № 1. P. 132–133. DOI:10.1111/vcp.13201
23. Cheng, Y., Yu, S., & Fu, X. Influence of selenium nanoparticles on growth performance, antioxidant capacity, and immune response in rabbits. *Biological Trace Element Research*. 2021. Vol. 199, № 5. P. 1774–1783. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02354-4>
24. Chmurska-Gąsowska M., Sowińska N., Pałka S., Kmiecik M., Lenarczyk-Knapik J., Migdał Ł. Non-Invasive Measurement of Thyroid Hormones in Domestic Rabbits. *Animals*. 2021. Vol. 11, № 5. P. 1194. <https://doi.org/10.3390/ani11051194>
25. Cullere, M.; Dalle Zotte, A. Rabbit Meat Production and Consumption: State of Knowledge and Future Perspectives. *Meat Sci*. 2018. Vol. 143, P. 137–146. DOI: 10.1016/j.meatsci.2018.04.029
26. Damgaard L. H., Rydhmer L, Lovendahl P., Grandinson K. Genetic parameters for within-litter variation in piglet birth weight and change in within-litter variation during suckling. *J. Anim. Sci*. 2003. Vol. 81, № 3. P. 604–610. DOI: 10.2527/2003.813604x

27. Dawood, M.A.O., Basuini, M.F.E., Yilmaz, S., Abdel-Latif, H.M.R., Kari, Z.A., Abdul Razab, M.K.A., Ahmed, H.A.; Alagawany, M., Gewaily, M.S. Selenium Nanoparticles as a Natural Antioxidant and Metabolic Regulator in Aquaculture: A Review. *Antioxidants*. 2021. Vol. 10, № 9. P. 1364. <https://doi.org/10.3390/antiox10091364>
28. De Jesus Raposo, M.F.; De Morais, A.M.M.B.; De Morais, R.M.S.C. Emergent Sources of Prebiotics: Seaweeds and Microalgae. *Mar. Drugs*. 2016. Vol. 14, № 2. P. 27. doi: 10.3390/md14020027
29. Del Razo Rodríguez, O.E., Gaspar, J.M.C., Casas, R.L. Effects of Selenium Supplementation on Growth Performance, Antioxidant and Metabolic Status in Fattening Lambs: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Biol Trace Elem Res*. 2026. <https://doi.org/10.1007/s12011-026-05078-6>
30. Drutel A, Garon P. Selenium and the thyroid gland: more news for clinicians. *Clinical endocrinology*. 2019. Vol. 78, № 2. P. 155–164.
31. Eid S. Y., El-Zaher H. M., Emara S. S., Farid O. A.-H., Michael M. I. Nano selenium treatment effects on thyroid hormones, immunity and antioxidant status in rabbits. *World Rabbit Sci*. 2019. Vol. 27, № 2. P. 93–100. <https://doi.org/10.4995/wrs.2019.11251>
32. Emre MH. Diizova H. Sancak B. Serum selenium response to maximal anaerobic exercise among sportsmen trained at various levels. *The journal of Trace Elements in Experimental Medicine*. 2004. Vol. 17, № 2. P. 90–100.
33. Fairweather-Tait SJ, Bao Y, Broadley MR, Ford D. Selenium in human health and disease, *Antioxidants and redox signaling*. 2011. Vol. 14, № 7. P. 1337–1387. <https://doi.org/10.1089/ars.2010.3275>
34. Fordyce FM. Selenium deficiency and toxicity in the environment. In *Essentials of medical geology*. 2013. P. 375–416.
35. Ghaffari-Niaki A, Taibi M. Serum Selenium Lipoproteins and Testosterone Re Responses. College Students. *The International journal of Humanities*. 2007. Vol. 14, № 3. P. 89–98.
36. Gorini F, Sabatino L, Pingitore A, Vassalle C. Selenium: An Element of Life Essential for Thyroid Function. *Molecules*. 2021. Vol. 26(23): 7084. doi: 10.3390/molecules26237084
37. Grossi S.; Rossi L.; De Marco M.; Sgoifo Rossi, C.A. The Effect of Different Sources of SeleniuVanm Supplementation on the Meat Quality Traits of Young Charolaise Bulls during the Finishing Phase. *Antioxidants*. 2021. Vol. 13, № 10(4). P. 596. DOI: 10.3390/antiox10040596
38. Hassan F., Mobarez S., Mohamed M., Attia Y., Mekawy A., Mahrose K. Zinc and/or selenium enriched spirulina as antioxidants in growing rabbit diets to alleviate the deleterious impacts of heat stress during summer season. *Animals*. 2021. Vol. 11, № 3. P. 756. <https://doi.org/10.3390/ani11030756>

39. Holmgren, A. Antioxidant Function of Thioredoxin and Glutaredoxin Systems, *intiox. Redox Signal.* 2000. Vol. 2, № 4. P. 811–820. DOI: 10.1089/ars.2000.2.4-811
40. Holovska, K. & Holovska, J. Antioxidant enzyme activities in liver tissue of chickens fed diets supplemented with various forms and amounts selenium. *Journal of animal and feed sciences.* 2003. Vol. 12, № 1. P. 143–152. DOI: 10.22358/jafs/67691/2003
41. Hosnedlova, B., Kepinska, M., Skalickova, S., Fernandez, C., Ruttkey-Nedecky, B., Malevu, T.D., Sochor, J., Baron, M., Melcova, M., Zidkova, J., & Kizek, R. A Summary of New Findings on the Biological Effects of Selenium in Selected Animal Species – A Critical Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 2017. Vol. 18, № 10. 2209. doi: 10.3390/ijms18102209
42. Hossain A, Skalicky M, Brestic M, Maitra S, Sarkar S, Ahmad Z, Vemuri H, Garai S, Mondal M, Bhatt R, Kumar P, Banerjee P, Saha S, Islam T, Laing AM. Selenium Biofortification: Roles, Mechanisms, Responses and Prospects. *Molecules.* 2021. Vol. 26, № 4. P. 881. doi: 10.3390/molecules26040881.
43. Jiang H, Yang G, Chen J, Yuan S, Wu J, Zhang J, Zhang L, Yuan J, Lin J, Chen J, Yin Y. (2024) The correlation between selenium intake and lung function in asthmatic people: a cross-sectional study. *Front Nutr.* 17; 11: 1362119. doi: 10.3389/fnut.2024.1362119.
44. Jimoh, O.A., Ewuola, E.O. Thermophysiological traits in four exotic breeds of rabbit at least temperature-humidity index in humid tropics. *JoBAZ.* 2018. Vol. 79. P. 18. doi.org/10.1186/s41936-018-0031-9
45. Kanti R., Sadhana O., Alok M., M. V. K., Chandrakanta R., Sandeep K. C. Impact of supplementation of mineral nanoparticles on growth performance and health status of animals: A review. *J Entomol Zool Stud.* 2018. Vol. 6, № 6. P. 1690–1694.
46. Kassim A., Marwan T., Abdel-Wareth A. Selenium nanoparticles in rabbit nutrition. A review. *SVU-International Journal of Agricultural Sciences.* 2022. Vol. 4, № 1. P. 90–98. <https://doi.org/10.21608/svuijas.2022.117298.1171>
47. Kielczykowska M., Kocot J., Paździor M., Musik I. Selenium – A fascinating antioxidant of protective properties. *Adv. Clin. Exp. Med.* 2018. Vol. 27, № 2. P. 245–255. doi: 10.17219/acem/67222.
48. Kieliszek, M., & Dourou, M. Effect of Selenium on the Growth and Lipid Accumulation of *Yarrowia lipolytica* Yeast. *Biol Trace Elem Res*, 2021. Vol. 199. P. 1611–1622. doi: 10.1007/s12011-020-02266-w.
49. Kyoung H, Kang Y, Ahn J, Cho JH, Seo D, Nam J, Shin I, Kim HB, Song M. Evaluation of dietary selenium sources and levels on growth performance, carcass characteristics, selenium concentrations, and blood

biochemistry of growing-finishing pigs. *J Anim Sci Technol.* 2025. Vol. 67, № 3. P. 607–618. doi: 10.5187/jast.2024.e53

50. Kyoung H, Shin I, Kim Y, Cho JH, Park KI. Mixed supplementation of dietary inorganic and organic selenium modulated systemic health parameters and fecal microbiota in weaned pigs. *Front Vet Sci.* 2025. Vol. 12. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1531336>

51. Li, Y., Zhang, Y., Wang, Y., Wang, J., & Zhu, W. Dietary selenium supplementation improves growth performance and antioxidant status of rabbits under heat stress. *Animal Feed Science and Technology.* 2020. Vol. 261, 114375. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2019.114375>

52. Mahima, A.K., Amit, K., Anu, R., Vinod, K., Debashis, R. Inorganic versus organic selenium supplementation': a review. *Pak. J. Biol. Sci.* 2012. Vol. 15, № 9. P. 418–425. DOI: 10.3923/pjbs.2012.418.425

53. Mehdi Y, Hornick JL, Istasse L, Dufrasne I. Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions. *Molecules.* 2013. Vol. 18, № 3. P. 3292–3311. doi: 10.3390/molecules18033292.

54. Mohapatra, P., Swain, R.K., Mishra, S.K., Behera, T., Swain, P., Behura, N.C., Sahoo, G., Sethy, K., Bhol, B.P., Dhama, K. (2014). 'Effects of nano-selenium Supplementation on the performance of layer grower birds' *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances.* 2014. Vol. 9, № 10. P. 641–652.

55. Mylostyva, D., Guttyj, B., Borshenko, V., Marenkov, O., Yaremko, O., Lesnovska, O., Izhboldina, O., Mylostyvyi, R., Farafonov, S., Levytskyi, T., Kushnir, H., & Ryvak, H. Content of fatty acids and lipid peroxidation products in the blood serum of young ukrainian beef breed under the action salt of copper, selenium and manganese. *Fiziol. Zh.* 2023. Vol. 69, № 6. P. 60–68. doi: 10.15407/fz69.06.060.

56. Nutritional Requirements of Meat Rabbits. Ministry of Agriculture and Rural Affairs: NY/T 4049-2021; Beijing, China, 2021.

57. Pecoraro BM, Leal DF, Frias-De-Diego A, Browning M, Odle J, Crisci E. The health benefits of selenium in food animals: a review. *J Anim Sci Biotechnol.* 2022. Vol. 13, № 1. P. 58. DOI: 10.1186/s40104-022-00706-2

58. Petrovska, I.R., Salyha Y.T., & Vudmaska, I.V. Statistical methods in biological research. A monograph. Kyiv: Ahrarna Nauka. 2022. P. 172.

59. Polyzos SA, Kountouras J, Goulas A, Duntas L. Selenium and selenoprotein P in nonalcoholic fatty liver disease. *Hormones (Athens).* 2020. Vol. 19, № 1. P. 61–72. doi: 10.1007/s42000-019-00127-3

60. Rayman MP. The importance of selenium to human health. *Lancet.* 2000. Vol. 356(9225). P. 233. doi: 10.1016/S0140-6736(00)02490-9

61. Rehman R, Sial N, Ismail A, Hussain S, Abid S, Javed M, Nadeem K, Ayoub M. Growth Response in *Oryctolagus cuniculus* to Selenium Toxicity

Exposure Ameliorated with Vitamin E. *Biomed Res Int*. 2022. Vol. 2022, № 1. DOI: 10.1155/2022/8216685

62. Robberecht H.J., Deelstra H.A. Selenium in human urine: concentration levels and medical implications *Clinica Chimica Acta*. 1984. Vol. 136, № 2-3. P. 107–120. [https://doi.org/10.1016/0009-8981\(84\)90282-1](https://doi.org/10.1016/0009-8981(84)90282-1)

63. Rose A.H., Hoffmann P.R. Selenoproteins and cardiovascular stress // *Frontiers in Cardiovascular Research Thrombosis and Haemostasis*. 2015. Vol. 113, № 3. P. 494–504. DOI: 10.1160/TH14-07-0603

64. Schomburg L. The other view: The trace element selenium as a micronutrient in thyroid disease, diabetes, and beyond. *Hormones*. 2020. Vol. 19, № 1. P. 15–24. doi: 10.1007/s42000-019-00150-4

65. Shakibaie, M., Forootanfar, H., Golkari, Y., Mohammadi-Khorsand, T. and Shakibaie, M.R. Anti-Biofilm Activity of Biogenic Selenium Nanoparticles and Selenium Dioxide against Clinical Isolates of *Staphylococcus Aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Proteus mirabilis*. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2015. Vol. 29, P. 235–241. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2014.07.020>

66. Shima A Amer, A.E. Omar, and M.E. Abd El-Hack Effect of selenium and chromium enriched diets on growth performance, lipid profile and mineral concentration in different tissues of growing rabbits. *Biol. Trace Element Res*. 2019. Vol. 187, № 1. P. 92–99, doi:<https://doi.org/10.1007/s12011-018-1356-4>.

67. Silvestrini A., Mordente A., Martino G., Bruno C., Vergani E., Meucci E., Mancini A. The Role of Selenium in Oxidative Stress and in Nonthyroidal Illness Syndrome (NTIS): An Overview. *Curr Med Chem*. 2020. Vol. 27, № 3. P. 423–449. <https://doi.org/10.2174/092986732566618020111159>

68. Skalickova S, Milosavljevic V, Cihalova K, Horoky P, Richtera L, Adam V. Selenium nanoparticles as a nutritional supplement. *Nutrition*. 2017. Vol. 33, P. 83–90. DOI: 10.1016/j.nut.2016.05.001

69. Snarska A, Grzybowska D. The role of selenium in small ruminants: implications for haematopoiesis and supplementation strategies—a review. *Pol J Vet Sci*. 2025. Vol. 28, № 3. P. 497–503. <https://doi.org/10.24425/pjvs.2025.156076>

70. Soma, S. Y., Hasan, M. M., Parvez, M. M. M., Islam, R., Rashid, M. B., Sarkar, S., Tonu, N. S., & Shahadat, M. N. Effects of Selenium and vitamin E against arsenic toxicity in Broiler. *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*. 2025. Vol. 8, № 2. P. 7–15. <https://doi.org/10.32718/ujvas8-2.02>

71. Surai P.F. Selenium in Nutrition and Health, Nottingham University Press, Nottingham, United Kingdom. 2006. P. 974.

72. Surai, P. F., Kochish, I. I., Fisinin, V. I., & Kidd, M. T. Antioxidant defence systems and oxidative stress in poultry biology: An update. 2019. Vol. 8, № 7. P. 235. DOI: 10.3390/antiox8070235
73. Tanguy S., Grauzam S., De Leiris J., Boucher F. (2012) Impact of dietary selenium intake on cardiac health: Experimental approaches and human studies. Version of Record. 2012. Vol. 56, № 7. P. 1106–1121. DOI: 10.1002/mnfr.201100766
74. Tantawi, A. A., Abd El Latif, M. A., & Mohamed, A. S. A. (2022). Evaluation of organic selenium on productive performance, blood biochemical properties, and antioxidant status of growing rabbits under hot climate. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2023. Vol. 13, № 1. P. 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00795-7>
75. Van Uytvanghe K, Ehrenkranz J, Halsall D, Hoff K, Loh TP, Spencer CA, Köhrle J. (2023) Thyroid Stimulating Hormone and Thyroid Hormones (Triiodothyronine and Thyroxine): An American Thyroid Association-Commissioned Review of Current Clinical and Laboratory Status. 2023. Vol. 33, № 9. P. 1013–1028. DOI: 10.1089/thy.2023.0169
76. Ventura M., Melo M., Carrilho F. Selenium and Thyroid Disease: From Pathophysiology to Treatment. *Int. J. Endocrinol.* 2017, 1297658. doi: 10.1155/2017/1297658
77. Vickerman D.B., Trumble J.T., George G.N. Selenium biotransformations in an insect ecosystem: effects of insects on phytoremediation. *Environ. Sci. Technol.* 2004. Vol. 38, № 13, P. 3581–3586. <https://doi.org/10.1021/es049941s>
78. Wang, Z.-N., Li, H.; Tang, H., Zhang, S.-J., Pauline, M., Bi, C.-L. Short Communication: 'Effects of Dietary Selenium Supplementation on Selenium Deposition and Antioxidant Status in Postpartum Mice. *Biol. Trace Elem.* Vol. 199, P. 1488–1492. DOI: 10.1007/s12011-020-02260-2
79. Wischhusen, P., Heraud, C., Broughton, R., Surget, A., Lanuque, A., Terrier, F., Fontagné-Dicharry, S., Betancor, M. B. Vitamin B6 and selenium supplementation induce contrasting effects in the transsulfuration pathway of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) with interactive effects in stressed fish Aquaculture. 2024. Vol. 593, №741354. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741354>
80. Yakubets T., Bochkov V. Influence of males of the paternal line with different weight index on the productivity of rabbits of the maternal form of the Hyla Cross. *Animal Science and Food Technology*. 2023. Vol. 14, № 1, P. 113–125. <https://doi.org/10.31548/animal.1.2023.113>
81. Yuan D., Zhan X. A., Wang Y. X. Effect of selenium sources on the expression of cellular glutathione peroxidase and cytoplasmic thioredoxin

reductase in the liver and kidney of broiler breeders and their offspring, *Poultry Science*. 2012. Vol. 91, № 4. P. 936–942, <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01921>

82. Zeng H., Combs G.F. Selenium as an anticancer nutrient: roles in cell proliferation and tumor cell invasion *J. Nutr. Biochem.* 2008. Vol. 19, № 1. P. 1–7. DOI: 10.1016/j.jnutbio.2007.02.005

83. Zhang Y., Zhu S., Wang X., Wang C., Li F. The effect of dietary selenium levels on growth performance, antioxidant capacity and glutathione peroxidase 1 (GSHPx1) mRNA expression in growing meat rabbits. *Animal Feed Science and Technology*. 2011. Vol. 169, № (3–4). P. 259–264 <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.07.006>

Information about the authors:

Kovalchuk Iryna Ivanivna,

Doctor of Veterinary Sciences,
Professor at the Department of Normal and Pathological
Physiology Named after Stepan Stoyanovsky
Stepan Gzhytskyi National University
of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv,
50, Pekarska street, Lviv, Ukraine

Prodanchuk Olha Volodymyrivna,

Postgraduate Student at the Department of Normal and Pathological
Physiology Named after Stepan Stoyanovsky
Stepan Gzhytskyi National University
of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv,
50, Pekarska street, Lviv, Ukraine

ВІКОВА ДИНАМІКА ЗАГАЛЬНОГО БІЛКА ТА ЙОГО ФРАКЦІЙ У СИРОВАТЦІ КРОВІ ЯПОНСЬКИХ ПЕРЕПЕЛІВ

Лівощенко Є. М., Павловський В. В., Лівощенко О. І.
DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-695-9-3>

ВСТУП

Японський перепел займає особливе місце серед сільськогосподарської птиці як перспективна лабораторна й продуктивна модель у дослідженнях фізіологічних процесів¹. Досягнення статевої зрілості настає вже з 35-тої по 45-ту добу постнатального онтогенезу японських перепелів. Цей феномен у поєднанні з невибагливістю до умов утримання та стійкістю до широкого спектру поширених захворювань робить цей вид унікальним об'єктом ветеринарної фізіології^{2, 3}.

Незважаючи на значний практичний інтерес, референтні значення білкового обміну та гуморального імунітету для японського перепела в постнатальному онтогенезі залишаються фрагментарно вивченими^{4, 5}. Наявні публікації стосуються переважно окремих вікових груп і порід перепелів або проводилися на фоні різноманітних кормових добавок чи стресових факторів, що унеможливує коректне встановлення фізіологічної норми.

¹ Sakamoto M. I., Murakami A. E., Fernandes A. M., Ospina-Rojas I. C., Nunes K. C., Hirata A. K. Performance and serum biochemical profile of Japanese quail supplemented with silymarin and contaminated with aflatoxin B1 // *Poultry Science*. 2018. Vol. 97, No. 1. P. 159–166. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps/pex277>

² Yannakopoulos A. L., Christaki E., Florou-Paneri P. Effect of age and carcass composition on the onset of sexual maturity in quail under normal feeding regimens // *British Poultry Science*. 1995. Vol. 36, No. 5. P. 771–777. DOI: <https://doi.org/10.1080/00071669508417821>

³ Reddish J. M., Nestor K. E., Lilburn M. S. Effect of selection for growth on onset of sexual maturity in randombred and growth-selected lines of Japanese quail // *Poultry Science*. 2003. Vol. 82, No. 2. P. 187–191. DOI: <https://doi.org/10.1093/ps/82.2.187>

⁴ Najdi S., Nikbakht Brujeni G., Sheikhi N., Chakhkar S. Development of anti-*Helicobacter pylori* immunoglobulins Y (IgYs) in quail // *Iranian Journal of Veterinary Research*. 2016. Vol. 17, No. 2. P. 106–110.

⁵ He Q., Shang H., Huang Y., Li L., Wu Z., Ran H., Xu J., Xiong X. Serum metabolic profiles in quails: effects of age, breed, and sex // *Poultry Science*. 2025. Vol. 104, No. 1. Article 104556. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104556>

Разом з тим, саме показники білкового профілю сироватки крові таких як загальний білок, альбуміни, глобулінові фракції та рівень основних класів імуноглобулінів є інтегральним маркером метаболічного статусу, функціональної зрілості гепатоцитів і становлення гуморального імунітету в онтогенезі^{6, 7}.

Загальний білок сироватки крові є інтегральним біохімічним показником, що характеризує сумарну концентрацію білкових фракцій плазми, передусім альбумінів і глобулінів, та відображає узгоджену діяльність синтетичних процесів у гепатоцитах і клітинах лімфоїдної тканини, а також інтенсивність білкового обміну, стан гідратації організму і функціональну спроможність імунної системи⁸. Альбуміни, як домінуюча за масою фракція, забезпечує підтримання колоїдно-осмотичного тиску, транспорт низькомолекулярних сполук та ендогенних метаболітів, тоді як глобуліни виконують переважно захисні, транспортні та ферментативні функції⁹. У ранні терміни постнатального онтогенезу відбувається інтенсивне зростання концентрації альбумінів, що обумовлено високою швидкістю анаболічних процесів і формуванням структур органів і тканин¹⁰.

Під час морфофункціонального становлення імунокомпетентних органів, спостерігається поступове збільшення частки γ -глобулінів, які представлені імуноглобулінами та відображають рівень гуморальної імунної відповіді¹¹. У птиці специфічною особливістю є домінування в сироватці крові імуноглобуліну (Ig) класу Y, що виконує функції, аналогічні Ig G у ссавців, тоді як Ig M бере участь у початковій фазі первинної імунної реакції, а Ig A забезпечує ефективний бар'єрний захист

⁶ Xiong X., Xu J., Yan X., Wu S., Ma J., Wang Z., He Q., Gong J., Rao Y. Gut microbiome and serum metabolome analyses identify biomarkers associated with sexual maturity in quails // *Poultry Science*. 2023. Vol. 102, No. 7. Article 102762. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102762>

⁷ Gouda A., Tolba S. A., El-Moniary M. M. Zinc and L-Ascorbic Acid dietary supplementation affected antioxidant status, heat shock protein 70, and some immunoglobulins in Japanese quail under heat stress conditions // *Biological Trace Element Research*. 2022. Vol. 200, No. 6. P. 2889–2896. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12011-021-02884-y>

⁸ Dosoky W. M., Zewail H. S., Ahmed M. H., Zahran S. M., Ali A. M., Abdelsalam N. R., Naiel M. A. E. The influences of Tylosine and licorice dietary supplementation in terms of the productive performance, serum parameters, egg yolk lipid profile, antioxidant and immunity status of laying Japanese quail under heat stress condition // *Journal of Thermal Biology*. 2021. Vol. 99. Article 103015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.103015>

⁹ Sakamoto M. I. та ін. Performance and serum biochemical profile of Japanese quail... C. 159–166.

¹⁰ Reda F. M., Ismail I. E., Attia A. I., Fikry A. M., Khalifa E., Alagawany M. Use of fumaric acid as a feed additive in quail's nutrition: its effect on growth rate, carcass, nutrient digestibility, digestive enzymes, blood metabolites, and intestinal microbiota // *Poultry Science*. 2021. Vol. 100, No. 12. Article 101493. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101493>

¹¹ Sakamoto M. I. та ін. Performance and serum biochemical profile of Japanese quail... C. 159–166.

слизових оболонок¹². Вікова динаміка загального білка та його фракційного складу відображає глибокі перебудови метаболічних і імунологічних механізмів адаптації організму птиці до умов постнатального існування¹³.

Динаміка загального білка і його фракцій у сироватці крові перепелів починаючи від раннього постнатального і до статевозрілого стану є не вирішеним питанням у вітчизняній і закордонній ветеринарній фізіології¹⁴. Тому питання вікових закономірностей становлення гуморального імунітету в онтогенезі, а саме динаміки загального білка та його фракцій у японських перепелів потребує особливої уваги і більш ретельного дослідження. Метою нашого дослідження стало систематичне встановлення кількісних параметрів загального білка та його фракцій, а також рівня Ig M, Ig G (Ig Y) та Ig A у сироватці крові японського перепела в онтогенезі від 10-тої до 90-тої доби.

1. Вікова динаміка загального білка у сироватці крові японських перепелів

Динаміка загального білка у сироватці крові японських перепелів визначається як система закономірних і часово детермінованих трансформацій концентрації протеїнових фракцій, що безпосередньо відображають інтенсивність анаболічних процесів та стан гомеостазу в організмі цієї сільськогосподарської птиці протягом усього життєвого циклу. Даний біохімічний показник виступає фундаментальним критерієм оцінки метаболічного статусу, оскільки рівень загального білка інтегрує в собі функціональну здатність печінки до синтезу, імунологічну реактивність та загальну швидкість росту й розвитку птиці. У світлі сучасних фізіологічних концепцій встановлено, що біохімічний профіль крові зазнає суттєвих флуктуацій залежно від етапів онтогенезу. Обґрунтування вивчення динаміки загального білка в сироватці крові японського перепела базується на винятковій біологічній специфіці цієї сільськогосподарської птиці, яка характеризується стрімким темпом соматичного росту та надраннім настанням репродуктивної зрілості. Актуальність таких розробок зумовлена необхідністю встановлення прецизійних фізіологічних констант, оскільки загальноприйняті нормативи

¹² Yannakopoulos A. L. та ін. Effect of age and carcass composition... С. 771–777.

¹³ Sedqyar M., Weng Q., Watanabe G., Kandiel M. M., Takahashi S., Suzuki A. K., Taneda S., Taya K. Secretion of inhibin in female Japanese quails (*Coturnix japonica*) from hatch to sexual maturity // Journal of Reproduction and Development. 2008. Vol. 54, No. 1. P. 52–57. DOI: <https://doi.org/10.1262/jrd.19112>

¹⁴ Kanbur G., Göçmen R., Ünal K. Effect of high-fibre diets supplemented with banana leaf on growth performance, meat quality, and serum cholesterol of quail // Tropical Animal Health and Production. 2024. Vol. 56, No. 8. Article 265. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-024-04139-z>

часто не враховують інтенсивність метаболічних процесів, притаманних саме цьому виду. Дослідження даного параметра дозволяє об'єктивно оцінити пластичний та енергетичний обмін, ідентифікувати приховані порушення гомеостазу та верифікувати адаптаційний ресурс організму птиці у відповідь на техногенні чинники або зміну раціонів.

Від відносно низьких стартових значень у перші дні постембріонального періоду до стабільного підвищення в міру морфофункціонального дозрівання систем організму. Особливо виражена ця закономірність у самок під час активної яйцекладки, коли вміст сироваткових протеїнів досягає свого граничного максимуму через інтенсивний синтез вітелогеніну та інших транспортних білків під впливом естрогенної стимуляції, що необхідно для повноцінного формування структурних компонентів яйця. Подібна кумуляція білкових ресурсів у кров'яному руслі птиці свідчить про високу напруженість обмінних циклів, що дозволяє фахівцям проводити прецизійну діагностику адаптаційних можливостей, а також верифікувати відповідність умов годівлі нутрієнтним потребам японського перепела на різних фазах його господарського використання. Динаміка загального білка в сироватці крові перепелів у досліджуваній віковий період характеризується виразним і статистично вірогідним зростанням впродовж усього постнатального онтогенезу від 10-тої до 90-тої доби. На 10-тій добі постнатального розвитку концентрація загального білка у крові перепелів становила $21,45 \pm 0,62$ г/л (Рис. 1).

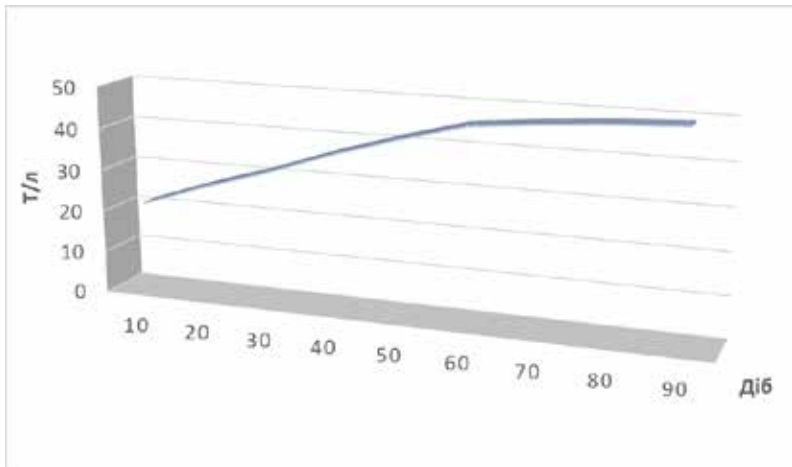


Рис. 1. Вікова динаміка загального білка у сироватці крові японських перепелів ($M \pm m$, $n = 10$)

Дослідження сироватки крові у перепелів свідчать про зростання концентрації загального білка у наступні вікові проміжки. На 20-тій добі життя перепелів зафіксовано значення концентрації загального білка у сироватці крові на рівні $26,78 \pm 0,74$ г/л, що у 1,25 рази перевищує такий показник у сироватці крові перепелів 10-тої доби життя. Показник концентрації загального білка у сироватці крові на 30-тій добі життя перепелів становив $31,52 \pm 0,81$ г/л, і виявився у 1,47 рази більше за рівень концентрації загального білка у крові птиці 10-ти добового віку. Дослідження сироватки крові на 40-вій добі життя перепелів показало підвищення концентрації загального білка до $36,94 \pm 0,89$ г/л із перевищенням показнику 10-ти добової птиці у 1,72 рази. На 50-ту добу життя птиці концентрація загального білка у крові досягла $41,63 \pm 0,95$ г/л це зростання у 1,94 рази за показник зафіксований у сироватці крові 10-ти добової птиці. Ще на 4,19 г/л було зафіксовано збільшення цього показника у птиці 60-ти добового віку, у порівнянні з дослідженнями сироватки крові на 50-тій добі життя перепелів. Однак у порівнянні з показником у сироватці крові перепелів на 10-тій добі життя показник зріс у 2,14 рази. У наступні досліджувані вікові проміжки з 70-тої до 90-тої доби життя птиці, показники у сироватці крові коливалися з $47,31 \pm 1,05$ г/л, до $49,17 \pm 1,10$ г/л відповідно. Така динаміка загального білка у сироватці крові перепелів відображає стабілізацію білок-синтезуючих процесів на фоні завершення морфо-функціонального дозрівання організму. Фракційний склад загального білка у сироватці крові суттєво трансформувався в онтогенезі і показав динаміку характерну для птиці даного віку, виду і породи.

2. Вікова динаміка альбумінів у сироватці крові японських перепелів

Альбуміни сироватки крові представляють собою провідну фракцію плазмових білків, що синтезується переважно гепатоцитами. Вони виконують важливу роль у підтримці колоїдно-осмотичного тиску, транспортуванні ендогенних і екзогенних низькомолекулярних сполук, а також у забезпеченні буферних властивостей крові. Концентрація альбумінів визначається інтенсивністю білоксинтетичної функції печінки, рівнем надходження амінокислот, гормональною регуляцією та фізіологічним станом організму, що робить цей показник чутливим індикатором метаболічного гомеостазу. У птиці альбумінова фракція у сироватці крові, зокрема у перепелів, залишається кількісно домінуючою протягом усього періоду постнатального розвитку. Цей феномен зумовлений високою інтенсивністю обмінних процесів, необхідністю

підтримання стабільного онкотичного тиску та забезпечення транспорту жирних кислот, гормонів і метаболітів (Рис. 2).

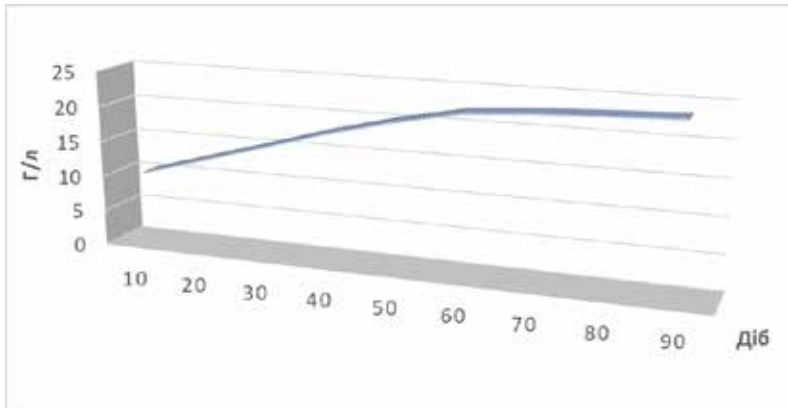


Рис. 2. Вікова динаміка альбумінів у сироватці крові японських перепелів ($M \pm m$, $n = 10$)

На 10-ту добу життя рівень альбумінів у сироватці крові перепелів становив $10,24 \pm 0,31$ г/л. У подальшому нами спостерігалось статистично значуще зростання показника який у сироватці крові перепелів на 20-ту добу життя підвищився до $12,85 \pm 0,38$ г/л. Зафіксований показник виявився у 1,25 рази вище, порівняно з рівнем альбумінів у сироватці крові перепелів 10-ти добового віку. Рівень альбумінів у сироватці крові перепелів на 30-ту добу життя зріс до $15,42 \pm 0,44$ г/л, що у 1,50 рази більше порівняно з показником 10-тої доби життя перепелів. Найбільш виражене підвищення альбумінової фракції у сироватці крові перепелів відбувалося в період з 40-вої до 60-тої доби життя птиці. На 40-ву добу життя у сироватці крові перепелів альбумінова фракція становила $18,07 \pm 0,51$ г/л. За наступні 20 діб дослідження показник зріс на 4,69 г/л. І у сироватці крові перепелів 70-ти добового віку альбумінова фракція у порівнянні з відповідним показником у птиці віком 10-ти діб зросла більш ніж у двічі і становила $22,76 \pm 0,64$ г/л. З 80-тої по 90-ту добу альбумінова фракція у сироватці крові досліджуваної птиці мала незначні коливання у межах від 23,12 до 23,45 г/л.

Таким чином, від 10-ті до 90-тої доби життя перепелів абсолютна концентрація альбумінів у сироватці крові зросла у 2,29 рази. Вікова динаміка вмісту альбумінів характеризується поступовим зростанням їх концентрації на ранніх етапах онтогенезу з подальшою стабілізацією. Цей

процес відображає завершення формування функціональної активності печінки та оптимізацію білкового обміну.

3. Вікова динаміка глобулінів у сироватці крові японських перепелів

Фракція α -глобулінів сироватки крові представляє собою гетерогенну групу білків, що мігрують у відповідній зоні електрофоретичного розділення та включають переважно α_1 - і α_2 -глобуліни, серед яких провідне значення мають білки гострої фази, транспортні глікопротеїни та інгібітори протеаз. Синтез відбувається головним чином у печінці та регулюється цитокін-опосередкованими механізмами імунної відповіді. У птиці, зокрема у японських перепелів, дана білкова фракція виконує важливу роль у забезпеченні неспецифічної резистентності організму, беручи участь у зв'язуванні та транспортуванні ліпідів, металів і гормонів, а також у нейтралізації протеолітичних ферментів і обмеженні запальних реакцій.

Фракція α -глобулінів у сироватці крові японських перепелів демонструвала стабільне зростання упродовж усього досліджуваного періоду (Рис. 3).

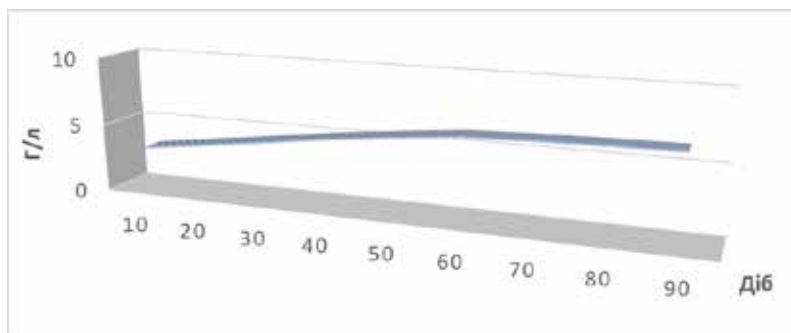


Рис. 3. Вікова динаміка α -глобулінів у сироватці крові японських перепелів ($M \pm m$, $n = 10$)

На 10-ту добу життя її концентрація становила $3,12 \pm 0,18$ г/л. На 20-ту добу рівень α -глобулінів у сироватці крові перепелів підвищився до $3,74 \pm 0,21$ г/л, що у 1,20 рази вище порівняно з показником 10-тої доби життя перепелів. На 30-ту добу рівень α -глобулінів у сироватці крові зросли до $4,36 \pm 0,25$ г/л, що у 1,40 рази більше порівняно показником зафіксованим на 10-ту добу життя японських перепелів. На 40-ту добу

концентрація фракції α -глобулінів у сироватці крові японських перепелів становила $5,01 \pm 0,29$ г/л, що у 1,60 рази більше за показник 10-ти добової птиці. На 50-ту добу життя птиці, рівень α -глобулінів у сироватці крові японських перепелів зріс у 1,77 рази у порівнянні з 10-ти добовою птицею й становив $5,54 \pm 0,32$ г/л. На 60-ту добу життя показник у сироватці крові перепелів складав $6,02 \pm 0,35$ г/л що представляло собою зростання у 1,92 рази. На 70-ту доби життя перепелів рівень α -глобулінів у сироватці крові складав $6,18 \pm 0,36$ г/л демонструючи зростання у 2,01 рази у порівнянні з 10-ти добовою птицею. З 80-тої до 90-тої доби життя перепелів α -глобулінова фракція у сироватці крові коливалася в межах від $6,28 \pm 0,36$ г/л на 80-ту добу, до $6,34 \pm 0,37$ г/л на 90-ту добу життя перепелів. Таким чином, від 10-тої до 90-тої доби життя перепелів абсолютна концентрація α -глобулінів у сироватці крові зросла у 2,03 рази. Кількісний вміст α -глобулінів характеризується динамічною мінливістю, що відображає функціональний стан печінки, рівень активації імунної системи та інтенсивність адаптаційних процесів.

Фракція β -глобулінів сироватки крові представляє собою складну групу білків плазми. Вони включають транспортні білки, компоненти системи комплементу, а також низку ліпопротеїнів і металозв'язувальних глікопротеїнів, зокрема трансферин, який відіграє ключову роль у метаболізмі заліза. Синтез більшості β -глобулінів відбувається у печінці, а їх концентрація визначається інтенсивністю білоксинтетичних процесів, функціональним станом гепатобілярної системи та рівнем активації імунних механізмів. У птиці, зокрема у японських перепелів, дана білкова фракція виконує важливі транспортні та захисні функції, забезпечуючи перенесення ліпідів, стероїдних гормонів і мікроелементів, а також беручи участь у гуморальних механізмах неспецифічного імунітету через систему комплементу.

Фракція β -глобулінів у сироватці крові японських перепелів демонструвала стабільне зростання упродовж усього досліджуваного нами періоду (Рис. 4).

На 10-ту добу життя її концентрація у сироватці крові птиці становила $3,56 \pm 0,21$ г/л. На 20-ту добу рівень β -глобулінів у сироватці крові перепелів підвищився до $4,21 \pm 0,24$ г/л, що у 1,18 рази вище порівняно з показником 10-тої доби життя перепелів. На 30-ту добу рівень β -глобулінів у сироватці крові зріс до $4,85 \pm 0,28$ г/л, що у 1,36 рази більше порівняно з показником зафіксованим на 10-ту добу життя японських перепелів. На 40-ту добу концентрація фракції β -глобулінів у сироватці крові японських перепелів становила $5,42 \pm 0,31$ г/л, що у 1,52 рази більше за показник 10-ти добової птиці. На 50-ту добу життя птиці рівень β -глобулінів

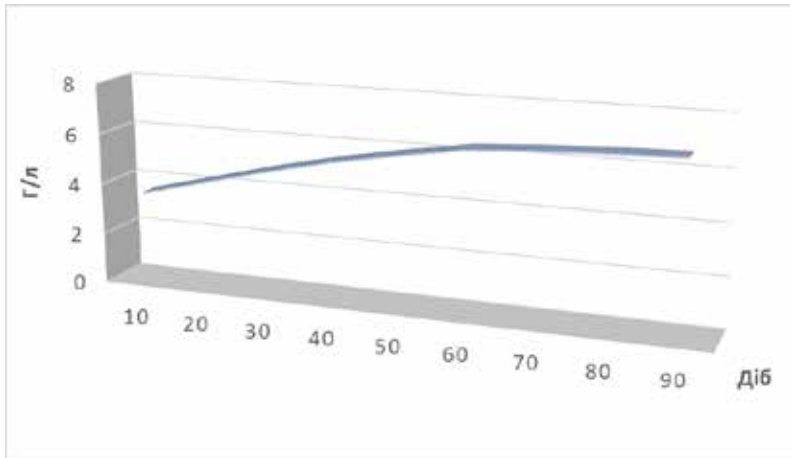


Рис. 4. Вікова динаміка β-глобулінів у сироватці крові японських перепелів ($M \pm m$, $n = 10$)

у сироватці крові японських перепелів зріс у 1,65 рази у порівнянні з 10-ти добовою птицею й становив $5,89 \pm 0,34$ г/л. На 60-ту добу життя показник у сироватці крові птиці складав $6,31 \pm 0,36$ г/л, що представляло собою зростання у 1,77 рази у порівнянні з 10-ти добовою птицею. На 70-ту добу життя перепелів рівень β-глобулінів у сироватці крові складав $6,47 \pm 0,37$ г/л, демонструючи зростання у 1,82 рази у порівнянні з показником зафіксованим у 10-ти добової птиці. З 80-тої до 90-тої доби життя перепелів β-глобулінова фракція у сироватці крові коливалася в межах від $6,58 \pm 0,38$ г/л на 80-ту добу до $6,64 \pm 0,38$ г/л на 90-ту добу життя перепелів. Таким чином, від 10-тої до 90-тої доби життя перепелів абсолютна концентрація β-глобулінів у сироватці крові зросла у 1,87 рази. Вікова динаміка β-глобулінів характеризується поступовим підвищенням їх вмісту в процесі постнатального розвитку, що відображає становлення метаболічної активності печінки та ускладнення регуляторних систем організму.

Фракція γ-глобулінів сироватки крові представляє собою сукупність високомолекулярних білків. Представлена переважно імуноглобулінами, які синтезуються плазматичними клітинами, диференційованими з В-лімфоцитів, і визначають рівень гуморальної імунної відповіді організму. У птиці, зокрема у японських перепелів, домінуючим класом циркулюючих імуноглобулінів є Ig Y, що функціонально відповідає Ig G ссавців і забезпечує тривалий системний імунітет, тоді як Ig M бере

участь у формуванні первинної імунної реакції, а Ig A відіграє провідну роль у захисті слизових оболонок. У сукупності ці молекули забезпечують специфічне розпізнавання та нейтралізацію антигенів. Концентрація γ -глобулінів у сироватці крові характеризується вираженою віковою динамікою.

Фракція γ -глобулінів у сироватці крові японських перепелів демонструвала наступні показники під час досліджуваного нами вікового періоду життя птиці. На 10-ту добу життя птиці концентрація γ -глобулінів у сироватці крові становила $4,53 \pm 0,19$ г/л. На 20-ту добу рівень γ -глобулінів у сироватці крові перепелів підвищився у 1,32 рази порівняно з показником 10-тої доби життя перепелів. На ранніх етапах постнатального розвитку рівень концентрації γ -глобулінів у сироватці крові є відносно низьким, що зумовлено функціональною незрілістю імунної системи. Однак, слід зазначити у процесі онтогенезу відбувається поступове підвищення вмісту цієї фракції внаслідок активізації проліферації та диференціації імунокомпетентних клітин (Рис. 5).

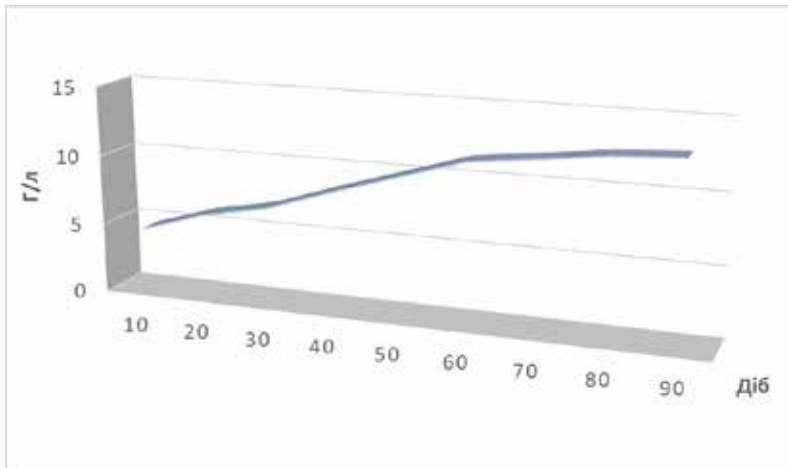


Рис. 5. Вікова динаміка γ -глобулінів у сироватці крові японських перепелів ($M \pm m$, $n = 10$)

Рівень γ -глобулінів у сироватці крові перепелів зріс на 30-ту добу до $6,89 \pm 0,26$ г/л, що у 1,52 рази більше у порівнянні з показником зафіксованим на 10-ту добу життя птиці. 40-ва доба життя птиці характеризувалася тим, що концентрація фракції γ -глобулінів у сироватці крові перепелів становила $8,44 \pm 0,31$ г/л, що у 1,86 рази більше за показник

10-ти добової птиці. Рівень γ -глобулінів у сироватці крові перепелів зрів у 2,18 рази у порівнянні з 10-ти добовою птицею на 50-ту добу життя. Подальші наші дослідження показали, що на 60-ту добу життя показник у сироватці крові перепелів складав $11,35 \pm 0,41$ г/л, що представляє собою зростання у 2,51 рази. На 70-ту добу життя перепелів рівень γ -глобулінів у сироватці крові складав $11,90 \pm 0,43$ г/л, демонструючи зростання у 2,63 рази у порівнянні з 10-ти добовою птицею. З 80-тої до 90-тої доби життя перепелів γ -глобулінова фракція у сироватці крові коливалася в межах від $12,48 \pm 0,45$ г/л на 80-ту добу до $12,74 \pm 0,46$ г/л на 90-ту добу життя перепелів. Таким чином, від 10-тої до 90-тої доби життя перепелів абсолютна концентрація γ -глобулінів у сироватці крові зросла у 2,81 рази.

Альбуміно-глобуліновий (А/Г) коефіцієнт сироватки крові є узагальнюючим біохімічним індикатором, що відображає співвідношення концентрації альбумінів до сумарного вмісту глобулінових фракцій і характеризує баланс між синтетичною активністю печінки та функціональним станом імунної системи. Даний показник має високу інформативність, оскільки інтегрує зміни у білковому обміні, включаючи інтенсивність утворення транспортних білків і імунoglobulinів, а також особливості їх перерозподілу в організмі. У птиці, зокрема у японських перепелів, величина А/Г коефіцієнта зазнає закономірних змін у процесі постнатального розвитку.

Альбуміно-глобуліновий (А/Г) коефіцієнт у сироватці крові японських перепелів залишався практично стабільним упродовж усього досліджуваного нами періоду.

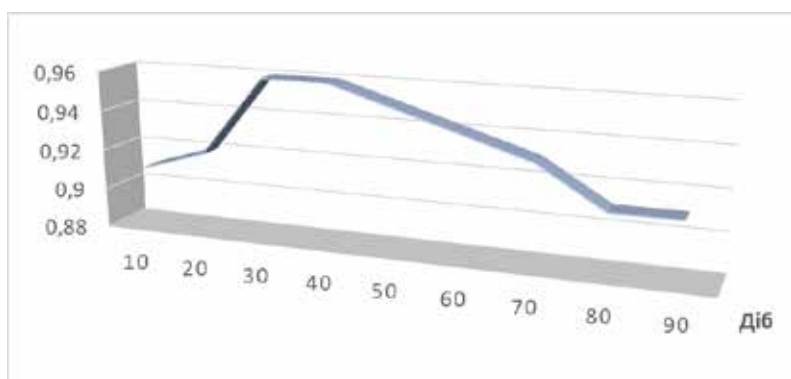


Рис. 6. Вікова динаміка А/Г коефіцієнт у сироватці крові японських перепелів ($M \pm m$, $n = 10$)

На 10-ту добу життя перепелів значення А/Г коефіцієнта становило 0,91. Зростання А/Г коефіцієнта зафіксовано на 30-ту добу у 1,05 рази порівняно з показником у сироватці крові на 10-ту добу життя перепелів. На 50-ту добу життя птиці рівень А/Г коефіцієнта у сироватці крові знизився і складав 0,95 однак у порівнянні з цим показником у сироватці крові 10-ти добової птиці показник виявився вищим у 1,04 рази вище. На 60-ту добу життя показник у сироватці крові перепелів продовжував знижуватися але залишався вищим у 1,03 рази порівняно з таким показником у сироватці крові перепелів 10-ти добового віку. З 70-тої до 90-тої доби життя перепелів альбуміно-глобуліновий коефіцієнт у сироватці крові перепелів коливався в межах від 0,91 до 0,93.

Таким чином, від 10-тої до 90-тої доби життя перепелів А/Г коефіцієнт у сироватці крові мав незначні коливання в межах від 0,91 до 0,96.

На ранніх етапах розвитку птиці А/Г коефіцієнт у сироватці крові, як правило, є відносно високим унаслідок переважання альбумінової фракції, однак із віком поступово знижується внаслідок активізації гуморальної ланки імунітету та збільшення частки глобулінів, передусім γ -фракції. Таким чином, динаміка цього коефіцієнта відображає ступінь зрілості імунокомпетентних органів, інтенсивність білок-синтетичних процесів і рівень адаптаційних реакцій організму.

4. Вікова динаміка імуноглобулінів у сироватці крові японських перепелів

Аналіз кількісних показників імуноглобулінів у сироватці крові японських перепелів виявив виражену вікову закономірність, яка відображає поступове становлення гуморального імунітету в постнатальному онтогенезі.

Фракція Ig M у сироватці крові характеризує собою сукупність високомолекулярних імуноглобулінів, які належать до первинної ланки гуморальної імунної відповіді та синтезуються В-лімфоцитами на ранніх етапах їх активації з подальшою диференціацією у плазматичні клітини. Молекула Ig M має пентамерну будову, що забезпечує їй високу авідність до антигенів і здатність ефективно ініціювати каскад реакцій системи комплементу, сприяючи швидкій елімінації чужорідних агентів. У перепелів Ig M є першим класом імуноглобулінів, який з'являється у кров'яному руслі у відповідь на антигенну стимуляцію, забезпечуючи ранню фазу специфічного імунного захисту до формування більш тривалої імунної відповіді, асоційованої з іншими класами антитіл. Фракція Ig M у сироватці крові перепелів характеризувалася поступовим зростанням упродовж

всього досліджуваного періоду з подальшою тенденцією до стабілізації на пізніших етапах онтогенезу (Рис. 7).

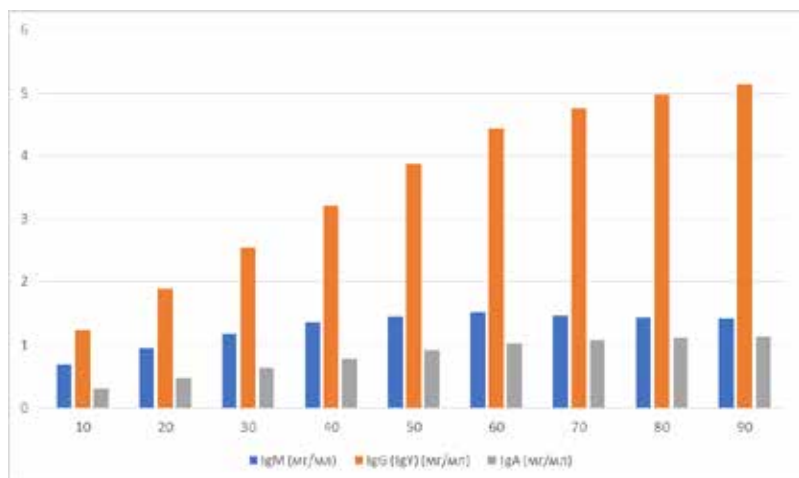


Рис. 7. Вікова динаміка імуноглобулінів сироватки крові японських перепелів ($M \pm m$, $n = 10$)

На 10-ту добу життя концентрація Ig M у сироватці крові птиці становила $0,68 \pm 0,04$ мг/мл. Через 10 діб життя, на 20-ту добу даний показник підвищився до $0,95 \pm 0,05$ мг/мл, що становило зростання у 1,40 рази, і перевищує рівень цього показника 10-тої доби життя птиці. У перепелів 30-ти добового віку вміст Ig M у сироватці крові зріс до $1,18 \pm 0,06$ мг/мл, що у 1,74 рази більше порівняно з 10-тою добою життя. Наступні 10 діб життя зростання продовжилось, на 40-ву добу життя птиці у сироватці крові концентрація Ig M становила $1,35 \pm 0,07$ мг/мл, що у 1,99 рази вище початкового значення концентрація Ig M у сироватці крові птиці зафіксованого на 10-ту добу життя птиці. На 50-ту добу нашого дослідження тенденція до зростання продовжилася. Концентрація Ig M у сироватці крові становила $1,46 \pm 0,08$ мг/мл, перевищуючи рівень 10-тої доби у 2,15 рази. Максимальне значення показника у сироватці крові нами було зафіксовано на 60-ту добу життя перепелів і показник становив $1,52 \pm 0,08$ мг/мл, що продемонструвало зростання у 2,24 рази у порівнянні з показником у сироватці крові 10-ти добової птиці. У подальшому нами спостерігалася незначна варіабельність з 70-тої по 90-ту добу життя птиці. Даний показник коливався від $1,47 \pm 0,08$ мг/мл до $1,41 \pm 0,07$ мг/мл

відповідно, що в свою чергу перевищує вихідний рівень концентрації Ig M у сироватці крові перепелів у 2,07 рази.

Таким чином, ми можемо стверджувати, що у період від 10-тої до 60-тої доби життя перепелів відбувається інтенсивне наростання концентрації Ig M, після чого показник зазнає коливань з незначною варіативністю. Таким чином ми можемо припустити що вікова динаміка вмісту Ig M у сироватці крові птиці характеризується поступовим підвищенням його концентрації у міру становлення імунної системи та зростання антигенного навантаження, що відображає функціональну зрілість В-клітинної ланки імунітету.

Імуноглобулін Y (Ig Y) у сироватці крові характеризує собою основний клас специфічних антитіл у птиці. Кількісне визначення Ig Y у мг/мл використовується як інформативний показник стану гуморального імунітету та інтенсивності імунної відповіді організму. Даний імуноглобулін синтезується плазматичними клітинами, що походять із В-лімфоцитів і за своїми функціональними властивостями є аналогом Ig G ссавців. Він забезпечує тривалий системний захист шляхом специфічного зв'язування та нейтралізації антигенів, опсонізації та участі в імунних реакціях. У перепелів Ig Y відіграє провідну роль у формуванні адаптивного імунітету, а його концентрація у сироватці крові відображає рівень імунологічної зрілості, ступінь антигенного навантаження та ефективність імунної відповіді.

Фракція Ig Y у сироватці крові перепелів на 10-ту добу життя птиці у сироватці крові становив $1,24 \pm 0,07$ мг/мл. Продовж наступних 10-ти діб показник зріс у 1,52 рази й становив $1,89 \pm 0,09$ мг/мл на 20-ту добу життя птиці. У 30-ти добових перепелів концентрація Ig Y у сироватці крові зросла до $2,54 \pm 0,12$ мг/мл, що представляє собою зростання у 2,05 рази у порівнянні показником у сироватці крові 10-ти добової птиці. Подальше збільшення показника спостерігалось і на 40-ву добу життя птиці. Рівень концентрації Ig Y у сироватці крові становив $3,21 \pm 0,14$ мг/мл, що у 2,59 рази перевищує показник зафіксований у 10-ти добової птиці. Наступні 20-ті діб життя перепелів показник концентрації Ig Y у сироватці крові птиці зростав. На 50-ту добу вміст Ig Y у сироватці крові досягав $3,87 \pm 0,17$ мг/мл, а вже на 60-ту добу показник становив $4,43 \pm 0,19$ мг/мл, що відображає зростання у 3,57 рази у порівнянні з показником 10-ти добової птиці. У подальшому показник мав незначні коливання з 70-тої по 90-ту добу життя. Концентрації Ig Y за цей період зросла у сироватці крові перепелів на 0,39 мг/мл. Таким чином, упродовж періоду від 10-ї до 90-ї доби життя перепелів спостерігалася послідовна та статистично достовірне зростання концентрації Ig Y у сироватці крові, що відображає становлення та функціональне зміцнення гуморального імунітету.

Імуноглобулін А (Ig A) у сироватці крові, слугують специфічним класом антитіл, концентрація яких відображає функціональний стан мукозального імунітету та загальну напруженість гуморальної імунної відповіді організму. Даний імуноглобулін синтезується плазматичними клітинами, локалізованими переважно у слизових оболонках. Імуноглобулін А частково надходить у системний кровотік, де виконує захисні функції, пов'язані з нейтралізацією антигенів і перешкоджанням їх адгезії до епітеліальних поверхонь. У перепелів Ig A відіграє ключову роль у забезпеченні бар'єрного імунітету. Він формує першу лінію захисту на рівні респіраторного та травного трактів, що має вирішальне значення в умовах постійного контакту з різноманітними антигенами довкілля. Рівень цього імуноглобуліну у сироватці крові перепелів на 10-ту добу життя становив $0,31 \pm 0,02$ мг/мл. У подальшому, вже через 10 діб, спостерігали зростання Ig A у сироватці крові перепелів до $0,47 \pm 0,03$ мг/мл, що перевищує цей показник у сироватці крові перепелів у 1,52 рази. У наступній віковій групі зміни концентрації Ig A у сироватці крові супроводжувалися їх підвищенням до $0,63 \pm 0,04$ мг/мл, що у 2,03 рази більше порівняно з таким показником у сироватці крові 10-ти добових перепелів. У віці 40 діб вміст Ig A у сироватці крові досягав $0,78 \pm 0,05$ мг/мл, демонструючи зростання у 2,52 рази відносно показника у сироватці крові перепелів 10-ї доби життя. Подальше підвищення відзначалося у 50-ти добовому віці. Показник концентрації Ig A у сироватці крові цієї вікової групи перепелів сягав $0,91 \pm 0,05$ мг/мл, що у 2,94 рази перевищує значення початкового дослідження сироватки крові. Після 60-тої доби життя перепелів концентрації Ig A у сироватці крові перепелів мала незначні коливання у межах від $1,02 \pm 0,06$ мг/мл до $1,13 \pm 0,06$ мг/мл. Однак у порівнянні з концентрацією Ig A у сироватці крові перепелів на 90-ту добу життя показник у 3,65 рази перевищує значення Ig A у сироватці крові перепелів 10-ти добового віку. Таким чином, упродовж 10-90-ї діб життя відбувається послідовне наростання концентрації Ig A у сироватці крові, що свідчить про поступове формування ефективного імунного захисту організму птиці.

Загальні імуноглобуліни (Ig) у сироватці крові характеризують сумарну концентрацію антитіл різних класів, зокрема Ig Y, Ig M та Ig A, і відображають інтегральний стан гуморальної ланки імунної системи, що формується внаслідок координації проліферації та диференціації В-лімфоцитів у плазматичні клітини. Кількісне визначення цього показника в мг/мл дозволяє оцінити інтенсивність імунної відповіді, рівень антигенного навантаження та ступінь імунологічної зрілості організму. У японських перепелів, загальний вміст імуноглобулінів формується під

впливом вікових, фізіологічних і екологічних чинників, причому у ранні періоди постнатального розвитку спостерігається поступове зростання їх концентрації, що пов'язано з активізацією імунокомпетентних органів і наростанням синтезу специфічних антитіл.

Сумарна концентрація загальних імуноглобулінів у сироватці крові японських перепелів відображала поступове посилення гуморальної імунної відповіді в процесі постнатального розвитку перепелів. Початковий рівень загальних імуноглобулінів у сироватці крові перепелів на 10-ту добу життя становив $2,23 \pm 0,11$ мг/мл, що характеризує вихідний стан імунного забезпечення організму. Вже через десятиденний інтервал спостерігали вірогідне зростання показника до $3,31 \pm 0,15$ мг/мл, що свідчить про активізацію синтезу імуноглобулінів. У наступній віковій групі сумарна концентрація загальних імуноглобулінів у сироватці крові перепелів супроводжувалася підвищенням показника до $4,35 \pm 0,19$ мг/мл, що відображає стійке наростання імунної активності (Рис. 8).

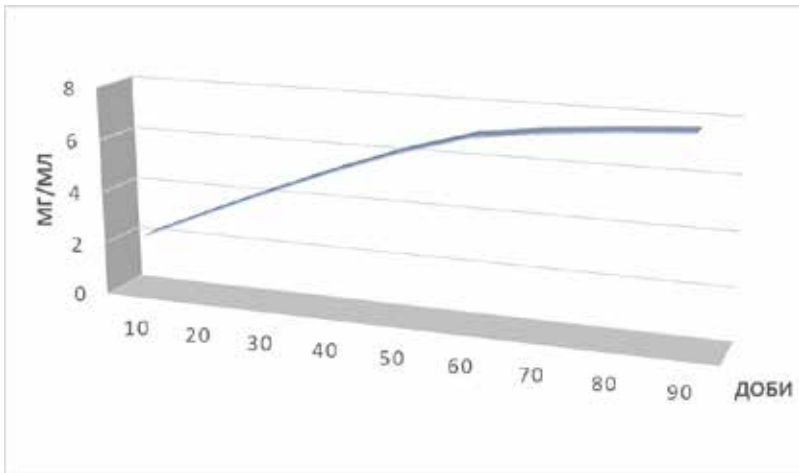


Рис. 8. Вікова динаміка загальних Ig у сироватки крові японських перепелів ($M \pm m$, $n = 10$)

У 40-добовому віці рівень загальних Ig досягав $5,34 \pm 0,23$ мг/мл, демонструючи подальше зміцнення гуморальної ланки імунітету. $6,24 \pm 0,27$ мг/мл становив показник у сироватці крові перепелів на 50-ту добу життя. Така динаміка показника вказує на інтенсивне функціональне дозрівання імунної системи птиці яку ми досліджували. У 60-добовому віці сумарна концентрація імуноглобулінів у сироватці

крові перепелів зросла у 1,12 рази. порівняно з таким показником у сироватці крові 50-ти добового віку. Однак у порівнянні з показником у птиці 10-ти добового віку сумарна концентрація імуноглобулінів зросла у 3,14 рази, відображаючи високий рівень імуноглобулінового забезпечення організму. Надалі спостерігали коливання показника у сироватці крові перепелів від $7,30 \pm 0,31$ мг/мл до $7,68 \pm 0,33$ мг/мл на 90-ту добу життя перепелів. Що відображає сформований та відносно стабільний рівень гуморального імунітету досліджуваного нами виду птиці.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження вікової динаміки загального білка та його фракцій у сироватці крові японських перепелів. Дослідження проводили у групах віком від 10-тої до 90-тої доби постнатального онтогенезу. Отримані дані дозволило встановити комплекс фізіологічних закономірностей у формуванні білкового метаболізму та гуморального імунітету.

Загальний білок сироватки крові перепелів вирігдно зростав з 10-тої по 60-ту добу життя від $21,45 \pm 0,62$ г/л до $45,82 \pm 1,02$ г/л відповідно, що склало збільшення у 2,14 рази. Альбумінова фракція залишалася домінантною з відносною стабілізацією альбуміно-глобулінового коефіцієнта на рівні 0,91-0,96. Найбільш виражену динаміку серед білкових фракцій продемонстрували γ -глобуліни – зростання у 2,81 рази, що є відображенням прогресивного становлення гуморального імунітету.

Загальний рівень імуноглобулінів зріс у 3,44 рази. Клас Ig G (Ig Y) продемонстрував найбільш виражену динаміку, зростання у 4,15 рази, тоді як Ig A зріс у 3,65 рази. Ig M характеризувався транзиторним характером із максимальним значенням на 60-й доби та подальшою стабілізацією, що відповідає зміні домінантного класу антитіл у процесі становлення адаптивного імунітету. Отримані дані формують референтні фізіологічні значення показників білкового обміну та гуморального імунітету японських перепелів у постнатальному онтогенезі.

АНОТАЦІЯ

У дослідженні визначали вікову динаміку концентрації загального білка та його фракцій, а також рівня імуноглобулінів класів Ig M, Ig G (Ig Y) та Ig A у сироватці крові японських перепелів від 10-тої до 90-тої доби постнатального періоду онтогенезу японських перепелів. Встановлено зростання загального білка у сироватці крові перепелів з $21,45$ г/л на 10-тій добі життя і до $49,17$ г/л у птиці віком 90 діб, що у 2,29 рази перевищує значення у сироватці крові перепелів 10-ти добового

віку. Загальний рівень імуноглобулінів у сироватці крові перепелів зростає у 3,44 рази за період від 10-ти до 90-го добового віку. Зафіксовано зростання Ig Y у сироватці крові птиці у 4,15 рази, Ig A – у 3,65 рази та транзиторийний характер динаміки Ig M з максимальним значенням на 60-ту добу життя птиці. Отримані дані формують референтні значення білкового профілю та гуморального імунітету японського перепела в нормі.

Література

1. Xiong X., Xu J., Yan X., Wu S., Ma J., Wang Z., He Q., Gong J., Rao Y. Gut microbiome and serum metabolome analyses identify biomarkers associated with sexual maturity in quails // *Poultry Science*. 2023. Vol. 102, No. 7. Article 102762. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102762>
2. Sedqyar M., Weng Q., Watanabe G., Kandiel M. M., Takahashi S., Suzuki A. K., Taneda S., Taya K. Secretion of inhibin in female Japanese quails (*Coturnix japonica*) from hatch to sexual maturity // *Journal of Reproduction and Development*. 2008. Vol. 54, No. 1. P. 52–57. DOI: <https://doi.org/10.1262/jrd.19112>
3. Yannakopoulos A. L., Christaki E., Florou-Paneri P. Effect of age and carcass composition on the onset of sexual maturity in quail under normal feeding regimens // *British Poultry Science*. 1995. Vol. 36, No. 5. P. 771–777. DOI: <https://doi.org/10.1080/00071669508417821>
4. Reddish J. M., Nestor K. E., Lilburn M. S. Effect of selection for growth on onset of sexual maturity in randombred and growth-selected lines of Japanese quail // *Poultry Science*. 2003. Vol. 82, No. 2. P. 187–191. DOI: <https://doi.org/10.1093/ps/82.2.187>
5. Najdi S., Nikbakht Brujeni G., Sheikhi N., Chakhkar S. Development of anti-*Helicobacter pylori* immunoglobulins Y (IgYs) in quail // *Iranian Journal of Veterinary Research*. 2016. Vol. 17, No. 2. P. 106–110.
6. Gouda A., Tolba S. A., El-Moniary M. M. Zinc and L-Ascorbic Acid dietary supplementation affected antioxidant status, heat shock protein 70, and some immunoglobulins in Japanese quail under heat stress conditions // *Biological Trace Element Research*. 2022. Vol. 200, No. 6. P. 2889–2896. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12011-021-02884-y>
7. Sakamoto M. I., Murakami A. E., Fernandes A. M., Ospina-Rojas I. C., Nunes K. C., Hirata A. K. Performance and serum biochemical profile of Japanese quail supplemented with silymarin and contaminated with aflatoxin B1 // *Poultry Science*. 2018. Vol. 97, No. 1. P. 159–166. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps/pex277>
8. Dosoky W. M., Zeweil H. S., Ahmed M. H., Zahran S. M., Ali A. M., Abdelsalam N. R., Naiel M. A. E. The influences of Tylosine and licorice dietary

supplementation in terms of the productive performance, serum parameters, egg yolk lipid profile, antioxidant and immunity status of laying Japanese quail under heat stress condition // *Journal of Thermal Biology*. 2021. Vol. 99. Article 103015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.103015>

9. He Q., Shang H., Huang Y., Li L., Wu Z., Ran H., Xu J., Xiong X. Serum metabolic profiles in quails: effects of age, breed, and sex // *Poultry Science*. 2025. Vol. 104, No. 1. Article 104556. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104556>

10. Reda F. M., Ismail I. E., Attia A. I., Fikry A. M., Khalifa E., Alagawany M. Use of fumaric acid as a feed additive in quail's nutrition: its effect on growth rate, carcass, nutrient digestibility, digestive enzymes, blood metabolites, and intestinal microbiota // *Poultry Science*. 2021. Vol. 100, No. 12. Article 101493. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101493>

11. Kanbur, G., Göçmen, R., & Ünal, K. (2024). Effect of high-fibre diets supplemented with banana leaf on growth performance, meat quality, and serum cholesterol of quail. *Tropical animal health and production*, 56(8), 265. <https://doi.org/10.1007/s11250-024-04139-z>

Information about the authors:

Livoshchenko Yevheniia Mykhailivna,

Candidate of Veterinary Science.

Associate Professor at the Department of internal medicine,

pharmacy and biochemistry

Sumy National Agrarian University

160, Herasya Kondratieva street, Sumy, Ukraine

Pavlovskiy Vadym Volodymyrovych,

Postgraduate Student at the Department of internal medicine, pharmacy

and biochemistry

Sumy National Agrarian University

160, Herasya Kondratieva street, Sumy, Ukraine

Livoshchenko Oleksii Ihorovych,

Student

Sumy National Agrarian University

160, Herasya Kondratieva street, Sumy, Ukraine

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕМОСТАТИЧНОЇ ПОВ'ЯЗКИ SPT® ЗА КРИТИЧНОЇ КРОВОТЕЧІ У СВИНЕЙ

Маркевич О. М., Мисак А. Р.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-695-9-4>

ВСТУП

Понад десять років війна, розв'язана росією проти України, спричинила і спричиняє сьогодні значні жертви серед населення нашої держави. Активні бойові дії супроводжуються травмами різного ступеня важкості, поміж яких найбільш небезпечними є вогнепальні та мінно-вибухові поранення, що призводять зазвичай до значної втрати крові і часто мають летальні наслідки. Від гострих кровотеч гинуть не тільки військові у зоні бойових дій, а й цивільні громадяни після ракетних обстрілів різних регіонів України. Тому, для збереження життя і здоров'я захисників України, а також цивільного населення, нині вкрай актуальними є питання організації тренінгів з надання догоспітальної допомоги при травмах та критичних кровотечах, при чому із залученням найбільш широкого кола громадян. Водночас важливо також вдосконалювати алгоритми та протоколи для системи екстреної медичної допомоги й невідкладних станів та медицини катастроф. Не менш критично важливим питанням, як показує сьогодні, є забезпечення потреб вітчизняної медицини сучасними ефективними кровоспинними засобами, яких як правдо, під час війни ніколи не буває забагато.

Слід зауважити, що для проведення лікувальних заходів у медичних закладах Європи низкою науковців розроблено «Європейські рекомендації щодо лікування великої кровотечі та коагулопатії після травми: 6-е видання»¹.

¹ Rossaint R, Afshari A, Bouillon B, Cerny V, Cimpoesu D, Curry N, Duranteau J, Filipescu D, Grottko O, Gronlykke L, Harrois A, Hunt BJ, Kaserer A, Komadina R, Madsen MH, Maegele M, Mora L, Riddez L, Romero CS, Samama CM, Vincent JL, Wiberg S, Spahn DR. The European guideline on management of major bleeding and coagulopathy following trauma: sixth edition. Crit Care. 2023 Mar 1;27(1):80. <https://doi:10.1186/s13054-023-04327-7>.

Зважаючи, що найбільша частка травматичних пошкоджень, що супроводжуються критичною кровотечею трапляється при надзвичайних ситуаціях та в умовах ведення бойових дій, численні наукові дослідження спрямовані на розробки, доповнення та удосконалення стандартів, які стосуються передусім бойових поранень, зокрема, TCCC (Tactical Combat Casualty Care) для військових та TECC (Tactical Emergency Casualty Care) для цивільних служб. В основу концепцій як першої, так і другої систем надання медичної допомоги покладено алгоритм MARCH, першочерговим завданням якого є ліквідація масивної кровотечі («М» – Massive Hemorrhage).

На сьогодні для зупинки критичної кровотечі застосовуються як новітні, так традиційні методи та засоби, зокрема: пальцеве притиснення магістральної артерії вище місця поранення; тампонування рани стерильними серветками у поєднанні з тиснучою пов'язкою; використання «ізраїльського бандажу» з аплікатором для тиску на рану (First Care Bandage); гемостатичного бинта типу Combat Gauze з компресійною пов'язкою; накладання джгутів та турнікетів (джгут Есмарха, сучасні високоєфективні турнікети С.А.Т. (Combat Application Tourniquet (США) чи сертифікований український аналог SICH) тощо.

Для зупинки кровотечі та зменшення крововтрати застосовують цілу низку засобів місцевої та загальної дії^{2, 3}. Ін'єкційні системні кровоспинні засоби, такі як транексамова кислота, тромбін, фібрин добре задекларували себе в умовах реанімації, однак, фактори ризику, пов'язані з їх застосуванням, включають легеневу емболію, тромбоз глибоких вен, внутрішньо судинне згортання крові^{4, 5}. Згортання може бути досягнуто матеріалами, які виявляють контактний кровоспинний характер, такими як хітозан, колаген, альгінат і цеоліт тощо^{6, 7}.

На даний час у військовій справі найчастіше використовують контактні хімічні гемостатики (найчастіше хітозан і коалін), які згущують кров

² Levy JH, Dutton RP, Hemphill JC, Shander A, Cooper D, Paidas MJ, Kessler CM, Holcomb JB, Lawson JH; Hemostasis Summit Participants. Multidisciplinary approach to the challenge of hemostasis. *Anesth Analg.* 2010;110(2):354-64. <https://doi.org/10.1213/ANE.0b013e3181c84ba5>.

³ Welch M, Barratt J, Peters A, et al. Systematic review of prehospital haemostatic dressings. *BMJ Mil Health* 2020;166:194-200. <https://doi.org/10.1136/jramc-2018-001066>.

⁴ Tomizawa Y. Clinical benefits and risk analysis of topical hemostats: a review. *J Artif Organs.* 2005;8(3):137-42. <https://doi.org/10.1007/s10047-005-0296-x>.

⁵ Seyednejad H., Imani M., Jamieson T., Seifalian A.M. Topical haemostatic agents. *British Journal of Surgery* 95 (10). 2008. 1197–1225. <https://doi.org/10.1002/bjs.6357>.

⁶ Cox ED, Schreiber MA, McManus J, Wade CE, Holcomb JB. New hemostatic agents in the combat setting. *Transfusion.* 2009 Dec;49 Suppl 5:248S-55S. <https://doi.org/10.1111/j.1537-2995.2008.01988.x>

⁷ Pourshahrestani S, Zeimaran E, Djordjevic I, Kadri NA, Towler MR. Inorganic hemostats: The state-of-the-art and recent advances. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2016 Jan 1;58:1255-68. Cox ED, Schreiber MA, McManus J, Wade CE, Holcomb JB. New hemostatic agents in the combat setting. *Transfusion.* 2009 Dec;49 Suppl 5:248S-55S. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.09.008>.

безпосередньо у рані і є ефективними для зупинки різних кровотеч, в тому числі критичних артеріальних та венозних. Таким чином, на світовому ринку гемостатичні засоби представлені в основному двома групами, що випускаються під торговими марками «QuikClot», та «Celox», центри яких знаходяться у США^{8, 9}. Серед кровоспинних засобів вітчизняних виробників, які можуть порівнюватися із рівнем Celox або QuikClot, слід відмітити гемостатичний бинт «Ревул» (Україна, фірма «ЮріяФарм») в основі якого використано гемостатик на основі хітозану¹⁰.

Кровоспинні засоби на основі активних мінеральних абсорбентів, зокрема каоліну, при контакті з кров'ю миттєво абсорбують молекули води в зоні кровотечі та формують, шляхом гемоконцентрації і місцевого накопичення в рані факторів зсідання крові, більш стійкий гемостаз через формування істинних тромбових утворень, але суттєво підвищують ймовірність некротичних процесів в тканинах ранового ложе і стінках пошкоджених судин. Крім цього, при використанні гемостатиків на основі мінеральних абсорбентів збільшується ймовірність тромбування судин, що ускладнює лікування. До того ж, вони не біодеградабельні, а тому потребують ретельного хірургічного висікання та тотального видалення тканин, що були в контакті із препаратом під час проведення первинної хірургічної обробки рани.

Гемостатики на основі похідних хітозану дуже швидко формують псевдотромби – кров'яні згустки, що запобігають кровотраті^{11, 12, 13, 14, 15}.

⁸ Welch M, Barratt J, Peters A, et al. Systematic review of prehospital haemostatic dressings. *BMJ Mil Health* 2020;166:194-200. <https://doi.org/10.1136/jramc-2018-001066>.

⁹ Boulton AJ, Lewis CT, Naumann DN, Midwinter MJ. Prehospital haemostatic dressings for trauma: a systematic review. *Emerg Med J*. 2018 Jul;35(7):449-457. <https://doi.org/10.1136/emered-2018-207523>. Epub 2018 May 4. PMID: 29728411.

¹⁰ Макогончук, А. (2022). Невідкладна медична допомога при зовнішніх кровотечах на догоспітальному етапі. *ТРАВМА*, 18 (2), 61–65. <https://doi.org/10.22141/1608-1706.2.18.2017.102560>.

¹¹ Kozen BG, Kircher SJ, Heno J, Godinez FS, Johnson AS. An alternative hemostatic dressing: comparison of CELOX, HemCon, and QuikClot. *Acad Emerg Med*. 2008 Jan;15(1):74-81. <https://doi.org/10.1111/j.1553-2712.2007.00009.x>.

¹² Sung YK, Lee DR, Chung DJ. Advances in the development of hemostatic biomaterials for medical application. *Biomater Res*. 2021 Nov 12;25(1):37. <https://doi.org/10.1186/s40824-021-00239-1> PMID: 34772454; PMCID: PMC8588689.

¹³ Дейнека В.М. Гемостатичні властивості нових тривимірних хітозанових матеріалів. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 222 «Медицина». – Навчально-науковий медичний інститут, Сумський державний університет, Суми, 2022. С. 207.

¹⁴ Fan P, Zeng Y, Zaldivar-Silva D, Agüero L, Wang S. Chitosan-Based Hemostatic Hydrogels: The Concept, Mechanism, Application, and Prospects. *Molecules*. 2023 Feb 3;28(3):1473. <https://doi.org/10.3390/molecules28031473>. PMID: 36771141; PMCID: PMC9921727

¹⁵ Gheorghită D, Moldovan H, Robu A, Bița AI, Grosu E, Antoniac A, Corneschi I, Antoniac I, Bodog AD, Băcilă CI. Chitosan-Based Biomaterials for Hemostatic Applications: A Review of Recent Advances. *Int J Mol Sci*. 2023 Jun 23;24(13):10540. <https://doi.org/10.3390/ijms241310540>. PMID: 37445718; PMCID: PMC10342007

Вони не формують справжніх тромбів, тому ризик тромбозу судин, хоча і залишається, але суттєво менший, ніж у гемостатиків на мінеральній основі. Така ситуація створює передумови до пошукових робіт для створення гемостатика, який здатний формувати тромб в рановому ложе, але тромбоутворення не поширювалось би на просвіт судин і матеріал гемостатика не викликав би некротичних процесів (був біосумісним) і біодеградабельним (виводився з організму за біодеструкції)^{16, 17}.

Важливо відмітити також, що хітозан відзначається широким спектром біологічних властивостей: не токсичний, біодеградабельний, прискорює регенерацію тканин, має гемостатичний ефект, імуномодулюючу та антибактеріальну здатність, що важливо для профілактики ранової інфекції^{18, 19}.

Згідно мета-аналізу наукової літератури^{20, 21, 22, 23, 24, 25} можна відмітити, що ідеальна гемостатична пов'язка має володіти комплексом унікальних властивостей та відповідати низці жорстких вимог. Однак, оскільки на сьогодні ідеальну пов'язку ще не створено, відповідно, постає потреба у проведенні широкомасштабних міждисциплінарних досліджень у цьому напрямку.

¹⁶ Khan MA, Mujahid M. A review on recent advances in chitosan based composite for hemostatic dressings. *Int J Biol Macromol*. 2019 Mar 1;124:138-147. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.045>. Epub 2018 Nov 14. PMID: 30447365.

¹⁷ Zhang S, Lei X, Lv Y, Wang L, Wang LN. Recent advances of chitosan as a hemostatic material: Hemostatic mechanism, material design and prospective application. *Carbohydr Polym*. 2024 Mar 1;327:121673. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121673>. Epub 2023 Dec 9. PMID: 38171686

¹⁸ Dai, T., Tanaka, M., Huang, Y. Y., & Hamblin, M. R. (2011). Chitosan preparations for wounds and burns: antimicrobial and wound-healing effects. *Expert Review of Anti-Infective Therapy*, 9(7), 857–879. <https://doi.org/10.1586/eri.11.59>.

¹⁹ Tan, H.; Ma, R.; Lin, C.; Liu, Z.; Tang, T. Quaternized Chitosan as an Antimicrobial Agent: Antimicrobial Activity, Mechanism of Action and Biomedical Applications in Orthopedics. *Int. J. Mol. Sci.* 2013, 14, 1854–1869. <https://doi.org/10.3390/ijms14011854>.

²⁰ Pusateri AE, Holcomb JB, Kheirabadi BS, Alam HB, Wade CE, Ryan KL. Making sense of the preclinical literature on advanced hemostatic products. *J Trauma*. 2006 Mar;60(3):674-82. <https://doi.org/10.1097/01.ta.0000196672.47783.fid>.

²¹ Arnaud F, Parreño-Sadalan D, Tomori T, Delima MG, Teranishi K, Carr W, McNamee G, McKeague A, Govindaraj K, Beadling C, Lutz C, Sharp T, Mog S, Burris D, McCarron R. Comparison of 10 hemostatic dressings in a groin transection model in swine. *J Trauma*. 2009 Oct;67(4):848-55. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e3181b2897f>.

²² Arnaud F, Teranishi K, Tomori T, Carr W, McCarron R. Comparison of 10 hemostatic dressings in a groin puncture model in swine. *J Vasc Surg*. 2009 Sep;50(3):632-9. 639.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2009.06.010>. PMID: 19700097

²³ Littlejohn LF, Devlin JJ, Kircher SS, Lueken R, Melia MR, Johnson AS. Comparison of Celox-A, ChitoFlex, WoundStat, and combat gauze hemostatic agents versus standard gauze dressing in control of hemorrhage in a swine model of penetrating trauma. *Acad Emerg Med*. 2011 Apr;18(4):340-50. <https://doi.org/10.1111/j.1553-2712.2011.01036.x>.

²⁴ Peng HT. Hemostatic agents for prehospital hemorrhage control: a narrative review. *Mil Med Res*. 2020 Mar 25;7(1):13. <https://doi.org/10.1186/s40779-020-00241-z>.

²⁵ Guo Y, Wang M, Liu Q, Liu G, Wang S, Li J. Recent advances in the medical applications of hemostatic materials. *Theranostics*. 2023 Jan 1;13(1):161-196. <https://doi.org/10.7150/thno.79639>. PMID: 36593953; PMCID: PMC9800728.

Колективом науковців кафедри органічної хімії Національного університету «Львівська політехніка» під керівництвом доктора хімічних наук, професора Володимира Самарика розроблено матеріали для створення нової кровоспинної пов'язки, що поєднує в своєму складі гемостатичний засіб і гідрогелеве покриття. Іноваційність розробки є унікальною і не має аналогів у світі. Однак, перед апробацією та впровадженням новоствореного виробу в практику ветеринарної чи гуманної медицини важливими є доклінічні випробування *in vivo* на релевантних експериментальних тваринах^{26, 27}. Результати експерименту можуть бути важливими для подальших клінічних досліджень у ветеринарній і гуманній медицині, а також для промислового виробництва новоствореного гемостатичного засобу та його широкого застосування за критичних кровотеч та порятунку життя людей.

1. Вибір напрямків досліджень

Характеристика гемостатичних бинтів, представлених для випробовування

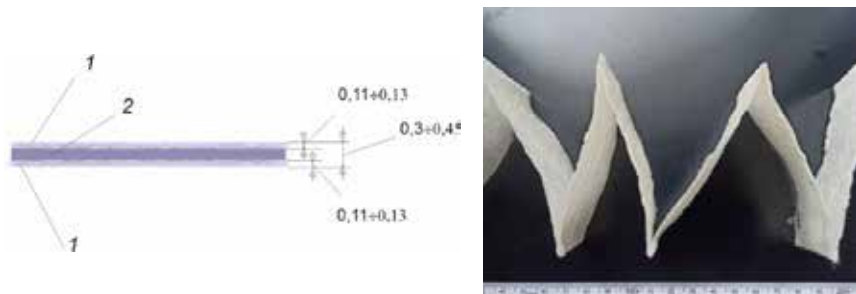
Для доклінічного випробування *in vivo* представлено зразки гемостатичних бинтів розміром 75x1 500 мм із усередненою товщиною 0,5 мм. Конструкція виробу спроектована за принципом «сендвіч»-побудови (рис. 1). Зовнішні шари (верхній та нижній) виконують дренажну, рідину розподільчу, армуючу, біоадгезивну функції. Матеріалом для цих шарів слугує гідрофілізоване неткане поліпропіленове полотно щільністю 9–11 г/м², яке було апретовано пектиновим ксерогелем (пектиновий ксерогель містить іони кальцію).

Позначення бинтів АХД-**: АХД – *альгінатно-хітозанова похідна (дереват)* – перехресно-структурований кополімер альгінату натрію та хітозану. АХД нанесений на поверхню бинта у вигляді водної дисперсії з пластифікаторами. Пластифікатором виступає гліцерин та ПЕГ-400.

** – число вказує кількість АХД, що нанесено на 1 дм² в вигляді дисперсії. Якщо 100 на поверхню нанесено 1,0 г АХД, 80 – 0,8 г, 120 – 1,2 г. Реально, в результаті контракції пластини під час висушування, пресування діючої речовини на квадратний дециметр більше – при 100 ця кількість становить 1,18÷1,22 г, при 80 – 0,96 ÷1,1 г. Пластифікаторів 25÷30%, води – 10 ÷18%.

²⁶ Kotsiumbas, I.Ya., Malyk, O.H., Patereha, I.P. (2006). Doklinichni doslidzhennia veterynarnykh likarskykh zasobiv. Lviv : Triada plus. 360. [in Ukrainian].

²⁷ Swindle, M.M. (Ed.). (2007). Swine in the Laboratory: Surgery, Anesthesia, Imaging, and Experimental Techniques, Second Edition (2nd ed.). CRC Press. <https://doi/10.1201/9781420009156>.



**Рис. 1. Схематичне відображення конструкції виробу;
1 – шар поліпропіленового спанбонду щільністю 9 г/дм²,
апретованого пектиновим ксерогелем 0,05 г/дм²; 2 – внутрішній шар
АХД полімеру**

Внутрішній шар виробу містить гемостатичний полімер АХД (альгінат хітозановий дереват) в пластифікаторі (гліцерині). Співвідношення АХД: гліцерин становить 1:1. Основні характеристики бинтів до використання та після використання для зупинки критичних кровотеч в піддослідних тваринах (свинях) наведені в таблиці 1. В цій же таблиці приведені дані (експериментальні), що характеризують бинт-порівняння й кількості поглинутої крові та ступені використання ємності абсорбційного шару.

Таблиця 1

**Характеристики бинтів, що використовувалися у дослідженнях
in vivo (відповідно до порядку рандомізованого застосування)**

№ свині	Тип бинта	Склад внутрішнього шару, г/дм ²			Параметри бинта до використання			Параметри бинта після використання		
		АХД	Гліцерин	Вода	Маса, г	Площа, дм ²	Абсорбційна спроможність по крові, г	Кількість поглинутої крові, г	Задіяна площа, %	% абсорбційної ємності бинта, %
1	CEL+Rapid	1,02 Похідні хітозану			28	11,4	210÷230	51	100	22÷24
2	АХД100	1,02	0,98	0,21	34,0	11,2	160÷230	–	~50	22÷32
3	CEL+Rapid	1,02 Похідні хітозану			28	11,4	210÷230	60	~100	22÷24
4	АХД120	1.21	1.18	1.03	43.6	11,2	180÷250	106	~100	24÷33

Основний принцип дії представленого виробу медичного призначення – пов'язки (бинта АХД) – зупинка зовнішньої кровотечі за принципом хімічного гемостазу шляхом утворення альгінатно-хітозанового гемостатичного шару, завдяки сепарації та аглютинації формених елементів крові та коагуляції білків плазми.

Загальновідомо, що розробка будь-якого нового лікарського засобу чи виробу медичного застосування є поетапним процесом, що включає проведення низки досліджень, в тому числі доклінічних та клінічних, метою яких є отримання даних щодо безпечності засобу для організму тварин і людини та ефективності його застосування.

На рис. 2 представлено зрізки кровоспинних бинтів, які були використані у випробуваннях, зокрема бинт Celox Rapid (1.5 m Z-Fold CE MDR MTP-22-2420, Швеція, Великобританія) – служив контрольним зрізком та новостворені бинти АХД 100 й АХД 80, що піддавалися дослідженням.

Для отримання більш детальної інформації про новостворену кровоспинну пов'язку та інгредієнти (альгінат-хітозановий дереват (АХД), гліцерин та ПЕГ-400), які входять до її складу, а також для всебічного оцінювання та встановлення побічних реакцій чи можливих ризиків їх використання тощо, були проведені попередні доклінічні дослідження на лабораторних щурах та кролях. Дослідження проводилися в умовах віварію та лабораторій ДНДКІ ветеринарних препаратів та кормових добавок м. Львів.

Оскільки кровоспинна пов'язка призначена для місцевого зовнішнього застосування згідно регламенту були проведені дослідження щодо визначення параметрів гострої та підгострої токсичності при одноразовому



Рис. 2. Зрізки гемостатичних бинтів використаних у дослідженнях

та довготривалому нашкірному застосуванні, вивчення подразнюючої дії на шкіру та подразнюючої дії на слизову оболонку ока.

Встановлено, що одноразове нашкірне нанесення досліджуваного засобу в дозі 2000 мг/кг маси тіла (за експозиції 24 год) не викликало загибелі дослідних щурів, а також ознак збудження чи сонливості, тремтіння, порушення координації рухів, судом, утрудненого дихання, слиновиділення, блювоти, блідості слизових оболонок чи інших симптомів, що могли свідчити про ознаки гострого отруєння. Встановлено також, що одноразова нашкірна аплікація досліджуваного засобу (за експозиції 4 год) в кролів, а також його тривале (28-ми добове) нашкірне застосування в дозах 0,1; 0,25; та 0,5 мл/кг маси тіла у щурів не спричиняло захворювань та загибелі лабораторних тварин та не викликало шкідливої дії на шкіру. Водночас, після довготривалого застосування засобу в щурів, відмічено несуттєві зміни показників крові, а також незначні зміни коефіцієнтів маси внутрішніх органів лабораторних тварин. Зокрема 28-ми добове нашкірне застосування досліджуваного засобу у тварин дослідної групи викликало зростання вагового коефіцієнту маси печінки ($p < 0,01$), селезінки ($p < 0,01$), серця, нирок ($p < 0,05$) порівняно з величинами контрольної групи. У крові відмічено невірогідне зростання концентрації гемоглобіну, кількості еритроцитів, лейкоцитів, величини гематокриту, кількості тромбоцитів, середнього вмісту гемоглобіну в еритроциті (МСН) та середнього об'єму еритроцита (МСV) на тлі зниження середньої концентрації гемоглобіну в еритроциті (МСНС), порівняно до показників у тварин контрольної групи. У лейкограмі відзначали зростання кількості лімфоцитів на тлі зниження кількості моноцитів та гранулоцитів. Біохімічні показники сироватки крові характеризувалися незначним зростанням вмісту альбуміну, рівня креатиніну ($p < 0,05$), активності АсАТ, АлаТ, ЛДГ ($p < 0,05$), холестеролу, рівня Са ($p < 0,05$), Р на тлі незначного зниження рівня загального білка, сечовини, ЛФ, ТАГ, СЛ та білірубину.

Встановлені зміни в окремих морфологічних та біохімічних показниках крові, а також незначні зміни коефіцієнтів маси внутрішніх органів лабораторних тварин (печінки, селезінки, серця, нирок) можуть свідчити про адаптивно-приспосувальну реакцію організму на тривале поступлення в їх організм сторонніх речовин, а саме інгредієнтів досліджуваного засобу.

На підставі аналізу та узагальнення отриманих результатів досліджень встановлено, що досліджуваний засіб і зокрема інгредієнти (альгінат-хітозановий дереват (АХД), гліцерин та ПЕГ-400), належить до малотоксичних речовин, що відповідають 4-му класу токсичності згідно

класифікації УГС^{28, 29}. (Звіт ДНДКІ ветеринарних препаратів та кормових добавок «Визначення параметрів гострої та підгострої токсичності, вивчення впливу на шкіру та подразнюючої дії кровоспинної пов'язки SPT для воєнно-польової медицини» затверджений 29 вересня 2024 р.).

Отже, встановлений за результатами досліджень на лабораторних тваринах 4-й клас токсичності кровоспинної пов'язки став підставою для проведення подальших експериментальних випробувань досліджуваного засобу на тваринах інших видів у якості кровоспинного препарату.

Клініко-експериментальне обґрунтування застосування модифікованого кровоспинного бинта за критичної кровотечі у свиней

Клінічні дослідження та випробування ефективності гемостатичної пов'язки SPT® щодо зупинки критичної кровотечі у свиней були проведені в рамках виконання науково-дослідної роботи за господарським договором, який фінансувався українським замовником. Відповідно до договорів № 196-04-24, від 24.04. 2024 р та № 261-06-24 від 19.06.2024 р. між товариством з обмеженою відповідальністю «СПТ Україна» (м. Київ) та ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького дослідження було розділено на два етапи (пілотний та основний проект).

Пілотний проект мав на меті перевірити концепцію щодо гемостатичної дії новоствореної пов'язки, уточнити дозування компонентів, відпрацювати методику застосування пов'язки, виявити ризики використання чи побічні реакції, вияснити критерії оцінки ефективності застосування виробу, оптимізувати дизайн дослідження та відпрацювати основні елементи техніки проведення експерименту. Метою основного проекту було проведення масштабних випробувань на більшій кількості тварин для статистичного підтвердження клінічної ефективності гемостатичної пов'язки.

Доклінічні експериментальні дослідження ефективності кровоспинної пов'язки SPT® за критичної кровотечі, змодельованої шляхом розсікання стегнової артерії у тварин, виконано в умовах клініки кафедри хірургії ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького на 12 свинях (*Sus scrofa domestica*; породи F1 (Камборо) велика біла плюс ландрас), живою масою 45 ± 3 кг.

²⁸ Маркевич, О., та Мисак, А. (2025). Дослідження шкірної токсичності гемостатичної пов'язки SPT при тривалому використанні. Науковий вісник ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. Серія: Ветеринарні науки, 27 (118), 1830–188. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11826>.

²⁹ Маркевич О.М., Мисак А.Р., Хомин Н.М., Дудчак І.П. Визначення параметрів токсичності кровоспинної пов'язки виготовленої на основі альгінатно-хітозанових похідних. Матеріали всеукраїнської конференції «На зламі століть: спадщина та інновації в сучасній ветеринарній фармакології і токсикології» (м. Львів, 13–14 листопада 2025р.). Львів, 2025. с. 81–83. <https://doi.org/10.32718/konf.13-14.11.2025>

Проведення досліджень на свинях обумовлено потребою отримання найбільш реалістичних даних експерименту^{30, 31, 32, 33}. Адже, особливості будови тіла свині, а перш за все анатомія судин, а також перебіг фізіологічних процесів у цього специфічного виду тварин, схожого до людського, дають можливість відтворити нативні кровотечі та гемостаз, оцінити загоєння ран тощо. Використання інших моделей дослідження, в тому числі математичного чи комп'ютерного моделювання, або умов *in vitro* чи інших моделей не дають змоги забезпечити реалістичність досліджень і, відповідно, отримати адекватні результати. Слід підкреслити, що результати експерименту на релевантних тваринах (свинях) є вкрай цінними як для ветеринарної, так і медичної практики при наданні домедичної допомоги за критичних кровотеч, що є особливо важливим у випадках порятунку життя людей постраждалих внаслідок бойових дій та під час виникнення надзвичайних ситуацій.

Дослідження проводили згідно принципів біоетики, що ґрунтуються на концепції 3 «R» (Replacement, Reduction, Refinement), а саме – заміні тварин, де можливо; використанні мінімально необхідної кількості тварин; гуманному поводженні з тваринами та застосуванні адекватного знеболення. Упродовж періоду проведення досліджень тварини перебували в стаціонарі клініки хірургії, були забезпечені їжею, водою та доглядом, що відповідають вимогам їх стану здоров'я та умовам утримання, властивим для даного виду тварин.

Виконання технічних завдань експерименту здійснювали з дотриманням положень «Європейської конвенції про захист хребетних тварин, які використовуються для експериментальних та інших наукових цілей»³⁴, у відповідності до Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» від 28.03.2006 р. № 27, наказу МОН № 249 від 01.03.2012 р. «Про затвердження Порядку проведення науковими установами дослідів, експериментів на тваринах» та з дозволу Комісії з використання тварин

³⁰ Swindle MM, Smith AC. 1998. Comparative anatomy and physiology of the pig. *Scand J Lab Anim Sci* 25(Suppl 1):1-10.

³¹ Verma N, Rettenmeier AW, Schmitz-Spanke S. Recent advances in the use of *Sus scrofa* (pig) as a model system for proteomic studies. *Proteomics*. 2011 Feb;11(4):776-93. <https://doi.org/10.1002/pmic.201000320>. Epub 2011 Jan 13. PMID: 21229584.

³² Bassols A, Costa C, Eckersall PD, Osada J, Sabrià J, Tibau J. The pig as an animal model for human pathologies: A proteomics perspective. *Proteomics Clin Appl*. 2014 Oct;8(9-10):715-31. <https://doi.org/10.1002/prca.201300099>. Epub 2014 Sep 15. PMID: 25092613.

³³ Mukherjee P, Roy S, Ghosh D, Nandi SK. Role of animal models in biomedical research: a review. *Lab Anim Res*. 2022 Jul 1;38(1):18. <https://doi.org/10.1186/s42826-022-00128-1> PMID: 35778730; PMCID: PMC9247923.

³⁴ Official Journal of the European Union L276/33, 2010. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/63/oj>

та етичної експертизи ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького (протокол № 21 від 07.05.2024 р.).

Мета роботи полягала у встановленні терапевтичної ефективності застосування гемостатичної пов'язки SPT® за критичної кровотечі у свиней.

Об'єкт дослідження – первинний та вторинний гемостаз, гемостатичні властивості кровоспинної пов'язки SPT® застосованої за критичної кровотечі змодельованої розсіканням стегнової артерії у свині.

Предмет дослідження – оцінювання (визначення) ефективності застосування новоствореної гемостатичної пов'язки за зупинки критичної кровотечі та недопущення масивних крововтрат в експериментальних тварин.

Основним завданням було: дослідити кровоспинну ефективність застосування гемостатичної пов'язки SPT® за критичної кровотечі в експериментальних тварин; встановити гемостатичні властивості, кровопоглинаючу адсорбційну здатність пов'язки, швидкість і якість гемостазу, об'єм крововтрати, особливість відновлення кровотоку в проксимальній ділянці кінцівки, загоєння рани та відновлення функції ураженої частини тіла.

Реалізація технічних завдань експерименту полягала у наступному:

- проведення клінічних та гематологічних досліджень з метою встановлення клінічного стану експериментальних тварин до проведення експерименту, а також встановлення стану системи гемостазу за показниками коагулограми перед оперативним втручанням;

- моделювання у наркотизованих дослідних тварин (свиней) поранення в ділянці паху та створення гострої артеріальної кровотечі шляхом поздовжнього розсікання стегнової артерії;

- рандомізування дослідних свиней на дві групи (дослідних і контрольних тварин) та проведення зупинки кровотечі, шляхом тугого тампонування рани, у дослідних тварин новоствореною пов'язкою SPT® (тип бинта АХД), у контрольних – кровоспинною пов'язкою Celox Rapid;

- дослідження кровоспинної здатності гемостатичної пов'язки SPT® та пов'язки Celox Rapid їх кровопоглинаючої властивості (адсорбційної здатності), швидкості і якості гемостазу, об'єму крововтрати, відновлення кровотоку в проксимальній ділянці тіла тварини.

- дослідження клінічного стану тварин, морфологічних і біохімічних показників крові та коагулограми впродовж післяопераційного спостереження (3 год після операції, а також на 2, 7, 10 добу). Дослідження загоєння рани та відновлення функції ураженої (пораненої) частини тіла (кінцівки).

2. Матеріали і методи дослідження

Дослідження клінічного стану тварин в експерименті

З метою встановлення клінічного стану тварин задіяних у досліді до та після оперативного втручанням проводили фізикальне обстеження за загальноприйнятими методиками³⁵ та відбирали кров для лабораторного дослідження. Під час проведення операції клінічний стан та фізіологічні показники піддослідних тварин контролювали за допомогою модульного монітора пацієнта Q5 Biolight Meditech Co., Ltd, (США). У післяопераційний період за тваринами вели клінічні спостереження, вивчали постгеморагічний клінічний стан тварин та особливу увагу приділяли процесу загоєння операційних ран, зокрема оцінювали їх характер і зовнішній вигляд, наявність чи відсутність гнійних або фібринозних нашарувань, крововиливів, набряку, стан тканин навколо рани, місцеву температуру, колір, рухливість та болючість шкіри, стан кооптації країв рани, наявність сером тощо. При наявності ранових виділень оцінювали їх кількість, консистенцію, колір, запах тощо.

Методика моделювання критичної кровотечі та встановлення гемостазу за використання гемостатичних бинтів

Проведення оперативного втручання щодо моделювання критичної кровотечі у свиней виконували за застосування загального знеболювання. Анестезіологічне забезпечення здійснювали відповідно до важкості і тривалості операції, зокрема, тваринам в експерименті було застосовано комбінований наркоз згідно наступного протоколу: премедикація – атропіну сульфат (ПрАТ «Фармацевтична фірма «Дарниця», Україна) у дозі 0,05 мг/кг (в/м) та стресніл (азаперон (Стресніл: Elanco, (США)), 2,5 мг/кг (в/м). Індукція загальної анестезії – тилетамін/золазепам (Virbac.S.A) в/м у дозі 6 мг/кг, та, після катетеризації вени (встановлення периферичних катетерів із боковим портом на велику вушну вену обидвох вух) – пропофол (Propofol Lipuro: B. Braun, Німеччина) у дозі 10 мг/кг (в/в), Ketamin 5% (АТ «Farmak», Україна) у дозі 5–10 мг/кг/год, в/в. Для підтримання анестезії проводили інтубацію тварини та застосовували ізофлуран (Isoflurane, USP, Vetpharma, Іспанія) від 1% до 5%. Під час процедури внутрішньовенно вводили розчин лактату Рінгера.

Оперативне втручання проводили із дотримання правил асептики та антисептики. Тварин фіксували на операційному столі у спинному положенні.

³⁵ Клінічна діагностика хвороб тварин / В.І. Левченко, В.В. Влізло, І.П. Кондрахін та ін.; за ред. В.І. Левченка, В.М. Безуха. Біла Церква, 2017. 544 с.

Хірургічне моделювання критичної кровотечі у тварин здійснювали в лівій (або правій) пахвині, в ділянці стегнового каналу. Місце локалізації стегнової артерії (a. femoralis) визначали пальпаторно – відповідно до місця відчуття пульсації судини або за допомогою УЗ-дослідження.

Розріз шкіри, довжиною 4–6 см, проводили по ходу волокон чотирихоголового м'язу стегна (m. quadriceps femoris, m. rectus femoris) та тупим способом або за допомогою ножиць відпрепарували глибше лежачі тканини до розташування стегнового каналу. Слід зауважити, що загальна стегнова артерія у свиней є захищеною у тканинах тазу (внутрішньо тазова локалізація), а анатомічно доступною є лише її гілка – поверхнева стегнова артерія. Таким чином, після візуалізації поверхневої стегнової артерії на неї накладали два гумових турнікети із проміжком 2 см. При цьому турнікети не затягували, а використовували лише як фіксатори судини під час її розсікання. Не проводили також й ізольованого тотального відпрепарування артерії, оскільки така процедура призводить до миттєвого рефлекторного звуження діаметру судини, що є небажаним у даному експерименті.

Поздовжнє розсікання стегнової артерії (довжиною 1 см) виконували за допомогою гострокінцевого скальпеля (лезо № 11) і створювали впродовж 30 (пілотний проект) та 45 секунд (основний дослід) вільну кровотечу^{36, 37}. Ознакою критичної кровотечі вважали фонтан крові з рани, або ж утворення (впродовж контрольованого часу – 30 (45) секунд плями крові площею більше 20–30 см в діаметрі.

Подальший дизайн досліджень, зокрема в процедурі зупинення критичної кровотечі шляхом застосування кровоспинних бинтів, полягав у наступному:

- 12 дослідних тварин (n = 4 – пілотний проект та n = 8 – основний дослід) шляхом рандомізування розподілили на дві групи: дослідну (n=9) та контрольну (n = 3);

- зупинку кровотечі, здійснювали шляхом тугого тампонування порожнини рани, у дослідних тварин новоствореною пов'язкою SPT® (тип бинта АХД 100 або АХД 80), у контрольних – кровоспинним бинтом Celox Rapid (1.5m Z-Fold CE MDR MTP-22-2420, Швеція, Великобританія), який

³⁶ Kheirabadi BS, Arnaud F, McCarron R, Murdock AD, Hodge DL, Ritter B, Dubick MA, Blackbourne LH. Development of a standard swine hemorrhage model for efficacy assessment of topical hemostatic agents. *J Trauma*. 2011 Jul;71(1 Suppl):S139-46. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e318221931e>. PMID: 21795871.

³⁷ Gerling KA, Kersey AJ, Lauria AL, Mares JA, Hutzler JD, White PW, Abel B, Burmeister DM, Propper B, White JM. Evaluation of novel hemostatic agents in a coagulopathic swine model of junctional hemorrhage. *J Trauma Acute Care Surg*. 2023 Aug 1;95(2S Suppl 1):S144-S151. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000004071>. Epub 2023 Jun 1. PMID: 37259206; PMCID: PMC10389358

є класичним представником гемостатичних матеріалів і має доведену кровоспинну ефективність.

В обох випадках для зупинення кровотечі кінець бинта вставляли в рану, швидко та щільно заповнювали її порожнину, послідовно розкладаючи складанку бинта. Після щільного заповнення (тампонування) рани, її поверхню притискали долонею або пальцями руки впродовж 2–3 хвилин та візуально встановлювали час припинення кровотечі, тобто миттєвий гемостаз:

- в подальшому на краї ран, ложе яких було заповнене кровоспинними бинтами, накладали провізорні вузлові шви, створюючи умови прототипу тиснутої пов'язки, терміном на 180 хвилин. За використання УЗД функції доплера визначали стан кровоплину в периферичній ділянці рани;

- через 180 хвилин знімали провізорні шви, відкривали рану та видаляли бинти. Стан відстроченого (вторинного) гемостазу оцінювали візуально (за умови послаблених турнікетів). При цьому звертали увагу на наявність чи відсутність відновлення кровотечі, наявність чи відсутність тромба, якість кров'яного згустка та його здатність утримуватися на поверхні рани судини тощо. Застосовували також тест Пертеса (5 разове згинання та розгинання пораненої кінцівки) – провокативний тест відновлення кровотечі.

- після завершення обстеження рани, у випадку встановленого відновлення кровотечі на створений дефект стегнової артерії накладали судинний шов, а краї шкірної рани кооптували шляхом накладання глухого петлеподібного шва. За відсутності відновленої кровотечі зашивали лише шкірну рану, при цьому щільно підхоплювали глибше лежачі тканини. За використання ультразвукової доплерографії визначали стан кровоплину в тканинах периферичної ділянки рани.

Для встановлення загального об'єму втраченої підчас експерименту крові, а також кровопоглинаючої адсорбційної здатності пов'язки зважували усі салфетки із зібраною кров'ю та просочені кров'ю гемостатичні бинти.

З метою відновлення втраченого об'єму крові під час проведення операції та в період 3-ох годинного спостереження тваринам обох груп проводили інфузійну терапію (введення кристалоїдів).

Визначення гематологічних показників

З метою з'ясування функціонального стану життєво важливих органів і систем організму свиней, до та після проведення оперативного втручання та масивної втрати крові, а також на 2, 7 і 10 добу експерименту, в період відновлення крововтрати та загоєння рани, проводили забір крові із вушної вени для дослідження морфологічних і біохімічних показників та коагулограми.

Гематологічні дослідження включали визначення кількості еритроцитів (RBC), лейкоцитів (WBC), тромбоцитів (PLT), величини гематокриту (Hct), гемоглобіну (Hgb), середню концентрацію гемоглобіну (MCHC), середній корпускулярний об'єм (MCV), виведення лейкограми. Із біохімічних показників визначали вміст загального протеїну та його фракцій у плазмі крові, активність аспарагінової (AcAT) та аланінової (AlAT) амінотрансфераз, лужної фосфатази, вміст загального білірубіну, креатиніну, сечовини неорганічного фосфору та загального кальцію. Дослідження проводили з використанням ветеринарного гематологічного аналізатора Heska Element HT5, автоматичного біохімічного експрес-аналізатора FUJI DRI-CHEM NX500 (IRISMED), що працює за принципом «сухої хімії» з використанням слайдів. Встановлення показників системи згортання крові проводили на напівавтоматичному коагулометрі HTI TS 4000 (HTI, США), при цьому визначали: протромбіновий час (PT, Prothrombin time), АЧТЧ (активованій частковий тромбопластиновий час, Partial thromboplastin time), тромбіновий час (TT), фібриноген (Fibrinogen), Міжнародне нормалізоване відношення (INR), протромбіновий індекс (PT %).

Інструментальні методи дослідження

Проведення ультразвукографічних та рентгенографічних досліджень було спрямовано на визначення кровоплину в ділянці травми і периферичних тканинах, а також для дослідження посттравматичного стану стегнової артерії.

Тварин фіксували на операційному столі в спинному положенні із відведеною латерально тазовою кінцівкою. Ультразвукове дослідження тканин та судин в ділянці стегнового каналу виконували ультразвуковим приладом “ESAOTE MyLab 40” за використання конвексного датчика у В-режимі при частоті 5,0–7,5 МГц на різних глибинах. Окрім загальноприйнятого оглядового сонографічного дослідження тканин в місці нанесення травми було застосовано доплерографію для визначення кровоплину в тканинах пахвини, а також стану периферичних судин і їх прохідності. Для всіх вимірювань датчик розташовували перпендикулярно до довгої осі артерії. Технічне виконання сонографічного обстеження судин, визначення їх місцезнаходження, зокрема ідентифікацію стегнової артерії і периферичних судин кінцівки, а також проведення замірів досліджуваних анатомічних структур судин, інтерпретацію отриманих результатів здійснювали згідно методичних

рекомендацій^{38, 39}. Слід відмітити, що сонографія є неінвазивним методом діагностики, який дозволив проводити багаторазові обстеження, не спричиняючи додаткового променевого навантаження на організм, а також оцінювати стан досліджуваних тканин в режимі реального часу.

На завершальному етапі експерименту проводили рентгеноконтрастну ангіографію метою якої була візуалізація анатомічних особливостей кровоплину (утворення колатералей), а також встановлення можливих патологічних змін стегнової артерії та периферичних судин тазової кінцівки. Дослідження проводили за використання портативного рентгенапарата Portable Dental X-ray NR-F300 NANORAY Co., Ltd. (South Korea) та приймача цифрової обробки рентгенівського зображення Digital X-Ray detector IONA-FPD-2430 s n EW-3500 TELEOPTIC. Ltd. (Ukraine). Рентгенографію виконували у боковій проекції, за експозиції 1 сек, напруги струму на трубці kV/mA – 70/60 kV/3mA та фокусної відстані 30–40 см.

Зазвичай, за виконання ангіографії внутрішньосудинне введення контрастного препарату здійснюють шляхом катетеризації стегнової артерії, рідше інших судин. Однак, у зв'язку із необхідністю дослідження саме стегнової артерії, таку маніпуляцію здійснювали через аорту. Доступ до поперекового відділу аорти виконували тваринам під загальним наркозом, шляхом лапаротомії по білій лінії в поза пупкової ділянці живота.

Для внутрішньоаортного введенням контрастного препарату було застосовано модифікований метод Сельдінгера (Seldinger)⁴⁰, який полягав у пункції аорти голкою, через яку вводили в просвіт судини тонкий провідник, а по ньому заводили в судину поліетиленовий катетер зовнішній діаметр якого становив 1,2–1.5 мм. Рентгеноконтрастний йодовмісний препарат Томогексол 350 (Farmak, Україна) вводили болюсно в об'ємі 20 мл. Рентгенапарат вмикали уже в момент введення під тиском в аорту половини об'єму томогексолу.

³⁸ Pellerito John S., Polak Joseph F.; *Editore: Elsevier Health Sciences Division* ; Anno: 2019; Rilegatura: Hardback ; Page: 882 p.

³⁹ Zuo K, Koh LB, Charles CJ, Yim EK, Lim J, Li RR, Leo HL, Cui F, Ho P. Measurement of the Luminal Diameter of Peripheral Arterial Vasculature in Yorkshire × Landrace Swine by Using Ultrasonography and Angiography. *J Am Assoc Lab Anim Sci.* 2020 Jul 1;59(4):438-444. <https://doi:10.30802/AALAS-JAALAS-19-000153>.

⁴⁰ SELDINGER SI. Catheter replacement of the needle in percutaneous arteriography; a new technique. *Acta Radiol (Stockh).* 1953 May;39(5):368-76. <https://doi:10.3109/00016925309136722>. PMID: 13057644

Як засвідчили результати пілотного проекту за вивчення ангиограм та проведення аналізу результатів контрастної ангиографії нерідко виникають труднощі із встановленням локації безпосереднього місця розсікання стегнової артерії. З цією метою нами було застосовано маркування місця ангиотомії (рис. 3) шляхом введення у чотирихоловий м'яз стегна рентгено контрастних міток, а саме двох металевих дужок Мішеля, які фіксували обабіч судини на рівні місця її розсікання.

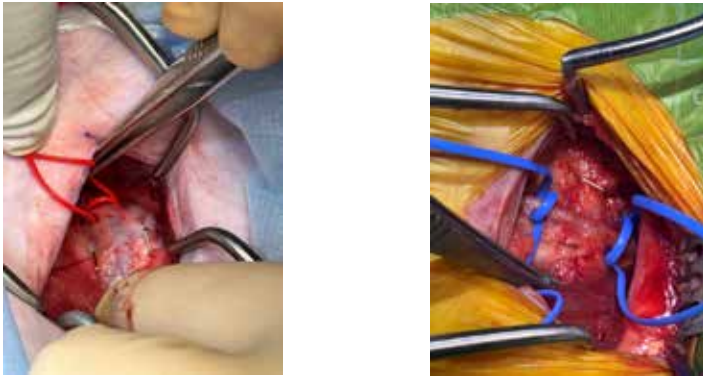


Рис. 3. Використання металевих дужок Мішеля для маркування та встановлення локації на ангиограмах місця розсікання судини

Патоморфологічні дослідження

Для виявлення можливого ятрогенного впливу гемостатичних бинтів на травмовану судину і тканини ранового ложа нами проведено інцизійну біопсію зразків м'язової тканини, що вистилала дно і стінки рани. Матеріал для гістологічного дослідження відібрали як прижиттєво, через 3 години після проведення процедури зупинки кровотечі, так і після евтаназії, яку проводили на 14–20 добу експерименту. Патоморфологічні дослідження проводили в лабораторії кафедри гістології та патологічної анатомії ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького (за сприяння та допомоги завідувача лабораторії О.О. Зайцева).

Гістологічне дослідження виконували згідно з стандартною методикою^{41, 42}. Із кожного відібраного матеріалу вирізали 3–4 зразки

⁴¹ Горальський Л.П., Хомич В.Т., Кононський О.І. Основи гістологічної техніки і морфофункціональні методи дослідження у нормі та при патології : навчальний посібник / за редакцією Л.П. Горальського. Житомир : Полісся, 2005. 288 с. – ISBN 966-655-152-7

⁴² Mulisch, M., Welsch, U. (2010). Romeis Mikroskopische Technik. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-8274-2254-5>

та фіксували їх у 10% нейтральному водному розчині формаліну. Після фіксації відібрані зразки промивали у водопровідній воді упродовж доби та проводили через спирти зростаючої концентрації і заливали у парафінові блоки. Виготовлені гістозрізи товщиною 7 мкм фарбували гематоксиліном Майєра і еозином та вивчали під світловим мікроскопом Leica DM-2500 з камерою Leica DFC450C та програмним забезпеченням Leica Application Suite 4.4, при збільшенні у 50–1000 разів.

При виконанні експериментальних досліджень проводили фотографування піддослідних тварин та об'єктів дослідження, що дозволило ілюструвати роботу при висвітленні фактичного матеріалу.

Статистичну обробку результатів досліджень проводили з використанням програми MS Excel за загально прийнятими методами варіаційної статистики з вирахуванням середнього арифметичного значення та стандартної похибки середнього значення ($M \pm m$). Достовірними вважали відмінності між групами $p < 0,05$.

3. Порівняльний аналіз гемостатичної ефективності засобів Celox Rapid та SPT® (АХД) у клінічних умовах

Перед хірургічним моделюванням критичної кровотечі зі стегнової артерії проведено клінічне обстеження піддослідних тварин та проаналізовано морфологічні й біохімічні показників крові та коагулограму.

За результатами фізикального обстеження встановлено, що усі свині були клінічно здоровими. мали задовільний загальний стан, базові характеристики клінічних показників у всіх тварин були подібними та не мали суттєвих розбіжностей. Згідно результатів лабораторних досліджень гематологічні показники знаходилися в межах референтних значень, характерних для даного виду і віку тварин.

Основні моменти експерименту щодо моделювання критичної кровотечі, вивчення гемостазу та встановлення ефективності застосування гемостатичної пов'язки SPT® виконано відповідно до дизайну досліджень (див. «Матеріали і методи дослідження») та представлено у монтажі фотографій (рис. 4–9).

У результаті розсікання стегнової артерії в усіх тварин залучених в досліді було створено вільний вилив крові, упродовж 30 секунд ($n=2$) підчас пілотного та 45 секунд ($n=10$) за основного досліді, що призвело до масивної втрати крові. Як представлено на рис. 4–6 характерною ознакою критичної кровотечі був фонтан крові із пошкодженої магістральної судини та/або утворення (впродовж контрольованого часу – 30 (45) секунд) плями крові більше 20–30 см в діаметрі. При цьому встановлено, що систолічний тиск, який до операції становив 112–151 мм.рт.ст., знизився в середньому

на 47 мм.рт.ст., а в чотирьох свиней таке зниження було критичним – до 62–70 мм.рт.ст, Ректальна температура тіла знизилася на 1,3–1,8⁰, до 37,0–37,6 °С, показник сатурації крові киснем знизився до 87–90%. Відмічено також блідість слизових оболонок (кон'юнктиви, слизової ротової порожнини, губ), тахікардію.

Оперативну зупинку артеріальної кровотечі, здійснювали шляхом тугого тампонування рани: у контрольних тварин – кровоспинною пов'язкою Celox Rapid (рис. 7, б), у дослідних (рис. 8, б) – новоствореною пов'язкою SPT[®] (тип бинта АХД). Після швидкого й щільного заповнення (тампонування) рани гемостатичними бинтами пальцями руки впродовж

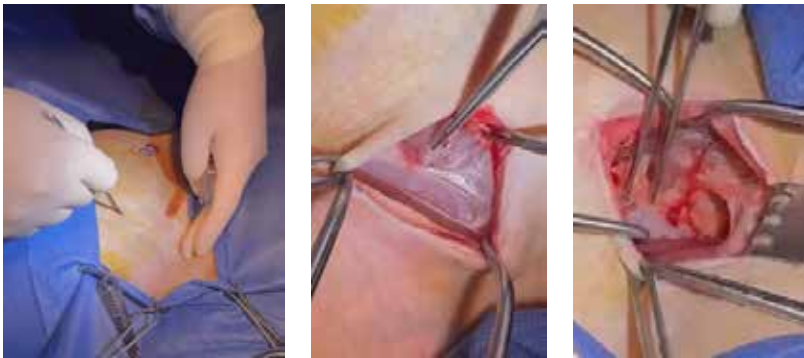


Рис. 4. Виконання оперативного доступу до поверхневої стегнової артерії в паховій ділянці свиней

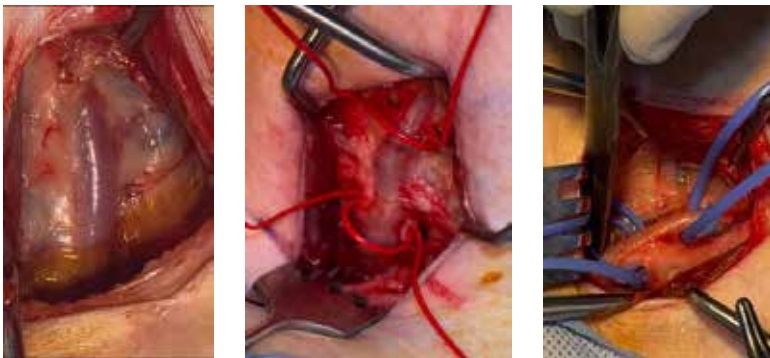


Рис. 5. Відпрепарування поверхневої стегнової артерії та накладання на судину подвійних гумових турнікетів (турнікет червоного кольору – контрольні тварини, синього – дослідні)

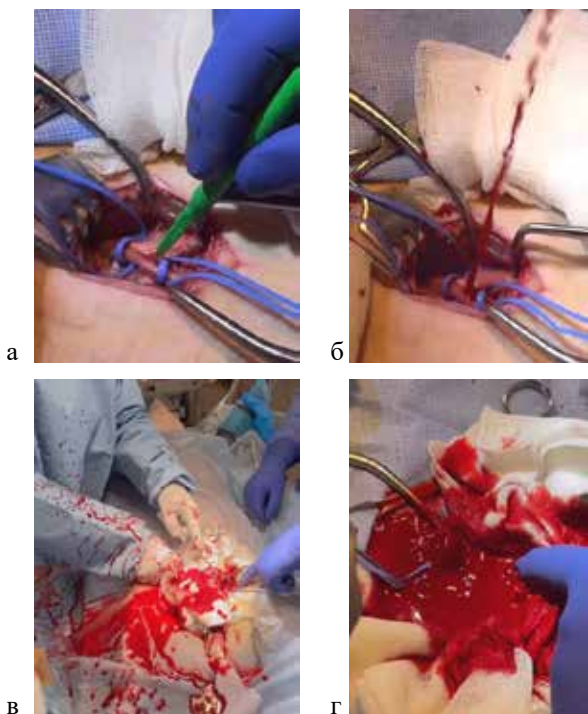


Рис. 6. Моделювання гострої кровотечі у свиней за розсікання стегнової артерії (а) та створення на 30 (45) секунд вільної кровотечі (б, в, г)

2–3 хвилин спричиняли тиск на пов'язку (рис. 7, в; 8, в) та візуально оцінювали час припинення кровотечі (первинний гемостаз).

Результати досліджень показали, що у всіх тварин як дослідної, так і контрольної групи кровотечу було зупинено, тобто первинний гемостаз досягався вже протягом перших 30–120 секунд. Про стабільність гемостазу свідчила проба Пертеса, під час проведення якої кровотеча не відновлювалася. Не зафіксовано ознак рецидиву кровотечі у жодній з тварин як після припинення трихвилинного притискання кровоспинних бинтів рукою у рані (рис. 9), так і після зашивання рани провізорними швами (рис. 10) та подальшого спостереження протягом 3 годин (рис. 11).

Важливо зауважити, що зупинення кровотечі, а також застосування інфузійної терапії (кристалодів) дозволили стабілізувати критичний стан у дослідних та контрольних тварин впродовж 15–20 хв. Свідченням цьому

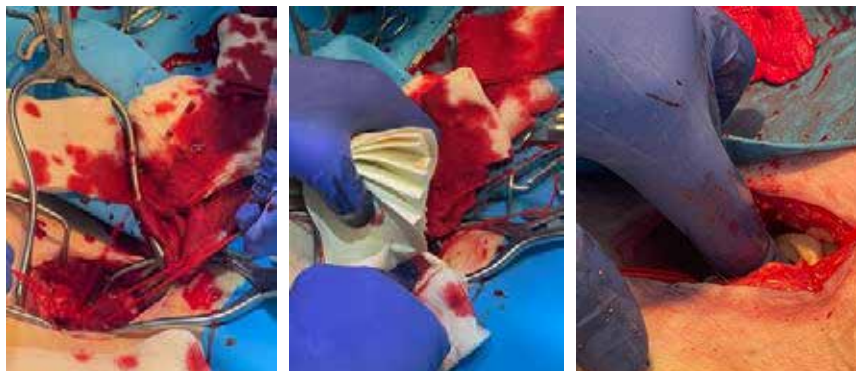


Рис. 7. Моделювання та зупинка гострої кровотечі у контрольних тварин:

- а** – створення на 30 (45) секунд вільної кровотечі;
- б** – зупинка кровотечі шляхом тугого тампонування рани (щільного заповнення дефекту) кровоспинним бинтом Celox Rapid;
- в** – притискання пов'язки в рані та визначення миттєвого гемостазу

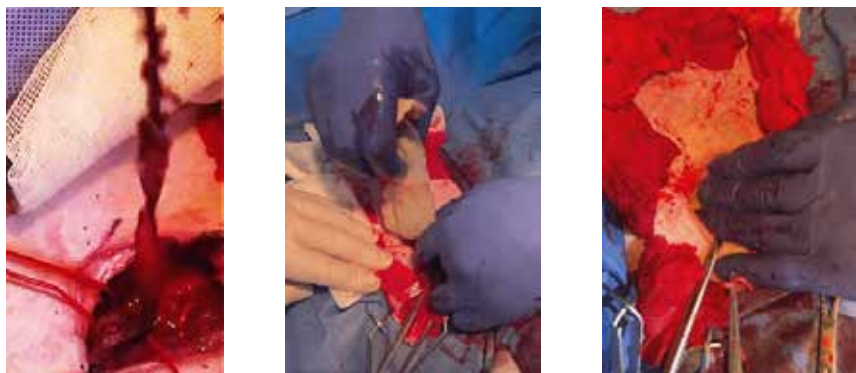


Рис. 8. Моделювання та зупинка гострої кровотечі у дослідних тварин:

- а** – розсікання судини та створення на 45 секунд вільної кровотечі;
- б** – зупинка кровотечі шляхом тугого тампонування рани кровоспинним бинтом SPT®;
- в** – притискання пов'язки в рані, визначення миттєвого гемостазу

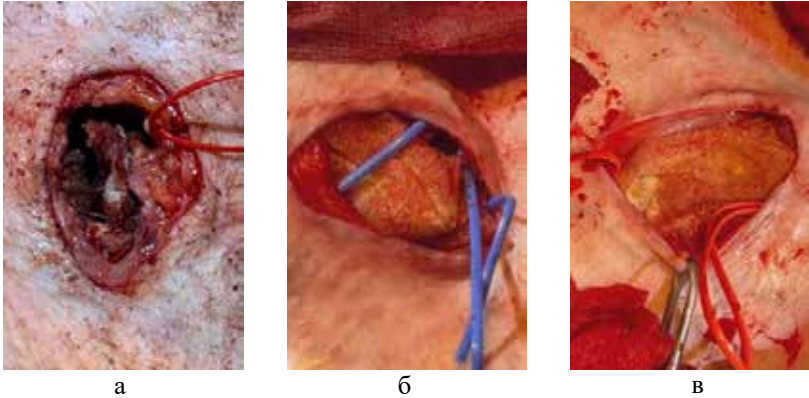


Рис. 9. Відсутність кровотечі та просочування крові після припинення трьох хвилинного притиснення кровоспинних бинтів (а- Celox Rapid; б – АХД 80; в – АХД 100) у рані

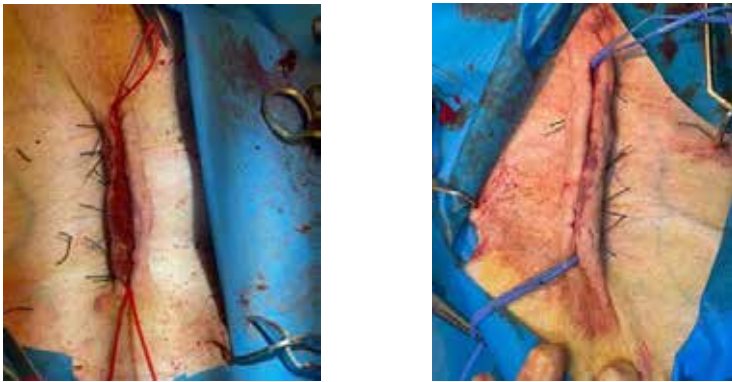


Рис. 10. Кооптація країв рани у контрольних і дослідних тварин провізорними петлеподібними швами (як прототип тиснутої пов'язки) терміном на 180 хвилин

було зростання в усіх тварин показників артеріального тиску, практично до вихідних величин (118–142 мм.рт.ст.), сатурації крові (SpO_2) до 96–100%, сповільнення ритму серцебиття та відновлення кольору слизових оболонок.

Згідно дизайну дослідження через 180 хвилин провізорні шви були зняті та проведено зовнішнє обстеження ран. На даному етапі дослідження встановлено, що навколо ранові тканини незмінні, шкіра природнього



Рис. 11. Укутування тварин термоковдрою упродовж 180-хвилинного спостереження

кольору, після розкриття рани (рис. 12) рецидиву гострої кровотечі в жодній із дослідних та контрольних тварин не відмічено, в тому числі й за проведення проби Пертеса (згинання та розгинання пораненої кінцівки).

При огляді стінок рани (рис. 12) не встановлено некротичних змін, опіку та інших ознак негативного впливу гемостатичних бинтів на тканини.

Можна зробити висновок, що досліджувана пов'язка SPT® (бинт АХД 100 та АХД 80) рівноцінно, як і традиційний бинт Celox Rapid, будучи щільно упакованими в порожнину рани, володіють доброю гемостатичною

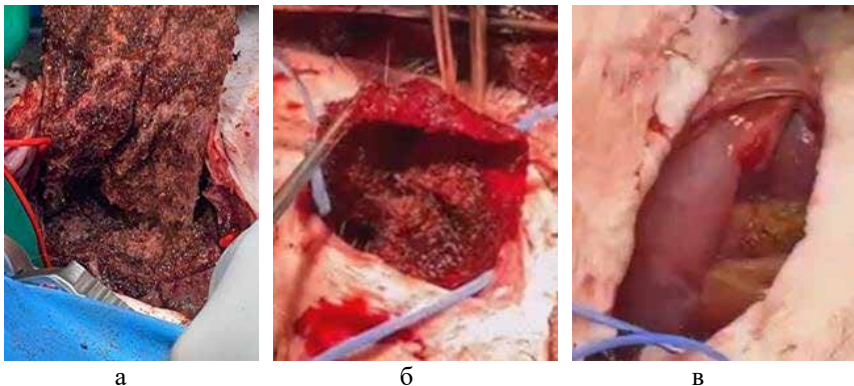


Рис. 12. Стан рани та кровоспинних бинтів у контрольної (а) та дослідних (б, в) тварин після зняття провізорних швів через 180 хвилинного спостереження: а – Celox Rapid; б – SPT® (АХД 100); в – SPT® (АХД 80)

ефективністю і упродовж тривалого періоду часу (3 години і довше) створюють надійний захист від масивної (артеріальної) крововтрати у тварин.

Важливу інформацію щодо кровоспинної дії досліджуваних гемостатичних бинтів та їх впливу на перебіг механізмів первинного (судинно-тромбоцитарного) та вторинного (коагуляційного) гемостазу було отримано за результатами безпосереднього дослідження як самих бинтів, після видалення з рани, так і дослідження стану тканин рани, пошкоджених судин, а також якості сформованих гемостатичних тромбів.

За узагальнення отриманих результатів щодо визначення втрати крові у свиней підчас експерименту встановлено (табл. 2), що загальний об'єм крововтрати в контрольних тварин становив в середньому 414,7 мл (Lim 365–460) і у дослідних, відповідно, 391 (Lim 350–451) мл. (Для оцінювання інтраопераційної кровотечі використано гравітаційний метод зважування^{43, 44}).

Встановлено, що у контрольних тварин № 1, 3 та 5 (табл. 2) об'єм крові адсорбованої бинтами Celox Rapid становив в середньому 113,0 г, (Lim 85–140). При цьому в перших двох тварин № 1 та № 3, після видалення з рани, бинти були повністю просякнуті кров'ю на 100%, а в свині № 5 – на 70% їх загальної площі (рис. 13, а; рис. 14). Водночас у дослідних тварин об'єм крові адсорбованої бинтами АХД 100 становив в середньому 104,2 г (Lim 84–135) та, відповідно АХД 80–103 г (Lim 80–135). У більшості дослідних тварин видалені з рани бинти були на 90–100% просякнуті кров'ю (рис. 13, б) і лише в свині № 10 на 60%.

При дослідженні бинтів Celox Rapid, видалених з рани, відмічено, що після контакту з кров'ю, за рахунок поглинання її рідкої фракції, вони ставали вдвічі об'ємистими за товщиною, мали темно-вишневий колір, а їхня поверхня була густо вкрита дрібними бордовими грудочками та пластівцями (рис. 13, а; 14). Підчас видалення бинтів Celox Rapid відмічено помірно виражену адгезивність (здатність прилипати) до тканин у глибині рани (рис. 14). Це може мати як позитивний ефект – доброї фіксації в рані, так і негативний – можливий відрив тромба від судини. У даному випадку вивчення адгезивної здатності гемостатичних бинтів потребує окремого подальшого дослідження.

⁴³ Schorn MN. Measurement of blood loss: review of the literature. J Midwifery Womens Health. 2010 Jan-Feb;55(1):20-7. <https://doi.org/10.1016/j.jmwh.2009.02.014>. PMID: 20129226.

⁴⁴ Vitello DJ, Ripper RM, Fettiplace MR, Weinberg GL, Vitello JM. Blood Density Is Nearly Equal to Water Density: A Validation Study of the Gravimetric Method of Measuring Intraoperative Blood Loss. J Vet Med. 2015;2015:152730. <https://doi.org/10.1155/2015/152730>. Epub 2015 Jan 29. PMID: 26464949; PMCID: PMC4590883.

Таблиця 2

**Ефективність гемостатичних бинтів за кровотечі з стегнової
артерії свині (n=12)**

№ тв.	Зразок гемостатичного бинта	Гемостаз		Кількість крові поглинутої бинтом, г	Об'єм крові адсорбованої тампонами, мл	Час вільної кровотечі, сек	Загальна крововтрата, мл
		первинний	вторинний				
1	Celox Rapid	+	+/-	114	305	30	419
2	SPT® АХД 100	+	+/+	84	317	30	401
3	Celox Rapid	+	+/-	140	320	45	460
4	SPT® АХД 120	+	+/-	106	345	45	451
5	Celox Rapid	+	+/+	85	260	45	365
6	SPT®АХД100	+	+/-	135	230	45	365
7	SPT® АХД 100	+	+/-	90	290	45	380
8	SPT® АХД 80	+	+/+	80	295	45	375
9	SPT® АХД 100	+	+/+	125	225	45	350
10	SPT® АХД 100	+	+/+	85	305	45	390
11	SPT® АХД 80	+	+/+	95	290	45	380
12	SPT® АХД 80	+	+/-	135	295	45	430

Примітка: – один марлевий тампон поглинає, в середньому, 10 мл крові, 1 мл крові становить 1,05–1,06 г

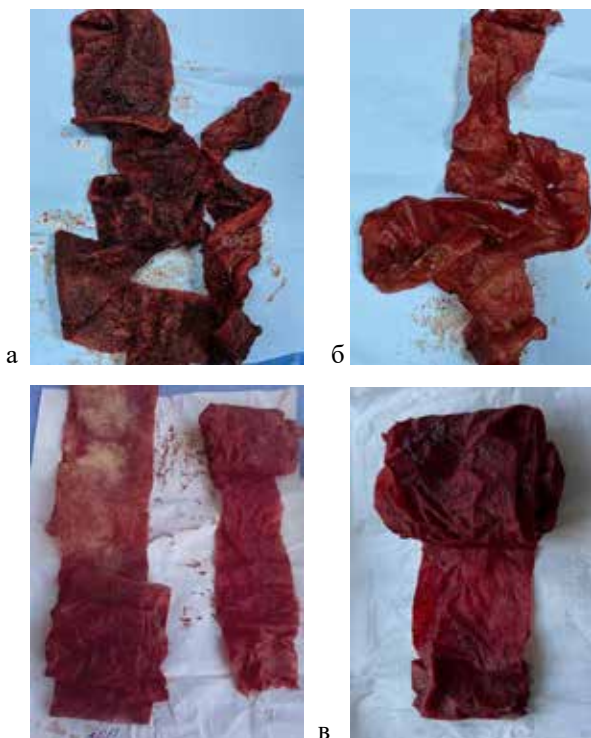
+ – зупинення кровотечі за заповнення рани кровоспинним бинтом – первинний гемостаз;

+/+ – відсутність кровотечі після видалення з рани кровоспинного бинта – вторинний гемостаз;

+/- – просочування крові в ділянці пошкодження судини, після видалення кровоспинного бинта з рани.

Водночас, бинти АХД 100 і АХД 80, після видалення з рани (рис. 13, б; рис. 15), мали також удвічі збільшений об'єм і товщину (за рахунок поглинання рідкої фракції крові). Поверхня їх покрита гелево-желеподібною масою, яка містила у собі скупчення клітин крові у вигляді ослизливих пластівців та крупинок. Колір бинтів був як темно-, так і світло вишневим із полуничним відтінком. Адгезивної здатності бинтів АХД 100 і АХД 80 щодо тканин рани не відмічено. Не встановлено також некротичних змін, опіку та інших ознак негативного впливу гемостатичних бинтів на глибокі тканини рани.

Оскільки основною метою та першочерговим завданням роботи було встановлення терапевтичної ефективності новоствореної гемостатичної



**Рис. 13. Видгляд гемостатичних бинтів після видалення з рани:
а – Celox Rapid; б – SPT® АХД 100 та в – АХД 80**

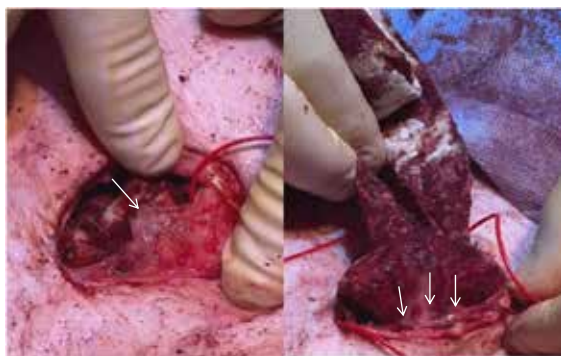


Рис. 14. Свиня № 5. Часткове просякання бинта Celox Rapid кров'ю та його адгезивність до тканин рани (вказано стрілками)

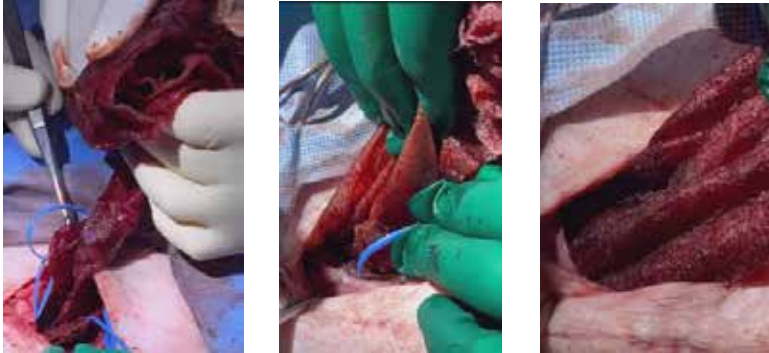


Рис. 15. Свиня № 6 та № 7. Зовнішній вигляд бинтів АХД після видалення з рани

пов'язки за критичної кровотечі, поряд із визначенням швидкості первинного гемостазу, адсорбційної здатності пов'язки та її впливу на стан тканин і судини, у місці безпосереднього контакту досліджували також якість формування гемостатичного тромбу (судинно-тромбоцитарного та коагуляційного).

Застосування гемостатичних бинтів Celox Rapid, «SPT®» АХД 100 та АХД 80 дозволило досягти первинного гемостазу (< 2 хв) в усіх піддослідних тварин. Однак, після видалення бинтів відмічено певні особливості тромбоутворення. Зокрема, у тварин контрольної групи після видалення бинтів гостра кровотеча була відсутня (рис. 16–19), рана артерії заповнена тромбоцитарно-фібриновим тромбом та вкрита пухким

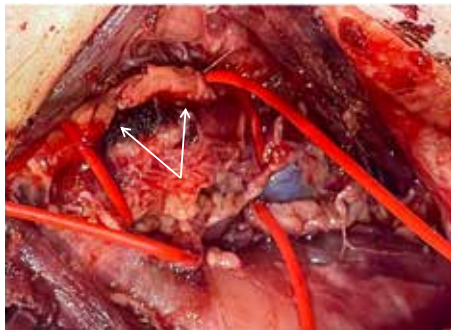


Рис. 16. Контрольна тварина № 1, гемостатичний бинт Celox Rapid. Рана стегнової артерії вкрита пухким нашаруванням кров'яного згустку з-під якого просочується кров



Рис. 17. Стан рани контрольної тварини № 3 після застосування бинта Celox Rapid. Рана судини заповнена тонким тромбоцитарно-фібриновим тромбом (вказано стрілкою) поверхневе нашарування кров'яного згустку на дні рани

кров'яним згустком з-під якого спостерігалось незначне просочування крові.

Незначне підтікання крові з-під тромбу в контрольних тварин (рис. 18, а), на нашу думку могло призвести в подальшому до відновлення кровотечі. Тому, з метою превенції вторинної кровотечі, на рану судинної стінки в усіх контрольних тварин були накладені шви (рис. 18, б).

Водночас за дослідження ран у дослідних тварин ситуація була дещо іншою. Зокрема, після видалення з рани гемостатичних бинтів АХД 100 та АХД 80 у 8 (88,9%) дослідних свиней встановлено стійкий гемостаз

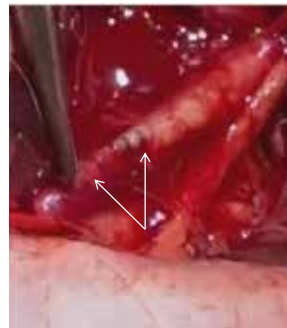
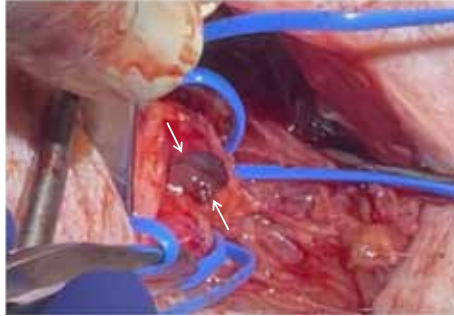


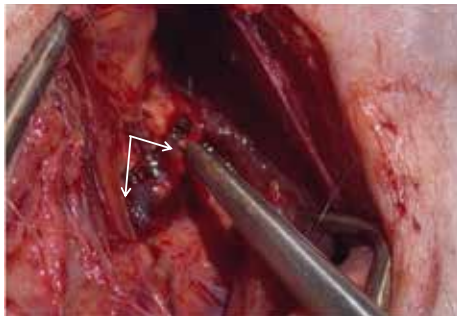
Рис. 18. Стан стегнової артерії контрольної тварини № 5 після застосування бинта Celox Rapid; а – рана судини заповнена тромбоцитарно-фібриновим тромбом; б – накладання шва на пошкоджену судину



**Рис. 19. Дослідна тварина № 2, гемостатичний бинт SPT® АХД 100.
Заповнення просвіту рани артерії щільним тромбом
грибоподібної форми**

із утворенням тромбів підвищеної щільності. Підтвердженням у цьому було утворення в місцях пошкодження судин білих та змішаних тромбів, які були спаяними зі стінкою судини, мали грибоподібну форму, нерівну поверхню, щільну консистенцію, світло-сіре або сіро-вишневе строкате забарвлення (рис. 19–22).

Підчас проведення експерименту було зафіксовано випадок кровотечі у дослідної тварини № 7. Миттєвий гемостаз у неї, як і в інших дослідних свиней, був досягнутий підчас 3-и хвилинного затискання бинта АХД 100 у рані. Протягом тригодинного спостереження підкровавлювання рани не відмічено, проте після видалення бинта встановлено відновлення кровотечі (рис. 24).



**Рис. 20. Дослідна тварина № 6. Утворення змішаного тромба
на поверхні рани стегнової артерії після застосування
гемостатичного бинта SPT® АХД 100**

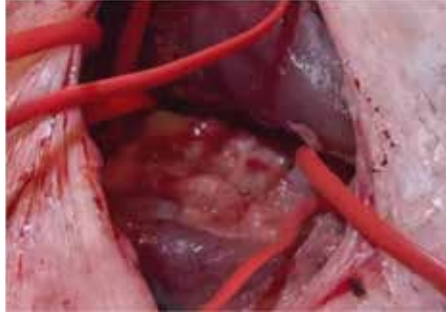


Рис. 21. Дослідна тварина № 8. Утворення масивного білого тромба на поверхні рани стегнової артерії після застосування гемостатичного бинта «SPT®» АХД 80



Рис. 22. Дослідна тварина № 9. Утворення змішаного тромба на поверхні рани стегнової артерії після застосування гемостатичного бинта SPT® АХД 100



Рис. 23. Дослідна тварина № 10. Заповнення рани стегнової артерії тонким тромбоцито-фібриновим тромбом після застосування гемостатичного бинта SPT® АХД 100

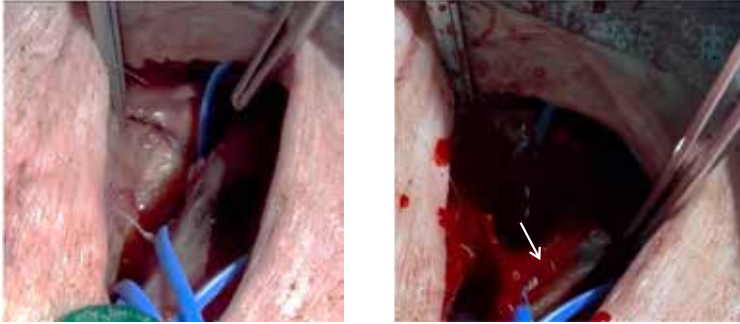


Рис. 24. Дослідна тварина № 7. Відновлення кровотечі після зміщення м'язу, що закривав рану стегнової артерії

З метою попередження рецидиву кровотечі та збереження життя тварини на стінку стегнової артерії було накладено шов. Детальний аналіз цього клінічного випадку показав, що під час тампонування рани дефект судини був механічно закритий розташованим поруч м'язом. Унаслідок цього пов'язка не мала прямого контакту з пошкодженою судиною і не проявила своєї активності у повній мірі.

У дослідній тварини № 12 після видалення бинта гострої кровотечі не відмічено, рановий дефект артерії був заповнений тонким тромбоцито-фібриновим тромбом та нашаруванням нещільного кров'яного згустку з під якого просочувалася кров. Клінічна картина утворення тромбу в даній тварини нагадувала процеси які ми спостерігали у тварин контрольної групи. З метою попередження можливого виникнення вторинної кровотечі, на рану судинної стінки були накладені шви.

Узагальнюючи результати клінічного випробування гемостатичної ефективності досліджуваних бинтів в цілому, можна зробити висновок, що пов'язка SPT® (бинти АХД 100 та АХД 80) за умови щільного тампонування рани забезпечують надійний гемостаз, не поступаючись бинту Celox Rapid, та створюють на тривалий час захист від масивної крововтрати. Результати досліджень підтверджують, що застосування гемостатичних бинтів АХД 100 та АХД 80 при пошкодженні стегнової артерії у свиней забезпечує стійку зупинку кровотечі завдяки формуванню гемостатичного тромбу (переважно змішаного та білого типів). Міцна фіксація таких тромбів на поверхні судини у піддослідних тварин № 2, 4, 6, 8, 9, 10 та 11 дозволила уникати зашивання судинної стінки, що є суттєвою перевагою над бинтом Celox Rapid, після видалення якого із рани виникає необхідність у хірургічному зашиванні судини.

Результати інструментальних досліджень стану стегнової артерії та периферичного кровообігу тазової кінцівки свиней в умовах експерименту

Фізикальне обстеження експериментальних ран, зокрема їх макроскопічне дослідження, дозволило отримати якісну характеристику кровотечі та оцінити процес тромбоутворення (гемостаз) в місці пошкодження судини за присутності в рані гемостатичних бинтів. Не менш важливим є стан судинного русла та процесів що відбуваються у просвіті судин і можуть впливати на якість кровозабезпечення периферичних тканин і кінцівки в цілому.

Для встановлення прохідності травмованих судин та визначення стану кровоплину в тканинах периферичної ділянки кінцівки застосовано ультразвукове дослідження та рентгенографію останніх (рис. 25).



Рис. 25. Застосування соно- та ангиографії для визначення стану стегнової артерії та кровоплину тазової кінцівки

Результати сонографії (табл. 3) показали, що діаметр стегнової артерії в свиней до операції становив в середньому $4,93 \pm 0,436$ мм (Lim 4,2–5,5). Після препарування судини та проведення артеріотомії в усіх тварин встановлено звуження діаметру стегнової артерії (рис. 26; табл. 3) до $2,10 \pm 0,398$ мм ($p < 0,001$), що обумовлено, зазвичай, рефлекторним спазмом судин⁴⁵. У семи тварин із-за утворення щільного тромбу (рис. 27) після зупинки кровотечі судини не зашивали, їх діаметр становив, в середньому,

⁴⁵ Perkins LEL, Tu M. Preclinical evaluation of vascular closure devices. Front Cardiovasc Med. 2024 Nov 29;11:1502909. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2024.1502909>.

2,22±0,419 мм (Lim 1,7–2,8) Водночас, у тварин № 1, 3, 5 у контролі та № 7 і № 12 у досліді, після зашивання стінки артерії діаметр судини був меншим 1,9±0,308 мм (Lim 1,5–2,3). В цілому встановлені показники діаметру стегнової артерії після зупинки кровотечі свідчать, що прохідність судин та відповідно кровозабезпечення периферичної ділянки кінцівки у всіх тварин були збережені.

Таблиця 3

Стан стегнової артерії свині в ділянці проведення оперативного втручання (n=12)

№ тварини	Статус тварин	Діаметр стегнової артерії до операції, мм	Величина просвіту судини після операції, мм
1	контрольна	4,6	1,5
2	дослідна	4,7	1,7
3	контрольна	5,4	2,0
4	дослідна	5,4	1,7
5	контрольна	5,1	2,3
6	дослідна	5,0	2,5
7	дослідна	5,1	1,6
8	дослідна	5,1	2,3
9	дослідна	5,2	2,4
10	дослідна	4,0	2,1
11	дослідна	4,5	2,3
12	дослідна	4,6	1,6
		4,93±0,436	2,10±0,398*

Примітка: * $p < 0,001$ – порівняно показника до операції.

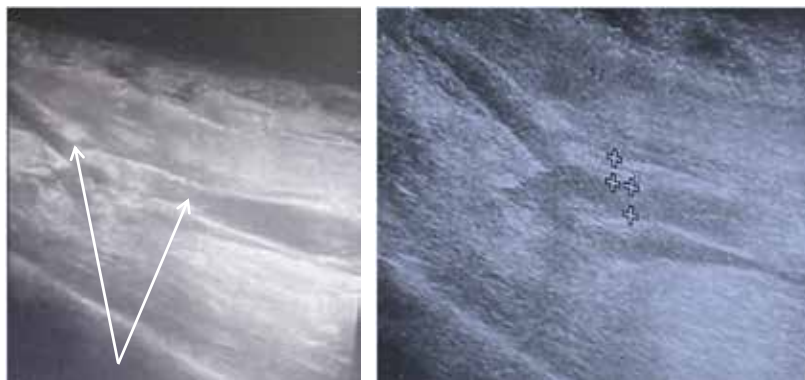
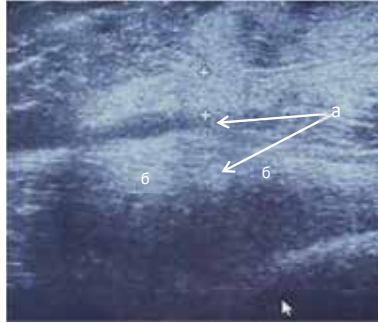


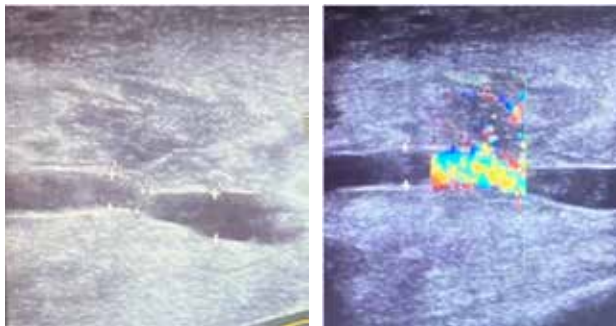
Рис. 26. Звуження просвіту стегнової артерії після операції



**Рис. 27. Дослідна тварина № 2. Стан стегнової артерії після операції:
а – товщина тромба; б – вільний просвіт судини**

За результатами сонографії на другу-третю доби після операції в глибоких шарах травмованих тканин в усіх дослідних і контрольних тварин встановлено незначний набряк, а на четверту-п'яту доби наявність сером розміром, в середньому, 1,2–1,8 x 2,0–2,6 см (об'ємом 10–30 мл). Встановлено також, що до 10 доби спостереження виявлені сероми розсмоктувалися без проведення симптоматичного лікування.

Ультразвукові дослідження станом на 7–10 добу засвідчили відновлення структури стінки судин (рис. 28). При цьому візуалізовано розширення просвіту судин в місці нанесеної травми, в середньому до $4,1 \pm 0,308$ мм ($p < 0,001$), порівняно із показником $2,10 \pm 0,398$ мм після операції (табл. 3). Відмічено також незначне розширення діаметру артерії попереду місця розсікання судин. В окремих тварин візуалізовано незначну рубцеву деформацію стінки в місці пошкодження, проте, це не створювало перешкоди для вільного кровотоку (рис. 28). Наявності тромбозу в просвіті



**Рис. 28. УЗ-дослідження стегнової артерії на 7 добу після операції.
Дослідження прохідності судини із використанням доплера**

стегнової артерії у місці розрізу, а також дистально і проксимально від нього не встановлено.

Безперечно, сонографія є інформативним неінвазивним методом діагностики, який дозволяє проводити багаторазові обстеження без шкідливого навантаження на організм та оцінювати стан судин, навколишніх тканин та судинного кровотоку в режимі реального часу^{46, 47}. Однак цей метод має окремі недоліки. Зокрема, за сонографії візуалізацію судини виконували фрагментами по її ходу, при цьому кожний вимірний сегмент відображав лише частину загального зображення, а отримання цілісної сонографічної картини для її аналізу, потребувало реконструкції сегментованих зображень в єдине ціле. Крім того, для отримання якісного зображення датчик повинен бути розташований паралельно стінці судини та центрований на її просвіт. Як правило, незначні кути відхилення датчика впливають на якість ехограми, наприклад, спричиняють еліптичне зображення просвіту судин, що призводить до похибок у визначенні розмірів анатомічних структур (діаметру судин тощо).

Для вивчення анатомічних особливостей кровопостачання тазової кінцівки свиней а також дослідження післяопераційного стану стегнової артерії й периферичних судин та встановлення можливих посттравматичних змін кровоплину в кінцівці, наприклад, утворення тромбів, стенозів, колатералей тощо, було проведено рентген контрастну ангіографію.

Беручи до уваги літературні повідомлення щодо анатомічної топографії судин тазової кінцівки^{48, 49} нами зосереджено увагу на основних артеріальних магістралях. Зокрема у свиней черевна аорта (aorta abdominalis) в ділянці 5–6 поперекових хребців розгалужується «трифуркацією», віддаючи праву і ліву зовнішні клубові артерії (aa. iliaca externa) та внутрішній клубовий стовбур, який, у свою чергу, дає початок правій і лівій внутрішнім клубовим артеріям (aa. iliaca interna) та серединній крижовій артерії (a. sacralis media). Зовнішня клубова артерія (a. iliaca externa) продовжується у стегнову артерію (a. femoralis), яка проходить в черевній порожнині

⁴⁶ Meng Q, Ding W, Yang B, Fu N, Lu G. Analysis of peripheral artery velocity tracing in a porcine model. *Radiol Oncol*. 2011 Jun;45(2):82-90. <https://doi.org/10.2478/v10019-011-0004-9>

⁴⁷ Osorio-da Cruz SM, Aggoun Y, Cikirikcioglu M, Khabiri E, Djebaili K, Kalangos A, Walpoth B. Vascular ultrasound studies for the non-invasive assessment of vascular flow and patency in experimental surgery in the pig. *Lab Anim*. 2009 Oct;43(4):333-7. <https://doi.org/10.1258/la.2009.0080030>. Epub 2009 Jun 8. PMID: 19505938.

⁴⁸ Góes AMO, Chaves RHF, Furlaneto IP, Rodrigues EM, de Albuquerque FBA, Smit JHA, de Oliveira CP, Abib SCV. Comparative angiotomographic study of swine vascular anatomy: contributions to research and training models in vascular and endovascular surgery. *J Vasc Bras*. 2021 May 14;20:e20200086. <https://doi.org/10.1590/1677-5449.200086>.

⁴⁹ Edwards J, Abdou H, Patel N, Madurska MJ, Poe K, Bonin JE, Richmond MJ, Rasmussen TE, Morrison JJ. The functional vascular anatomy of the swine for research. *Vascular*. 2022 Apr;30(2):392-402. <https://doi.org/10.1177/1708538121996500>.

і перед входом в стегновий канал розгалужується на глибоку та поверхневу стегнову артерії (у даній ділянці судини не доступні для проведення артротомії). В подальшому глибока стегнова артерія спрямовується каудовентрально в ділянку стегна і проходить поруч із лобком. Водночас поверхнева стегнова артерія проходить медіально над головкою стегнової кістки і в середній третині діафіза останньої поділяється на підшкірну (a. saphéna) та підколінну (a. poplítea) артерії. Підколінна артерія переходить у краніальну великогомілкову артерію, яка в ділянці заплесни приймає назву дорсальна артерія стопи – a. dorsális pédis.

Враховуючи анатомо-топографічну локацію артерій тазової кінцівки у свині та на підставі результатів аналізу оглядових ангиографій, проведених у піддослідних тварин, відмічено, що найбільш оптимальною ділянкою для проведення експериментальної артеріотомії є сегмент поверхневої стегнової артерії довжиною 10–12 см, розташований між головкою стегнової кістки і серединою її діафізу (рис. 29).

Аналіз зображень ангиографії (рис. 29–38) дозволив деталізувати структуру артеріальної сітки тазової кінцівки, що суттєво доповнило отримані дані сонографії. При цьому відмічено, що найбільш інформативною для вивчення основних артеріальних магістралей тазової кінцівки є ангиографія проведена у боковій медіо-латеральній проекції (рис. 29, а).

За результатами ангиографії, проведеної на 14–20 добу після артеріотомії та зупинки кровотечі, вивчено посттравматичний стан та характер змін у стегновій артерії й периферичних судинах (рис. 29–37). Встановлено, що у дослідних тварин № 2, № 9, яким не зашивали стінку артерії, а також



Рис. 29. Ангіографія лівої тазової кінцівки дослідної свині № 2: а – бокова медіо-латеральна проекція; б – пряма дорзо-каудальна проекція (стрілкою вказано місце артеріотомії та післяопераційного стенозу)

у дослідних свиней № 7, № 12 та контрольних № 1, № 3, у яких рана судини була зашита, у місці пошкодження спостерігався незначний стеноз із престенотичним розширенням просвіту. У дослідних тварин № 4, 6, 8, 10 та 11 помітних змін у травмованих судинах не відмічено. Кровопостачання тканин кінцівки у зазначених тварин збережене. Водночас у контрольній свині № 5 (рис. 30), якій проводили ушивання судини, зафіксовано оклюзію поверхневої стегнової артерії, проте кровопостачання кінцівки збережене завдяки розвитку колатералей із гілками глибокої стегнової артерії і периферичними судинами (рис. 30, а).

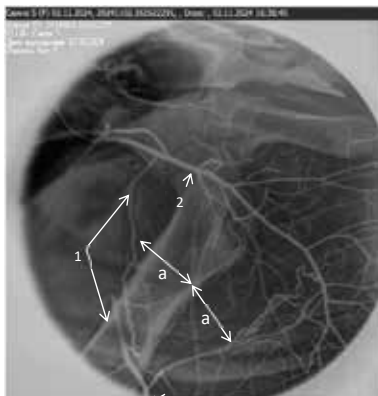


Рис. 30. Контрольна свиня № 5: 1 – оклюзія поверхневої стегнової артерії; 2 – глибока стегнова артерія; а – множинні колатералі



**Рис. 31. Дослідна свиня № 6:
1 – поверхнева стегнова артерія.
Кровопостачання збережене**



**Рис. 32. Дослідна свиня № 7:
1 – стеноз поверхневої стегнової.
Кровопостачання збережене**



Рис. 33. Дослідна свиня № 8:
 1 – поверхнева стегнова артерія;
 2 – глибока стегнова артерія.
 Кровообіг збережено



Рис 34. Дослідна свиня № 9:
 1 – стеноз поверхневої стегнової артерії та розширення її проксимальної ділянки.
 Кровообіг збережено

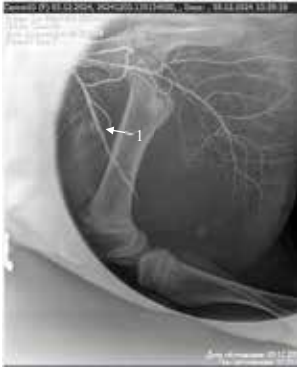


Рис. 35. Дослідна свиня № 10:
 1 – поверхнева стегнова артерія.
 Кровообіг збережено



Рис. 36. Дослідна свиня № 11:
 1 – поверхнева стегнова артерія.
 Кровообіг збережено

За результатами та ангиографії, проведеної на 14–20 добу після артеріотомії та зупинки кровотоку гемостатичними бинтами SPT® (АХД 100 та АХД 80), у 5 (55,6%) дослідних свиней встановлено повноцінне відновлення кровотоку в поверхневій стегновій артерії. У 4 (44,4%) тварин, зокрема у двох свиней, у яких на стінку судини були накладені шви, візуалізовано незначний стеноз (в межах 1–1,5 мм)



**Рис. 37. Дослідна свиня № 12:
1 – стеноз поверхневої стегнової артерії після зашивання судини.
Кровопостачання збережене**

у місці травми за збереженого магістрального кровопостачання тазової кінцівки. Водночас у контрольній групі (тваринам якої після зупинки кровотечі бинтом Celox Rapid було ушито рану артерії), з трьох свиней у 2-ох (66,7%) виявлено незначний стеноз із збереженням кровоплину. В 1-ї тварини (33,4%) встановлено оклюзію поверхневої стегнової артерії, проте кровопостачання кінцівки було компенсоване за рахунок утворення колатералей з гілками глибокої стегнової артерії.

Таким чином за результатами інструментальних досліджень (соно- та ангіографії) застосування гемостатичних бинтів SPT® (АХД 100 і АХД 80) у дослідних тварин та Celox Rapid в контрольній групі для зупинки критичної кровотечі не виявлено суттєвих порушень кровопостачання тазової кінцівки, які б могли спричинити каліцтво тварин чи загрожувати їхньому життю⁵⁰. Свідченням безпечності є задовільний стан тварин протягом усього післяопераційного періоду, відсутність суттєвих посттравматичних ускладнень, та відновлення основних клінічних показників свиней до величин характерних фізіологічній нормі для даного виду тварин. Загоєння ран у тварин обох груп відбувалося без ускладнень, за первинним натягом. Терміни загоювання операційних ран були ідентичними і відповідали термінам звичного загоювання ран у свиней

⁵⁰ Mysak A., Pritsak V., Leno Y., Markevych O., Tsisinska S., Vlizlo V., Ostapiv D., Samaryk M. Preclinical studies on pigs of the novel hemostatic bandage spt®. Scientific conference “One Health: people, animals and the environment – our common future”, Wrocław, 2025. P. 161–163.

Таблиця 4

**Динаміка гематологічних показників у свиней за експерименту,
M±m (n=12)**

Показники	Групи	Час відбору крові					Норма
		до операції	після операції				
			3 год.	2 доба	7 доба	10 доба	
Лейкоцити, Г/л	к	19,5±3,0	18,3±2,7	21,7±2,6	23,8±2,2	23,4±4,5	10,2–30,0
	д	20,4±5,6	14,7±6,1	17,6±4,5	22,8±6,7	22,2±5,8	
Еритроцити, Т/л	к	6,82±0,19	5,82±0,20*	6,08±0,95	6,20±0,44	6,63±0,41	5,5–9,0
	д	6,26±0,55	5,08±0,28*	5,58±1,52	5,59±1,70	6,17±0,49	
Гемоглобін, г/л	к	112±4	100±2	107±1	108±7	115±6	100–160
	д	105±19	95,7±7,39	97,1±16,94	114±9	112±11	
Гематокрит, %	к	39,2±0,8	31,7±1,5*	33,8±0,4**	38,9±1,4	42,5±2,5	33–52
	д	37,9±0,6	31,5±1,0*	32,6±10,7	36,9±11,3	39,6±4,0	
Середній клітинний об'єм (MCV), мкм ³	к	57,0±2,8	56,0±2,3	55,1±0,8	60,6±7,0	61,0±6,0	51–73
	д	60,3±8,2	59,3±9,0	59,0±6,9	62,5±6,8	61,0±4,9	
Середній еритроцитарний об'єм (MCH), пг	к	16,85±1,6	16,60±1,84	16,20±1,70	16,70±1,21	16,93±1,72	14–22
	д	17,47±1,1	16,72±1,48	17,23±1,41	17,38±1,24	17,43±1,13	
Середньо-клітинна конц. гемоглобіну (MNC), г/л	к	313±21	314±21	312±11	289±31	298±23	300–360
	д	287±27	282±30	293±23	280±27	288±18	
Тромбоцити, Г/л	к	398±32	328±34	377±12	482±195	415±152	200–1000
	д	232±129	225±71	223±78	387±211	328±181	

Примітка: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$.

6,82±0,19 Т/л в контролі та 5,08±0,28 Т/л проти 6,26±0,55 Т/л ($p < 0,05$) у тварин дослідної групи, відповідно. Водночас встановлено також тенденцію до зниження кількості лейкоцитів, тромбоцитів та рівня гемоглобіну в крові тварин обох груп. При цьому зниження показника гематокриту було вірогідним ($p < 0,05$). Вочевидь встановлені зміни гематологічних показників, порівняно з вихідними даними, є реакцією

організму свиней на операційну травму та зменшення об'єму циркулюючої крові спричиненою масивною кровотечею.

Динаміка змін гематологічних показників впродовж перших двох діб вказувала на активування компенсаторних постгеморагічних процесів в організмі свиней, в першу чергу за рахунок поповнення об'єму циркулюючої крові з депо, якими є печінка, селезінка, легені, шкіра та підшкірна мережа судин, а також активуванням еритропоезу і тромбоцитопоезу, спрямованих на відновлення кількості кров'яних тілець після гострої крововтрати. Проявом компенсаторних процесів було зростання з другої доби кількості еритроцитів до $6,08 \pm 0,95$ та $6,20 \pm 0,44$ Т/л на 2-у і 7-му доби відповідно (проти $5,82 \pm 0,20$ Т/л одразу після операції) у тварин контрольної групи. У дослідній групі ці показники становили $5,58 \pm 1,52$ і $5,59 \pm 1,70$ Т/л проти $5,08 \pm 1,28$ Т/л. Аналогічну ситуацію відмічено і в динаміці концентрації гемоглобіну. Встановлено також, що після зниження кількості тромбоцитів протягом перших двох діб, їх кількість різко зростала до 10 доби. Пік зростання кількості тромбоцитів припав на 7-му добу і становив у контрольній групі 482 ± 195 Г/л (проти 328 ± 34 Г/л після операції), а в дослідній – 387 ± 211 Г/л (проти 225 ± 71 Г/л), відповідно.

Встановлено, що після артеріотомії в період 2–7 доби у тварин дослідної і контрольної груп відмічена тенденція до помірного зростання кількості лейкоцитів, а в окремих особин виявлено нейтрофільний лейкоцитоз. Така динаміка може свідчити про розвиток нормергічного запального процесу, що ми пов'язуємо з розвитком та реорганізацію в післяопераційний період сером.

Загально відомо, будь які травматичні пошкодження, в тому числі й операційна травма, що супроводжуються гострою крововтратою в цілому мають негативний вплив на функціонування різних систем та органів тварин. Однак відомо також, що залежно від загального стану гемостазу зміни загальноклінічних показників організму, і зокрема гематологічних, можуть проявлятися як миттєво, так і через певний проміжок часу. Як засвідчив аналіз результатів досліджень основні гематологічні показники експериментальних тварин до операції знаходилися в межах референтних значень характерних для здорових свиней, тому миттєвих та суттєвих змін у величинах біохімічних показників не встановлено.

За аналізу динаміки окремих біохімічних показники крові нами відмічено зростання рівня загального білірубіну в крові тварин контрольної групи в перші 3 години після операції (до $18,46 \pm 0,88$ мкмоль/л, $p < 0,001$ проти $6,15 \pm 0,79$ – до операції). На відміну в тварин дослідної групи тенденція до зростання рівня даного показника спостерігалась до 2-ї доби (табл. 5). Така динаміка загального білірубіну на тлі незначного коливання показників

Таблиця 5

**Динаміка біохімічних показників у свиней за експерименту,
M±m (n=12)**

Показники	Групи	Час відбору крові					Норма
		до операції	після операції				
			3 год	2 доба	7 доба	10 доба	
Загальний білок, (TP), г/л	к	71±14	72±16	73±9	73±5	68±12	60–80
	д	74±3	69±4	73±9	79±8	74±9	
Альбумін, (ALB), г/л	к	46±7	45±6	46±6	47±10	46±7	18–330
	д	40±4	41±7	41±6	42±6	40±6	
Загальний білірубін, мкмоль/л	к	6,15±0,79	18,46±0,88***	7,29±1,40	3,19±0,56*	5,40±0,45	2–5
	д	10,6±3,68	11,68±3,28	16,07±7,48	10,24±4,30	4,79±2,30	
АсАТ (AST), од/л	к	26±5	44±23	41±13	35±12	33±11	16–64
	д	35±8	29±11	40±8	26±5	34±13	
АлАТ (ALT) од/л	к	23±1	35±4*	29±7	26±3	29±3	9–43
	д	35±15	33±10	36±16	39±16	41±15	
Лужна фосфатаза (ALP) од/л	к	142±36	156±62	183±38	225±66	206±64	92–294
	д	147±22	164±35	190±22	163±36	170±9	
ГГТ (GGT), од/л	к	25±6	29±7	24±1	25±6	23±3	16–30
	д	55±43	39±26	38±31	56±48	37±18	
Креатинін, мкмоль/л	к	153±44	157±50	216±63	172±12	164±14	100–200
	д	133±61	136±44	164±45	177±37	155±42	
Сечовина, мкмоль/л	к	3,48±0,21	3,95±0,21	4,98±0,79	3,73±0,80	3,91±1,08	3,3–7,0
	д	3,75±0,51	3,85±0,53	4,04±0,65	3,30±0,66	3,61±0,42	
Глюкоза, мкмоль/л	к	6,0±0,28	5,5±0,42	5,2±0,49	5,7±1,80	5,7±1,07	4,7–8,9
	д	5,0±0,84	6,7±1,32	5,2±1,36	5,9±2,21	4,9±1,15	
Кальцій (Ca), мкмоль/л	к	2,83±0,58	2,40±0,14	2,38±0,21	2,51±0,25	2,57±0,07	1,63–5,1
	д	2,94±0,09	2,76±0,70	2,48±0,39	2,89±0,21	2,91±0,33	
Фосфор (P), мкмоль/л	к	1,71±0,48	1,34±0,51	2,06±0,45	1,75±0,38	1,82±0,42	1,45–2,1
	д	1,94±0,59	1,94±0,84	1,83±0,75	1,84±0,43	1,79±0,61	

Примітка: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$.

активності аспартатамінотрансферази (АсАТ) та аланінамінотрансферази (АлАТ) може вказувати на реакцію з боку печінки (ознаки незначної інтоксикації) на застосовані медикаменти і медикаментозні метаболіти.

Поміж низки досліджуваних біохімічних показників відмічено невірогідне зростання рівня лужної фосфатази (до 225±66 од./л станом на 7-у добу проти 142±36 од./л – до операції у контролі та 163±36 од./л проти

147±22 од./л в тварин дослідної групи, відповідно), креатиніну (до 172±12 мкмоль/л станом на 7-у добу проти 153±44 мкмоль/л – до операції у контролі та 177±37 проти 133±61 мкмоль/л у дослідній, відповідно) та сечовини (до 4,98±0,79 мкмоль/л станом на 2-у добу проти 3,48±0,21 мкмоль/л – до операції у контролі та 4,04±0,65 проти 3,75±0,51 мкмоль/л у дослідній). Коливання вищевказаних показників у крові тварин обох груп (табл. 5) відбувалися в межах фізіологічних величин і були встановлені у свиней в період 2–7 доби, що співпадало з розвитком місцевої посттравматичної запальної реакції.

Результати клінічного оцінювання первинного гемостазу засвідчили, що досліджувані гемостатичні бинти АХД 100 та АХД 80 характеризуються доброю прокоагуляційною дією, проте для більш детального вивчення їх впливу на систему згортання крові було проведено визначення та аналіз показників, які представляють собою зовнішній та внутрішній шляхи згортання крові і є, відповідно, важливими для оцінювання здатності крові утворювати згустки.

За результатами аналізу показників коагулограми (табл. 6) практично в усіх контрольних і дослідних тварин нами встановлена тенденція до динамічного зростання значень АЧТЧ (до 27,6±4,8 с станом на 7-у добу проти 22,2±2,2 с до операції у контролі та 19,9±2,38 проти 17,9±0,98 с – у тварин дослідної групи, відповідно), протромбінового часу (до 13,1±0,57 с станом на 2-у добу проти 11,40±0,74 с до операції у контролі та 13,5±0,41 проти 13,2±0,47 с – у дослідній, відповідно). Впродовж перших діб після травми в тварин обох груп встановлено скорочення тромбінового часу до 12,7±2,40 і 17,4±1,10 с та його збільшення на 7 добу до вихідних показників 14,9±1,90 с в контрольних та 19,4±1,0 с в дослідних тварин.

На момент зупинки масивної кровотечі (3 години після операції), у крові тварин як контрольної так і дослідної груп, спостерігали виражену тенденцію до зниження рівня фібриногену (до 1,7± 0,17 г/л проти 2,00±0,09 г/л до операції у контролі та 1,91±0,09 проти 2,3±0,20 у дослідній групі, відповідно), що може свідчити про активування процесів формування тромбу (фібриноген під впливом тромбіну перетворюється у нерозчинний фібрин, який становить основу згустку, що згодом утворює тромб) у місці травми судини. Починаючи з 2-ї доби встановлено різке зростання величин значень даного показника у крові обох груп тварин (до 3,3±0,28 г/л, $p<0,05$ станом на 2-у добу проти 2,0±0,09 г/л – до операції у контролі та 3,0±0,25 г/л, $p<0,05$ проти 2,3±0,20 г/л до операції у дослідній групі, відповідно), що може свідчити про активування білоксинтезувальної функції печінки (фібриноген – білок плазми крові, синтезується в печінці) та зниження активності гемостазіологічних процесів. Збільшення кількості

Таблиця 6

Динаміка коагулограми у свиней за експерименту, $M \pm m$ (n=12)

Показники	Групи	Час відбору крові				
		до операції	після операції			
			3 год	2 доба	7 доба	10 доба
АЧТЧ (Активованій частковий тромбoplastинний час, с)	к	22,2±2,2	23,6±4,0	25,6±3,8	27,6 ±4,8	25,0±3,4
	д	17,9±0,98	17,4±1,75	18,3±2,05	19,9±2,38	18,6±1,65
Протромбіновий час (РТ), с	к	11,4±0,74	11,9±0,77	13,1±0,57	12,3±0,39	11,7±0,94
	д	13,2±0,47	13,3±0,46	13,5±0,41	13,2±0,23	12,8±0,45
Протромбіновий індекс (РІ), %	к	71,4±7,20	62,3±10,10	54,0±8,10	67,1±11,6	61,7±6,6
	д	74,3±3,5	71,2±5,2	73,0±4,9	84,3±2,6*	82,1±3,8
Тромбіновий час (ТТ), с	к	14,4±2,2	12,8±2,64	12,7±2,40	14,9±1,90	15,8±1,9
	д	19,7±0,93	18,4±1,14	17,4±1,10	19,4±1,0	19,0±1,2
Фібриноген (Fibrinogen), г/л	к	2,0±0,09	1,7± 0,17	3,3±0,28*	2,9±0,1**	2,1± 0,14
	д	2,3±0,20	1,9±0,09	3,0±0,20*	2,3±0,12	1,9±0,10
Динаміка INR (міжнародне нормалізоване відношення)	к	1,9±0,37	2,6 ±0,14	1,99±0,40	2,2±0,5	2,2±0,49
	д	1,3±0,16	1,5±0,25	1,4±0,19	1,4±0,23	1,4±0,23

Примітка: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$.

тромбоцитів та високу величину значення показника фібриногену у тварин контрольної групи через 7 діб після травми може свідчити про можливість розвитку внутрішньосудинного згортання крові.

На 10-ту добу дослідження порівняно з 7-ю добою величини значень показників активованого часткового тромбoplastинного часу (АЧТЧ), протромбінового індексу (РІ) та міжнародного нормалізованого відношення (динаміка INR) у тварин обох груп дещо знизилися, і в більшості випадків стали наближеними до вихідних значень (доопераційного рівня).

Аналіз результатів морфологічних та біохімічних досліджень дають підстави стверджувати, що встановлені зміни у показниках крові експериментальних тварин є адекватними щодо важкості травми, нанесеної хірургічним втручанням та, відповідно, критичної кровотечі із втратою крові в межах 400 мл. Під час зупинення масивної кровотечі негативного впливу гемостатичної пов'язки SPT® (бинтів АХД 100 та АХД 80 на морфологічні та біохімічні показники крові не встановлено. Отримані результати гематологічних досліджень у післяопераційний період є характерними для відновлювального постгеморагічного та

посттравматичний стану тварин та характеризують процес загоєння ран у свиней за первинним натягом з помірно вираженим (норммергічним) перебігом запального процесу в організмі свиней.

За аналізу коагулограми можна відмітити, що в період постгеморагічного відновлення організму свиней, окрім показника фібриногену величини показників активованого часткового тромбoplastинового часу (АЧТЧ), протромбінового індексу (РТ) та міжнародного нормалізованого відношення (динаміка INR) не мали значущих (вірогідних) відмінностей з показниками до операції. Це може свідчити про те, що бинти АХД 100 та АХД 80 за механізмом здатні проявляти лише місцеву кровоспинну дію, прискорюючи судинно-тромбоцитарний гемостаз, і не спричиняють системної дії та не впливають на коагуляційний гемостаз, що розширює спектр їх застосування та зменшує кількість небажаних ускладнень (ДВЗ-синдрому, тромбозу тощо)⁵¹.

Результати патоморфологічного дослідження

Проведення патоморфологічного дослідження стало заключним етапом експерименту і було спрямоване на вивчення макро- та мікропрепаратів кровеносних судин, а також навколишніх м'язів, які мали контакт із гемостатичними бинтами. Адже застосування засобів для сприяння згортанню крові впливає не тільки на кровеносні судини, але і навколишні м'язи. Тому важливим постає питання на скільки такий вплив може бути деструктивним. Слід відмітити, що в нашому експерименті час контакту кровоспинних бинтів та тканин раневого дефекту на момент відбору матеріалу становив три години.

Матеріал для гістологічного дослідження було відібрано як прижиттєво, після проведення процедури зупинки кровотечі, так і після евтаназії тварин, яку проведено на 14–20 добу експерименту. Зразки м'язової тканини були відібрані в чотирьох дослідних та трьох контрольних тварин прижиттєво, зразу ж після видалення з рани пов'язки SPT® (бинтів АХД 100 і АХД 80) та бинта Celox Rapid. Для відбору зразків застосовано інцизійну біопсію м'язової тканини, що оточувала стегнову артерію в ділянці пошкодження.

Аналіз гістологічних препаратів показав, що в усіх дослідних і контрольних тварин після операційних маніпуляцій та застосування кровоспинних бинтів морфологічні зміни в м'язах були дуже схожими. Як представлено на рис. 39–43 найбільш характерними були зміни

⁵¹ Маркевич О.М., Мисак А.Р., Остапів Д.Д., Леню Ю.М., Влізло В.В. Динаміка гематологічних показників та стан гемостазу за застосування кровоспинних бинтів при критичних кровотечах у тварин. Актуальні питання ветеринарної медицини: реалії та перспективи – 2025 [Електронний ресурс]: збірник тез доповідей міжнар. наук.-практ. конф. науковців, викладачів та аспірантів, 15 травня 2025 р. / Держ. біотехнологічний ун-т. Харків, 2025. с. 45–47. Режим доступу: <https://biotechuniv.edu.ua/nauka/konferentsiyi/>

пов'язані з порушенням кровообігу. Це переважно масивні діapedезні крововиливи в прошарки пухкої сполучної тканини ендомізію, перимізію та епімізію, а також набряки у ділянках м'язової та сполучної тканини. Нерідко в ділянках нагромадження ексудату виявляли інфільтрацію гранулоцитів та макрофагів (рис. 43). При цьому більшість інфільтруючих клітин утворювали дрібні дисеміновані вогнища, які локалізувалися в безпосередній близькості до некротизованих м'язових волокон.

Про ранні регресивні процеси у м'язовій тканині дослідних і контрольних тварин свідчили виявлені деструктивні зміни окремих м'язових волокон, їх фрагментація, лізис, локальна втрата посмугованості м'язів, а також різномірність м'язових волокон за діаметром, наявність атрофічних, тонких полігональних волокон (рис. 39; 43).

Для здійснення патоморфологічних макро- та мікродосліджень стегнової артерії на 14–20 добу експерименту було проведено евтаназію

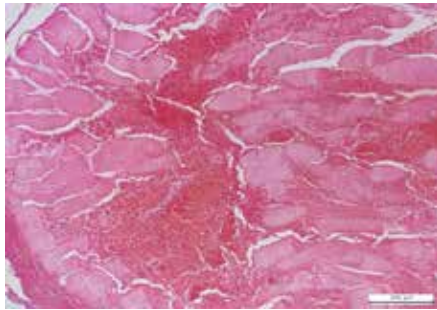


Рис. 39. Масивні крововиливи між м'язовими волокнами з частковим лізисом та фрагментацією м'язів. Гематоксилін та еозин. х 100

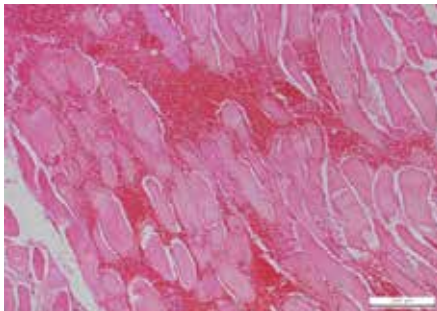


Рис. 40. Масивні ехімозні та діapedезні крововиливи між м'язовими волокнами. Гематоксилін та еозин. х 100

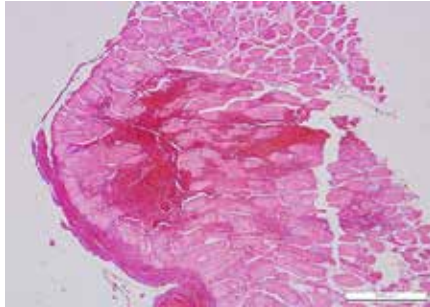


Рис. 41. Інтрам'язовий крововилив з поліморфною запальною клітинною інфільтрацією. Гематоксилін та еозин. х 50

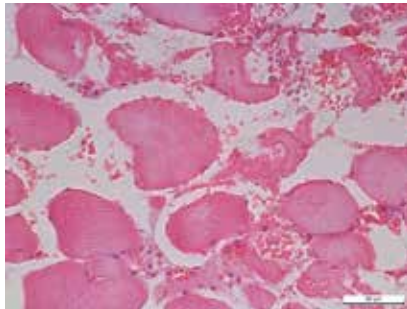


Рис. 42. Фрагментація та лізис м'язових волокон з діapedезними крововиливами. Гематоксилін та еозин. х 100

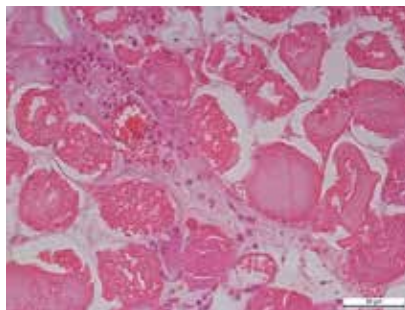


Рис. 43. Запальний набряк з наявністю ексудату та поліморфною клітинною інфільтрацією (1). Саркоплазматична вакуолізація в м'язових клітинах (2). Діapedезний крововилив (3). Гематоксилін та еозин. х 100

усіх дослідних та контрольних свиней. Матеріалом для досліджень стали травмовані стегнові артерії, які були відпрепаровані на проміжку 4–5 см, з захопленням місця розсікання судини та неушкоджених ділянок обабіч останнього.

За результатами досліджень зразків (рис. 47–50) стегнової артерії встановлено що у п'ятих зразках від дослідних свиней фрагменти судини в ділянці пошкодження мали дещо потовщену стінку і звужений на 1–1,5 мм діаметр, порівняно у з просвітом суміжних неуражених фрагментів артерії. У 4 дослідних та 2 контрольних тварин діаметр судин звужений на 1,5–2 мм, стінка потовщена, судини в ділянці розрізу дещо деформована (сплюснута), прохідність, як і в попередніх тварин збережена (рис. 44). В матеріалі від контрольної тварини № 5 встановлено повну



Рис. 44. Макропрепарати поверхневої стегнової артерії дослідних тварин: 1 – фрагменти неушкоджених ділянок артерії; 2 – потовщення стінки та звуження діаметру судин; 3 – потовщення стінки та деформація судини в ділянці розрізу



Рис. 45. Макропрепарат поверхневої стегнової артерії за повної оклюзії, спричиненої невдалим зашиванням стінки судини: 1 – залишки шовного матеріалу у просвіті судини

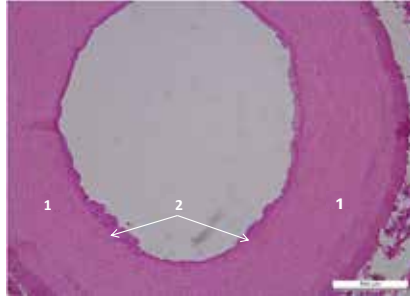


Рис. 46. Стан стінки артерії в дослідних тварин. Циркулярна гіпертрофія медії (1) з незначною сегментарною проліферацією ендотелію (2). Гематоксилін та еозин. x 50

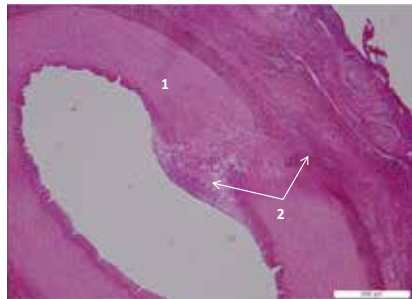


Рис. 47. Загоєння рани стінки артерії в дослідних тварин. Продуктивний сегментарний ендартерїт, циркулярна гіпертрофія медії (1). Утворення грануляційної тканини в ділянці артеріотомії (2). Гематоксилін та еозин. x 50

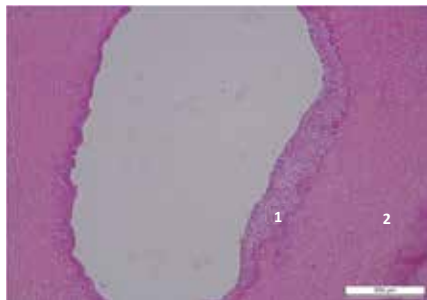


Рис. 48. Стан стінки артерії в дослідних тварин. Сегментарна проліферація ендотелію (1) з циркулярною гіпертрофією медії (2). Гематоксилін та еозин. x 50

оклюзію стегнової артерії (рис. 45; 51; 52). В цілому відмічено, що наявні патоморфологічні зміни в стегновій артерії підтверджені даними соно- та ангіографії.

Гемостатичні бинти Celox Rapid, АХД 100, АХД 80) належать до контактних хімічних гемостатиків на основі похідних хітозану, призначених для швидкої зупинки кровотечі безпосередньо у рані. Для оцінки безпечності цих засобів та ефективності їх застосування ми зосередили увагу на вивченні патоморфологічних змін при місцевому застосуванні. Зокрема, на підставі макроскопічного досліджень стегнової артерії та аналізу гістологічних препаратів встановлено, що обидва досліджувані гемостатичні засоби здатні формувати тромб на поверхні судин і рановому ложе. У випадках АХД 100 і АХД 80 тромб щільний (змішаний або білий і міцно фіксується на поверхні артерії, при використанні Celox Rapid тромб пухкий, тромбоцитарно-фібриновий. Встановлено, що як у дослідних, так і в контрольних тварин тромбоутворення не поширювалось на просвіт судин. Не встановлено також шкідливої дії засобу на навколишні тканини. Згідно з аналізом результатів гістологічного дослідження взірців судин, відібраних на 14–20 добу, у 5-ти дослідних свиней встановлено повноцінне відновлення кровоплину в поверхневій стегновій артерії (рис. 46). У 4 тварин, зокрема у 2 свиней, яким ушивали кишку, виявлено незначний стеноз та деформацію (сплющення) судини (рис. 47–49) із збереженням прохідності. Аналогічну гістологічну картину візуалізовано і у 2 контрольних тварин, яким після зупинки

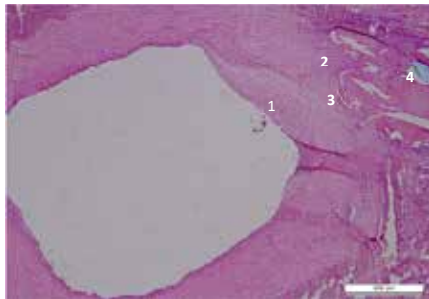
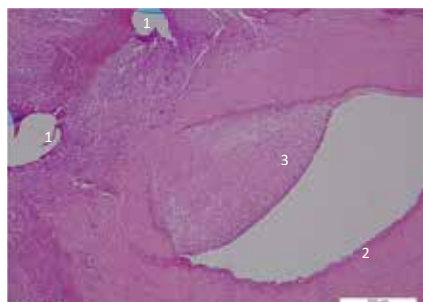


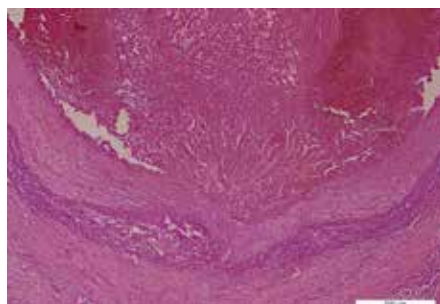
Рис. 49. Стан стінки артерії після зашивання. Сегментарна проліферація ендотелію (1). Фіброеластична проліферація медії з частковим склерозом (2). Лізис внутрішньої еластичної мембрани на місці сегментарної артеріотомії. Фрагменти хірургічного філаменту (4). Гематоксилін та еозин. x 50

критичної кровотечі бинтом Celox Rapid було накладено судинний шов (рис. 50). Водночас, в однієї контрольної тварини встановлено оклюзію поверхневої стегнової артерії (рис. 45, 51, 52), що на наше переконання пов'язано із огріхами накладання судинного шва.

Отже, результати патоморфологічних досліджень, соно- та ангіографії стали документальним підтвердженням безпечності та терапевтичної ефективності застосування за масивних кровотеч як бинта Celox Rapid, так і гемостатичної пов'язки SPT® (бинтів АХД 100, АХД 80). Оскільки досліджувані гемостатичні засоби синтезовані на основі хітозану, результати наших досліджень узгоджуються з численними повідомленнями наукової



**Рис. 50. Стан стінки артерії після зашивання. Фокальний периваскулярний гранулематозний запальний процес на місці хірургічного філаменту (1). Сегментарна проліферація ендотелію (2). Фібробластична проліферація медії та інтими (3).
Гематоксилін та еозин. х 50**



**Рис. 51. Стан стінки артерії контрольної тварини після зашивання. Обтурируючий тромбартерійт. Продуктивний сегментарний ендартерійт. Циркулярний продуктивний запальний процес медії.
Гематоксилін та еозин. х 50**

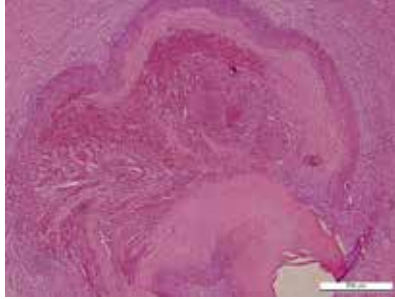


Рис. 52. Повна облітерація просвіту артерії та організація тромботичних мас. Склероз стінки артерії. Періартеріальна поліморфна запальна реакція. Гематоксилін та еозин. х 50

літератури та доповнюють їх щодо доцільності широкого застосування хітозанових композитів у хірургічній практиці^{52, 53, 54, 55}.

ВИСНОВКИ

Доклінічні дослідження *in vivo* на лабораторних тваринах (свинях) засвідчили високу кровоспинну ефективність застосування гемостатичної пов'язки SPT® (бинтів АХД 100 та АХД 80) та 100% виживаємість свиней за критичної кровотечі змодельованої шляхом розсіканням стегнової артерії. За результатами експериментальних досліджень встановлено також, що за терапевтичною ефективністю новостворена гемостатична пов'язка SPT® (бинт АХД 100 та АХД 80) не поступається бинту Celox Rapid.

У випадку артеріальної кровотечі щільне заповнення порожнини рани новоствореною пов'язкою та притискання поверхні рани впродовж

⁵² Wang YW, Liu CC, Cherng JH, Lin CS, Chang SJ, Hong ZJ, Liu CC, Chiu YK, Hsu SD, Chang AH. Biological Effects of Chitosan-Based Dressing on Hemostasis Mechanism. *Polymers (Basel)*. 2019 Nov 19;11(11):1906. <https://doi:10.3390/polym11111906>. PMID: 31752424; PMCID: PMC6918334.

⁵³ Liu SY, Zeng B, Deng JB. Massive retroperitoneal hemorrhage secondary to femoral artery puncture: A case report and review of literature. *Medicine (Baltimore)*. 2017 Dec;96(50):e8724. <https://doi:10.1097/MD.00000000000008724>. PMID: 29390265; PMCID: PMC5815677.

⁵⁴ Gheorghiu D, Moldovan H, Robu A, Bița AI, Grosu E, Antoniac A, Corneschi I, Antoniac I, Bodog AD, Băcilă CI. Chitosan-Based Biomaterials for Hemostatic Applications: A Review of Recent Advances. *Int J Mol Sci*. 2023 Jun 23;24(13):10540. <https://doi:10.3390/ijms241310540>. PMID: 37445718; PMCID: PMC10342007.

Jiménez-Gómez CP, Cecilia JA. Chitosan: A Natural Biopolymer with a Wide and Varied Range of Applications. *Molecules*. 2020 Sep 1;25(17):3981. <https://doi:10.3390/molecules25173981>. PMID: 32882899; PMCID: PMC750473

⁵⁵ Jiménez-Gómez CP, Cecilia JA. Chitosan: A Natural Biopolymer with a Wide and Varied Range of Applications. *Molecules*. 2020 Sep 1;25(17):3981. <https://doi:10.3390/molecules25173981>. PMID: 32882899; PMCID: PMC750473

кількох хвилин долонею руки зупиняє критичну кровотечу менше ніж за 2 хв, що є надійним захистом від масивної крововтрати та характеризує здатність досліджуваної гемостатичної пов'язки забезпечувати первинний (судинно-тромбоцитарний) гемостаз. Щільне заповнення порожнини рани кровоспинною пов'язкою SPT® та зашивання рани провізорними швами (за прототипом тиснучої пов'язки) забезпечує упродовж тривалого періоду часу (в умовах експерименту це становило три години) стійкий гемостаз з формуванням змішаного або білого гемостатичного тромба. З'ясовано, що формування таких тромбів та їх міцна фіксація на поверхні пошкодженої судини в дослідних тварин не потребує кооптації країв рани судини, після видалення бинтів АХД 100 та АХД 80, що є суттєвою перевагою над застосуванням бинта Celox Rapid, після видалення якого із рани у контрольних тварин була потреба в ушиванні пошкодженої судини.

За результатами сонографії проведеної після артеріотомії та зупинки кровотечі констатовано звуження діаметру стегнової артерії, більш ніж в двічі, у дослідних тварин до $2,22 \pm 0,419$ мм і контрольних – $1,9 \pm 0,308$ мм, проти $4,93 \pm 0,436$ мм ($p < 0,001$) до операції, що обумовлено, як правило, в усіх тварин рефлексорним спазмом судин, а в контрольних, відповідно ще й за рахунок ушивання стінки судини. За результатами УЗ дослідження встановлено збереження прохідності судин та кровозабезпечення периферичної ділянки кінцівки в усіх дослідних тварин. Упродовж післяопераційного періоду відбувається відновлення (розширення) просвіту спазмованих в ділянці нанесеної травми судин, в середньому до $4,1 \pm 0,308$ мм ($p < 0,001$). Результатами ангіографії на 14–20 добу після артеріотомії та зупинки кровотечі гемостатичними бинтами «SPT®» АХД 100 та АХД 80, підтверджено у 55,6% дослідних свиней повноцінне відновлення кровоплину в поверхневій стегновій артерії, а у 44,4% тварин, візуалізовано на місці травми незначний, стеноз судини (в межах 1–1,5 мм) з збереженого кровопостачання тазової кінцівки.

Аналіз результатів морфологічних та біохімічних досліджень дають підстави стверджувати, що встановлені зміни у крові експериментальних тварин є адекватними щодо важкості травми (артеріотомії) та, відповідно, критичної кровотечі із втратою крові в межах 400 мл. Отримані результати гематологічних досліджень у післяопераційний період є адекватними для відновлювального постгеморагічного та посттравматичного станів тварин та характеризуються помірно вираженим (нормергічним) перебігом запального процесу в організмі. За аналізу коагулограми впливає, що в період постгеморагічного відновлення організму свиней, окрім показника фібриногену, величини показників активованого часткового

тромбопластинового часу (АЧТЧ), протромбінового індексу (РТ) та міжнародного нормалізованого відношення (динаміка INR) не мали вірогідних відмінностей з величинами значень показників до операції. Це може свідчити про те, що бинти АХД 100 та АХД 80 за механізмом здатні проявляти лише місцеву кровоспинну дію, прискорюючи судинно-тромбоцитарний гемостаз, і не спричиняють системної дії, що розширює спектр їх застосування та зменшує кількість небажаних ускладнень (ДВЗ-синдрому, тромбозу тощо).

За практичного застосування новостворений виріб простий у використанні, достатньо гнучкий при заповненні складних ран, не спричиняє негативного впливу на тканини та в подальшому легко видаляється. На відміну від бинта Celox Rapid бинти АХД 100 та АХД 80 не проявляють адгезивності, тобто не прилипають до тканин в рані. За візуального обстеження ран не встановлено некрозу, опіку та інших ознак негативного впливу бинта SPT® на живі тканини. За результатами спостереження загоєння ран в усіх випадках після артеріотомії відбувалося без ускладнень, за первинним натягом. Терміни загоювання операційних ран у свиней були майже однаковими і відповідали термінам звичного загоювання ран у свиней за первинним натягом. Вживання свиней підчас та після проведення експериментальних досліджень становила 100%.

Отже, отримані результати досліджень свідчать про доцільність використання місцевого кровоспинного засобу – бинта (пов'язки) SPT® (АХД 100, АХД 80) для зупинки масивних зовнішніх кровотеч із глибоких ран.

Позитивні результати апробації гемостатичного бинта на тваринах можуть бути використані для застосовування в практичній ветеринарній медицині, рекомендовані для впровадження у фармацевтичну промисловість для забезпечення промислового виробництва кровоспинних засобів, а також апробації в гуманній медицині, а зокрема воєнно-польовій та медицині катастроф для зупинки критичної кровотечі.

АНОТАЦІЯ

Монографія присвячена проблемі забезпечення вітчизняної медицини в умовах війни сучасними, ефективними і економічно доступними гемостатичними засобами для зупинки критичної кровотечі в умовах бойових дій та надзвичайних ситуацій. Метою роботи було встановлення терапевтичної ефективності *in vivo* новоствореної на основі похідних хітозану гемостатичної пов'язки SPT® (бинтів АХД 100 та АХД 80) за критичної кровотечі, змодельованої розсіканням стегнової артерії у свині.

За результатами клінічних, інструментальних (соно- та ангиографія), гематологічних, та патоморфологічних досліджень доведено безпечність та терапевтичну ефективність новоствореного гемостатичного засобу. Встановлено, що застосування гемостатичних бинтів АХД 100 та АХД 80 при пошкодженні стегнової артерії у свиней забезпечує первинний гемостаз вже протягом перших 30–120 секунд компресії та стійку зупинку кровотечі завдяки формуванню гемостатичного тромбу (змішаного або білого), який міцно фіксується на поверхні судини. За практичного застосування новостворений виріб простий у використанні, достатньо гнучкий при заповненні складних ран, не спричиняє некрозу, опіку та інших ознак негативного впливу на тканини та в подальшому легко видаляється із рани.

Позитивні результати апробації гемостатичного бинта на тваринах можуть бути використані для застосовування в практичній ветеринарній медицині, рекомендовані для впровадження у фармацевтичну промисловість для забезпечення промислового виробництва кровоспинних засобів, а також апробації в гуманній медицині, а зокрема воєнно-польовій та медицині катастроф для зупинки критичної кровотечі.

ПОДЯКИ

ТзОВ «СПТ УКРАЇНА» за фінансову підтримку дослідницького проекту в рамках якого проводилися наукові дослідження.

Колективу науковців кафедри органічної хімії Національного університету «Львівська політехніка» за розробку гемостатичного засобу і плідну співпрацю.

Література

1. Rossaint R, Afshari A, Bouillon B, Cerny V, Cimpoesu D, Curry N, Duranteau J, Filipescu D, Grottke O, Grønlykke L, Harrois A, Hunt BJ, Kaserer A, Komadina R, Madsen MH, Maegele M, Mora L, Riddez L, Romero CS, Samama CM, Vincent JL, Wiberg S, Spahn DR. The European guideline on management of major bleeding and coagulopathy following trauma: sixth edition. *Crit Care*. 2023 Mar 1;27(1):80. <https://doi.org/10.1186/s13054-023-04327-7>.
2. Levy JH, Dutton RP, Hemphill JC 3rd, Shander A, Cooper D, Paidas MJ, Kessler CM, Holcomb JB, Lawson JH; Hemostasis Summit Participants. Multidisciplinary approach to the challenge of hemostasis. *Anesth Analg*. 2010 Feb 1;110(2):354-64. <https://doi.org/10.1213/ANE.0b013e3181c84ba5>.
3. Welch M, Barratt J, Peters A, et al. Systematic review of prehospital haemostatic dressings. *BMJ Mil Health* 2020;166:194-200. <https://doi.org/10.1136/jramc-2018-001066>.

4. Tomizawa Y. Clinical benefits and risk analysis of topical hemostats: a review. *J Artif Organs*. 2005;8(3):137-42. <https://doi:10.1007/s10047-005-0296-x>.
5. Seyednejad H., Imani M., Jamieson T., Seifalian A.M. Topical haemostatic agents. *British Journal of Surgery* 95 (10). 2008. 1197–1225. <https://doi.org/10.1002/bjs.6357>.
6. Cox ED, Schreiber MA, McManus J, Wade CE, Holcomb JB. New hemostatic agents in the combat setting. *Transfusion*. 2009 Dec;49 Suppl 5:248S-55S. <https://doi:10.1111/j.1537-2995.2008.01988.x>.
7. Pourshahrestani S, Zeimaran E, Djordjevic I, Kadri NA, Towler MR. Inorganic hemostats: The state-of-the-art and recent advances. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 2016 Jan 1;58:1255-68. Seyednejad H., Imani M., Jamieson T., Seifalian A.M. Topical haemostatic agents. *British Journal of Surgery* 95 (10). 2008. 1197–1225. <https://doi:10.1016/j.msec.2015.09.008>.
8. Welch M, Barratt J, Peters A, et al. Systematic review of prehospital haemostatic dressings. *BMJ Mil Health* 2020;166:194-200. <https://doi.org/10.1136/jramc-2018-001066>.
9. Boulton AJ, Lewis CT, Naumann DN, Midwinter MJ. Prehospital haemostatic dressings for trauma: a systematic review. *Emerg Med J*. 2018 Jul;35(7):449-457. <https://doi:10.1136/emmermed-2018-207523>. Epub 2018 May 4. PMID: 29728411.
10. Макогончук, А. (2022). Невідкладна медична допомога при зовнішніх кровотечах на догоспітальному етапі. *ТРАВМА*, 18 (2), 61–65. <https://doi.org/10.22141/1608-1706.2.18.2017.102560>.
11. Kozen BG, Kircher SJ, Henaio J, Godinez FS, Johnson AS. An alternative hemostatic dressing: comparison of CELOX, HemCon, and QuikClot. *Acad Emerg Med*. 2008 Jan;15(1):74-81. <https://doi:10.1111/j.1553-2712.2007.00009.x>.
12. Sung YK, Lee DR, Chung DJ. Advances in the development of hemostatic biomaterials for medical application. *Biomater Res*. 2021 Nov 12;25(1):37. <https://doi:10.1186/s40824-021-00239-1>.
13. Дейнека В.М. Гемостатичні властивості нових тривимірних хітозанових матеріалів. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 222 «Медицина». – Навчально-науковий медичний інститут, Сумський державний університет, Суми, 2022. С. 207.
14. Fan P, Zeng Y, Zaldivar-Silva D, Agüero L, Wang S. Chitosan-Based Hemostatic Hydrogels: The Concept, Mechanism, Application, and Prospects. *Molecules*. 2023 Feb 3;28(3):1473. <https://doi:10.3390/molecules28031473>. PMID: 36771141; PMCID: PMC9921727.
15. Gheorghită D, Moldovan H, Robu A, Bița AI, Grosu E, Antoniac A, Corneschi I, Antoniac I, Bodog AD, Băcilă CI. Chitosan-Based Biomaterials for

Hemostatic Applications: A Review of Recent Advances. *Int J Mol Sci.* 2023 Jun 23;24(13):10540. <https://doi:10.3390/ijms241310540>. PMID: 37445718; PMCID: PMC10342007.

16. Khan MA, Mujahid M. A review on recent advances in chitosan based composite for hemostatic dressings. *Int J Biol Macromol.* 2019 Mar 1;124:138-147. <https://doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.11.045>. Epub 2018 Nov 14. PMID: 30447365.

17. Zhang S, Lei X, Lv Y, Wang L, Wang LN. Recent advances of chitosan as a hemostatic material: Hemostatic mechanism, material design and prospective application. *Carbohydr Polym.* 2024 Mar 1;327:121673. <https://doi:10.1016/j.carbpol.2023.121673>. Epub 2023 Dec 9. PMID: 38171686.

18. Dai, T., Tanaka, M., Huang, Y. Y., & Hamblin, M. R. (2011). Chitosan preparations for wounds and burns: antimicrobial and wound-healing effects. *Expert Review of Anti-Infective Therapy*, 9(7), 857–879. <https://doi/10.1586/eri.11.59>.

19. Tan, H.; Ma, R.; Lin, C.; Liu, Z.; Tang, T. Quaternized Chitosan as an Antimicrobial Agent: Antimicrobial Activity, Mechanism of Action and Biomedical Applications in Orthopedics. *Int. J. Mol. Sci.* 2013, 14, 1854–1869. <https://doi/10.3390/ijms14011854>.

Pusateri AE, Holcomb JB, Kheirabadi BS, Alam HB, Wade CE, Ryan KL. Making sense of the preclinical literature on advanced hemostatic products. *J Trauma.* 2006 Mar;60(3):674-82. <https://doi:10.1097/01.ta.0000196672.47783.fd>.

20. Arnaud F, Parreño-Sadalan D, Tomori T, Delima MG, Teranishi K, Carr W, McNamee G, McKeague A, Govindaraj K, Beadling C, Lutz C, Sharp T, Mog S, Burris D, McCarron R. Comparison of 10 hemostatic dressings in a groin transection model in swine. *J Trauma.* 2009 Oct;67(4):848-55. <https://doi:10.1097/TA.0b013e3181b2897f>.

21. Arnaud F, Teranishi K, Tomori T, Carr W, McCarron R. Comparison of 10 hemostatic dressings in a groin puncture model in swine. *J Vasc Surg.* 2009 Sep;50(3):632-9, 639.e1. <https://doi:10.1016/j.jvs.2009.06.010>. PMID: 19700097.

22. Littlejohn LF, Devlin JJ, Kircher SS, Lueken R, Melia MR, Johnson AS. Comparison of Celox-A, ChitoFlex, WoundStat, and combat gauze hemostatic agents versus standard gauze dressing in control of hemorrhage in a swine model of penetrating trauma. *Acad Emerg Med.* 2011 Apr;18(4):340-50. <https://doi:10.1111/j.1553-2712.2011.01036.x>.

23. Peng HT. Hemostatic agents for prehospital hemorrhage control: a narrative review. *Mil Med Res.* 2020 Mar 25;7(1):13. <https://doi:10.1186/s40779-020-00241-z>.

24. Guo Y, Wang M, Liu Q, Liu G, Wang S, Li J. Recent advances in the medical applications of hemostatic materials. *Theranostics*. 2023 Jan 1;13(1):161-196. <https://doi.org/10.7150/thno.79639>. PMID: 36593953; PMCID: PMC9800728.

25. Kotsiumbas, I.Ya., Malyk, O.H., Patereha, I.P. (2006). *Doklinichni doslidzhennia veterynarykh likarskykh zasobiv*. Lviv: Triada plius. 360. [in Ukrainian].

26. Swindle, M.M. (Ed.). (2007). *Swine in the Laboratory: Surgery, Anesthesia, Imaging, and Experimental Techniques, Second Edition (2nd ed.)*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420009156>

27. Swindle MM, Smith AC. 1998. Comparative anatomy and physiology of the pig. *Scand J Lab Anim Sci* 25(Suppl 1):1-10.

28. Verma N, Rettenmeier AW, Schmitz-Spanke S. Recent advances in the use of *Sus scrofa* (pig) as a model system for proteomic studies. *Proteomics*. 2011 Feb;11(4):776-93. <https://doi.org/10.1002/pmic.201000320>. Epub 2011 Jan 13. PMID: 21229584.

29. Bassols A, Costa C, Eckersall PD, Osada J, Sabrià J, Tibau J. The pig as an animal model for human pathologies: A proteomics perspective. *Proteomics Clin Appl*. 2014 Oct;8(9-10):715-31. <https://doi.org/10.1002/prca.201300099>. Epub 2014 Sep 15. PMID: 25092613

30. Mukherjee P, Roy S, Ghosh D, Nandi SK. Role of animal models in biomedical research: a review. *Lab Anim Res*. 2022 Jul 1;38(1):18. <https://doi.org/10.1186/s42826-022-00128-1>. PMID: 35778730; PMCID: PMC9247923.

31. Маркевич, О., та Мисак, А. (2025). Дослідження шкірної токсичності гемостатичної пов'язки SPT при тривалому використанні. *Науковий вісник ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. Серія: Ветеринарні науки*, 27 (118), 183–188. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11826>.

32. Маркевич О.М., Мисак А.Р., Хомин Н.М., Дудчак І.П. Визначення параметрів токсичності кровоспинної пов'язки виготовленої на основі альгінатно-хітозанових похідних. *Матеріали всеукраїнської конференції «На зламі століть: спадщина та інновації в сучасній ветеринарній фармакології і токсикології» (м. Львів, 13–14 листопада 2025р.)*. Львів, 2025. с. 81–83. <https://doi.org/10.32718/konf.13-14.11.2025>

33. Official Journal of the European Union L276/33, 2010. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/63/oj>.

34. Клінічна діагностика хвороб тварин / В.І. Левченко, В.В. Влізло, І.П. Кондрахін та ін.; за ред. В.І. Левченка, В.М. Безуха. Біла Церква, 2017. 544 с.

35. Kheirabadi BS, Arnaud F, McCarron R, Murdock AD, Hodge DL, Ritter B, Dubick MA, Blackbourne LH. Development of a standard swine

hemorrhage model for efficacy assessment of topical hemostatic agents. *J Trauma*. 2011 Jul;71(1 Suppl):S139-46. <https://doi:10.1097/TA.0b013e318221931e>. PMID: 21795871.

36. Gerling KA, Kersey AJ, Lauria AL, Mares JA, Hutzler JD, White PW, Abel B, Burmeister DM, Propper B, White JM. Evaluation of novel hemostatic agents in a coagulopathic swine model of junctional hemorrhage. *J Trauma Acute Care Surg*. 2023 Aug 1;95(2S Suppl 1):S144-S151. <https://doi:10.1097/TA.0000000000004071>. Epub 2023 Jun 1. PMID: 37259206; PMCID: PMC10389358.

37. Pellerito John S., Polak Joseph F.; Editore: Elsevier – Health Sciences Division ; Anno: 2019 ; Rilegatura: Hardback ; Page: 882 p.

38. Zuo K, Koh LB, Charles CJ, Yim EK, Lim J, Li RR, Leo HL, Cui F, Ho P. Measurement of the Luminal Diameter of Peripheral Arterial Vasculature in Yor. kshire × Landrace Swine by Using Ultrasonography and Angiography. *J Am Assoc Lab Anim Sci*. 2020 Jul 1;59(4):438-444. <https://doi:10.30802/AALAS-JAALAS-19-000153>

39. SELDINGER SI. Catheter replacement of the needle in percutaneous arteriography; a new technique. *Acta Radiol (Stockh)*. 1953 May;39(5):368-76. <https://doi:10.3109/00016925309136722>. PMID: 13057644

40. Горальський Л.П., Хомич В.Т., Кононський О.І. Основи гістологічної техніки і морфофункціональні методи дослідження у нормі та при патології : навчальний посібник / за редакцією Л.П. Горальського. Житомир : Полісся, 2005. 288 с. – ISBN 966-655-152-7

41. Mulisch, M., Welsch, U. (2010). *Romeis Mikroskopische Technik*. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg. <https://doi:10.1007/978-3-8274-2254-5>

42. Schorn MN. Measurement of blood loss: review of the literature. *J Midwifery Womens Health*. 2010 Jan-Feb;55(1):20-7. <https://doi:10.1016/j.jmwh.2009.02.014>. PMID: 20129226.

43. Vitello DJ, Ripper RM, Fettiplace MR, Weinberg GL, Vitello JM. Blood Density Is Nearly Equal to Water Density: A Validation Study of the Gravimetric Method of Measuring Intraoperative Blood Loss. *J Vet Med*. 2015;2015:152730. <https://doi:10.1155/2015/152730>. Epub 2015 Jan 29. PMID: 26464949; PMCID: PMC4590883.

44. Perkins LEL, Tu M. Preclinical evaluation of vascular closure devices. *Front Cardiovasc Med*. 2024 Nov 29;11:1502909. <https://doi:10.3389/fcvm.2024.1502909>. PMID: 39677036; PMCID: PMC11638202.

45. Meng Q, Ding W, Yang B, Fu N, Lu G. Analysis of peripheral artery velocity tracing in a porcine model. *Radiol Oncol*. 2011 Jun;45(2):82-90. <https://doi:10.2478/v10019-011-0004-9>. Epub 2011 Mar 15. PMID: 22933940; PMCID: PMC3423730.

46. Osorio-da Cruz SM, Aggoun Y, Cikirikcioglu M, Khabiri E, Djebaili K, Kalangos A, Walpoth B. Vascular ultrasound studies for the non-invasive assessment of vascular flow and patency in experimental surgery in the pig. *Lab Anim.* 2009 Oct;43(4):333-7. <https://doi:10.1258/la.2009.0080030>. Epub 2009 Jun 8. PMID: 19505938

47. Góes AMO, Chaves RHF, Furlaneto IP, Rodrigues EM, de Albuquerque FBA, Smit JHA, de Oliveira CP, Abib SCV. Comparative angiotomographic study of swine vascular anatomy: contributions to research and training models in vascular and endovascular surgery. *J Vasc Bras.* 2021 May 14;20:e20200086. <https://doi:10.1590/1677-5449.200086>.

48. Edwards J, Abdou H, Patel N, Madurska MJ, Poe K, Bonin JE, Richmond MJ, Rasmussen TE, Morrison JJ. The functional vascular anatomy of the swine for research. *Vascular.* 2022 Apr;30(2):392-402. <https://doi:10.1177/1708538121996500>.

49. Mysak A., Pritsak V., Leno Y., Markevych O., Tsisinska S., Vlizlo V., Ostapiv D., Samaryk M. Preclinical studies on pigs of the novel hemostatic bandage spt®. Scientific conference „One Health: people, animals and the environment – our common future”, Wrocław, 2025. P. 161–163

50. Маркевич О.М., Мисак А.Р., Остапів Д.Д., Леньо Ю.М., Влізло В.В. Динаміка гематологічних показників та стан гемостазу за застосування кровоспинних бинтів при критичних кровотечах у тварин. Актуальні питання ветеринарної медицини: реалії та перспективи – 2025 (Міжнародна науково-практична конференція присвячена 95-річчю від дня народження професора, доктора біологічних наук, заслуженого працівника освіти України, відмінника вищої освіти Чечоткіна Олексія Васильовича) [Електронний ресурс]: збірник тез доповідей міжнар. наук.-практ. конф. науковців, викладачів та аспірантів, 15 травня 2025 р. / Держ. біотехнологічний ун-т. Харків, 2025. с. 45–47. Режим доступу: <https://biotechuniv.edu.ua/nauka/konferentsiyi/>

51. Wang YW, Liu CC, Cherng JH, Lin CS, Chang SJ, Hong ZJ, Liu CC, Chiu YK, Hsu SD, Chang AH. Biological Effects of Chitosan-Based Dressing on Hemostasis Mechanism. *Polymers (Basel).* 2019 Nov 19;11(11):1906. <https://doi:10.3390/polym11111906>. PMID: 31752424; PMCID: PMC6918334

52. Liu SY, Zeng B, Deng JB. Massive retroperitoneal hemorrhage secondary to femoral artery puncture: A case report and review of literature. *Medicine (Baltimore).* 2017 Dec;96(50):e8724. <https://doi:10.1097/MD.00000000000008724>. PMID: 29390265; PMCID: PMC5815677.

53. Gheorghită D, Moldovan H, Robu A, Bița AI, Grosu E, Antoniac A, Corneschi I, Antoniac I, Bodog AD, Băcilă CI. Chitosan-Based Biomaterials for Hemostatic Applications: A Review of Recent Advances. *Int J Mol Sci.* 2023

Jun 23;24(13):10540. <https://doi:10.3390/ijms241310540>. PMID: 37445718; PMCID: PMC10342007.

54. Jiménez-Gómez CP, Cecilia JA. Chitosan: A Natural Biopolymer with a Wide and Varied Range of Applications. *Molecules*. 2020 Sep 1;25(17):3981. <https://doi:10.3390/molecules25173981>. PMID: 32882899; PMCID: PMC7504732.

Information about the authors:

Markevych Oleksandr Mykhailovych,

Assistant at the Department of Surgery
Stepan Gzhytskyi National University
of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv,
50, Pekarska street, Lviv, Ukraine

Mysak Andriy Romanovych,

Doctor of Veterinary Sciences,
Professor at the Department of Surgery
Stepan Gzhytskyi National University
of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv,
50, Pekarska street, Lviv, Ukraine

02

SECTION



TECHNOLOGY OF PRODUCTION AND PROCESSING OF LIVESTOCK PRODUCTS

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ УТРИМАННЯ КОРІВ ШВИЦЬКОЇ ПОРОДИ

Прудніков В. Г., Колісник О. І., Батир Р. Ю.
DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-695-9-5>

ВСТУП

Молочне скотарство – одна із стратегічних галузей тваринництва України, яка визначає продовольчу безпеку держави, якість харчування населення, має високий експортний потенціал. Галузь в країні зазнає певних труднощів, до числа яких належить скорочення поголів'я тварин, відсутність стабільної кормової бази, незадовільний рівень селекційно-племінної роботи та технологічного забезпечення, критичні умови війни на Сході України.

За підрахунками Центру досліджень продовольства та землекористування Київської школи економіки KSE Agrocenter станом на 1 січня 2024 року війна призвела до втрат 238 тис. голів великої рогатої худоби, 544 тис. голів свиней, 131 тис. голів овець і кіз, а також майже 13 млн. голів птиці. До війни 42% всього молока вироблялися у регіонах, які потрапили під найбільші обстріли та окупацію росіянами. Загальний збиток, спричинений зменшенням поголів'я, оцінюється в 254 мільйони доларів США.¹ На 1 грудня 2025 року в Україні налічувалося 1,94 млн голів великої рогатої худоби, що на 11% менше, ніж на аналогічну дату минулого року, в тому числі 1,08 млн корів.

Інтенсифікація виробництва молока ґрунтується на раціональному використанні технічних, матеріальних і трудових ресурсів, нарощуванні потужності виробництва та технічного обладнання². В основу технологічного процесу виробництва молока покладені біологічні властивості тварин.

На підставі багатьох біологічних показників розроблена наукова технологія виробництва молока, що враховує фізіологічні параметри

¹ Нейтер Р., Зоря С., Муляр О., Збитки, втрати та потреби сільського господарства через повномасштабне втогнення. KSE: Центр досліджень продовольства та землекористування. К. 2024. 33 с.

² Петруша Є.З. Експериментальне обґрунтування параметрів утримання молочних корів. Харків : Оригінал, 1998. 191 с.

і біохімічні компоненти тканин і органів, у результаті чого відпрацьовані нормативи їх експлуатації та утримання³.

Таким чином, визначеність сучасних технологій виробництва продукції тваринництва ґрунтується на таких критеріях і факторах: генетичний потенціал стада (рівень продуктивності), рівень годівлі та витрати кормів, система і спосіб утримання тварин, засоби механізації, інтенсивність відтворення, умови організації виробництва, вартість кормів та витрати енергоносіїв⁴.

Попередній досвід та загальна ситуація яка склалась в галузі молочного скотарства змінює стратегію ведення галузі в більшості крупних підприємств. Так основні пріоритети, які стосувались: 1) екологічної безпеки; 2) якості продукції; 3) економії ресурсів. В умовах сьогодення, і особливо в умовах східних регіонів постраждалих від рашиської агресії, останній пріоритет виходить на перше місце. Це обумовлено зростанням в ціні тих витрат які по'язані з енергетикою, будівлею та утриманням енергоємних тваринницьких приміщень⁵.

Кірович Н.О., Дідур Л.І. акцентують увагу на тому, що галузь скотарства України потребує комплексного підходу, особливе значення у цьому контексті має регіональна адаптація скотарства з урахуванням ґрунтово-кліматичних, економічних та соціальних умов⁶.

Фундаментом технології молочного скотарства є система утримання худоби певної породи. Україна має різноманітні природно-кліматичні зони, які різняться за температурою зовнішнього середовища, кількістю опадів, наявністю вітрів та ін. Тому у них слід запроваджувати різні способи утримання великої рогатої худоби, які, на сьогодні, мало обґрунтовані. Аналіз досвіду господарств України свідчить, що худобу утримують як у капітальних приміщеннях, так і в полегшених, за використання пасовищ та без них. Для вирощування тварин практично не використовують вигульно-кормових майданчиків, які забезпечують мінімальні витрати праці, енергетичних і матеріальних ресурсів⁷.

³ Підпала Т. В. Оцінка особливостей інтенсивної технології виробництва молока. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 106. С. 87–93.

⁴ Підпала Т. В., Ясєвін С. Е. Інтенсивна технологія виробництва молока. *Тваринництво сьогодні*. 2021, № 7, с. 18–24.

⁵ Рубан С. Ю., Борщ О. В., Борщ О. О., [та ін.] Сучасні технології виробництва молока (особливості експлуатації, технологічні рішення, ескізні проекти) Харків. Стиль-Іздат. 2017. 168 с.

⁶ Кірович Н.О., Дідур Л.І. Сучасний стан галузі м'ясного скотарства в Україні. *Таврійський науковий вісник*. 2025. № 143. Ч. 1. с. 241–248.

⁷ Колісник О. І., Прудніков В. Г., Криворучко Ю. І., Нагорний С. А. Технологічні особливості утримання м'ясної худоби абердин-ангуської породи в зимовий період на відкритих майданчиках. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2017. № 4 (87). С. 67–71.

Тому, з точки зору необхідності відновлення галузі молочного скотарства та забезпечення стабільного виробництва молока, важливо дослідити продуктивні якості корів в умовах енергоощадного утримання їх на відкритих вигульних майданчиках.

Отже, вивчення формування молочної продуктивності корів швіцької породи, що утримуються на відкритих вигульних площадках має науково-практичне значення для подальшого відродження та розвитку галузі скотарства, особливо в умовах постраждалих від військової агресії територій Сходу України.

1. Особливості енергозберігаючої технології утримання корів, матеріали та методи досліджень

Досліди проводили у виробничих умовах сільськогосподарського підприємства ПП «Агро-Новоселівка 2009» Харківського району Харківської області у 2023–2025 роках на 25 головах корів швіцької породи. Перша лактація корів припадала на 2024 рік, друга – на 2025 рік.

Комплектація поголів'я здійснювалася шляхом закупівлі нетелів. Загальні проектно-технологічні рішення включали цілорічне вигульне утримання корів без приміщень на вигульно-кормових майданчиках із твердим покриттям. Секції обладнано годівницями, водонапувалками з підігрівом, місцями для відпочинку під навісом. Тварини в зимовий період також знаходяться на вигульно-кормових майданчиках безприв'язно на довгонезмінній солом'яній підстилці за відсутності приміщень. Цей спосіб утримання худоби дає можливість господарству не займатися дорогим будівництвом тваринницьких приміщень, їх утриманням, ремонтом і відрахуваннями на амортизацію, також не потребує додаткових енергозатрат. Тобто є енергоощадним і може застосовуватися в сільськогосподарських підприємствах для відродження скотарства.

Добова кількість підстилки складає 3 кг соломи на голову, а за сильних морозів збільшується до 5 і навіть 7 кг. Секції для утримання корів обладнані навісами. Загони обгороджені високими парканами для захисту від вітру і негоди. Суха підстилка в секціях та відсутність протягів – головні умови для запобігання хвороб тварин. Для підстилки застосовується солома пшенична. Для отелення корів у загоні передбачено окрему спеціальну секцію з накриттям.

Доїння корів відбувалося три рази на добу в спеціалізованій доїльній залі. Режим годівлі великої рогатої худоби дворазовий за попередньо розрахованим раціоном. Традиційно розрахунок харчового раціону проводився з урахуванням певних показників і умов, а саме: визначення кількості поживних речовин для забезпечення здоров'я, життєдіяльності,

планованої продуктивності корів за нормами годівлі відповідно до їхньої живої маси, продуктивності та фізіологічного стану, складання харчового раціону відповідно до загальної потреби в кормових одиницях.

Якісний склад молока з визначенням масової частки жиру і білка в молоці досліджували на аналітичних приладах АКМ-98 і Ekomilk 120 – КАМ 98-2А із середніх проб молока. Білок визначали рефрактометричним методом на апараті ИРФ – 454Б 2М, а жирність – кислотним методом Гербера. Проводилися контрольні доїння для реєстрації удоїв за добу за кожен місяць лактації, відповідно до «Правил оцінки молочної продуктивності корів молочно-м'ясних порід СНПплем Р-23-97»). Досліджували інтенсивність секреції молока, тобто кількість молока за 1 місяць, коефіцієнт молочності.

Статистичний аналіз результатів дослідження проводився із використанням програмного забезпечення MSExcel (2010) за допомогою загальноприйнятих параметричних методів статистики за умови нормального розподілу даних, із розрахунком середньої арифметичної величини (M), похибки середньої арифметичної (m) та вірогідність отриманих даних (P).

2. Біологічні та технологічні особливості корів швіцької породи

Для максимізації надоїв, а, отже, майбутніх прибутків, тварини мають утримуватися в комфортних умовах. Комфорт тварин означає, що високопродуктивна корова впродовж 24 годин має перебувати в оптимальних для себе умовах утримання. Не слід обмежувати природну активність корови протягом дня: поїдання корму, напування, відпочинок, жування корму. Корова почувається добре за трьох таких основних умов: – сухі, м'які, зручні бокси (стійло) для відпочинку; – свіже повітря і прохолода; – необмежений підхід до корму і води. Якщо місце для відпочинку зручне, корови можуть лежати до 14 годин на добу. Якщо ж тварина змушена лежати на бетоні, то цей час значно скорочується⁸.

Останні десятиріччя в Україні широкого застосування мають такі породи молочного спрямування, як чорно-ряба молочна українська, червона степова, голштинська та інші. Проте швіцька бура порода великої рогатої худоби не набула такого широкого розповсюдження. Вона є однією з найдавніших порід у світі і була виведена в Швейцарії.

Завдяки високій біологічній пластичності і добрій акліматизаційній здатності в нових екологічних умовах швіцька худоба з Швейцарії

⁸ Червен І.І., Топорова Т.С. Сутність та особливості інноваційних технологій в молочному скотарстві. Глобальні та національні проблеми економіки. 2017. Вип. 15. С. 333–338.

експортувалась в різні країни світу з різними природно-кліматичними і господарськими умовами. Швіцька порода корів поширилася не тільки в Швейцарії, а і в Австрії, Італії, Німеччині, Північній Америці. Цією породою займаються селекціонери і таких країн, як Австралія, Нова Зеландія і багатьох інших (нараховують близько 14 країн, де активно використовується швіцька худоба)⁹.

За свідченнями Кругляк О.В. комбінована швіцька порода корів є унікальною і поєднує в собі переваги як м'ясних, так і молочних порід, має високу продуктивність. Універсальність породи дозволяє розводити тварин м'ясо-молочного, молочно-м'ясного або молочного напрямку з міцним тілом та значними габаритами, міцним здоров'ям, швидке дозрівання та плідне довголіття, вміє пристосовуватись до різних природних факторів та дає високоякісний продукт. Представники цієї породи стійко передають у спадок свої господарсько-корисні ознаки. Продуктивність швіцьких корів у світі знаходиться на другому місці після голштинської породи з удоєм 7147–7242 та вмістом жиру і білка у молоці на рівні 4,15 та 3,49¹⁰.

Дослідженнями Піщан І.С., Піщан С.Г. (2021) встановлена висока адаптаційна здатність корів швіцької породи, зокрема, на основі комплексної оцінки гомеостазу організму, технологічних, соматометричних, продуктивних і репродуктивних властивостей, а також продуктивних якостей отриманих нащадків за інтенсивної технології експлуатації на великому промисловому комплексі в умовах Степу України¹¹.

В цілому корови швіцької породи досить легко адаптуються до нових фізичних параметрів доїльного апарату. Встановлено, що швіцькі тварини володіють доброю адаптаційною пластичністю до інтенсивної технології експлуатації в нових природних умовах. Імпортовані швіцькі тварини проявляють високий із динамічним зростанням рівень молочної продуктивності та відтворної функції. Доведено, що адаптовані швіцькі корови дають здорових нащадків, які характеризуються задовільним балансом між зовнішнім середовищем та організмом. У дослідженнях Борща О.¹² та ін (2024) щодо впливу температурно-вологісних факторів

⁹ Обливанцов В.В. Хозяйственные и биологические признаки швицкого скота различной селекционной принадлежности в Украине. *Биология в сельском хозяйстве*. 2013. № 1. С. 14–24.

¹⁰ Кругляк О.В. Генетичні ресурси молочного скотарства України. *Економіка АПК*. 2018. № 1. С. 33–40.

¹¹ Піщан І.С., Піщан С.Г., Литвиненко Л.О., Гончар А.О., Силиченко К.А. Особливості реалізації продуктивних якостей корів швіцької породи в умовах великого промислового тваринницького комплексу. *Зернові культури*. Том 5. № 1. 2021. С. 167–179.

¹² Borshch, O., Prudnikov, V. Ruban S., Matvieiev, M. (2024). Cow behaviour and milk yield during different categories temperature-humidity indices. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 35(1)

на продуктивність корів. Найбільше цих факторів спостерігалось на відкритих відгодівельних майданчиках без укриттів. Там, у періоди тривоги та небезпеки, тривалість споживання корму зменшувались споживання енергії на 4,7 та 9,6 МДж та продуктивність на на 8,77% та 13,74%.

Слід відмітити, що корови сучасної швіцької породи молочного напрямку мають молочну продуктивність на рівні 8–10 тисяч кілограмів молока за лактацію. Причому відсоток високопродуктивних тварин у стаді складає не менше 60%, що є дуже важливим при формуванні товарного стада корів при промисловому автоматизованому виробництві. Молоко в цих корів дуже смачне, при вмісті до 4,2% жиру; до 3,5% білка з великим вмістом поживних речовин, з нього добре виготовляти дуже смачні сири і густу сметану¹³.

Підпала Т. В. та Ясевін С. Є. досліджували методи інтенсифікації, включаючи раціональну годівлю, комфортні умови утримання, особливості доїння та створення оптимальних технологічних умов для молочних порід худоби. Основна увага їх досліджень приділяється поєднанню комфортних умов утримання (холодний метод) з раціональною годівлею, що забезпечує максимальну продуктивність високопродуктивних порід. Зроблено акцент на «холодному» методі вирощування молодняка та створенні комфорту для корів. Вони стверджують, що безприв'язне утримання підвищує продуктивність, покращує здоров'я корів та знижує трудовитрати порівняно з традиційними методами, забезпечуючи економічну доцільність виробництва молока¹⁴.

3. Молочна продуктивність корів швіцької породи

Проведений аналіз фенотипових особливостей корів швіцької породи показав, що велика рогата худоба швіцької породи має досить кремезну статуру, середні показники живої маси швіцьких корів за першою лактацією становили 391,4 кг, за другу лактацію була вірогідно більшою на 49,8% ($P < 0,01$) (табл. 1). Це цілком відповідає стандартам швіцької породи української селекції. Так, у дослідженнях Піщан С.Г., Силиченко К.А. було отримано аналогічні дані. Жива маса корів швіцької породи за першою лактацією складала 403,1 кг, за другою – 598,5 кг, що лише на 2–3% більше від наших показників.

Перша лактація у корів швіцької породи тривала довше і становила 332,3 дів, тобто наближалася до тривалості стандартизованої лактації, але

¹³ Силиченко К.А. Молочна продуктивність корів швіцької породи весняно-літнього отелення з урахуванням особливостей їх добового раціону. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 121. С. 204–226.

¹⁴ Підпала Т. В., Ясевін С. Є. Інтенсивна технологія виробництва молока. *Тваринництво сьогодні*. 2021, № 7, с. 18–24.

достовірної різниці за її тривалістю за другою лактацією не встановлено (2,1%), яка склала 324,8 днів.

За даними Піщан С.Г., Силиченко К.А. у швіцьких корів тривалість лактацій відповідно становила 352 та 329,7 днів, але вірогідної різниці також встановлено не було, тоді як третя та четверта лактації були також коротшими за першу на 8 та 14,2 доби.

Таблиця 1

Молочна продуктивність корів

Показники	Перша лактація	Друга лактація
Жива маса корів, кг	391,4±27,5	586,2**±22,8
Тривалість лактації, днів	332,3±9,9	324,8 ±9,1
Надій за лактацію, кг	8215,6±283,3	8810,2**±284,6
Надій за лактацію в розрахунку на 3,5% жиру, кг	10938±304,3	11730**±296,3
Коефіцієнт молочності	2101,0*±74,3	1503,4±38,3
Жир молока, %	4,55±0,07	4,66±0,09
Білок молока, %.	3,62±0,07	3,66±0,08
Жир молока, кг	374,0±13,7	410,3±16,7
Білок молока, кг	297,6±14,1	322,6±13,2
Жир+Білок, кг	671,6±26,6	732,9±18,6
Відношення, Ж/Б	1,26±0,03	1,27±0,03

Примітки: * – $P < 0,01$, ** – $P < 0,05$.

З метою реалізації генетичного потенціалу тварин у сільськогосподарських підприємствах використовуються сучасні технології утримання к і годівлі. Основним господарським критерієм, за яким проводять оцінку і відбір великої рогатої худоби, є продуктивність. Для того, щоб досягти ефективного ведення галузі молочного скотарства, необхідно досліджувати всі аспекти селекційно-племінного процесу. Тому питання встановлення факторів, які впливають на продуктивність тварин, завжди є актуальними.

Оцінюючи продуктивні якості худоби (табл. 1), слід відмітити, що середній надій на корову за першу лактації, не дивлячись на більшу його тривалість, був меншим відносно другої лактації на 595 кг або 7,2% ($P < 0,05$). За даними Піщан І.С., Піщан С.Г. (2021) у швіцьких корів в умовах промислового тваринницького комплексу було отримано удій на корову за першу лактацію 8476 кг, другу 9465, третю – 9507 і четверту – 8995 кг¹¹. У дослідях Силиченко К.А. на коровах швіцької породи весняно-літнього отелення були отримані аналогічні показники продуктивності: за першу лактацію – 9744,9 кг, за другу (10597,2 кг) вірогідно більше на 8,2%, за третю – менше відносно першої на 1,1%, і другої на 9,9%.

В наших дослідях в розрахунку на 3,5% нормалізоване молоко удій на корову за другу лактацію також був вищим на 7,2% відносно першої лактації і становив 11730 кг. На відміну від цього коефіцієнт молочності корів у першу лактацію був вірогідно більшим ($P < 0,05$) проти другої лактації на 39,8% і становив 2101,0. Дослідженнями Піщан С.Г., Силиченко К.А.¹⁵ отримано таку ж саму тенденцію. Так як не дивлячись на більш високий удій корів у другу лактацію, коефіцієнт молочності корів у першу лактацію становив $2472,7 \pm 78,39$, і цей показник на 52,18% перевищував показники за другою лактацією ($1624,9 \pm 38,14$), на 61,15% – за третьою ($1534,4 \pm 25,61$), на 92,77% – за четвертою лактацією ($1282,7 \pm 29,34$).

Молоко є багатокомпонентною речовиною, яка забезпечує новонароджених ссавців необхідними поживними речовинами для активного росту та розвитку. Будучи основним джерелом їх харчування, суміш водорозчинних компонентів і жирів, тобто білків (казеїну і білків сироватки), вуглеводів (в основному лактози), мінералів і вітамінів є досить варіабельною.

На якість молока впливає безліч факторів, але найвагомішими з них є повноцінна годівля та система та способи утримання дійних корів. Однак постійний та добре налагоджений обмін речовин є головною передумовою активного функціонування вимені лактуючих тварин. Відомо, що зі збільшенням молочної продуктивності зростає і вірогідність порушення обміну речовин. Тобто це означає, що вміст головних компонентів молока може змінюватися в межах одного і того ж виду в залежності від індивідуальних особливостей тварин однієї і тієї ж породи, причому тут важливу роль відіграють нарівні як рівень і якість годівлі, так і стадія лактації¹⁶.

Як повідомляє Підпала Т. В. та ін. (2018), найцінніша в молоці суха речовина, основою якої є жир, білок, молочний цукор, мінеральні речовини та інші складові, які відзначаються високою біологічною активністю (вітаміни, гормони, ферменти, імунні тіла та ін.). Молоко швіцьких корів характеризується високими смаковими якостями за рахунок високого утримання жиру та білка. А високий відсоток жиру у молоці також є найбільш привабливим для переробки та сирного виробництва. У дослідних корів за першою лактацією в молоці встановлено висока масова частка жиру (4,55%) та білка (3,62%). За другу лактацію вони не вірогідно перевищували відповідні показники на 2,4% та 1,1%.

¹⁵ Піщан С.Г., Силиченко К.А. Характеристика молочної продуктивності та годівлі корів швіцької породи осінньо-зимового отелення. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 120. С. 221–237.

¹⁶ O'Callaghan, F. T., Hennessy, D., McAuliffe, S., Kilcawley, K. N., O'Donovan, M., Dillon, P., Ross, R. P., Stanton, C. (2016). Effect of Pasture Versus Indoor Feeding Systems on Raw Milk Composition and Quality over an Entire Lactation. *J. Dairy Science*. 99. P. 9424–9440.

Аналізуючи представлені показники, що характеризують продукцію жиру, білка, жиру та білка, співвідношення жиру до білка у досліді були також на достатньо високому рівні (табл. 1). За першу лактацію від корів швіцької породи було отримано 374,0 кг жиру, 297,6 кг білка, їх загальна сума відповідно склала 671,6 кг. За другу лактацію ці показники були вірогідно вищими на 9,6%, 8,4%, 9,1% відповідно. Проте співвідношення отриманого жиру до отриманого білка суттєво не відрізнялися і склали 1,26–1,27.

В дослідженнях Піщан І.С., Піщан С.Г. на швіцьких коровах були отримані схожі показники продуктивності. Тобто вони стверджують, що продукція молочного жиру відносно найнижча у первісток за першу лактацію, але зростає з віком корів і досягає свого максимального значення у третю-четверту лактацію. Так, від первісток за першу лактацію було одержано у середньому 309,7 кг молочного жиру, тим часом як упродовж другої лактації вони продукували 349,4 кг молочного жиру, що більше на 11,4% ($P < 0,05$) порівняно з першою лактацією. Також, відносно найнижчий показник білкової продукції був характерний для первісток за першої лактації, які упродовж стандартної лактації синтезували її на рівні 285,0 кг. Вже у другу лактацію від корів було одержано у середньому 326,9 кг білкової продукції, що на 11,8% ($P < 0,05$) більше порівняно з показниками тварин I групи.

Зміни надоїв корів протягом лактації та їх графічне відображення прийнято називати лактаційною кривою. У відповідності до стандартів лактаційної кривої за Версалем Ю.В.¹⁷, надій на корову перші 100 днів лактації збільшується, наступні 100 днів поступово знижується і останні 100 днів стрімко знижується, практично у 2 рази, порівняно з максимальним надоєм у третьому місяці.

4. Формування молочної продуктивності корів швіцької породи на протязі лактації

Молочна продуктивність корів, за повідомленнями Поліщук Т.В. та ін.¹⁸, формується на протязі всіх місяців лактації і великою мірою залежить від характеру формування лактації у корів, величини максимального надою та здатності підтримувати протягом тривалого часу надої на певному рівні.

Але навіть, якщо ці умови є оптимальними, продуктивність протягом лактації відбувається нерівномірно. Найвищим надій буває у перші

¹⁷ Версаль Ю. В. Оцінка факторів впливу для діагностики фізіологічного стану тварин. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2009. № 2. С. 128–134.

¹⁸ Поліщук Т.В., Лютка Г.І., Ушаков В.М. *Технологія підготовки корів до літнього утримання*. Монографія. ТОВ «Друк». ВНАУ. 2021. 236 с.

2–3 місяці після отелення корів, а потім починає поступово знижуватись до закінчення лактації.

Аналіз лактаційних кривих (рис. 1) показав, що найбільший місячний удій як в першу, так і в другу лактацію відмічено у третій місяць після розтелення. Тобто в першу лактацію відмічено, що в перший місяць лактації середньомісячний надій на корову був не високим (771 кг), у другому місяці він збільшився на 26,2%, у третьому іще на 2,6%. А вже з четвертого місяця почався поступовий спад рівня надою на 3,0%, на п'ятому – на 13,9%, після шостого місяця спад декілька згладжувався і складав у шостий місяць – 4,9%, у сьомий місяць 1,0%, у восьмому і дев'ятому знову відзначено різкий спад – 9,5 та 10,1%, і десятий – 3,9%.

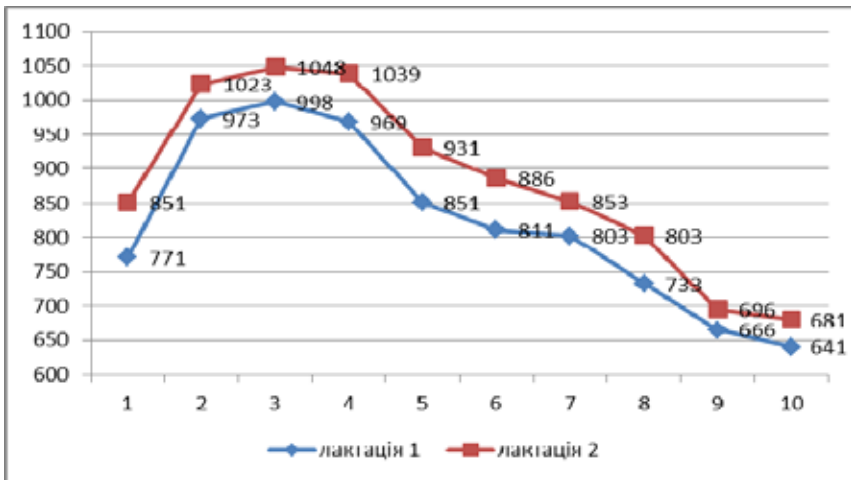


Рис. 1. Лактаційні криві корів швіцької породи

Слід відмітити, що перебіг лактаційної кривої від першого місяця до останнього дуже схожі по двох лактаціях. Проте в другу лактацію пік продуктивності корів відмічено у третьому і четвертому місяці, після чого також спостерігається різке скорочення надоїв і поступове їх зменшення до кінця лактації. Це не дивно, тому що більшість авторів пов'язують зниження надоїв після третього місяця лактації із заплідненням у цей період тварин і перерозподіл поживних речовин і обмінних процесів у організмі тварин на користь формування нового плода. Так, у другу лактацію на першому місяці надій також бум відносно низьким 851 кг, а у другому він підвищився на 20,2%, у третьому – іще на 2,4%, у четвертому він майже

не змінився, лише на 0,8%. З п'ятого місяця відмічена таж сама тенденція до різкого зменшення надою на 7,2%, у шостому – на 10,5%, у сьомому – на 3,9%, у восьмому – на 6,2%, дев'ятому – друге різке скорочення на 15,4% і десятому – 2,2%.

Слід відмітити, що у всі місяці лактації різниця за показниками середньомісячного надою на корову у другу лактацію вірогідно перевищували аналогічні у першу лактацію. Так, у перший місяць лактації ця різниця склала 10,4% ($P < 0,05$), у другий місяць – 5,1 ($P < 0,05$), третій – 5,0% ($P < 0,05$), четвертий – 7,2 ($P < 0,05$), п'ятий – 9,4 ($P < 0,05$), шостий – 9,2% ($P < 0,05$), сьомий – 6,2% ($P < 0,05$), восьмий – 9,5% ($P < 0,05$), дев'ятий – 4,5% ($P < 0,05$), десятий 6,2% ($P < 0,05$).

Хід лактаційної кривої швіцьких корів у нашому дослідженні цілком відповідає аналогічним у інших молочних порід за різних способів утримання. Він характеризується поступовим зростанням надоїв до третього-четвертого місяця лактації, різким зниженням надоїв до п'ятого місяця і поступовим зменшенням до кінця лактації з різким скороченням у останні два місяці.

Продуктивність корів швіцької породи в умовах утримання без приміщень була досить високою, що підтверджує ствердження про високу адаптаційність, пристосованість цих тварин до помірних кліматичних та погодних умов Сходу України. В дослідженнях Піщан І.С., Піщан С.Г. у швіцьких корів було отримано аналогічні результати: удій за першу лактацію 8476 кг, другу 9465, третю – 9507 і четверту – 8995 кг. За даними Піщан С.Г., Силиченко К.А. у швіцьких корів осінньо-зимового отелення була отримана трохи інша тенденція, тобто за першу лактацію надій на корову становив 9900 кг, за другу він зменшився на 2,1% і становив 9707 кг і за третю – знову збільшився на 1,4% до 10035 кг.

Поліщук Т.В., Лютка Г.І. та ін. повідомляють, що між показниками молочної продуктивності та живою масою корів спостерігаються додатні високовірогідні зв'язки: між живою масою і надоем вони знаходилися в межах 0,413–0,551, між живою масою і вмістом жиру в молоці – в межах 0,037–0,113 та між живою масою і кількістю молочного жиру – в межах 0,414–0,537.

В дослідженнях Перекрестової Г. В. встановлено, що чистопородні швіцькі корови володіють достатньо високими адаптивними властивостями до жорстких умов експлуатації тому упродовж 305 діб першої лактації секретують 7845,2 кг молока з масовою часткою жиру на рівні 4,15%, а білка – 3,45%. Найвищим показником жирномолочності відрізняються чистопородні первістки швіцької породи, у яких масова частка жиру становила у середньому 4,15%. Показник відношення жиру

і білка у чистопородних швіцьких первісток становив у середньому 1,2 одиниці¹⁹.

Підсумовуючи приведені дані досліджень, слід підкреслити, що досить високі показники живої маси та молочної продуктивності корів швіцької породи, які утримувалися на відкритих вигульних майданчиках цілорічно свідчили про те, що лактогенна функція швіцьких корів є адекватною і стабільною, такий спосіб утримання є енергоефективним і відповідає сучасним біотехнологічним вимогам для забезпечення належної активності обмінних процесів в організмі великої рогатої худоби промислового значення.

ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень щодо можливості утримання корів швіцької породи на відкритих вигульних майданчиках в умовах Сходу України можна зробити наступні висновки:

Встановлено, що молочна продуктивність корів швіцької породи була на достатньо високому рівні і за тривалості першої лактації 332,3±9,9 дні середній удій на корову становив 8215±283,3 кг. У другу лактацію тривалістю 324,8±9,1 днів вона становила 8810±284,6 кг, що вірогідно перевищувало першу лактацію на 7,2% ($P < 0,05$). Проте коефіцієнт молочності корів у першу лактацію був вірогідно більшим ($P < 0,05$) відносно другої лактації на 39,8% і становив 2101,0.

Молоко дослідних швіцьких корів відрізнялося високими якісними показниками, масова частка жиру ба білка у молоці у першу лактацію становили 4,55%±0,07 та 3,62%±0,07, у другу лактацію на 2,4% та 1,1% відповідно більше. За першу лактацію від корів швіцької породи було отримано 374,0±13,7 кг жиру, 297,6±14,1 кг білка, їх загальна сума відповідно склала 671,6±26,6 кг. За другу лактацію ці показники були вірогідно вищими на 9,6%, 8,4%, 9,1% відповідно. Проте співвідношення отриманого жиру до отриманого білка суттєво не відрізнялися і склали 1,26–1,27.

Аналіз формування удою корів по місяцях лактації показав, що в обидві лактації лактаційні криві відповідали загальним стандартам і характеризувалися відносною стабільністю. Так, найбільший місячний удій як в першу (998 кг), так і в другу лактацію (1048 кг) відмічено у третій місяць після розтелення. З четвертого місяця відмічено поступовий спад рівня надою, після шостого місяця спад декілька згладжувався і у восьмому і дев'ятому знову відзначено різкий спад. Необхідно зазначити, що у всі

¹⁹ Перекрестова Г.В. лактаційна функція первісток різних генотипів на промисловому комплексі з виробництва молока. *Таврійський науковий вісник*. 2017. № 96. С. 167–172.

місяці лактації різниця за показниками середньомісячного надою на корову у другу лактацію вірогідно перевищували аналогічні у першу лактацію.

На підставі отриманих високих результатів продуктивності корів швіцької породи можна рекомендувати цілорічне їх утримання на відкритих вигульних майданчиках без приміщень в умовах помірного клімату Сходу України, так як він відповідає сучасним біотехнологічним вимогам. Також його можна рекомендувати для відродження скотарства на східних територіях, постраждалих від військової агресії.

АНОТАЦІЯ

В сучасних умовах різкого скорочення поголів'я великої рогатої худоби, особливо у східних регіонах України, постраждалих від військової агресії росії, гостро постає питання відродження скотарства у короткі терміни. Одним із шляхів такого відродження, на нашу думку, є застосування енергоощадних технологій утримання худоби. В розділі наведено результати досліджень щодо пристосування корів швіцької породи до умов цілорічного утримання на відкритих вигульних майданчиках без приміщень. Дослідження проводилося у ПП «Агро-Новоселівка 2009» Харківського району, Харківської області. Доведено, що корови швіцької породи завдяки високій біологічній пластичності і добрій акліматизаційній здатності в екологічних умовах Сходу України проявили високу молочну продуктивність у першу лактацію на рівні 8215 кг, за другу лактацію удій на корову склав 8810кг, що вірогідно більше на 7,2% ($P < 0,05$) порівняно з першою. За першу лактацію в молоці дослідних корів встановлено високу масову частку жиру (4,55%) та білка (3,62%), що на 2,4% та 1,1% менше порівняно з другою. За виробництвом молочного жиру та білка встановлено таку ж саму тенденцію, яке становило у першу лактацію 374,0 та 297,6 кг, у другу лактацію відповідно 410,3 та 322,6 кг, що вірогідно вище на 9,6%, 8,4% відносно першої лактації. Лактаційні криві за обидві лактації мали схожу конфігурацію з максимальним надоєм у третьому місяці лактації.

Цілорічне утримання корів швіцької породи на відкритих вигульних майданчиках на протязі двох лактацій з високими продуктивними якістьми характеризує можливість застосування такого способу утримання у сільськогосподарських підприємствах Сходу України при відродженні молочного скотарства.

Література

1. Нейтер Р., Зоря С., Муляр О., Збитки, втрати та потреби сільського господарства через повномасштабне втогнення. KSE: Центр досліджень

продовольства та землекористування. К. 2024. 33 с. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/02/RDNA3_ukr.pdf

2. Петруша Є.З. Експериментальне обґрунтування параметрів утримання молочних корів. Харків : Оригінал, 1998. 191 с.

3. Підпала Т. В. Оцінка особливостей інтенсивної технології виробництва молока. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 106. С. 87–93. DOI http://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/106_2019/30.pdf

4. Підпала Т. В., Ясевін С. Є. Інтенсивна технологія виробництва молока. *Тваринництво сьогодні*. 2021, № 7, с. 18–24. URL: <https://www.google.com/search?>

5. Рубан С. Ю., Борщ О. В., Борщ О. О., [та ін.] Сучасні технології виробництва молока (особливості експлуатації, технологічні рішення, ескізні проекти) Харків. Стил-Іздаг. 2017. 168 с. URL: https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNAU/1951/1/Suchasni_tekhnolohii.pdf

6. Кірович Н.О., Дідур Л.І. Сучасний стан галузі м'ясного скотарства в Україні. *Таврійський науковий вісник*. 2025. № 143. Ч. 1. с. 241–248. DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.143.1.29>

7. Колісник О. І., Прудніков В. Г., Криворучко Ю. І., Нагорний С. А. Технологічні особливості утримання м'ясної худоби абердин-ангуської породи в зимовий період на відкритих майданчиках. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2017. № 4 (87). С. 67–71. URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2017/04/15.pdf>

8. Червен І.І., Топорова Т.С. Сутність та особливості інноваційних технологій в молочному скотарстві. Глобальні та національні проблеми економіки. 2017. Вип. 15. С. 333–338. URL: <https://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://global-national.in.ua/archive/15-2017/68.pdf>

9. Обливанцов В.В. Хозяйственные и биологические признаки швицкого скота различной селекционной принадлежности в Украине. *Биология в сельском хозяйстве*. 2013. № 1. С. 14–24. URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/7019795/>

10. Кругляк О.В. Генетичні ресурси молочного скотарства України. Економіка АПК. 2018. № 1. С. 33–40. URL: https://eapk.com.ua/web/uploads/pdf/eapk_2018_01_p_5_99-33-39.pdf

11. Піщан І.С., Піщан С.Г., Литвиненко Л.О., Гончар А.О., Силиченко К.А. Особливості реалізації продуктивних якостей корів швіцької породи в умовах великого промислового тваринницького комплексу. *Зернові культури*. Том 5. № 1. 2021. С. 167–179. DOI <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0174>

12. Borshch, O., Prudnikov, V. Ruban S., Matvieiev, M. (2024). Cow behaviour and milk yield during different categories temperature-humidity

indices. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú. 35(1): article number: e25305. (Scopus). URL: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172024000100012

13. Силиченко К.А. Молочна продуктивність корів швіцької породи весняно-літнього отелення з урахуванням особливостей їх добового раціону. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 121. С. 204–226. DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.121.29>

14. Підпала Т. В., Ясевін С. Є. Інтенсивна технологія виробництва молока. *Тваринництво сьогодні*. 2021, № 7, с. 18–24. URL: <https://www.google.com/search?>

15. Піщан С.Г., Силиченко К.А. Характеристика молочної продуктивності та годівлі корів швіцької породи осінньо-зимового отелення. *Таврійський науковий вісник*. 2021. № 120. С. 221–237. DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.120.29>

16. O'Callaghan, F. T., Hennessy, D., McAuliffe, S., Kilcawley, K. N., O'Donovan, M., Dillon, P., Ross, R. P., Stanton, C. (2016). Effect of Pasture Versus Indoor Feeding Systems on Raw Milk Composition and Quality over an Entire Lactation. *J. Dairy Science*. 99. P. 9424–9440. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12508>

17. Версаль Ю.В. Оцінка факторів впливу для діагностики фізіологічного стану тварин. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2009. № 2. С. 128–134. DOI: <https://10.31891/2219-9365>

18. Поліщук Т.В., Лютка Г.І., Ушаков В.М. Технологія підготовки корів до літнього утримання: Монографія. ТОВ «Друк». ВНАУ. 2021. 236 с. URL: <https://repository.vsau.org/card.php?lang=en&id=28639>

19. Перекрестова Г.В. лактаційна функція первісток різних генотипів на промисловому комплексі з виробництва молока. *Таврійський науковий вісник*. 2017. № 96. С. 167–172. URL: https://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/98_2017/29.pdf

Information about the authors:

Prudnikov Vasily Grygorovych,

Doctor of Agricultural Sciences, Professor,

Professor at the Department of Processing Technology
and Quality of Livestock Products

State Biotechnological University

44, Alchevskikh street, Kharkiv, Ukraine

Kolisnyk Oleksandr Ivanovych,
Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher,
Senior Researcher at the Department of Innovative Technologies in Animal
Husbandry, Feeding, Nutritional Physiology and Feed Production
Institute of Animal Husbandry
of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
1-A, Tvarynnykyv street, Kharkiv, Ukraine

Batyr Ruslan Yuriyvych,
Candidate of Agricultural Sciences,
Doctoral Student at the Department of Innovative Technologies in Animal
Husbandry, Feeding, Nutritional Physiology and Feed Production
Institute of Animal Husbandry
of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
1-A, Tvarynnykyv street, Kharkiv, Ukraine

ВПЛИВУ ДОБАВОК ЛІТІЮ В КОМБІКОРМИ НА ОБМІН РЕЧОВИН В ОРГАНІЗМІ МОЛОДНЯКА ГУСЕЙ

Соболев О. І., Петришак Р. А., Косіор Л. Т.
DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-695-9-6>

ВСТУП

М'ясне птахівництво є найбільш динамічною галуззю аграрного сектора економіки, здатною у найближчі роки докорінно поліпшити забезпечення населення світу високоякісними дієтичними продуктами харчування та зміцнити продовольчу безпеку багатьох держав. Світовий сектор птахівництва має щорічну стійку тенденцію до зростання, оскільки попит на його продукцію обумовлений збільшенням чисельності населення, ростом доходів та урбанізацією. Подальший розвиток птахівництва може призвести до відкриття нових робочих місць у технологічно пов'язаних суміжних галузях, зокрема, комбикормовій, переробній та харчовій і, як наслідок, сприятиме частковому вирішенню проблеми безробіття у світі^{1, 2}.

Не дивлячись на значний прогрес у виробництві продукції, питання підвищення продуктивності сільськогосподарської птиці, ефективності використання кормів, покращення якості продукції залишаються актуальними для галузі птахівництва і розробляється у різних аспектах – фізіологічному, генетичному, ветеринарному та зоотехнічному. Наукові дослідження, як правило, тісно пов'язуються з практичними завданнями, зокрема, з удосконаленням технологій вирощування, систем годівлі та утримання, ветеринарно-профілактичних заходів, способів підготовки та транспортування птиці на забій тощо.

Серед численних елементів технологічного процесу, що забезпечують високу життєдіяльність сільськогосподарської птиці та максимальну реалізацію її генетичного потенціалу, а також раціональне використання

¹ Mottet A., Tempio G. Global poultry production: current state and future outlook and challenges. *World's Poultry Science Journal*. 2017. Vol. 7, № 2. P. 245–256. DOI: 10.1017/S0043933917000071.

² Poultry farming industry contribution in the world economy / M. Naushad et. al. 2021. DOI: 10.13140/RG.2.2.22054.86081.

кормових ресурсів, важлива роль відводиться повноцінній годівлі, яка передбачає повне задоволення індивідуальної потреби птиці в обмінній енергії, основних поживних і біологічно активних речовинах^{3,4}.

Сьогодні зоотехнічна наука збагатилася даними, які дозволяють твердити, що подальше поліпшення якості годівлі різних видів сільськогосподарської птиці має бути пов'язано не стільки зі збільшенням норми обмінної енергії та основних поживних речовин у комбікормах, скільки з підвищенням їх біологічної цінності.

Сучасні комбікорми для сільськогосподарської птиці неможливо уявити без відповідних добавок мікроелементів. Результати чисельних наукових досліджень переконливо доводять, що забезпечення сільськогосподарської птиці оптимальною кількістю мікроелементів дозволяє не тільки покращити перетравність і засвоєння поживних речовин корму в організмі, забезпечити нормальне функціонування імунної системи та підвищити продуктивні якості, але й знизити втрати продукції^{5,6}.

Мікроелементи в організмі сільськогосподарської птиці на біологічному, хімічному і молекулярному рівнях виконують унікальні структурні, фізіологічні, каталітичні та регуляторні функції. Вони активують дію багатьох ферментів, гормонів та інших біологічно активних речовин і тим самим опосередковано впливають на перебіг важливих фізіолого-біохімічних реакцій в організмі. У складі біокаталізаторів вони беруть участь в окисно-відновних процесах, кровотворенні, диханні, обміні білків, жирів, вуглеводів, вітамінів і мінеральних речовин, біосинтезі антитіл, стабілізації цілісності клітинних структур, нейтралізують і посилюють виведення важких металів із організму^{7, 8, 9}.

Мікроелементи не можуть бути синтезовані в організмі чи замінені іншими речовинами, і тому основним джерелом надходження їх в організм

³ Tufarelli V., Ragni M., Laudadio V. Feeding forage in poultry: a promising alternative for the future of production systems. *Agriculture*. 2018. Vol. 8, № 6. P. 81. DOI: 10.3390/agriculture8060081.

⁴ Dei H. K. Advances in poultry nutrition research-a review. *IntechOpen*, 2021. 214 p. DOI: 10.5772/intechopen.95990.

⁵ Role of trace elements in animals: a review / M. I. Yattoo et. al. *Veterinary World*. 2013. Vol. 6, № 12. P. 963–967. DOI: 10.14202/vetworld.2013.963-967.

⁶ Inclusion of complexed trace minerals enhance performance of broiler chickens / S. P. Macelline et. al. *Journal of Applied Poultry Research*. 2024. Vol. 33, № 4. P. 100465. DOI: 10.1016/j.japr.2024.100465.

⁷ Trace mineral nutrition in poultry and swine / J. D. Richards et. al. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2010. Vol. 23, № 11. P. 1527–1534. DOI: 10.5713/ajas.2010.r.07.

⁸ Hassan S., Hassan F. U., Rehman M. S. "Nano-particles of trace minerals in poultry nutrition: potential applications and future prospects." *Biological trace element research*. 2020. Vol. 195, № 2. P. 591–612. DOI: 10.1007/s12011-019-01862-9.

⁹ Effects of different trace elements and levels on nutrients and energy utilization, antioxidant capacity, and mineral deposition of broiler chickens / G. Lv et. al. *Agriculture*. 2023. Vol. 13, № 7. P. 1369. DOI: 10.3390/agriculture13071369.

птиці є корми. Мікроелементи вводяться до складу комбікормів для птиці у вигляді гарантованих добавок, без урахування вмісту їх у компонентах комбікорму¹⁰.

Діючи в Україні деталізовані норми годівлі передбачають обов'язкове введення в комбікорми для різних видів сільськогосподарської птиці тільки семи мікроелементів (Fe, Zn, Mn, Cu, I, Co, Se)¹¹. Проте, на думку вчених, перелік мікроелементів, які використовуються у складі комбікормів для різних видів сільськогосподарської птиці, явно недостатній.

1. Біологічна роль літію та використання його у птахівництві

Останніми роками у багатьох країнах світу проводяться прикладні дослідження щодо визначення фізіологічної потреби птиці у мінеральних елементах, які раніше не враховувалися у раціонах, але, як доведено, справляють позитивний вплив на її організм. До таких біоелементів, що, на думку вчених, підлягають обов'язковому нормуванню, належить і літій¹².

За класифікацією, що ґрунтується на біологічній ролі мікроелементів для живих організмів та широко використовується у біохімії та фізіології, літій відноситься до групи умовно-есенціальних елементів¹³. Проте, сьогодні він розглядається вченими як “серйозний кандидат на есенціальність”¹⁴.

Чисельні експериментальні дослідження проведені на різних видах сільськогосподарських тварин і птиці переконливо довели, що літій є біогенним ультрамікроелементом з широким спектром фізіологічних і біохімічних ефектів^{15,16}.

¹⁰ Vitamins and minerals in poultry / E. Öztürk et. al. Ankara : Iksad Publications, 2024. 354 p. DOI: 10.5281/zenodo.13984263.

¹¹ Ефективна годівля сільськогосподарської птиці / Н. І. Братишко та ін. ; за ред. І. А. Іонова. Київ : Аграрна наука, 2013. 210 с.

¹² Грибанова А. А., Соболев О. І. Продуктивні якості гусенят, що вирощуються на м'ясо за використання у комбікормах добавок Літію. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*. 2015. № 1. С. 145–149.

¹³ A review on role of essential trace elements in health and disease / L. Prashanth et. al. *Journal Dr. NTR University of Health Sciences*. 2015. Vol. 4, № 2. P. 75–85. DOI: 10.4103/2277-8632.158577.

¹⁴ Bauer M., Gitlin M. Lithium and its history. The essential guide to lithium treatment. Springer Cham, 2016. P. 25–31. DOI: 10.1007/978-3-319-31214-9_3.

¹⁵ Towards a unified understanding of lithium action in basic biology and its significance for applied biology / E. Jakobsson et. al. *The Journal of membrane biology*. 2017. Vol. 250, № 6. P. 587–604. DOI: 10.1007/s00232-017-9998-2.

¹⁶ Roux M., Dosseto A. From direct to indirect lithium targets: a comprehensive review of omics data. *Metallomics*. 2017. Vol. 9, № 10. P. 1326–1351. DOI: 10.1039/c7mt00203c.

Він володіє антивірусними¹⁷, антимікробними¹⁸, антиметастатичними¹⁹, протипухлинними²⁰, антистресовими²¹, радіозахисними²², імуномодуючими²³ та антиоксидантними²⁴ властивостями. Існують прямі клінічні докази впливу Літію на остеогенез²⁵.

Біохімічні механізми дії Літію багатофакторні і пов'язані з дією багатьох ферментів, гормонів, вітамінів та транскрипцією генів, що регулюють ріст і розвиток. Сьогодні біохімічні ефекти та механізми дії солей Літію інтенсивно вивчаються, але залишаються поки що не до кінця з'ясованими²⁶.

Літій вже давно з успіхом використовуються у медицині, як ефективний засіб для лікування та профілактики багатьох хвороб, зокрема, афективних біполярних розладів, у маніакальній та депресивній фазах, деменції, хвороби Альцгеймера, хвороби Паркінсона та Хантингтона, деяких видів раку та інших^{27, 28}.

Відкриття біологічних властивостей Літію стало підставою для використання його й у ветеринарній та зоотехнічній практиці. У ветеринарії препарати Літію з успіхом використовуються для лікування різних захворювань тварин, зокрема,

¹⁷ Antiviral effect of lithium chloride on replication of avian leukosis virus subgroup J in cell culture / K. Qian et al. *Archives of Virology*. 2018. Vol. 163, № 4. P. 987–995. DOI: 10.1007/s00705-017-3692-7.

¹⁸ Stachelska M. A. Inhibitory properties of lithium, sodium and potassium o-, m- and p-coumarates against *Escherichia coli* O157:H7. *Acta scientiarum polonorum. Technologia alimentaria*. 2015. Vol. 14, № 1. P. 77–84. DOI: 10.17306/J.AFS.2015.1.9.

¹⁹ Ge W., Jakobsson E. Systems biology understanding of the effects of lithium on cancer. *Frontiers in Oncology*. 2019. Vol. 9. P. 296. DOI: 10.3389/fonc.2019.00296.

²⁰ Lithium down-regulates histone deacetylase 1 (HDAC1) and induces degradation of mutant huntingtin / S. Wu et al. *The Journal of biological chemistry*. 2013 Vol. 288, № 49. P. 35500–35510. DOI: 10.1074/jbc.M113.479865.

²¹ Machado-Vieira R. Lithium, stress, and resilience in bipolar disorder: deciphering this key homeostatic synaptic plasticity regulator. *Journal of Affective Disorders*. 2018; Vol. 233. P. 92–99. DOI: 10.1016/j.jad.2017.12.026.

²² Bhattacharjee D, Rajan R, Krishnamoorthy L, Singh B. B. Effects of lithium chloride as a potential radioprotective agent on radiation response of DNA synthesis in mouse germinal cells. *Radiation and environmental biophysics*. 1997. Vol. 36, № 2. P. 125–128. DOI: 10.1007/s004110050063.

²³ Lohitha G., Singh, P. P. Lithium: immunomodulatory and anti-infectious. *Activities Journal of Pharmaceutical Research*. 2019. Vol. 4, № 1. P. 1–11.

²⁴ The effect of lithium salt with ascorbic acid on the antioxidant status and productivity of gestating sows / K. Ostrenko et al. *Animals (Basel)*. 2022. Vol. 12, № 7. P. 915. DOI: 10.3390/ani12070915.

²⁵ Tang L., Chen Y., Pei F., Zhang H. Lithium chloride modulates adipogenesis and osteogenesis of human bone marrow-derived mesenchymal stem cells. *Cell Physiol Biochem*. 2015. Vol. 37, № 1. P. 143–152. DOI: 10.1159/000430340.

²⁶ Mikosha A. S., Kovzun O. I., Tronko M. D. Biological effects of lithium – fundamental and medical aspects. *Ukrainian Biochemical Journal*. 2017. Vol. 89, № 3. P. 5–16. DOI: 10.15407/ubj89.03.005/.

²⁷ Gitlin M., Bauer M. Lithium: current state of the art and future directions. *International journal of bipolar disorders*. 2024. Vol. 12, № 1. P. 40. DOI: 10.1186/s40345-024-00362-7.

²⁸ Yang C., Zhu B., Zhan M., Hua Z. C. Lithium in cancer therapy: friend or foe? *Cancers (Basel)*. 2023. Vol. 15, № 4. P. 1095. DOI: 10.3390/cancers15041095.

циклічного гемопоезу²⁹, тромбоцитопенії³⁰, мієлосупресії³¹, естроген-індукованої мієлотоксичності у собак³², а також для інгібування реплікації різних вірусів³³ та боротьби з червоним кліщем (*Dermanyssus gallinae*) у домашньої птиці³⁴.

У зоотехнії, зокрема птахівництва, літій стали використовувати порівняно недавно. Різні препарати Літію використовують з метою профілактики та корекції «технологічних» стресів при пересадки та транспортуванні молодняка птиці, при проведенні дебікування та вакцинації курчат³⁵. Солі Літію вводять до складу комбікормів для сільськогосподарської птиці з метою підвищення її живої маси, життєздатності, забійних і м'ясних якостей, покращення органолептичних показників м'яса, його хімічного складу та біологічної цінності^{36, 37, 38}. Водними розчинами Літію проводять передінкубаційну обробку гусячих яєць з метою підвищення їх виводимості та виводу молодняка³⁹.

Незважаючи на біохімічну багатогранність і практичне значення цього мікроелемента, літій поки що недостатньо використовується в годівлі сільськогосподарської птиці. Це пов'язано з відсутністю диференційованих норм уведення його в комбікорми для сільськогосподарської птиці різного виду, віку і напрямку продуктивності.

²⁹ Yang C., Zhu B., Zhan M., Hua Z. C. Lithium in cancer therapy: friend or foe? *Cancers (Basel)*. 2023. Vol. 15, № 4. P. 1095. DOI: 10.3390/cancers15041095.

³⁰ Duvall A., Gallicchio V. S. Lithium treatment in clinical medicine: history, current status and future use. *Journal of Cell Science & Therapy*. 2017. Vol. 8, № 3. P. 270. DOI: 10.4172/2157-7013.1000270.

³¹ Abrams-Ogg A. C. G. The use of lithium carbonate to prevent lomustine-induced myelosuppression in dogs: a pilot study. *Canadian journal of veterinary research = Revue canadienne de recherche veterinaire*. 2011. Vol. 75, № 1. P. 73–76.

³² Gallicchio V. S. Lithium effects on stem cells – advances in stem cell application in clinical medicine. *Journal of Cell Science and Mutations*. 2018. Vol. 2, № 1. P. 1–11. DOI: 10.35841/cell-science.2.1.1-11.

³³ Lithium chloride inhibits infectious bronchitis virus-induced apoptosis and inflammation / X. Liu et al. *Microbial pathogenesis*. 2022. Vol. 162. P. 105352. DOI: 10.1016/j.micpath.2021.105352.

³⁴ Lithium chloride shows effectiveness against the poultry red mite (*Dermanyssus gallinae*) / B. Kolics et al. *Insects*. 2022. Vol. 13, № 11. P. 1005. DOI: 10.3390/insects13111005.

³⁵ Miftakhutdinov A. V., Saifulmulyukov E. R., Nogovitsina E. A. Alleviation of technological stresses by a feed supplement. *Agronomy Research*. 2021. Vol. 19, № 2. P. 552–561. DOI: 10.15159/AR.21.039.

³⁶ Грибанова А. А., Соболев О. І. М'ясна продуктивність гусенят за використання у комбікормах добавок літію. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*. 2013. Вип. 10. С. 34–37.

³⁷ Sobolev O. I., Gut'j B. V. The quality of gosling meat depending on the level of lithium in mixed foders. *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*. 2019. Vol. 2, № 2. P. 3–6. DOI: 10.32718/ujvas2-2.01.

³⁸ Пат. 152767 Україна, МПК (2023.01), А23К 10/00, А23К 50/75. Спосіб підвищення продуктивності молодняка гусей / О. І. Соболев, В. М. Недашківський, С. В. Соболева ; Білоцерківський національний аграрний університет. № у 2022 00797 ; заяв. 21.02.2022 ; опубл. 12.04.2023, Бюл. № 15.

³⁹ Любенко О. І., Семенцова Л. О. Підвищення інкубаційних якостей яєць горьківської породиної групи гусей шляхом застосування йодовмісних препаратів. *Таврійський науковий вісник. Сільськогосподарської науки*. 2021. Вип. 122. С. 226–231. DOI: 10.32851/2226-0099.2021.122.33.

При розробці та теоретичному обґрунтуванні оптимальних норм уведення Літію до складу комбікормів для птиці, слід оцінювати не тільки її продуктивні якості, але й основні процеси ступеневого ферментативного розщеплення і всмоктування поживних речовин корму в шлунково-кишковому тракті. Це пов'язано з тим, що відповідна реакція живого організму на нові кормові фактори може проявлятися у змінах травних процесів. Питання впливу Літію на ступінь використання окремих групи поживних речовин (білків, жирів, вуглеводів) в організмі птиці у процесі травлення мають важливе теоретичне і практичне значення, тому що дозволяють розширити наші знання про його біологічну роль та пояснити дані, одержані в експериментах. Крім того, при оцінці обміну білків, особливе значення має рівень відкладання і засвоєння в організмі Нітрогену, оскільки він найбільш точно визначає інтенсивність синтезу органічних речовин і приростів живої маси птиці (в основному за рахунок нарощування м'язової тканини).

Аналіз та узагальнення літературних даних дали змогу дійти висновку, що до цього часу відсутні наукові публікації щодо характеру змін у перетравності та засвоєнні основних поживних речовин в організмі різних видів сільськогосподарської птиці за використання Літію у складі їх комбікормів.

Метою наших досліджень було вивчення впливу добавок різних доз Літію в комбікорми на ступінь перетравності поживних речовин корму і баланс Нітрогену в організмі молодняка гусей, що вирощується на м'ясо.

2. Матеріали і методи досліджень

Експериментальні дослідження проведені на гусенятах породи "Датский легарт". Для проведення фізіологічного дослідження було сформовано, за принципом аналогів, чотири групи молодняка гусей по 5 голів у кожній. Вік гусенят на початок дослідження становив 30 днів. Групи формували з урахуванням живої маси птиці та за однакового співвідношення у групах самців і самок. Фізіологічний дослід складався з двох періодів: попереднього (3 дні) і основного (5 днів). Упродовж дослідження гусенят утримували у спеціальних клітках, які пристосовані для збирання посліду.

Годівля гусенят усіх груп упродовж фізіологічного дослідження здійснювалася сухими повнораціонними комбікормами, що збалансовані за основними поживними та біологічно активними речовинами, відповідно до існуючих норм. Гусенята першої контрольної групи добавку Літію у комбікорми не одержували. Птиці дослідних груп додатково вводили у комбікорми різні дози Літію згідно зі схемою дослідження (табл. 1).

Схема фізіологічного досліджу

Група	Періоди досліджу	
	попередній	основний
1 контрольна	Повнораціонний комбікорм (ПК)	ПК
2 дослідна	ПК	ПК + Li 0,05 мг/кг
3 дослідна	ПК	ПК + Li 0,10 мг/кг
4 дослідна	ПК	ПК + Li 0,15 мг/кг

Як джерело Літію, використовували його наноаквахелатну форму.

На початку основного періоду фізіологічного досліджу проводився відбір середніх проб комбікормів відповідно до загальноприйнятих методів⁴⁰. Зберігали середні проби комбікормів у поліетиленових пакетах.

Упродовж основного періоду фізіологічного досліджу проводився ретельний облік спожитого корму та виділеного посліду. Послід збирали два рази на добу: ранком і ввечері. Зібраний послід зважували і відбирали середні проби для аналізу. Фіксацію аміаку кожної проби посліду проводили шляхом залиттям 0,1-н розчином шавлевої кислоти із розрахунку 4 мл на 100 г гомогенізованої маси посліду. До проведення зоотехнічного аналізу всі проби посліду зберігалися у холодильнику в скляній, щільно закритій тарі.

Хімічний аналіз комбікормів і посліду проводили такими методами:

- загальна вологість – шляхом висушування наважки до постійної маси у сушильній шафі⁴¹;
- сирий протеїн – за К'ельдалем⁴²;
- сирий жир – екстрагуванням етиловим спиртом в апараті Сокслета⁴³;
- сира клітковина – методом проміжного фільтрування⁴⁴;
- сира зола – шляхом озолення наважки у муфельній печі⁴⁵.

⁴⁰ ДСТУ ISO 6497:2005. Корми для тварин. Методи відбирання проб. : Чинний від 2008-03-01. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 18 с. (Національні стандарти України).

⁴¹ ДСТУ ISO 6496:2005. Корми для тварин. Визначення вмісту вологи та інших летких речовин. : Чинний від 2006-07-01. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 11 с. (Національні стандарти України).

⁴² ДСТУ ISO 5983-1:2014. Корм для тварин. Визначення вмісту азоту та обчислення вмісту сирого протеїну. Частина 1. Метод К'ельдаля. : Чинний від 2015-07-01. Київ : Держспоживстандарт України 2015. 12 с. (Національні стандарти України).

⁴³ ДСТУ ISO 6492:2003. Корми для тварин. Визначення вмісту жиру. : Чинний від 2005-07-01. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 12 с. (Національні стандарти України).

⁴⁴ ДСТУ ISO 6865:2004. Корми для тварин. Визначення вмісту сирі клітковини методом проміжного фільтрування. : Чинний від 2006-04-01. Київ : Держспоживстандарт України, 2004. 14 с. (Національні стандарти України).

⁴⁵ ДСТУ ISO 5984:2004. Корми для тварин. Визначення вмісту сирі золи. : Чинний від 2006-01-01. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 8 с. (Національні стандарти України).

Вміст безазотистих екстрактивних речовин у комбікормах і посліді визначали розрахунковим шляхом, за різницею між 100 та сумою процентів всіх інших речовин корму або посліду.

Кількість перетравних птицею поживних речовин визначали за різницею між надходженням їх в організм із кормом і виділенням їх із послідом. При визначенні перетравності сирого протеїну, використовували модифікований метод М. І. Д'якова, який оснований на хімічному способі відділення азотистих речовин калу від азотистих речовин сечі.

Кількість перетравленої гусенятами органічної речовини комбікормів розраховували за формулою:

$$K = A - (B - C),$$

де К – перетравлена органічна речовина корму, г; А – органічна речовина корму, г; В – органічна речовина посліду, г; С – органічна речовина сечі, г (загальний азот посліду відняти азот, що виділився з калом, і результат помножити на коефіцієнт “3”).

Для математичної обробки отриманих результатів використовували комп'ютерні програми статистичної обробки Microsoft Excel. Вірогідність різниці між групами оцінювали за критерієм Стьюдента та критерієм Фішера (за дисперсійного аналізу).

3. Результати та їх обговорення

Облік використаних комбікормів упродовж основного періоду фізіологічного дослідження та дані про їхній хімічний склад дозволили встановити, що за кількістю основних поживних речовин, які в середньому за добу надходили в організм гусенят, суттєвих відмінностей між молодняком контрольної та дослідних груп не спостерігалось (табл. 2).

Таблиця 2

Середньодобове споживання поживних речовин корму молодняком гусей, г/гол ($\bar{D} \pm S_{\bar{D}}$, n = 5)

Показник	Група			
	1 контрольна	2 дослідна	3 дослідна	4 дослідна
Органічна речовина	224,1±0,89	225,1±1,05	223,9±1,65	225,9±1,53
Сирий протеїн	49,5±0,20	49,9±0,23	49,7±0,37	49,7±0,34
Сира клітковина	12,3±0,05	11,9±0,06	12,2±0,09	12,1±0,08
Сирий жир	9,4±0,07	9,3±0,04	9,3±0,07	9,2±0,06
БЕР	152,8±0,61	154,0±0,72	152,6±1,13	154,9±1,05

Так, фактичне споживання з кормом органічної речовини гусенятами контрольної групи в середньому на одну голову за добу становило 224,1 г; сирого протеїну – 49,5; сирого клітковини – 12,3; сирого жиру – 9,4 та безазотистих екстрактивних речовин (БЕР) – 152,8 г. Аналогічні показники у їх ровесників із дослідних груп варіювали у таких межах, г: 223,9–225,9; 49,7–49,9; 11,9–12,2; 9,2–9,3 та 152,6–154,9 відповідно. Слід також відзначити, що існуючі між групами невірогідні відмінності за фактичним споживанням поживних речовин не мали певного закономірного зв'язку з дозами Літію, що вводилися у комбікорми.

Проведені в подальшому математичні розрахунки, на основі одержаних результатів, дали змогу виявити та деталізувати характер змін у перетравності основних поживних речовин комбікормів у птиці дослідних груп під впливом добавок Літію (табл. 3).

Таблиця 3

**Перетравність поживних речовин корму молодняком гусей,
% ($\bar{O} \pm S_{\bar{O}}$, n = 5)**

Показник	Група			
	1 контрольна	2 дослідна	3 дослідна	4 дослідна
Органічна речовина	72,8±0,27	73,1±0,30	73,2±0,41	74,2±0,47*
Сирий протеїн	81,2±0,19	81,8±0,20	82,4±0,27**	82,7±0,32**
Сирий жир	61,1±0,39	61,8±0,43	62,1±0,58	61,9±0,70
Сира клітковина	47,5±0,53	48,8±0,57	49,7±0,77*	49,5±0,93
БЕР	80,8±0,19	80,5±0,22	80,5±0,30	81,8±0,33*

*Примітка: у цій таблиці та в таблиці 5 вірогідність різниці між контрольною та дослідними групами за критерієм Стьюдента: * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$.*

Аналіз наведених у таблиці 3 даних показав, що всі дози Літію, які випробовувалися, справили в цілому позитивний вплив на ступінь перетравності поживних речовин корму.

Так, гусенята дослідних груп краще перетравлювали органічну речовину корму (73,1–74,2%, проти 72,8% у контрольній групі). Проте, статистично вірогідною ($P < 0,05$) різниця виявилася лише у четвертій дослідній групі, молодняк якої перевищував за цим показником своїх ровесників із контрольної групи на 1,4%.

Більш суттєві відмінності, виявлені за перетравністю сирого протеїну. Зокрема, у молодняка другої дослідної групи, порівняно з контрольною групою, цей показник був вищим на 0,6%, третьої – на 1,2 ($P < 0,01$) та четвертої – на 1,5% ($P < 0,01$) і відповідно становив 81,2%, 82,4 та 82,7%.

У птиці дослідних груп простежувалася тенденція до підвищення перетравності сирого жиру на 0,7–1,0%, порівняно гусенятами контрольної групи, де аналогічний показник становив 61,1%.

Молодняк контрольної групи поступався дослідному також за перетравністю сирій клітковини. Різниця між контрольною та дослідними групами (на користь останніх) становила: у другій – 1,3%, у третій – 2,5 ($P < 0,05$) та четвертій – 2,3%.

Щодо перетравності безазотистих екстрактивних речовин, то у гусенят другої та третьої дослідних груп відмічено незначне невірогідне зниження величини цього показника на 0,3%, а в молодняка четвертої дослідної групи – навпаки, підвищення – на 1,0% ($P < 0,05$), порівняно з контрольною групою (80,8%).

Для перевірки існуючих відмінностей між групами за середніми показниками перетравності поживних речовин комбікормів та встановлення сили зв'язку між результативною ознакою та окремими рівнями фактору, що вивчалися, нами було проведено дисперсійний аналіз. Його результати підтвердили, що різні дози Літію справляли неоднозначний, але позитивний вплив на перетравність основних поживних речовин корму в організмі гусенят (табл. 4).

Таблиця 4

Сила впливу різних доз Літію на перетравність поживних речовин корму молодняком гусей

Показник	Доза Літію, мг/кг					
	0,05		0,10		0,15	
	η^2x	%	η^2x	%	η^2x	%
Органічна речовина	0,051	5,1	0,093	9,3	0,505*	50,5
Сирий протеїн	0,408*	40,8	0,698**	69,8	0,725**	72,5
Сирий жир	0,163	16,3	0,249	24,9	0,126	12,6
Сира клітковина	0,297	29,7	0,459*	45,9	0,339	33,9
БЕР	0,144	14,4	0,102	10,2	0,499*	49,9

*Примітка: у цій таблиці та в таблиці 6 вірогідність різниці між силою впливу різних доз Літію на показники перетравності поживних речовин корму за критерієм Фішера: * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$.*

Встановлено, що доза Літію 0,15 мг/кг за силою впливу на деякі показники перетравність поживних речовин корму, суттєво відрізнялася від інших доз. Наприклад, сила впливу цієї дози на перетравність органічної речовини, сирого протеїну та БЕР виявилася високою і становила відповідно 50,5% ($P < 0,05$), 72,5 ($P < 0,01$) та 49,9% ($P < 0,05$). Також досить

високим, хоча й статистично невірогідним, виявився вплив цієї дози на перетравність сирої клітковини. Факторний внесок становить 33,9%.

Інші дози Літію (0,05 та 0,10 мг/кг) поступалися дозі 0,15 мг/кг за силою впливу на показники перетравності, що вивчалися. Найнижча сила впливу практично на всі показники перетравності поживних речовин корму була характерна для дози Літію 0,05 мг/кг.

Крім того, одержані результати показали, що використані у фізіологічному досліді стандартний комбікорм і комбікорми, які збагачені різними дозами Літію, забезпечили позитивний баланс Нітрогену у всього піддослідного молодняка. Слід також відзначити, що введення добавок Літію до складу комбікормів для гусенят дослідних груп позитивно позначилося на відкладанні Нітрогену у їх організмі (табл. 5).

Таблиця 5

Середньодобовий баланс Нітрогену в організмі молодняка гусей,

$(\bar{D} \pm S_{\bar{D}}, n=5)$

Показник	Група			
	1 контрольна	2 дослідна	3 дослідна	4 дослідна
Прийнято з кормом, г	7,92±0,031	7,98±0,038	7,96±0,059	7,95±0,054
Виділено з послідом, г	5,23±0,072	5,15±0,054	5,04±0,079	5,02±0,117
Відкладено в організмі: г%	2,69±0,054	2,83±0,062	2,92±0,085*	2,93±0,078*
до прийнятого	33,9	35,5	36,7	36,9

Так, при практично однаковому надходженні Нітрогену з кормом, у гусенят дослідних груп спостерігалася тенденція до зниження екскреції його з послідом, відповідно на 1,5%, 3,6 та 4,0%. Це певною мірою вплинуло на абсолютні величини утримання Нітрогену в організмі, які у птиці дослідних груп були на 5,2–8,9% вище, порівняно з молодняком контрольної групи (2,69 г). Проте, статистично вірогідною ($P < 0,05$) різниця виявилася лише у третій та четвертій дослідних групах, гусенята яких перевищували за цим показником своїх ровесників із контрольної групи на 0,19 та 0,23 г відповідно.

Рівень засвоєння Нітрогену в організмі гусенят, по відношенню до прийнятого з кормом, у дослідних групах також підвищився, але на меншу величину, ніж його відкладання. Різниця порівняно з контрольною групою (у якій цей показник дорівнював 33,9%) становила 1,6%, 2,8 та 3,0% відповідно на користь дослідних груп.

З метою оцінки розсіювання можливих значень випадкової величини навколо її середнього значення, а також виявлення та вимірювання сили зв'язку між окремими рівнями фактора та результативною ознакою, нами було використано один із видів стохастичного аналізу – дисперсійний аналіз. Визначали наскільки суттєвими є виявлені розбіжності у відкладанні Нітрогену в організмі гусенят і яка сила впливу на них різних доз Літію (табл. 6).

Таблиця 6

Сила впливу різних доз Літію на відкладання Нітрогену в організмі молодняка гусей

Доза Літію, мг/кг	η^2x	%	F ($\nu_1=1; \nu_2=8$)
0,05	0,364	36,4	4,57
0,10	0,480*	48,0	7,38
0,15	0,539*	53,9	9,37

Результати однофакторного аналізу показали, що найбільш суттєвий вплив на відкладання Нітрогену в організмі гусенят чинить доза Літію 0,15 мг/кг. Так, сила впливу цієї дози на результативну ознаку становила 53,9% ($P<0,05$). Також досить високим (48,0%) і вірогідним ($P<0,05$), на відкладання Нітрогену в організм молодняка гусей, виявився вплив дози Літію 0,1 мг/кг.

Сила впливу дози Літію 0,05 мг/кг на результативну ознаку виявилася найнижчою (36,4%) і статистично невірогідною.

Аналіз темпів росту птиці, за основний період фізіологічного досліджу, дозволив установити, що всі досліджувані дози Літію справили позитивний вплив на приріст живої маси гусенят, що було зумовлено, напевно, підвищенням рівня відкладання і засвоєння Нітрогену у їх організмі (рис. 1).

За період фізіологічного досліджу найвищим середньодобовий приріст виявився у молодняка четвертої дослідної групи (65,2 г). Різниця порівняно з контрольною групою становила 2,5%. Гусенята другої та третьої дослідних груп дещо поступалися за цим показником своїм ровесникам з четвертої групи, проте перевищували молодняк з контрольної групи на 1,6 та 2,2% відповідно.

Дані літератури щодо відкладання та засвоєння Нітрогену в організмі гусенят залежно від рівня Літію у комбікормах відсутні. Проте, слід відзначити, що результати, отримані нами, не суперечать загальній тенденції щодо позитивного впливу добавок Літію на баланс Нітрогену в організмі інших видів сільськогосподарських тварин, зокрема свиней.

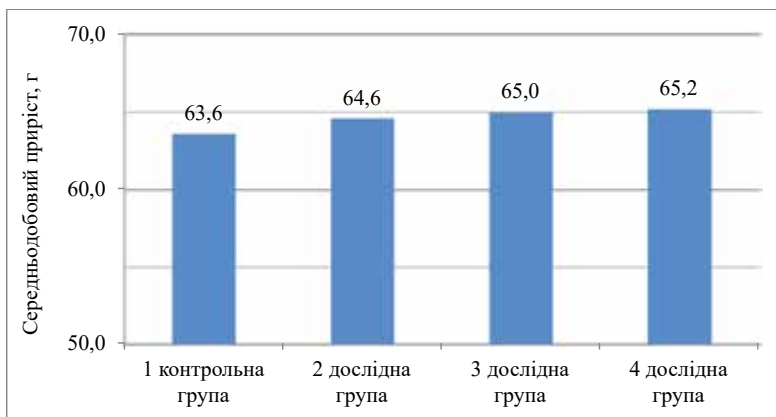


Рис. 1. Середньодобовий приріст молодняка гусей за основний період фізіологічного досліді

На нашу думку, добавки Літію можуть сприяти запуску механізмів активного транспортування елементів через слизову тонкої кишки, в результаті чого посилюється всмоктування, знижується екскреція і підвищується відкладання речовин в організмі птиці, у тому числі й Нітрогену.

Механізми всмоктування в кишечнику птиці усіх речовин до кінця ще не з'ясовані. В останні роки розвивається концепція щодо участі в процесі всмоктування особливих субстратів зв'язуючих білків транспортного типу, які підвищують перенос поживних і біологічно активних речовин із ентерального середовища до внутрішнього. Вони зменшують взаємодію субстратів поживних речовин із структурними елементами надепітеліального слизового шару та іншими його компонентами, які не виконують транспортної функції.

Одержані нами дані, дозволяють припустити, що Літій, підвищує синтез транспортних білків, розширює зону їх функціональної активності і тим самим опосередковано впливає на засвоювання поживних речовин корму.

ВИСНОВКИ

Усі дози введення Літію в комбікорми для молодняка гусей (0,05; 0,1 та 0,15 мг/кг) у цілому позитивно вплинули на перетравність поживних речовин корму та інтенсивність обмінних процесів в організмі, що сприяло формуванню у птиці дослідних груп більш високої продуктивності. За ступенем перетравності поживних речовин корму та рівнем відкладання

і засвоєння Нітрогену, вигідно відрізнялися від своїх аналогів із контрольної та інших дослідних груп, гусенята четвертої дослідної групи, яким згодовували комбікорми збагачені літієм із розрахунку 0,15 мг/кг.

АНОТАЦІЯ

Останнім часом експериментально доведена життєва необхідність для організму людини, тварин і рослин Літію, який раніше вважали умовно-есенціальним мікроелементом. Відкриття біологічних властивостей та розкриття біохімічних механізмів дії Літію стало підставою для використання його у птахівництві, зокрема, з метою інгібування реплікації різних вірусів, боротьби з червоним кліщем, профілактики та корекції «технологічних» стресів у птиці, підвищення її продуктивності та покращення якості м'ясної продукції. Незважаючи на біохімічну багатогранність і практичне значення цього мікроелемента, Літій поки що недостатньо використовується у годівлі сільськогосподарської птиці через відсутність оптимальних норм уведення його в комбікорми. Одним із критеріїв оцінки повноцінності літійового живлення, при визначенні фізіологічної потреби птиці у цьому мікроелементі, є ступінь ферментативного розщеплення і всмоктування поживних речовин корму та їх обмін в організмі. У фізіологічному досліді вивчено вплив добавок різних доз Літію на ступінь перетравності поживних речовин корму і баланс Нітрогену в організмі молодняка гусей, що вирощується на м'ясо.

Встановлено, що введення літію в комбікорми в дозах 0,05; 0,1 та 0,15 мг/кг у цілому позитивно вплинули на перетравність поживних речовин корму та інтенсивність обмінних процесів в організмі, що сприяло формуванню у птиці дослідних груп більш високої продуктивності. За ступенем перетравності поживних речовин корму та рівнем відкладання і засвоєння Нітрогену, вигідно відрізнялися від своїх аналогів із контрольної та інших дослідних груп, гусенята четвертої дослідної групи, яким згодовували комбікорми збагачені літієм із розрахунку 0,15 мг/кг. Так, перетравність органічної речовини, сирого протеїну, сирого жиру, сирого клітковини та безазотистих екстрактних речовин у молодняка гусей цієї групи була вище, ніж у птиці контрольної групи, відповідно на 1,4%, 1,5; 0,8; 2,3; 0,5 та 1,0%, а рівень відкладання та засвоєння Нітрогену в організмі – відповідно на 8,9 та 3,0%.

Література

1. Mottet A., Tempio G. Global poultry production: current state and future outlook and challenges. *World's Poultry Science Journal*. 2017. Vol. 7, № 2. P. 245–256. DOI: 10.1017/S0043933917000071.

2. Poultry farming industry contribution in the world economy / M. Naushad et. al. 2021. DOI: 10.13140/RG.2.2.22054.86081.
3. Tufarelli V., Ragni M., Laudadio V. Feeding forage in poultry: a promising alternative for the future of production systems. *Agriculture*. 2018. Vol. 8, № 6. P. 81. DOI: 10.3390/agriculture8060081.
4. Dei H. K. Advances in poultry nutrition research-a review. *IntechOpen*, 2021. 214 p. DOI: 10.5772/intechopen.95990.
5. Role of trace elements in animals: a review / M. I. Yattoo et. al. *Veterinary World*. 2013. Vol. 6, № 12. P. 963–967. DOI: 10.14202/vetworld.2013.963-967.
6. Inclusion of complexed trace minerals enhance performance of broiler chickens / S. P. Macelline et. al. *Journal of Applied Poultry Research*. 2024. Vol. 33, № 4. P. 100465. DOI: 10.1016/j.japr.2024.100465.
7. Trace mineral nutrition in poultry and swine / J. D. Richards et. al. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2010. Vol. 23, № 11. P. 1527–1534. DOI: 10.5713/ajas.2010.r.07.
8. Hassan S., Hassan F. U., Rehman M. S. “Nano-particles of trace minerals in poultry nutrition: potential applications and future prospects”. *Biological trace element research*. 2020. Vol. 195, № 2. P. 591–612. DOI: 10.1007/s12011-019-01862-9.
9. Effects of different trace elements and levels on nutrients and energy utilization, antioxidant capacity, and mineral deposition of broiler chickens / G. Lv et. al. *Agriculture*. 2023. Vol. 13, № 7. P. 1369. DOI: 10.3390/agriculture13071369.
10. Vitamins and minerals in poultry / E. Öztürk et. al. Ankara : Iksad Publications, 2024. 354 p. DOI: 10.5281/zenodo.13984263.
11. Ефективна годівля сільськогосподарської птиці / Н. І. Братишко та ін. ; за ред. І. А. Іонова. Київ : Аграрна наука, 2013. 210 с.
12. Грибанова А. А., Соколов О. І. Продуктивні якості гусенят, що вирощуються на м'ясо за використання у комбікормах добавок Літію. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*. 2015. № 1. С. 145–149.
13. A review on role of essential trace elements in health and disease / L. Prashanth et. al. *Journal Dr. NTR University of Health Sciences*. 2015. Vol. 4, № 2. P. 75–85. DOI: 10.4103/2277-8632.158577.
14. Bauer M., Gitlin M. Lithium and its history. *The essential guide to lithium treatment*. Springer Cham, 2016. P. 25–31. DOI: 10.1007/978-3-319-31214-9_3.
15. Towards a unified understanding of lithium action in basic biology and its significance for applied biology / E. Jakobsson et. al. *The Journal of membrane biology*. 2017. Vol. 250, № 6. P. 587–604. DOI: 10.1007/s00232-017-9998-2.

16. Roux M., Dosseto A. From direct to indirect lithium targets: a comprehensive review of omics data. *Metallomics*. 2017. Vol. 9, № 10. P. 1326–1351. DOI: 10.1039/c7mt00203c.
17. Antiviral effect of lithium chloride on replication of avian leukosis virus subgroup J in cell culture / K. Qian et. al. *Archives of Virology*. 2018. Vol. 163, № 4. P. 987–995. DOI: 10.1007/s00705-017-3692-7.
18. Stachelska M. A. Inhibitory properties of lithium, sodium and potassium o-, m- and p-coumarates against *Escherichia coli* O157:H7. *Acta scientiarum polonorum. Technologia alimentaria*. 2015. Vol. 14, № 1. P. 77–84. DOI: 10.17306/J.AFS.2015.1.9.
19. Ge W., Jakobsson E. Systems biology understanding of the effects of lithium on cancer. *Frontiers in Oncology*. 2019. Vol. 9. P. 296. DOI: 10.3389/fonc.2019.00296.
20. Lithium down-regulates histone deacetylase 1 (HDAC1) and induces degradation of mutant huntingtin / S. Wu et. al. *The Journal of biological chemistry*. 2013 Vol. 288, № 49. P. 35500–35510. DOI: 10.1074/jbc.M113.479865.
21. Machado-Vieira R. Lithium, stress, and resilience in bipolar disorder: deciphering this key homeostatic synaptic plasticity regulator. *Journal of Affective Disorders*. 2018; Vol. 233. P. 92–99. DOI: 10.1016/j.jad.2017.12.026.
22. Bhattacharjee D, Rajan R, Krishnamoorthy L, Singh B. B. Effects of lithium chloride as a potential radioprotective agent on radiation response of DNA synthesis in mouse germinal cells. *Radiation and environmental biophysics*. 1997. Vol. 36, № 2. P. 125–128. DOI: 10.1007/s004110050063.
23. Lohitha G., Singh, P. P. Lithium: immunomodulatory and anti-infectious. *Activities Journal of Pharmaceutical Research*. 2019. Vol. 4, № 1. P. 1–11.
24. The effect of lithium salt with ascorbic acid on the antioxidant status and productivity of gestating sows / K. Ostrenko et. al. *Animals (Basel)*. 2022. Vol. 12, № 7. P. 915. DOI: 10.3390/ani12070915.
25. Tang L., Chen Y., Pei F., Zhang H. Lithium chloride modulates adipogenesis and osteogenesis of human bone marrow-derived mesenchymal stem cells. *Cell Physiol Biochem*. 2015. Vol. 37, № 1. P. 143–152. DOI: 10.1159/000430340.
26. Mikosha A. S., Kovzun O. I., Tronko M. D. Biological effects of lithium – fundamental and medical aspects. *Ukrainian Biochemical Journal*. 2017. Vol. 89, № 3. P. 5–16. DOI: 10.15407/ubj89.03.005/.
27. Gitlin M., Bauer M. Lithium: current state of the art and future directions. *International journal of bipolar disorders*. 2024. Vol. 12, № 1. P. 40. DOI: 10.1186/s40345-024-00362-7.

28. Yang C., Zhu B., Zhan M., Hua Z. C. Lithium in cancer therapy: friend or foe? *Cancers (Basel)*. 2023. Vol. 15, № 4. P. 1095. DOI: 10.3390/cancers15041095.
29. Hammond W. P., Dale D. C. Lithium treatment of cyclic hematopoiesis in the gray collie. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. 1980. Vol. 127. P. 167–173. DOI: 10.1007/978-1-4757-0259-0_12.
30. Duvall A., Gallicchio V. S. Lithium treatment in clinical medicine: history, current status and future use. *Journal of Cell Science & Therapy*. 2017. Vol. 8, № 3. P. 270. DOI: 10.4172/2157-7013.1000270.
31. Abrams-Ogg A. C. G. The use of lithium carbonate to prevent lomustine-induced myelosuppression in dogs: a pilot study. *Canadian journal of veterinary research = Revue canadienne de recherche veterinaire*. 2011. Vol. 75, № 1. P. 73–76.
32. Gallicchio V. S. Lithium effects on stem cells – advances in stem cell application in clinical medicine. *Journal of Cell Science and Mutations*. 2018. Vol. 2, № 1. P. 1–11. DOI: 10.35841/cell-science.2.1.1-11.
33. Lithium chloride inhibits infectious bronchitis virus-induced apoptosis and inflammation / X. Liu et al. *Microbial pathogenesis*. 2022. Vol. 162. P. 105352. DOI: 10.1016/j.micpath.2021.105352.
34. Lithium chloride shows effectiveness against the poultry red mite (*Dermanyssus gallinae*) / B. Kolics et. al. *Insects*. 2022. Vol. 13, № 11. P. 1005. DOI: 10.3390/insects13111005.
35. Miftakhutdinov A. V., Saifulmulyukov E. R., Nogovitsina E. A. Alleviation of technological stresses by a feed supplement. *Agronomy Research*. 2021. Vol. 19, № 2. P. 552–561. DOI: 10.15159/AR.21.039.
36. Грибанова А. А., Соболев О. І. М'ясна продуктивність гусенят за використання у комбікормах добавок літію. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*. 2013. Вип. 10. С. 34–37.
37. Sobolev O. I., Gutyj B. V. The quality of gosling meat depending on the level of lithium in mixed fodders. *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*. 2019. Vol. 2, № 2. P. 3–6. DOI: 10.32718/ujvas2-2.01.
38. Пат. 152767 Україна, МПК (2023.01) A23K 10/00, A23K 50/75. Спосіб підвищення продуктивності молодняка гусей / О. І. Соболев, В. М. Недашківський, С. В. Соболева ; Білоцерківський національний аграрний університет. № u 2022 00797 ; заяв. 21.02.2022 ; опубл. 12.04.2023, Бюл. № 15.
39. Любенко О. І., Семенцова Л. О. Підвищення інкубаційних якостей яєць горьківської породно́ї групи гусей шляхом застосування йодовмісних

препаратів. Таврійський науковий вісник. Сільськогосподарські науки. 2021. Вип. 122. С. 226–231. DOI: 10.32851/2226-0099.2021.122.33.

40. ДСТУ ISO 6497:2005. Корми для тварин. Методи відбирання проб. : Чинний від 2008-03-01. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 18 с. (Національні стандарти України).

41. ДСТУ ISO 6496:2005. Корми для тварин. Визначення вмісту вологи та інших летких речовин. : Чинний від 2006-07-01. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 11 с. (Національні стандарти України).

42. ДСТУ ISO 5983-1:2014. Корм для тварин. Визначання вмісту азоту та обчислення вмісту сирого протеїну. Частина 1. Метод К'ельдаля. : Чинний від 2015-07-01. Київ : Держспоживстандарт України 2015. 12 с. (Національні стандарти України).

43. ДСТУ ISO 6492:2003. Корми для тварин. Визначення вмісту жиру. : Чинний від 2005-07-01. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 12 с. (Національні стандарти України).

44. ДСТУ ISO 6865:2004. Корми для тварин. Визначення вмісту сирої клітковини методом проміжного фільтрування. : Чинний від 2006-04-01. Київ : Держспоживстандарт України, 2004. 14 с. (Національні стандарти України).

45. ДСТУ ISO 5984:2004. Корми для тварин. Визначення вмісту сирої золи. : Чинний від 2006-01-01. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 8 с. (Національні стандарти України).

Information about the authors:

Sobolev Olexandr Ivanovych,

Doctor of Agricultural Sciences,

Professor at the Department of Technology of Feed,

Feed Additives and Animal Feeding

Bila Tserkva National Agrarian University

8/1, Soborna Square, Bila Tserkva, Ukraine

Petryshak Roman Anatoliiovych,

Candidate of Agricultural Sciences,

Associate Professor at the Department of Animal Feeding and Feed

Technology

Stepan Gzhytskyi National University

of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv,

50, Pekarska street, Lviv, Ukraine

Kosior Lesia Tarasivna,
Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor at the Department of Milk
and Meat Production Technology
Bila Tserkva National Agrarian University
8/1, Soborna Square, Bila Tserkva, Ukraine

**FACTORS INFLUENCING MILK PRODUCTION
AND MILK QUALITY OF MARES**

Tkachova I. V., Prusova G. L., Liutykh S. V.
DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-695-9-7>

INTRODUCTION

In countries of developed economy and animal husbandry, in particular, the production of mares' milk on organic farms is one of the promising areas of animal husbandry. More than 30 million people in the world regularly consume mare's milk and products of its processing¹.

Mares' milk as a food product is traditionally produced in Asian countries: Northern China, Mongolia, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Uzbekistan and others^{2, 3}. In some countries, mares' milk accounts for more than 8% of total milk production⁴. Traditionally, it is used for the production of fermented milk drinks (ayran, koumiss, etc.). In the context of a significant increase in demand for environmentally friendly products, the importance of horse breeding products, in particular mares' milk, is increasing, and therefore productive horse breeding is a competitive branch of animal husbandry⁵. At the same time, the consumption of mares' milk in recent decades has spread to the countries of the European Union: France, Belgium, Germany, the Netherlands, Norway, Austria, Hungary, Bulgaria. In European countries, the share of mares' milk in

¹ Doreau, M.; Martin-Rosset, W. Animals that produce dairy foods – horse. Encyclopedia of Dairy Sciences. 2nd ed.; Fuquay, J.W., Fox, P.F., McSweeney, P.L.H., Eds.; Elsevier Academy Press: London, UK. 2011. Vol. 1. P. 358–364. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00040-6>

² Blanco-Doval A., Azkargorta M., Iloro I., Beaskoetxea J., Elortza F., Barron L. J. R., Aldai N. Comparative proteomic analysis of the changes in mare milk associated with different lactation stages and management systems. Food Chemistry. 2024. Vol. 445. P. 138766. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138766>

³ Pieszka M., Łuszczynski J., Zamachowska M., Augustyn R., Długosz B., Hędrzak M. Is mare milk an appropriate food for people? review. *Ann. Anim. Sci.* 2016. Vol. 16(1). P. 33–51. <https://doi.org/10.1515/aoas-2015-0041>

⁴ Uniacke-Lowe, T.; Fox, P.F. Equid milk: Chemistry, Biochemistry and Processing. *In Food Biochemistry and Food Processing*. B.K. Simpson (Ed.). 2012. P. 491–530. <https://doi.org/10.1002/9781118308035.ch26>

⁵ Berdimurat N. Cost accounting in the horse breeding industry of Kazakhstan improving due to international standards. *Economic Annals XXI*. 2015. Vol. 150. Iss. 3–4(2). P. 75–78. <https://ea21journal.world/index.php/ea-v150-18/>

the total milk production is only 0.1%, which is about 1300 tons. Mares' milk has a high nutritional value and practically does not contain allergenic proteins, unlike cow's milk^{6, 7, 8, 9, 10}. This factor makes it possible to use mares' milk in baby and diet food^{11, 12}. The positive effects on the human intestine from the consumption of yogurt from mares' milk are known¹³. Mares' milk is used to make kefir, fermented milk products mixed with goat and sheep's milk,¹⁴ and even ice cream with high taste and dietary qualities¹⁵. Also, mares' milk is the basis for the production of pharmaceuticals and dietary supplements¹⁶.

Organoleptically, mares' milk is not similar to cow's, but it is similar to women's, it is more transparent, whiter and sweeter due to its higher lactose content (1.5 times higher than cow's), which ensures its taste appeal to babies¹⁷.

The high identity of the chemical composition of mares' milk to women's milk gives rise to its widespread use in baby food for feeding babies on artificial

⁶ Jastrzębska E., Wadas E., Daszkiewicz T., Pietrzak-Fiećko R. (2017). Nutritional Value and Health-Promoting Properties of Mare's Milk. Review. *Czech J. Anim. Sci.*; 62(12): 511–518. <https://doi.org/10.17221/61/2016-CJAS>

⁷ Businco L., Giampietro P.G., Lucenti P., Lucaroni F., Pini C., Di Felice G., Iacovacci P., Curadi C., Orlandi M. Allergenicity of mare's milk in children with cow's milk allergy. *J Allergy Clin Immunol.* 2000. Vol. 105. P. 1031–1034. <https://doi.org/10.1067/mai.2000.106377>

⁸ Centoducati P., Maggolino A., De Palo P., Tateo A. Application of Wood's model to lactation curve of Italian Draft horse mares. *J. Dairy Sci.* 2012. Vol. 95. P. 5770–5. <https://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-5513>

⁹ Jastrzębska E., Wadas E., Daszkiewicz T., Pietrzak-Fiećko R. (2017). Nutritional Value and Health-Promoting Properties of Mare's Milk. Review. *Czech J. Anim. Sci.*; 62(12): 511–518. <https://doi.org/10.17221/61/2016-CJAS>

¹⁰ Romaniuk, K.; Majszyk-S'wia tek, M.; Kryszak, K.; Danielewicz, A.; Andraszek, K. Alternative use of mare milk. *Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin.* 2019. Vol. 348. P. 121–130. <https://doi.org/10.21005/AAPZ2019.49.1.13>

¹¹ Ranadheera C. S., Naumovski N., Ajlouni S. Non-bovine milk products as emerging probiotic carriers: recent developments and innovations. *Curr. Opi. Food Sci.* 2018. Vol. 22. P. 109–114. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.02.010>

¹² Herber C., Bogler L., Subramanian S.V., Vollmer S. Association between milk consumption and child growth for children aged 6–59 months. *Sci Rep.* 2020. Vol. 10(1). P. 6730. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63647-8>

¹³ Kozhakhmetov S., Muhanbetganov N., Pernebek Z., Babenko D., Tarzhanova D., Uyzbaeva I. Effects of low lactose mare's milk yogurt consumption on gut microbiota function. *Funct. Foods Health Dis.* 2022. Vol. 12(8). P. 455–464. <https://doi.org/10.31989/ffhd.v12i8.981>

¹⁴ Cais-Sokolińska D., Worjtowski J., Pikul J. Rheological, texture and sensory properties of kefir from mare's milk and its mixtures with goat and sheep milk. *Mlječarstvo.* 2016. Vol. 66(4). P. 272–281. <https://doi.org/10.15567/mlječarstvo.2016.0403>

¹⁵ Akanova A., Kikebayev N., Shaiknova K., Seiitkazhy Z., Okuskhanova E. Nutritive and biological value of mare's milk ice cream. *Pak. J. Nutr.* 2017. Vol. 16. P. 457–462. <https://doi.org/10.3923/pjn.2017.457.462>

¹⁶ Stuparu A. A., Strugariu C. E., Oroian T. (2016). Pharmaceuticals and dietary supplements extracted from mare's milk. *Bull. Univ. Agric. Sci. Vet. Med. Cluj-Napoca Anim. Sci. Biotechnol.* 2016. Vol. 73. P. 1–10. <https://doi.org/10.15835/buasuvmen-asb:11429>

¹⁷ Kunying Li, Yixin Yang, Qilong Li, Ran Chen, Liang Deng, Yiwei Zhang, Ning Jiang. Identification and comparison of milk fat globule membrane and whey proteins from Selle Français, Welsh pony, and Tieling Draft horse mare's milk. *Food Chemistry.* 2024. Vol. 437. Iss. 2. P. 137915. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137915>

feeding, as well as for the production of dairy products with prebiotic qualities for children of all age groups¹⁸. In European and Asian countries, mares' milk is widely studied in pediatrics and dietetics, innovative technologies for processing and long-term storage of mares' milk without loss of useful properties are being developed^{19, 20, 21, 22}.

In Ukraine, an interesting example of the popularization of productive horse breeding is the company "DendoffAgroFamily", which in the Tetivsky district of the Kyiv region founded the trademark MLK PWR ("Milk Power") for the production of koumiss and other products from the milk of mares and cows²³.

Therefore, the production of mares' milk is considered as a promising direction of animal husbandry and food industry. Our research is devoted to the development of this topical issue.

1. Efficiency of mares' milk production

The analysis of literature sources does not cover much research on determining the economic efficiency of horse breeding in general, and productive horse breeding in particular. Most of the analyzed information sources indicate that the efficiency of productive horse breeding depends, first of all, on reducing the cost of production. Thus, in his study, Kukla O. L.²⁴ notes that in heavy horse breeding, the production of milk for processing into koumiss makes it possible to reduce the cost of keeping horses, increase the net profit from horse breeding and, accordingly, its profitability. This indicator can theoretically be increased due to a decrease in feed costs due to the use of pasture.

The analysis of literature sources showed that the issue of the economy of both working and productive horse breeding at the present level has been little studied. The study of the economic efficiency of the horse breeding industry,

¹⁸ Aitbaeva S., Bimbetov B. Mare's milk in children's food. *Medicine (Almaty)*. 2016. Vol. 12(174). P. 101–103. http://www.medzdrav.kz/images/magazine/medecine/2016/2016-12/M_12-16_101-103.pdf.

¹⁹ Alabiso M., Maniaci G., Luigia Alicata M., Iannolino G., D'Amico, A., Bauman, D. E., Giosuè C. Effects of the foal at the milking and dietary supplementation with extra virgin olive oil on jennet milk production. *Italian Journal of Animal Science*, 2009. № 8. P. 688–690.

²⁰ Auclair-Ronzaud J., Jaffrézic F., Wimel L., Dubois C., Laloy D., Chavatte-Palmer P. Estimation of milk production in suckling mares and factors influencing their milk yield. *Animal*. 2022. Vol. 16, doi.org/10.15454/3LPGKP

²¹ Čagalj M., Brezovečki A., Mikulec N., Antunac N. Composition and properties of mare's Croatian coldblood horse breed. *Mljekarstvo* 2014; 64: 3–11. <https://hrcaak.srce.hr/117064>

²² Cais-Sokolińska D., Worjowski J., Pikul J. Rheological, texture and sensory properties of kefir from mare's milk and its mixtures with goat and sheep milk. *Mljekarstvo*. 2016. Vol. 66(4). P. 272–281. <https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2016.0403>

²³ URL:<https://agri-gator.com.ua/2019/07/03/ahrofirma-z-kyivshchynny-vypuskatyme-kumys-pid-vlasnym-brendom-kurkul/> (дата звернення 18.04.2026)

²⁴ Kukla O. L. Reserves for Cost Reduction in Breeding Horse Breeding in Ukraine. *Businessinform*. 2012. № 9. C. 142–145.

productive in particular, will serve as a basis for further popularization of currently free areas of production of promising healthy food products.

It has been established that almost all farms for breeding heavy horses are multi-sectoral: in addition to crop production, animal husbandry in them is represented by many developed areas – dairy and beef cattle breeding (stud «LANN», stud «Agro-Dibrivka»), breeding pig breeding and beekeeping (branch "Dibrivsky stud farm No. 62" of the State Enterprise «Horse Breeding of Ukraine»), sheep breeding (stud «Agro-Dibrivka», stud «LANN»). Animal husbandry in these enterprises is served by horses, which provides for the possibility of saving and reducing the cost of production.

Kazakh scientists note that the index of return on investment invested in the production of traditional and freeze-dried kumis is 26.9%, while production pays off in 3.7 years. The fact that festivals dedicated to kumis are held annually in Kazakhstan with a significant prize fund indicates an increase in the popularization of this product on the market²⁵.

Domestic researchers insist that the production of mares' milk is highly profitable, does not require significant expenditures of funds, energy and human resources, and is safe for the environment, because it involves organic, natural animal husbandry²⁶. However, there is still no solid answer to this question.

Generalization of the results of the analysis of literature sources proves the positive attitude of the majority of scientists to the use of horses as productive animals, as well as energy means on farms for the production of organic products, in regions with difficult terrain and in specialized educational farms that draw public attention to historical traditions, restoration of relict technologies and healthy life in the system of agricultural production using natural resources.

2. Selection of the object and methods of research

As an object of research, mares of the domestic Novooleksandrivsky draft breed, which are bred in horse breeding enterprises of Ukraine, were chosen. Studies on the study of milk productivity of mares of the Novooleksandrivsky draft breed, depending on morphofunctional indicators, were carried out during 2013–2024 in stud «LANN» of the Donetsk region and the branch «Dibrivsky stud farm No. 62» of the State Enterprise «Horse Breeding of Ukraine» of the Poltava region. Clinically healthy mares were included in the experiment according to the recommendations of a veterinarian. Milking of

²⁵ URL: <https://dairynews.today/kz/news/astana-gotovitsya-k-krupneysheму-festivalyu-kumysa-prizovoy-fond-konkurs-sostavit-45-mln-tenge.html> (accessed 18.04.2026)

²⁶ Pavlovsky S. S., Tkacheva I. V. Genealogical structure of the Novooleksandrivska heavy breed. *Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Animal Husbandry of the National Academy of Sciences of Ukraine*. 2019. № 122. C. 130–138. <https://doi:10.32900/2312-8402-2019-122-130-138>

mares began when the foals reached the age of 2 months. Control milking was carried out using the DDU-2 milking machine in separate buckets. Sanitation of the udder and milking's in mares of all groups was carried out using an antiseptic solution.

On the day of control milking, foals received the required amount of milk through artificial feeding, which did not affect their condition and weight gain. After each milking, the amount of milk in the bucket was measured, the total daily milk yield was determined as the sum of both milking's per day. Indicators of daily milk yield and milk quality during lactation were determined, including for the first and second milking's per day, depending on the lactation period, age of mares, duration of pregnancy, and sex of foals.

The milk production of mares was estimated by the amount of milk milked and sucked by foals. The intensity of milk formation in mares during the day is almost the same, therefore, the daily productivity was determined by control milking, taking into account the milk sucked by foals.

Milk samples were taken in sterile containers with a preservative. When taking milk samples, they were guided by the European requirements of Codex Alimentarius, Vol. 13 «Methods of Analysis and Sampling» and DSTU ISO 707:2002 Milk and Dairy Products, Instructions for Sampling. Samples were taken with a sterile syringe in proportion to the first and second milking's per day, cooled to 10°C and immediately delivered to the laboratory in a thermobox. Only milk samples were analyzed, which were visually determined as whole, pure, in consistency were a solid white liquid with a slight bluish tint, without sediment and clots, with a delicate milky smell.

The physical and technological properties of milk were investigated in accordance with DSTU 8009:2015. Biochemical parameters of milk were determined in a certified laboratory for assessing the quality of livestock products. The chemical composition of milk (content of fat, protein, lactose, dry matter, protein, skimmed milk powder, %) and freezing point (°C) was determined according to ISO 9001:2000 instrumentally on the device «Bentley-150» (certificate IDA 0001461-1 dated 16.12.2004). The content of somatic cells (thousand/cm³) was determined according to ISO 9001: 2000 instrumentally on the device «Somacount-150» (certificate IDA 0001461-1 dated 16.12.2004).

The relationships between the studied indicators were determined by calculating the correlation coefficient (r).

All experimental studies were carried out in accordance with modern methodological approaches, requirements and standards, in particular DSTU ISO/IEC 17025:2005. Keeping animals and all manipulations were carried out in accordance with the Order of the ECM of Ukraine No. 416/20729 «On Approval of the Procedure for Conducting Experiments and Experiments on

Animals by Research Institutions» (Law of the Ministry of Education and Science, Youth and Sports of Ukraine No. 249 of 01.03.2012). The experiments were carried out in accordance with the general principles of humane treatment of animals, which was adopted at the first national congress on bioethics (Kyiv, 2001, Reznikov, 2001) and was consistent with the provisions of the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and Other Scientific Purposes (Strasbourg, 18.03.1986).

3. Factors influencing the milk production of mares

Month of milking and lactation periods. In our study, milking of mares began when all born foals of 2 months of age reached the possibility of feeding them with concentrated and roughage. The dynamics of the lactation curve proves (Fig. 1) that the maximum daily milk yield of mares fell on July-August (1.075 ± 0.08 and 1.117 ± 0.07 liters, respectively), and after weaning foals – on November due to prolongation of lactation with the use of three milking's.

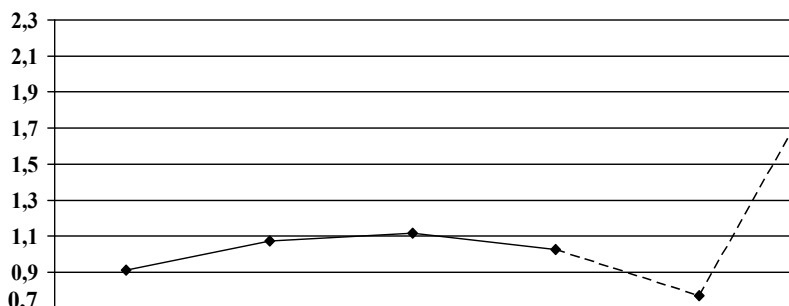


Fig. 1. Dynamics of daily milk yield of experimental mares during the milk production season

To study the daily dynamics of milk yield, 4 analogue mares of the same age were selected from the entire sample, who were at the same lactation periods, and milked them according to imitation of foal feeding. At the same time, the foals were kept next to the mares in direct contact with their mothers, but without access to the udder. The mares were milked 8 times a day with breaks of 3 hours around the clock in the presence of foals, the milk was completely fed to the foals, except for samples taken for research.

A comparison of milk production of experimental mares in the first full month of milking (June) and the third – the most productive month of milking (August) was carried out. The analysis of milk production of experimental mares based on the results of control milking's found that the daily milk yield

during double milking in the 1st control month of milking was on average 0.381 liters lower in the experimental sample than in the 3rd month (Table 1).

Table 1

Indicators of milk production of daily milk yield of mares depending on the month of milking

Showcases	1st month of milking				3rd month of milking			
	M±m	Cv, %	min	max	M±m	Cv, %	min	max
Daily milk yield, l	2,46±0,21	33,2	1,1	4,9	2,78±0,24	34,5	1,6	5,9
I Milking	1,08±0,13	47,1	0,6	2,7	1,10±0,08	28,6	0,5	1,9
II Milking	1,38±0,10	28,4	0,4	2,2	1,68±0,18	42,8	1,1	4,0

Obviously, in both the first and third months of milking, more milk was obtained from the second milking (by 0.300 liters in June and 0.587 liters in August). All studied indicators of daily milk yield are characterized by high rates of the coefficient of variation.

According to the adopted technology, the mating of mares, and, accordingly, their foaling, are seasonal, which means that the foals of experimental mares took place in February-March. In this regard, the indicator of lactation in the first month of milking fluctuated within the limits: 62–141 days; in the third month of milking – 114–193 days. According to this, according to the results of control milking in the first month of milking, mares were distributed by gradations: 62–90 (3 months), 91–120 (4 months), 121–141 days (5 months); in the third month: 114–150 (5 months), 151–180 (6 months), 181–193 (7 months).

Taking into account the fact that the duration of lactation of the proportion of mares, the control milking of which was carried out in June and August, fell on the 5th month, the gradations for lactation were corrected in the summary. In accordance with the established gradations, the value of daily milk yield was determined (Table 2).

Thus, according to the indicators of control milking in June, mares who were lactating for 114-150 days (3.27 ± 0.86 , $p \leq 0.01$) were distinguished by the highest daily milk yield, and in August – 62-90 days (4.20 ± 1.70 kg, $p \leq 0.01$). The level of correlation coefficient between daily milk yield and lactation was negative: higher in June ($r = -0.374$) and lower in August ($r = -0.218$).

Correlation analysis proved that the own daily milk yield of the same mares in June and August was significantly interrelated ($r = 0.695$). At the same time, milk yield for the first milking correlated with much greater strength ($r = 0.771$) than for the second ($r = 0.398$).

Table 2

Indicators of daily milk yield of experimental mares depending on the timing of lactation

Lactation dates, days	n	Milk yield, kg		
		I Milking	II Milking	Daily milk yield
1st month of milking				
62–90	2	2,15±0,55	1,80±0,35	3,95±0,86
91–120	6	0,82±0,05	1,30±0,13	2,15±0,16
121–141	8	1,11±0,13	1,36±0,14	2,50±0,26
On average:	16	1,078±0,127	1,378±0,098	2,463±0,205
3rd month of milking				
114–150	2	1,55±0,35	2,65±1,70	4,20±1,70
151–180	10	0,90±0,10	1,63±0,21	2,47±0,24
181–193	4	1,13±0,07	1,48±0,10	2,66±0,17
On average:	16	1,097±0,079	1,684±0,180	2,781±0,240

Milking time during the day. The dynamics of daily milking shows (Fig. 2) that the maximum milk yield occurred at 21 hours. (1.350±0.253 kg), and the lowest at 06 hours. (0.875±0.160 kg).

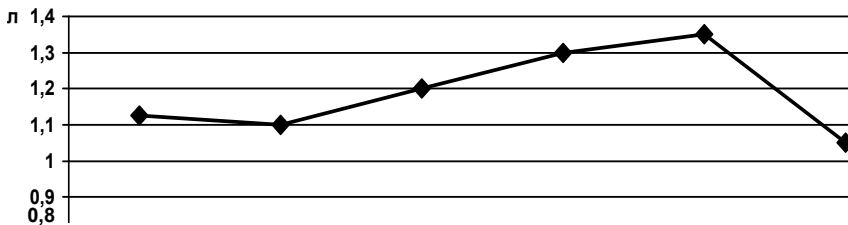


Fig. 2. Dynamics of daily milk yield of experimental mares of the Novooalexandrivsky heavy draft breed (kg) under imitation of foal feeding by milking hours

On average, 9.30±0.94 kg of milk per 1 mare was obtained per day of control milking (lim=6.9–11.0 kg). On average, 1.165±0.120 kg of milk was obtained per 1 milking (lim=0.86–1.38 kg) (Table 3.19). Therefore, according to the estimated data for 5 months of lactation, the mare produced an average of 1953 kg of milk with limits of 1449–2310 kg of milk.

Linear measurements and indices of body structure. The influence of morphofunctional indicators of mares on their milk production was studied. The study was carried out during the main lactation season (May–September) at stud «LANN» (n=32). The mares were divided into two groups according to

type: large (height at withers >150 cm, chest girth >190 cm) and small (height at withers <150 cm, chest girth <190 cm).

The group of large mares outnumbered small mares by 10.1% in terms of milk production obtained during the experimental period (Table 3).

Table 3

Indicators of measurements, live weight and milk production of experimental mares

Groups of mares by type		Body measurements, cm					
		Height at the withers	Oblique body length	Chest girth	Metacarpal circumference	Live weight, kg	Milk yield, liters
Small (n=20)	M±m	146,9 ±0,51	156,5 ±0,93	188,8 ±1,77	21,17 ±0,19	660,9 ±6,20	684,0 ±66,8
	Cv, %	1,21	2,05	3,25	3,08	3,25	33,8
Large (n=12)	M±m	154,4 ±0,51	162,8 ±0,70	192,1 ±1,84	21,70 ±0,13	673,9 ±6,29	761,0 ±72,7
	Cv, %	1,46	1,93	4,28	2,63	4,17	42,7
Total (n=32)	M±m	151,9 ±0,75	160,4 ±0,78	190,9 ±1,34	21,5 ±0,11	669,1 ±4,64	732,1 ±51,6
	Cv, %	2,78	2,74	3,97	3,01	3,93	39,9

The analysis of the correlation coefficients did not establish a significant relationship between the linear measurements of mares and their milk production. The highest relationship was established between the milk production index and height at the withers ($r=0.112$) and the oblique body length ($r=0.109$).

The repeated experiment was carried out on mares of the branch «Dibrivsky Stud Farm No. 62» of the State Enterprise «Horse Breeding of Ukraine» (n=16). In addition to indicators of milk production and linear measurements of the body, body structure indices were determined.

The milk production of experimental mares for 150 days of lactation averaged 2815.3 ± 234.77 kg of milk (lim=1603–3792 kg).

The height at the withers of the studied sample of mares averaged 150.4 ± 0.75 cm, which means that the horses of the Novoalexandrivsky draft breed belong to small draft horses close to the Ardennes. The oblique length of the body – 158.4 ± 0.98 cm – significantly exceeds the height at the withers, which indicates an expressive draft horse type. The average indicators of chest circumference (192.8 ± 1.72 cm) and metacarpal girth

(21.9±0.22 cm) indicate the desired massiveness and skeletal development mares.

In this experiment, the group of large mares outnumbered small mares by only 3.9% in terms of milk production obtained during the experimental period (Table 4).

Table 4

Indicators of body measurements and body structure indices of experimental mares

Groups of mares by type		Body measurements, cm				Body structure indexes, %			Milk production, l
		Height at the withers	Oblique body length	Chest girth	Metacarpal circumference	Format	Massiveness	Ratio of metacarpal circumference to withers height	
Small (n=7)	M±m	148,1 ±0,34	156,7 ±0,78	191,9 ±2,41	21,6 ±0,34	105,8 ±0,68	129,5 ±1,59	14,6 ±0,21	2761,0 ±280,0
	Cv, %	0,61	1,31	3,32	4,16	1,69	3,27	3,76	26,83
Large (n=9)	M±m	152,2 ±0,94	159,7 ±1,55	193,4 ±2,53	22,1 ±0,29	104,9 ±0,72	130,4 ±3,73	14,5 ±0,17	2872,7 ±191,26
	Cv, %	1,85	2,90	3,92	3,88	2,05	8,59	3,44	19,97
Total (n=16)	M±m	150,4 ±0,75	158,4 ±0,98	192,8 ±1,72	21,91 ±0,22	105,3 ±0,49	130,0 ±2,15	14,6 ±0,13	2815,3 ±234,77
	Cv, %	1,99	2,48	3,58	4,02	1,89	6,63	3,47	23,43

It was found that mares, the height at the withers of which exceeded 150 cm (large type), were characterized by probably higher milk yield during lactation than smaller mares (by 111.7 l, p<0.01), which confirms the data obtained in the first experiment. It was found that the indicator of milk productivity of mares of the Novooleksandrivsk heavy draft breed with different strengths is positively related to body measurements: height at the withers (r=0.132), oblique body length (r=0.232), chest girth (r=0.280), metacarpal girth (r=0.245), format index (r=0.175), ratio of metacarpal circumference to withers height (r=0.194) and, least, with a massiveness index (r=0.096).

Udder parameters. In addition to indicators of milk production and body measurements of experimental mares, udder measurements (cm) were determined: girth, length, depth. Udder parameters on average were: girth – 65.6±1.25 cm, length – 19.7±0.44 cm, depth – 18.4±0.33 cm. Large mares

were characterized by higher indicators of girth and udder length, small mares prevailed in udder depth (Table 5).

Table 5

Indicators of milk production and udder measurements of experimental mares

Groups of mares by type		Udder measurements, cm			Milk production, l
		Girth	Length	Depth	
Small (n=7)	M±m	65,22±1,71	19,44±0,41	18,56±0,52	2761,0±280,0
	Cv, %	7,85	6,36	8,46	26,83
Large (n=9)	M±m	66,14±1,98	20,00±0,87	18,14±0,39	2872,7±191,26
	Cv, %	7,93	11,55	5,67	19,97
Total (n=16)	M±m	65,63±1,26	19,69±0,44	18,38±0,33	2815,3±234,77
	Cv, %	26,65	8,84	7,27	23,43

Calculations of the correlation coefficient proved that the milk productivity of the studied mares is related to the measurements of their udder (Table 6).

Table 6

Correlations between milk production, body measurements and udder parameters

Udder parameters	Milk production, l	Height at the withers	Oblique body length	Chest girth	Metacarpal circumference	Format index	Massiveness index	Ratio of metacarpal circumference to withers height
Girth	0,370	-0,175	0,352	0,228	0,263	0,654	0,514	0,391
Length	0,301	-0,126	0,145	0,310	0,371	0,323	0,245	0,486
Depth	-0,113	0,140	0,232	0,224	0,557	0,157	0,449	0,545

Positive correlation coefficients of the average strength of the bond between the milk production of mares and the girth of the udder ($r=0.370$) and the length of the udder ($r=0.301$) were revealed, with the depth of the udder the ligaments are weak and negative ($r=-0.113$). A fairly strong relationship was found between the udder measurements: girth \times length ($r=0.665$), length \times depth ($r=0.570$), girth \times depth ($r=0.361$).

In addition, udder parameters with a fairly high positive value correlate with linear measurements of the body. Therefore, the udder girth indicator significantly and positively correlates with the indicators of body structure index: format ($r=0.654$), massiveness ($r=0.514$), ratio of metacarpal circumference to

withers height ($r=0.391$). The udder length index is positively and significantly correlated with the ratio of metacarpal circumference to withers height ($r=0.486$) and format ($r=0.323$).

Age of mares. The infusion of the age of mares on daily milk yield indicators is shown in Table 7.

Table 7

Indicators of daily milk yield of experimental mares depending on age

Age of mares, years	n	Amount of milk, l		
		I Milking	II Milking	Daily milk yield
1st month of milking				
4–8	6	0,842±0,052	1,425±0,070	2,267±0,087
9–13	6	1,167±0,313	1,217±0,240	2,400±0,531
14 and older	4	1,300±0,147	1,550±0,106	2,850±0,205
On average:	16	1,078±0,127	1,378±0,098	2,463±0,205
3rd month of milking				
4–8	6	0,883±0,087	1,400±0,100	2,283±0,180
9–13	6	1,192±0,156	2,033±0,445	3,225±0,564
14 and older	4	1,275±0,075	1,588±0,156	2,863±0,221
On average:	16	1,097±0,079	1,684±0,180	2,781±0,240

It was found that the indicators of control milking of mares of different ages proportionally vary both in the 1st and in the 3rd month of milking. A predominance in the daily milk yield of older mares (14 years and older) in June, and at the age of 9–13 years in August, was revealed. The results obtained are confirmed by the calculation of the correlation coefficient between the daily milk yield and the age of mares, which indicates the presence of a positive relationship of average strength between the age and daily milk yield of the studied mares ($r=431$).

Duration of pregnancy. The age of mares affects the duration of their pregnancy, as evidenced by the calculated positive probable correlation coefficient of the average degree ($r=0.396$). The duration of pregnancy of experimental mares averaged 335.6 ± 2.85 days ($lim=320 \setminus u2012358$) ($Cv=3.176$).

The impact of the duration of pregnancy of mares on the indicators of daily milk yield is shown in Table 8. The advantage in daily milk yield of mares with a gestation duration of more than 350 days was proven according to the results of control milking in both the first and third control months of milking.

The daily milk yield correlated significantly and positively with a high probability ($p<0.01$) with the duration of pregnancy of experimental mares in June ($r=0.759$), according to milk yield in August, this correlation was much lower ($r=0.270$). The duration of pregnancy on average was positively and

Table 8

**Indicators of daily milk yield of experimental mares depending
on the duration of pregnancy**

Duration of pregnancy, days	n	Milk yield, kg		
		I Milking	II Milking	Daily milk yield
1st month of milking				
320–330	4	0,867±0,186	1,233±0,088	2,100±0,265
331–340	7	1,000±0,049	1,429±0,071	2,500±0,076
341 and more	5	1,213±0,142	1,988±0,218	3,200±0,117
On average:	16	1,097±0,079	1,684±0,180	2,781±0,240
3rd month of milking				
320–330	4	1,015±0,009	1,283±0,017	2,317±0,044
331–340	7	0,857±0,047	1,400±0,072	2,257±0,083
341 and more	5	0,988±0,200	1,200±0,331	2,188±0,503
On average:	16	1,078±0,127	1,378±0,098	2,463±0,205

probably correlated with the age of mares ($r=0.429$). It was found that stallions of mares were carried 9.1 days longer than fillies ($p<0.05$).

The sex of the foal. It was found that mares foaled by foals with a high degree of probability ($p<0.01$) had a higher daily milk yield, as well as milk yield for the first and second milking's (Table 9). Perhaps this is due to the fact that colts are born larger and need more milk, which is controlled by the mare's hormonal background^{27, 28}. The milk yield in the first month of mares who gave birth to colts was probably higher (by 0.511 l, $p<0.01$) than in the third month of milking. In mares who gave birth to fillies, the level of milk yield remained unchanged with slight fluctuations between the first and second milking's.

Therefore, it has been proved that the milk productivity of mares of the Novooalexandrivsky draft breed is influenced by factors to varying degrees: the month of milking and lactation, milking times throughout the day, linear measurements and conformation scores, udder parameters, mare's age, gestation length, foal's sex.

²⁷ Aoki T., Inoue Y., Murase H., Asai Yo, Nambo Y., Ishii M. Relationship Between Fertility at Foal Heat and Blood Biochemistry Parameters Monitored During the Peripartum Period in Thoroughbred Mares, *J. of Equine Veterinary Sci.* 2013. Vol. 33, Iss. 12. P. 1064–1067, <https://doi.org/10.1016/j.jvevs.2013.04.003>.

²⁸ Robles M, Nouveau E, Gautier C, Mendoza L, Dubois C, Dahirel M, Lagofun B, Aubrière MC, Lejeune JP, Caudron I, Guenon I, Viguié C, Wimmel L, Bouraima-Lelong H, Serteyn D, Couturier-Tarrade A, Chavatte-Palmer P. Maternal obesity increases insulin resistance, low-grade inflammation and osteochondrosis lesions in foals and yearlings until 18 months of age. *PLoS One.* 2018 Jan 26; 13(1):e0190309. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190309>. PMID: 29373573

Table 9

**Indicators of daily milk yield of experimental mares depending
on the month of milking and the sex of foals**

The foal's sex	n	Milk yield, kg		
		I Milking	II Milking	Daily milk yield
1st month of milking				
Colts	10	1,094±0,078	1,628±0,148	2,722±0,168
Filly	6	0,910±0,046	1,410±0,105	2,320±0,085
3rd month of milking				
Colts	10	0,933±0,091	1,267±0,137	2,211±0,210
Filly	6	0,920±0,107	1,400±0,114	2,320±0,208

4. Factors influencing the quality indicators of mares' milk

Lactation periods. The first experiment was carried out on mares of the Dibrivsky stud farm. Tasting analysis established (Table 10) that the taste, color and smell of the studied milk samples were characteristic of mares' milk (sweetish taste, pure milky smell, white color).

In terms of density, acidity and degree of purity, the studied milk samples of mares of the Novoolexandrivsky draft breed fully met the requirements of the current standard (DSTU 8009:2015). During the studied periods, no probable difference in the samples in terms of density and degree of purity of milk was observed.

The influence of lactation dates on the physicochemical parameters of milk of experimental mares was established (Table 10). Therefore, the acidity index of milk samples obtained from mares up to the 60th day of lactation inclusive was the lowest, and at 61–90 days of lactation – increased.

The mass fraction of dry matter in the milk of experimental mares was at the level of 9.17–9.49% depending on the timing of lactation: a larger amount of dry matter was observed in the milk of mares at 2–3 months of lactation, at 3 months the dry matter content decreased slightly and was lowest at the end of lactation.

The mass fraction of fat in the milk of experimental mares was characterized by high variability and ranged on average from 0.44 to 0.80%, which is lower than the requirements of the standard (not lower than 1%). The highest fat content in the milk of mares was observed at 2–3 lactation sites ($p < 0.01$).

The mass fraction of protein in the milk of experimental mares ranged on average from 1.25 to 2.10%, which exceeded the requirements of the standard. The protein content in the milk of mares, as well as the fat content, was highest at the lactation stage of 2–3 months, the lowest at the end of lactation. The content of casein in milk was more stable in relation to the timing of lactation,

Table 10

**Physicochemical parameters of milk of experimental mares
by lactation period**

Indicator	Lactation dates, days				Standard requirements
	≤60 (n=6)	61–90 (n=5)	91–120 (n=12)	121≥ (n=5)	
Density, °A	1317±48,0	1380±20,0	1350±29,0	1380±20,0	1027–1035
Acidity, °T	4,17±0,60	6,20±0,58	5,08±0,48	5,20±0,37	5,0–7,0
Degree of cleanliness by class	I	I	I	I	I
Mass fraction, %					
Dry matter	9,48±0,27	9,49±0,17	9,41±0,09	9,17±0,05	9,5
Fat	0,68±0,22	0,80±0,33	0,44±0,09	0,46±0,02	≥1
Protein	1,61±0,21	2,10±0,24	1,80±0,18	1,25±0,07	≥1
incl. casein	0,99±0,09	1,02±0,05	0,98±0,07	1,08±0,07	–
Albumins & Globulins	0,62±0,23	1,09±0,23	0,83±0,14	0,16±0,04	–
Lactose	6,57±0,16	6,49±0,17	6,67±0,15	6,64±0,11	6,6
Skimmed milk powder	9,13±0,14	9,05±0,05	8,97±0,06	8,99±0,05	–

the difference in its mass fraction during the studied periods was unlikely. The content of albumin and globulins in the milk of mares, on the contrary, had significant fluctuations in terms of lactation, it was highest at 2–3 months of lactation and very low – after the fourth month of lactation (0.16%). The lactose content in the milk of mares fluctuated improbably, according to the timing of lactation, in general, was at the level of the requirements of the standard.

The dry skimmed residue in milk was 8.97–9.13%, which is higher than the requirements of the standard. During the studied periods, there was no probable difference in these indicators, although there was a tendency to their slight decrease with an increase in the lactation period.

In the next experiment, the quality of milk of mares of stud «LANN» was studied. The mares were divided into the same gradations as in the previous experiment with the inclusion of colostrum-producing mares in the first days of lactation (Table 11).

It should be noted that in almost all respects, colostrum was dominated by mature milk, in addition to the lactose content and freezing point, somatic cells were almost not detected.

The mass fraction of dry matter in the milk of experimental mares was at the level of 10.097±0.062%, the highest content of dry matter was observed in the milk of mares in the early stages of lactation (9.501±0.130%), after which this indicator decreased during lactation.

Milk indicators of experimental mares by lactation

Indicator	Colostrum (n=3)	Lactation dates, days				on average (mature milk)
		≤60 (n=6)	61-90 (n=5)	91-120 (n=12)	121≥ (n=5)	
Fat, %	2,851 ±0,054	0,786 ±0,031	0768 ±0,032	0,803 ±0,029	0,783 ±0,042	0,785 ±0,017
Protein, %	3,683 ±0,188	2,405 ±0,135	1,913 ±0,033	1,758 ±0,047	1,701 ±0,097	2,041 ±0,076
Total protein, %	3,930 ±0,095	2,759 ±0,125	2,310 ±0,031	2,168 ±0,047	2,122 ±0,053	2,427 ±0,070
Lactose, %	5,842 ±0,123	6,741 ±0,083	6,924 ±0,033	6,994 ±0,059	7,174 ±0,048	6,886 ±0,043
Dry matter, %	12,622 ±0,111	9,501 ±0,130	9,234 ±0,027	9,161 ±0,098	9,292 ±0,036	10,097 ±0,062
Skimmed milk powder, %	9,774 ±0,132	10,284 ±0,128	10,001 ±0,040	9,964 ±0,097	10,072 ±0,112	9,313 ±0,062
Freezing point, °C	-0,631 ±0,005	-0,660 ±0,006	-0,669 ±0,002	-0,672 ±0,006	-0,684 ±0,007	-0,667 ±0,03
Somatic cells, thousand/cm ³	0,239 ±0,003	17,200 ±3,130	9,875 ±3,091	19,000 ±7,955	8,365 ±3,268	14,963 ±2,810

The mass fraction of fat in the milk of experimental mares was characterized by quite high variability ($C_v=11.026\%$) and fluctuated on average at the level of $0.785\pm0.017\%$. The highest fat content in the milk of mares who were lactating for 61–90 days ($0.803\pm0.029\%$) ($p<0.01$) was established.

The lactose content in the milk of experimental mares exceeded the requirements of the standard on average (not lower than 6.6%) and amounted to $6.886\pm0.043\%$. The lactose content was lowest in the milk of mares in the early stages of lactation and increased during its duration.

The content of protein and protein was higher at the beginning of lactation ($2.405\pm0.135\%$ and $2.759\pm0.125\%$, respectively). The content of casein in milk was within the normal range (50 % in total protein) was more stable in relation to the timing of lactation, its difference in mass fraction in the studied periods was unlikely. The content of albumin and globulins in the milk of mares, on the contrary, had significant fluctuations in terms of lactation, it was highest at 2–3 months of lactation, the lowest at the end of lactation (0.16%).

The content of skimmed milk powder in the studied samples was 8.97–9.13% (average $9.313\pm0.062\%$), which exceeds the requirements of the standard. The content of skimmed milk powder was probably highest in the milk of mares in early lactation ($10.284\pm0.128\%$), but the difference was improbable.

The freezing point indicator in all milk samples was slightly higher than the reference values, it was highest at the end of lactation. The content of somatic cells was insignificant and highest at 91–120 days of lactation.

Correlations between the studied indicators were determined. A high level of negative relationship between the day of lactation and the content of protein ($r=-0.707$), protein ($r=-0.693$) and positive – with lactose content ($r=0.660$) and freezing point was established.

According to milk quality indicators, the highest positive correlations between the concomitant indicators: protein and protein content ($r=0.999$), dry matter and SOMO ($r=0.963$), lactose and freezing point ($r=0.952$), dry matter and protein ($r=0.803$), protein and skimmed milk powder ($r=0.798$), protein and skimmed milk powder ($r=0.771$). The highest negative relationships were found between the content of protein and lactose ($r=-0.518$) and protein and lactose ($r=0.482$).

Month and number of control milking, level of milk production. The influence of the milking month on the quality of mares' milk quality has been established (Table 12).

Table 12

Indicators of milk production and quality of daily milk yield of mares depending on the month of milking

Indicator	1st month of milking		3rd month of milking	
	M±m	Cv, %	M±m	Cv, %
Content, %: dry matter	9,39±0,04	1,44	8,97±0,08	3,78
Fat	0,12±0,03	14,3	0,14±0,05	17,6
Protein	1,65±0,02	3,72	1,42±0,01	4,19
lactose	6,87±0,03	1,39	6,72±0,09	5,41
Skimmed milk powder, %	9,27±0,02	0,92	8,86±0,09	4,38
Fat/Protein Ratio	0,07±0,02	14,5	0,08±0,03	16,6
Freezing point, °C	0,66±0,01	1,06	0,64±0,01	4,30
Number of somatic cells, thousand/cm ³	0,39±0,27	24,8	2,35±1,50	26,3

It was found that the content of dry matter, protein, lactose and skimmed milk powder were higher in the first month of milking, and the protein content (and, accordingly, the ratio of fat and protein), freezing point and the number of somatic cells were higher in the third month of milking. In general, almost no somatic cells were found in the milk of mares, which is explained by its high antibacterial properties.

According to the average indicators of control milking of experimental mares with two milkings during the day, significant differences in milk quality indicators were established (Table 13).

Table 13

Milk quality indicators of experimental mares by milking number

Indicator	1 Milking			2 Milking		
	M±m	δ	Cv, %	M±m	δ	Cv, %
Fat, %	0,208±0,079	0,285	137,1	0,076±0,010	0,039	51,772
Protein, %	1,613±0,014	0,050	3,093	1,649±0,020	0,082	4,963
Ratio (fat/protein)	0,128±0,049	0,176	137,1	0,045±0,006	0,023	51,958
Lactose, %	6,877±0,029	0,106	1,536	6,833±0,025	0,100	1,459
Dry matter, %	9,447±0,087	0,314	3,322	9,308±0,023	0,092	0,989
Skimmed milk powder, %	9,241±0,028	0,101	1,091	9,233±0,021	0,084	0,912
Freezing point, °C	-0,659±0,002	0,008	1,287	-0,655±0,002	0,007	1,082
Somatic cell content, thousand / cm ³	0,308±0,208	0,751	244,097	0,438±0,302	1,209	276,420

It was found that in the milk samples of experimental mares taken during the first control milking during the day, the indicators of fat content, fat-protein ratio, lactose, dry matter, skimmed milk powder and freezing point temperature prevail. In the milk samples of experimental mares taken during the second control milking, the protein content and somatic cells were higher.

Milk quality indicators of the studied mares in samples from the first and second milking's per day are shown in Table 14.

Table 14

Milk quality indicators of experimental mares for 1 and 2 milking's

Milk quality indicators	1st month of milking		3rd month of milking	
	1 Milking	2 Milking	1 Milking	2 Milking
Content, %: dry matter	9,447±0,087	9,308±0,023	8,928±0,089	8,918±0,078
Fat	0,208±0,079	0,076±0,010	0,105±0,030	0,165±0,060
Protein	1,613±0,014	1,649±0,020	1,408±0,016	1,345±0,014
lactose	6,877±0,029	6,833±0,025	6,701±0,091	6,697±0,085
Ratio: fat/protein	0,128±0,049	0,045±0,006	0,074±0,021	0,121±0,044
Skimmed milk powder, %	9,241±0,028	9,233±0,021	8,824±0,098	8,752±0,090
Freezing point, °C	-0,659±0,002	-0,655±0,002	-0,642±0,007	-0,642±0,006
Number of somatic cells, thousand/cm ³	0,308±0,208	0,438±0,302	1,706±0,903	3,353±2,356

In milk taken in the first month of milking, a higher content of almost all studied indicators was found in milk samples from the first milking. Thus, the dry matter content in milk samples from the first milking was higher

by 0.139% ($p>0.01$) than from the second milking, the lactose content was 0.044%, the skimmed milk powder – by 0.008%, the freezing point indicator – by 0.004%. The highest difference in samples from the first and second milking's was in terms of fat content (0.208 ± 0.079 versus $0.076\pm 0.010\%$, $p>0.01$), and the ratio (fat/protein) was also significantly higher in samples from the first milking – 0.128 ± 0.049 versus 0.045 ± 0.006 , $p>0.01$, while the protein content in milk from the second milking was slightly higher than from the first (by 0.036%). A small number of somatic cells was detected only in two mares in the first month of milking and in four in the third, however, in general, it was higher in milk from the second milking (by 0.13 thousand/cm³).

In milk taken in the third month of milking, a higher content of almost all the studied indicators was also found in milk samples from the first milking, but with a much smaller difference. In particular, the dry matter content in milk samples from the first milking was 0.010% higher than from the second milking, the lactose content – by 0.004%, skimmed milk powder – by 0.072%, the freezing point indicator – did not differ by milking number. The fat content, on the other hand, was higher in the samples from the second milking (0.165 ± 0.060 versus $0.105\pm 0.030\%$, $p>0.01$), and the fat/protein ratio was also higher in the samples from the second milking (0.121 ± 0.044 versus 0.074 ± 0.021 , $p>0.01$), while the protein content in milk from the first milking was higher than from the second (by 0.063%). The content of somatic cells was higher in milk from the second milking (by 1.647 thousand/cm³).

High probable positive correlations (r) were found between the daily milk yield milked in the first month of milking and the content of dry matter ($r=0.856$), fat ($r=0.728$), and the ratio of fat and protein ($r=0.861$). In milk milked in the third month of milking, these relationships are weaker (0.634, 0.461 and 0.489, respectively).

It was found that the indicators of daily milk yield and milk quality of experimental mares significantly correlate with each other, in accordance with the number of control milking during the day.

Thus, the highest probable relationships were established between the dry matter content in the daily milk yield, the protein and dry matter content in the samples obtained from the first milking, the amount of milk, the content of dry matter, fat and protein in the samples from the second milking. The indicator of the content of skimmed milk powder residue was not actually related to the indicators of milk production in general and by the number of milking. Instead, the freezing point indicator in the range of up to 0.3 was positively correlated with the milk production of experimental mares.

Table 15

Relationship between milk production indicators and milk quality of mares in milk samples by control milking number (r)

Milk quality indicators	Amount of milk, l		
	1 Milking	2 Milking	Daily milk yield
Content, %: dry matter	0,321	0,528	0,412
Fat	0,569	0,708	0,690
Protein	0,788	0,342	0,578
lactose	0,303	0,265	0,281
Ratio: fat/protein	0,557	0,722	0,704
Skimmed milk powder, %	0,089	0,067	0,066
Freezing point, °C	0,299	0,265	0,280
Number of somatic cells, thousand/cm ³	-0,096	-0,126	-0,121

Most indicators of milk quality are significantly related to each other, which is proven by calculations of correlation coefficients. The indicators of dry matter and fat content ($r=0.796$), dry matter and ratio (fat/protein) ($r=0.808$), dry matter and skimmed milk powder ($r=0.776$), fat content and ratio (fat/protein) ($r=0.998$), lactose content and freezing point index ($r=0.984$), lactose and skimmed milk powder content ($r=0.776$) were the most positively correlated. The content of somatic cells was negatively correlated with all the studied indicators of milk quality, most of all with the content of skimmed milk powder ($r=-0.493$) and dry matter content ($r=-0.537$).

Type of mares (by size). The influence of morphofunctional indicators of mares ($n=16$) on the quality of their milk was investigated according to the results of the analysis of samples taken during control milking's (Table 16).

Table 16

Milk quality indicators of experimental mares of different types

Indicators	Type of mares			
	Small (n=7)		Large (n=9)	
	M±m	Cv, %	M±m	Cv, %
Content, %: dry matter	9,354±0,049	1,56	9,377±0,044	1,24
Fat	0,420±0,072	51,71	0,477±0,116	64,33
Protein	1,643±0,022	3,955	1,661±0,024	3,88
lactose	6,841±0,031	1,35	6,884±0,036	1,39
Ratio: fat/protein	0,711±0,023	9,90	0,475±0,080	45,35
Skimmed milk powder, %	9,234±0,018	0,57	9,300±0,036	1,01
Freezing point, °C	-0,656±0,02	1,00	-0,659±0,003	1,09

There is no probable difference between groups of small and large mares in terms of milk quality.

Age of the mare. The effect of the age of mares on milk quality indicators is shown in Table 17, the data of which prove the superiority in the content of dry matter in the milk of mares aged 10–13 years in June, and older (14 years and older) in August. In the groups of mares of the same age category, the fat content in milk was higher. The protein content was highest in the milk of mares aged 4–8 years in June and August, and the lactose content was higher in the oldest mares. The freezing point indicator differed little in different groups of mares, but was higher in older mares (14 years and older).

Table 17

Milk quality indicators of experimental mares of different ages by control months of milking (r is the correlation of indicators with age)

Milk quality indicators	Age of mares, years			
	1st month of milking			
n	4-8	9-13	14 and older	r
	6	6	4	
Content, %: dry matter	9,360±0,060	9,425±0,063	9,348±0,073	0,139
Fat	0,063±0,07	0,168±0,022	0,075±0,022	0,153
Protein	1,677±0,038	1,648±0,022	1,638±0,040	-0,005
lactose	6,870±0,083	6,857±0,033	6,885±0,052	0,046
Ratio: fat/protein	0,037±0,003	0,100±0,030	0,045±0,013	0,161
Skimmed milk powder, %	9,303±0,058	9,253±0,024	9,275±0,061	0,049
Freezing point, °C	0,657±0,006	0,657±0,002	0,659±0,004	0,089
Number of somatic cells, thousand/cm ³	0	2	3	0,244
3rd month of milking				
n	4-8	9-13	14 and older	r
	6	6	4	
Content, %: dry matter	8,970±0,082	8,947±0,233	9,000±0,012	0,075
Fat	0,043±0,016	0,227±0,116	0,040±0,011	0,185
Protein	1,442±0,017	1,410±0,035	1,428±0,021	-0,057
lactose	6,770±0,070	6,608±0,248	6,808±0,012	-0,017
Ratio: fat/protein	0,030±0,010	0,155±0,078	0,028±0,009	0,186
Skimmed milk powder, %	8,938±0,088	8,718±0,257	8,960±0,008	-0,033
Freezing point, °C	0,647±0,006	0,636±0,019	0,650±0,001	-0,007
Number of somatic cells, thousand/cm ³	2,000±1,291	43,000±42,403	0	0,041

Duration of pregnancy. The infusion of the duration of foaling of mares on milk quality indicators is shown in Table 18.

The superiority in dry matter, fat content and fat-protein ratio in milk samples of experimental mares with a duration of foaling of more than 340 days was proved according to the results of control milking in both the first and third control months of milking.

Table 18

Indicators of milk quality of experimental mares depending on the duration of pregnancy

Milk quality indicators	Duration of pregnancy, days			
	1st month of milking			
n	320–330	331–340	341 and more	r
	4	7	5	
Content, %: dry matter	9,267±0,015	9,338±0,060	9,628±0,204	0,369
Fat	0,067±0,003	0,100±0,033	0,298±0,187	0,242
Protein	1,583±0,032	1,625±0,025	1,620±0,032	0,206
lactose	6,873±0,039	6,865±0,069	6,950±0,039	0,300
Ratio: fat/protein	0,043±0,003	0,063±0,021	0,183±0,117	0,230
Skimmed milk powder, %	9,203±0,017	9,240±0,060	9,330±0,028	0,497
Freezing point, °C	0,657±0,003	0,657±0,005	0,666±0,004	0,364
Number of somatic cells, thousand/cm ³	0	2	2	0,024
3rd month of milking				
n	320–330	331–340	341 and more	r
	4	7	5	
Content, %: dry matter	8,930±0,056	9,001±0,064	8,773±0,298	-0,080
Fat	0,037±0,022	0,046±0,013	0,148±0,098	0,220
Protein	1,393±0,035	1,426±0,024	1,450±0,038	0,203
lactose	6,787±0,024	6,803±0,062	6,493±0,373	-0,147
Ratio: fat/protein	0,027±0,017	0,033±0,008	0,098±0,061	0,221
Skimmed milk powder, %	8,903±0,041	8,959±0,073	8,625±0,395	-0,127
Freezing point, °C	0,648±0,002	0,650±0,005	0,626±0,028	-0,139
Number of somatic cells, thousand/cm ³	0	2,143±1,100	225	0,144

Mares with a gestation duration of more than 340 days also had the highest lactose content and freezing point in samples taken in the first control month of milking and protein in samples taken in the third month of milking. Mares with a gestation duration of 331–340 days had the highest content of protein and

skimmed milk powder in milk samples obtained in the first month of milking and freezing point in samples obtained in the third month of milking.

Sex of foals. Indicators of milk quality of experimental mares in connection with the sex of their foals are given in Table 19.

It was found that milk samples (taken both in the first and third control months of milking) of mares who gave birth to stallions had a higher content of dry matter (by 0.448 and 0.335 ml, respectively), fat (by 0.08 and 0.12%, respectively), and the ratio of fat and protein. The protein content was higher in the samples taken in the first month from mares who gave birth to fillies, and in the third month – from mares who gave birth to stallions, however, the difference is insignificant and unlikely.

Table 19

Indicators of milk quality samples of control milk of experimental mares depending on the sex of their foals

Milk quality indicators	1st month of milking		3rd month of milking	
	Colts	Fillies	Colts	Fillies
Content, %: dry matter	9,440±0,043	9,265±0,021	8,992±0,136	8,930±0,071
Fat	0,140±0,036	0,060±0,013	0,156±0,073	0,036±0,012
Protein	1,644±0,021	1,668±0,031	1,435±0,018	1,412±0,028
lactose	6,900±0,032	6,798±0,025	6,688±0,147	6,770±0,070
Ratio: fat/protein	0,083±0,021	0,035±0,006	0,106±0,049	0,027±0,008
Skimmed milk powder, %	9,300±0,028	9,208±0,023	8,834±0,156	8,907±0,081
Freezing point, °C	-0,660±0,002	-0,652±0,002	-0,642±0,011	-0,647±0,005
Number of somatic cells, thousand/cm ³	0	1,250±0,750	26,00±25,45	1,667±1,174

The lactose content, on the other hand, was higher in samples taken in the first month of milking from mares who gave birth to stallions, and in the third month from mares who gave birth to fillies. In terms of dry skimmed milk residue, there was a significant advantage in the milk of mares taken in the first month (with a predominance of fillies who gave birth to colts). In milk samples taken in the third month, the indicator of dry skimmed milk residue was lower, but, with an incredible difference, in favor of mares who gave birth to fillies.

The freezing point indicator varied little and improbably due to the sex factor of the foals, however, it prevailed in milk samples taken in the first month from mares that gave birth to stallions, and in the third month from mares that gave birth to fillies.

A small number of somatic cells were found in milk samples taken in the first month of milking from two mares who gave birth to fillies, in the third

month of milking – from four mares who gave birth to foals of both sexes, however, we consider it inappropriate to associate this indicator of milk quality with the sex of foals.

Thus, it has been established that the factors of the month, milking number, lactation period, age of mares, duration of their pregnancy and sex of foals affect individual indicators of milk quality to varying degrees. Further research should be directed to a more detailed study of the quality of mares' milk and the establishment of factors influencing its indicators.

CONCLUSIONS

Factors influencing milk productivity and milk quality of mares of the Novooleksandrivsk heavy cart breed have been established.

The highest level of milk production of experimental mares was established in the second and third months of milking (2–3 months). In the first and third control months of milking, it was found that with two daily milkings, more milk was obtained from the second milking. (1.350 ± 0.253 kg), and the lowest at 06 hours. (0.875 ± 0.160 kg).

The highest daily milk yield was characterized by mares that began to lactate later. Therefore, in the first month of milking, mares that were lactating for 114–150 days (3.27 ± 0.86 , $p \leq 0.01$) were distinguished by the highest milk yield, and in the third month – 62–90 days (4.20 ± 1.70 kg, $p \leq 0.01$). The influence of lactation periods on the physicochemical parameters of milk of experimental mares was established.

The predominance of large-type mares (height at the withers < 150 cm, chest girth < 190 cm) in terms of milk production by 10.1% was established. There was no probable difference between groups of small and large mares in terms of milk quality.

The influence of udder parameters on the indicator of milk production of mares was proved. Positive correlation coefficients of the average strength of the bond between the milk production of mares and udder girth ($r=0.370$) and udder length ($r=0.301$) were revealed. A fairly strong relationship was found between udder measurements: girth \times length ($r=0.665$), length \times depth ($r=0.570$), girth \times depth ($r=0.361$).

A preponderance in daily milk yield of older mares (9 years and older) was revealed. The results obtained are confirmed by the calculation of the correlation coefficient between age and daily milk yield of the studied mares ($r=0.431$).

The age of mares affects the duration of their foaling ($r=0.396$). The advantage in daily milk yield of mares with a foal duration of more than 350 days was proven. The advantage in dry matter, fat and the ratio of fat and protein in the milk samples of experimental mares with a foal duration of more

than 340 days was proved. It was also found that mares foaled by stallions were characterized by better milk production ($p < 0.01$), a higher content of dry matter and fat in milk in the first month of milking.

SUMMARY

In most European countries, environmental issues are not yet considered important enough for stakeholders in the field of horse breeding. However, thanks to their «green» assets, horses can play an active role in the ecological transition and debate, both independently and as a supplement to other economic productions and services, which is the economic guarantee of the conservation of horses of local populations. In this context, one of the most promising areas of use of horses is the production of hypoallergenic milk of mares and products of its processing. Therefore, new knowledge is needed regarding the parameters of milk production of mares of domestic populations. In our research, it has been proved that the milk productivity of mares of the Novooalexandrivsky draft breed is influenced by factors to varying degrees: the month of milking and lactation periods, milking time during the day, linear measurements and indices of body structure, udder parameters, age of the mare, duration of foaling, sex of the foal. It has also been established that the factors of the month, milking number, lactation period, age of mares, duration of their foal and sex of foals affect individual indicators of milk quality. Further research should be directed to a more detailed study of the quality of milk of mares and the establishment of factors influencing its indicators.

Bibliography

1. Doreau, M.; Martin-Rosset, W. Animals that produce dairy foods – horse. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2nd ed.; Fuquay, J.W., Fox, P.F., McSweeney, P.L.H., Eds.; Elsevier Academic Press: London, UK. 2011. Vol. 1. P. 358–364. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00040-6>
2. Blanco-Doval A., Azkargorta M., Iloro I., Beaskoetxea J., Elortza F., Barron L. J. R., Aldai N. Comparative proteomic analysis of the changes in mare milk associated with different lactation stages and management systems. *Food Chemistry*. 2024. Vol. 445. P. 138766. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138766>
3. Pieszka M., Łuszczynski J., Zamachowska M., Augustyn R., Długosz B., Hędrzak M. Is mare milk an appropriate food for people? review. *Ann. Anim. Sci.* 2016. Vol. 16(1). P. 33–51. <https://doi.org/10.1515/aoas-2015-0041>
4. Uniacke-Lowe, T.; Fox, P.F. Equid milk: Chemistry, Biochemistry and Processing. In *Food Biochemistry and Food Processing*. B.K. Simpson (Ed.). 2012. P. 491–530. <https://doi.org/10.1002/9781118308035.ch26>

5. Berdimurat N. Cost accounting in the horse breeding industry of Kazakhstan improving due to international standards. *Economic Annals XXI*. 2015. Vol. 150. Iss. 3–4(2). P. 75–78. <https://ea21journal.world/index.php/ea-v150-18/>
6. Jastrzębska E., Wadas E., Daszkiewicz T., Pietrzak-Fiećko R. (2017). Nutritional Value and Health-Promoting Properties of Mare's Milk – a Review. *Czech J Anim Sci.*; 62(12): 511–518. <https://doi:10.17221/61/2016-CJAS>
7. Businco L., Giampietro P.G., Lucenti P., Lucaroni F., Pini C., Di Felice G., Iacovacci P., Curadi C., Orlandi M. Allergenicity of mare's milk in children with cow's milk allergy. *J Allergy Clin Immunol*. 2000. Vol. 105. P. 1031–1034. <https://doi:10.1067/mai.2000.106377>
8. Centoducati P., Maggiolino A., De Palo P., Tateo A. Application of Wood's model to lactation curve of Italian Draft horse mares. *J. Dairy Sci*. 2012. Vol. 95. P. 5770–5. <https://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-5513>
9. Jastrzębska E., Wadas E., Daszkiewicz T., Pietrzak-Fiećko R. (2017). Nutritional Value and Health-Promoting Properties of Mare's Milk. Review. *Czech J. Anim. Sci.*; 62(12): 511–518. <https://doi.org/10.17221/61/2016-CJAS>
10. Romaniuk, K.; Majszyk-S'wiątek, M.; Kryszak, K.; Danielewicz, A.; Andraszek, K. Alternative use of mare milk. *Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin*. 2019. Vol. 348. P. 121–130. <https://doi.org/10.21005/AAPZ2019.49.1.13>
11. Ranadheera C. S., Naumovski N., Ajlouni S. Non-bovine milk products as emerging probiotic carriers: recent developments and innovations. *Curr. Opi. Food Sci*. 2018. Vol. 22. P. 109–114. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.02.010>
12. Herber C., Bogler L., Subramanian S.V., Vollmer S. Association between milk consumption and child growth for children aged 6–59 months. *Sci Rep*. 2020. Vol. 10(1). P. 6730. <https://doi:10.1038/s41598-020-63647-8>
13. Kozhakhmetov S., Muhanbetganov N., Pernebek Z., Babenko D., Tarzhanova D., Uyzbaeva I. Effects of low lactose mare's milk yogurt consumption on gut microbiota function. *Funct. Foods Health Dis*. 2022. Vol. 12(8). P. 455–464. <https://doi.org/10.31989/fhd.v12i8.981>
14. Cais-Sokolińska D., Worjtowski J., Pikul J. Rheological, texture and sensory properties of kefir from mare's milk and its mixtures with goat and sheep milk. *Mljekarstvo*. 2016. Vol. 66(4). P. 272–281. <https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2016.0403>
15. Akanova A., Kikebayev N., Shaikenova K., Seiitkazhy Z., Okuskhanova E. Nutritive and biological value of mare's milk ice cream. *Pak. J. Nutr*. 2017. Vol. 16. P. 457–462. <https://doi.org/10.3923/pjn.2017.457.462>
16. Stuparu A. A., Strugariu C. E., Oroian T. (2016). Pharmaceuticals and dietary supplements extracted from mare's milk. *Bull. Univ. Agric. Sci. Vet*.

Med. Cluj-Napoca Anim. Sci. Biotechnol. 2016. Vol. 73. P. 1–10. <https://doi.org/10.15835/buasuvmcn-asb:11429>

17. Kunying Li, Yixin Yang, Qilong Li, Ran Chen, Liang Deng, Yiwei Zhang, Ning Jiang. Identification and comparison of milk fat globule membrane and whey proteins from Selle Français, Welsh pony, and Tieling Draft horse mare's milk. *Food Chemistry*. 2024. Vol. 437. Iss. 2. P. 137915. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137915>

18. Aitbaeva S., Bimbetov B. Mare's milk in children's food. *Medicine (Almaty)*. 2016. Vol. 12(174). P. 101–103. http://www.medzdrav.kz/images/magazine/medecine/2016/2016-12/M_12-16_101-103.pdf.

19. Alabiso M., Maniaci G., Luigia Alicata M., Iannolino G., D'Amico, A., Bauman, D. E., Giosuè C. Effects of the foal at the milking and dietary supplementation with extra virgin olive oil on jennet milk production. *Italian Journal of Animal Science*, 2009. № 8. P. 688–690.

20. Auclair-Ronzaud J., Jaffrézic F., Wimel L., Dubois C., Laloy D., Chavatte-Palmer P. Estimation of milk production in suckling mares and factors influencing their milk yield. *Animal*. 2022. Vol. 16, doi.org/10.15454/3LPGKP

21. Čagalj M, Brezovečki A, Mikulec N, Antunac N. Composition and properties of mare's Croatian coldblood horse breed. *Mljekarstvo* 2014; 64: 3–11. <https://hrcak.srce.hr/117064>

22. Cais-Sokolińska D., Worjtownski J., Pikul J. Rheological, texture and sensory properties of kefir from mare's milk and its mixtures with goat and sheep milk. *Mljekarstvo*. 2016. Vol. 66(4). P. 272–281. <https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2016.0403>

23. AGRI-GATOR (2025). URL:<https://agri-gator.com.ua/2019/07/03/ahrofirma-z-kyivshchynu-vypuskatyme-kumys-pid-vlasnym-brendom-kurkul/> (дата звернення 18.04.2026)

24. Кукла О. Л. Резерви зниження собівартості у племінному конярстві України. *Бізнесінформ*. 2012. № 9. С. 142–145.

25. DAIRY news. Today. URL: <https://dairynews.today/kz/news/astanagotovitsya-k-krupneyshemu-festivalyu-kumysa-prizovoy-fond-konkursasostavit-45-mln-tenge.html> (дата звернення 18.04.2026)

26. Павловський С. С., Ткачова І. В. Генетологічна структура новоолександрівської ваговної породи. *Науково-технічний бюлетень Інституту тваринництва НААН*. 2019. № 122. С. 130–138. <https://doi.org/10.32900/2312-8402-2019-122-130-138>

27. Aoki T., Inoue Y., Murase H., Asai Yo, Nambo Y., Ishii M. Relationship Between Fertility at Foal Heat and Blood Biochemistry Parameters Monitored During the Peripartum Period in Thoroughbred Mares, *J. of Equine*

Veterinary Sci. 2013. Vol. 33, Iss. 12. P. 1064–1067, <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2013.04.003>.

28. Robles M, Nouveau E, Gautier C, Mendoza L, Dubois C, Dahirel M, Lagofun B, Aubrière MC, Lejeune JP, Caudron I, Guenon I, Viguié C, Wimel L, Bouraima-Lelong H, Sertheyn D, Couturier-Tarrade A, Chavatte-Palmer P. Maternal obesity increases insulin resistance, low-grade inflammation and osteochondrosis lesions in foals and yearlings until 18 months of age. *PLoS One.* 2018 Jan 26;13(1):e0190309. [https://doi: 10.1371/journal.pone.0190309](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190309). PMID: 29373573

Information about the authors:

Tkachova Iryna Volodymyrivna,

Doctor of Agrarian Sciences, Professor,
Main Researcher at the Laboratory of Breeding
and Technological Research
in Small Animal Husbandry and Horse Breeding
Livestock Farming Institute
of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
1-A, Tvarynnikiv street, Kharkiv, Ukraine

Prusova Galina Leonidivna,


Candidate of Agrarian Sciences, Senior Researcher,
Head of the Testing Center
Livestock Farming Institute
of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
1-A, Tvarynnikiv street, Kharkiv, Ukraine

Liutykh Sergii Vyacheslavovych,

Candidate of Agrarian Sciences, Senior Researcher,
Senior Researcher at the Laboratories for Agricultural Animal
Reproductive Biotechnology
Livestock Farming Institute
of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
1-A, Tvarynnikiv street, Kharkiv, Ukraine

03

SECTION



**AQUATIC
BIORESOURCES
AND
AQUACULTURE**

РОЗЧИННІ ФОРМИ КВЕРЦЕТИНУ У ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ ЗБЕРІГАННЯ РИБНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Фалько О. В., Клочков В. К., Чижевський В. В.
DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-695-9-8>

ВСТУП

Невід’ємною частиною продовольчої безпеки будь якої країни є збереження харчової продукції. Виходячи з реалій сьогодення та війни в Україні, наші дослідження були спрямовані на можливість використання флавоноїдів для зберігання їжі, а саме рибної продукції. В умовах війни питання продовольчої безпеки та права людей на адекватне харчування стикаються з величезними ризиками. Тому пошук засобів гарантованого та біобезпечного довгострокового зберігання продуктів харчування, набувають першочергового значення.

Риба має високу поживну цінність, за рахунок вмісту легкозасвоюваних білків, повного набору незамінних амінокислот, вмісту ненасичених жирів та наявності значної кількості мікроелементів.

Проте рибна продукція через високий вміст води, ненасичених жирів та амінокислот схильна до більш швидкого псування, у порівнянні з продукцією тваринного походження^{1, 2}. Короткі строки збереження змушують промисловців використовувати для подовження терміну придатності риби синтетичні консерванти, навіть застосовувати лід із додаванням антибіотиків, найчастіше групи тетрацикліну³. Але при застосуванні деяких синтетичних антиоксидантних речовин, таких як трет-бутилгідрокінон (E319), пропілгаллат (E310), бутилгідроксіанізол (E320), дибутилгідрокситолуол (E321) і сорбат калію (E202) існують певні біологічні ризики (Soladoye et al, 2015). Означені сполуки спричиняють загрозу виникнення онкологічних захворювань, тератогенезу тощо. Тому для створення безпечних і в водночас ефективних засобів зберігання

¹ Dasong Liu, Li Liang, Wenshui Xia, Joe M, 2013

² Luan, Fu, Yuan, Ishimura, et al. 2017

³ Mykola Kukhryn, Zoya Malimon, Volodymyr Salata, Igor Rogalsky, et al., 2022

продуктів харчування перспективним є використання природних фітохімічних речовин.

Флавоноїди міцно утримують провідні позиції серед природних рослинних речовин, які використовуються в медицині, фармацевтиці та харчових технологіях. Загально відомим є широкий спектр їх біологічної активності від антиоксидантних властивостей до спроможності моделювати активність ферментів^{4, 5}.

У зв'язку з обмеженнями використання синтетичних консервантів, флавоноїди рослинного походження розглядаються як перспективна альтернатива для зберігання харчових продуктів. Флавоноїди (кверцетин, катехіни, нарингенін, рутин тощо) демонструють виражену антиоксидантну активність, знижуючи утворення пероксидів ліпідів та вторинних продуктів окиснення у рибі. Природні антиоксиданти, в тому числі флавоноїди, широко досліджуються при низькотемпературному зберіганні продукції аквакультури, зокрема промислової риби⁶. Проте кверцетин, як деякі інші флавоноїди, має низьку розчинність у воді, тому для підвищення їх біодоступності застосовуються методи мікрокапсуляції, наносистеми доставки, мікроемульсії, ферментативне метилювання флавоноїдів, зокрема глікозиди кверцетину мають значно більшу біодоступність у порівнянні з його нативною формою^{7, 8}.

Пошуки можливості підвищити розчинність кверцетину привернули нашу увагу до циклодекстрину, а саме β -циклодекстрину, який являє собою циклічний олігосахарид, що складається з 7 субодиниць глюкози та широко застосовується у фармакології, харчовій, хімічній промисловості у якості комплексоутворювача. β -циклодекстрин у фармакології виконує адресну доставку ліків та збільшує їх біодоступність. Суттєво, що означена речовина зареєстрована в якості харчової добавки E459.

Виробництво циклодекстринів перевищує 10 000 метричних тонн (information from «Roquette», France), з яких 20% використовується у харчовій промисловості; класична роль означених сполук – це «носії» для стабілізації біоактивних сполук⁹.

Отже метою нашої роботи було вивчення захисних властивостей супрамолекулярного комплексу включення, кверцетину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином у порівнянні з нативним кверцетином для тривалого

⁴ A. N. Panche, A. D. Diwan and S. R. Chandra, 2016

⁵ Yanping Wu, Ling Jiang, Wenyi Ran et al., 2024

⁶ Zhiliang Huang, Qi Wang, Jun Cao, et al., 2024

⁷ Surangi H Thilakarathna, H P Vasantha Rupasinghe, 2013

⁸ Lei Chen, Hui Cao, Qun Huang et al., 2022

⁹ Adrián Matencio, Silvia Navarro-Orcajada et al., 2020

збереження рибної продукції в умовах позитивних низьких температур (4 ± 1 °C) без заморожування.

1. Засоби та методи реалізації мети

У роботі використовували кверцетин (виробник – публічне акціонерне товариство «Науково-виробничий центр «Борщагівський хіміко-фармацевтичний завод») та 2-гідроксипропіл β -циклодекстрин – CAS NO: 128446-35-5 (Китай)

Супрамолекулярний водорозчинний комплекс кверцетину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином (клатрат кверцетину) було вироблено у Науково-технологічному комплексі «Інститут монокристалів» Національної академії наук України.

Задля оцінки та порівняння складу розчинів кверцетину та його клатратної форми вимірювали спектри поглинання досліджуваних розчинів з використанням спектрофотометра SPECORD 200 (Analytik Jena, Німеччина). Вимірювання проводили в кюветках з оптичного кварцу товщиною 0,2–5,0 см, таким чином, щоб значення оптичної густини, що вимірюється, не виходило за межі області від 0,1 до 1,3 одиниць. Температура всередині кюветного відділення спектрофотометра становила $25\pm 0,25$ °C. Вимірювання спектрів поглинання проводилися проти розчинів, що не містять досліджуваних компонентів.

Оцінку середнього гідродинамічного діаметра частинок проводили за динамічним світлорозсіюванням (ДСР) методом фотон-кореляційної спектроскопії (PCS) на аналізаторі ZetaPALS (Brookhaven Instruments Corp., США) при куті розсіювання 90° . Як джерело світла використовували гелій-неоновий лазер (довжина хвилі випромінювання 659 нм). Вимірювання проводили у спеціальних полістирольних кюветках (BI-SCP). Перед початком вимірювань досліджувані розчини термостатували за температури 25 °C. Вимірювання проводили у гідрозолях заданої концентрації, що забезпечує надійне одержання достовірних результатів.

В експерименті використовували м'язову тканину (філе) коропа (*Cyprinus carpio*), вирощеного у природних водоймищах Харківської області, із свіжовиловленої риби вагою 1,5–2 кг вилучали філе розміром 2x3x3 см. Дослідження стану м'язової тканини коропів дзеркальних починалось через декілька годин після вилову й транспортування.

Підготовлені фрагменти тканини занурювали в водні розчини нативного кверцетину окремо у концентраціях 0,4 та 2 г/л (група порівняння) і у розини супрамолекулярного комплексу кверцетину з 2-гідроксипропіл- β -циклодекстрином (клатрат кверцетину) за тих же концентрацій кверцетину в ньому, (експериментальна група) та витримували 20 хвилин.

Час витримки обрано експериментальним шляхом. Витримка тканини більш ніж 20 хвилин приводила до розшарування і набухання тканини (Рис. 1).



Рис. 1. Дослідні зразки м'язової тканини коропа (*Surginus carpio*) у розчині кверцетину (1) та клатрату кверцетину (2)(підготовка риби до зберігання)

Зразки зберігали упакованими у поліетиленових пакетах за температури 4 ± 1 °C в побутовому холодильнику протягом 9 діб. Окремо за тих же часових і температурних умов зберігалися аналогічні зразки м'язової тканини коропа без обробки хімічними речовинами (контрольна група). Що три доби зберігання проводили оцінку стану збереженості за філе за органолептичними показникам та вмістом сечової кислоти.

Вимірювання сечової кислоти здійснюють за методом¹⁰.

Отримані таким чином значення вмісту сечової кислоти зразків представлено в табл. 1. у вигляді $AAA \pm \Delta AAA$, де AAA – середнє значення вмісту сечової кислоти зразка та ΔAAA – довірчий інтервал вмісту сечової кислоти. Статистичну обробку даних здійснювали за допомогою програми Microsoft Excel.

Виконувалась органолептична оцінка свіжості риби, яка ґрунтувалася на аналізі її зовнішнього вигляду, кольору, консистенції, запаху (ДСТУ 4823.2:2007(загальні вимоги).

2. Результати та аналіз

2.1. Метод синтезу та фізико-хімічні властивості супромолекулярного комплексу кверцетину з 2-гідроксипропіл- β -циклодекстрином

Супромолекулярний комплекс кверцетину з 2-гідроксипропіл- β -циклодекстрином (клатрат кверцетину) отримували шляхом змішування

¹⁰ Ушакова, Г.О., 2015

спиртових розчинів кверцитину 5,4 вага % та 2-гідроксипропіл β -циклодекстрину 94,6 вага %. Вистоювання розчину 24 години та випарювання насухо на роторному випарнику. В результаті було отримано порошок, що містить 5,4% кверцитину. Порошок добре розчинний у воді (Рис. 2).

Циклодекстрини являють собою конічний циліндр амфифільного характеру з гідрофільною зовнішньою частиною (утвореною гідроксильними групами) та переважно ліпофільною порожниною, яка може містити воду. Хоча як неорганічні, так і органічні солі та нейтральні молекули можуть утворювати комплекси з циклодекстринами, вони частіше використовуються для комплексоутворення погано розчинних лікарських препаратів або біоактивних сполук, створюючи так звані «комплекси включення». Завдяки такій структурі «комплекси включення», захоплюють всередину молекули інших речовин, що робить його незамінним компонентом у промисловості¹¹.

Задля оцінки та порівняння складу досліджуваних розчинів вимірювали спектри поглинання розчинів кверцитину та створеного супромолеулярного комплексу. Як бачимо спектри поглинання кверцитину та його клатратної форми співпадають (Рис. 3).

Комплекс кверцитину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином, отриманий у вигляді порошку добре розчинного у воді, містить 5,4% кверцитину. На нашу думку, у порівнянні зі слабо розчинним у воді кверцитином його супромолекулярний комплекс повинен мати більш високу біодоступність, що дозволить використовувати кверцитин з нижчими концентраціями для досягнення еквівалентного чи навіть більшого біологічного ефекту. Задля підтвердження цього припущення нами було виконано серію біологічних експериментів.

Кверцитин практично не розчиняється у холодній воді. Для підвищення розчинності використовують нагрівання розчинів до 45–50 °С або як розчинники використовують водно-спиртові розчини¹². Розчинність кверцитину у вигляді комплексів включення

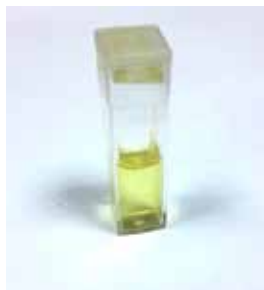


Рис 2. Водний розчин клатрату кверцитину з 2-гідроксипропіл – циклодекстрином, що містить 0,2% (2г/л) кверцитину

¹¹ G. Astray, C. Gonzalez-Barreiro et al., 2009

¹² Michael H. Abraham, William E. Acree Jr., 2014

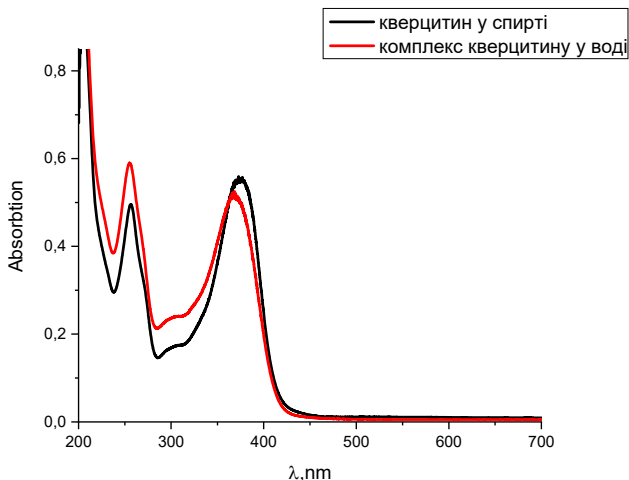


Рис 3. Спектри кверцетину в спирті та комплексу кверцетину з 2-гідроксипропіл- β -циклодекстрином з 0,2% (2 г/л) розчинів, розбавлені у 25 разів

з гідроксипропіл- β -циклодекстрином зростає більш ніж у 50 разів (Комплекси включення кверцетину з β -циклодекстринами: ультрафіолетова та інфрачервона спектроскопія, квантово-хімічне моделювання. Згідно з нашими дослідженнями, розчинність кверцетину має кластерний характер, причому розміри агрегатів залежать від концентрації комплексу у воді. Так, вимірювання гідродинамічного діаметра протягом години після розведення розчинів з концентрацією кверцетину 10, 100, 200 г/л до концентрації 1,0 г/л гідродинамічний діаметр частинок становить 180, 480, 1500 нм відповідно. Однак через 24 години агрегати руйнуються, і чим менша концентрація комплексу в розчині, тим менші розміри агрегатів у вигляді комплексів включення кверцетину з гідроксипропіл- β -циклодекстрином. Таким чином, при приготуванні розбавлених розчинів з порошків або розчинів з високою концентрацією необхідно враховувати агрегатний стан частинок і часовий фактор, що впливає на розміри частинок комплексу.

2.2. Дослідження дії кверцетину та його клатратної форми на збереженість філе корона (*Suprinus carpio*) під час гіпотермічного зберігання (4 ± 1 °C) за органолептичними показниками та вмістом сечової кислоти

В Україні питання збереження якості риби та рибної продукції традиційно розглядається у контексті холодового зберігання,

заморожування та використання антиоксидантних добавок у складі маринадів або глазурувальних середовищ.

Важливо, що згідно з ДСТУ 814-96 «Риба охолоджена. Технічні умови» можливий термін зберігання ставкової риби, упакованої без льоду, за температури **+4...+6 °C становить не більше 2 діб.**

Дослідження українських наукових колективів (Інститут рибного господарства НААН України, Одеська національна академія харчових технологій, НУБіП України) показали, що основними факторами погіршення якості охолодженої прісноводної риби є інтенсивне перекисне окиснення ліпідів, деградація білків та розвиток психротрофної мікрофлори, насамперед *Pseudomonas* spp. та *Shewanella* spp.¹³

Харчова промисловість постійно впроваджує інновації для покращення привабливості продукції, терміну придатності та споживчого досвіду. Особлива увага приділяється інгредієнтам, здатним підсилювати смак, маскувати небажані присмаки або захищати делікатні сполуки. У цьому контексті 2-гідроксипропіл-бета-циклодекстрин (HP- β -CD) виділяється як універсальна та ефективна харчова добавка, що надає значні переваги виробникам та розробникам продуктів у питаннях збереження харчової якості продуктів¹⁴.

Наші дослідження властивостей безпечних природних речовин для використання при збереженні рибної продукції тривають вже досить довгий час. З великого різноманіття флавоноїдів для дослідження нами було обрано кверцетин, чому саме він?

Кверцетин є представником вітамінів групи P, біологічні та хімічні властивості цієї речовини достатньо вивчені. Завдяки своїм антиоксидантним властивостям кверцетин є поширеним інгредієнтом у багатьох нутрицевтичних та космецевтичних продуктах. Кверцетин, як і багато інших флавоноїдів має антимікробні властивості проти широкого спектра харчових патогенних мікроорганізмів¹⁵. Нарешті кверцетин здатний підтримувати конформацію білка та уповільнювати денатурацію й деградацію білка, захищаючи структуру рибного філе при частковому заморожуванні¹⁶. За результатами власних досліджень ми впевнились, що кверцетин та його супрамолекулярний комплекс з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином чинить бактеріостатичний вплив на мікрофлору та уповільнює аутолітичні процеси у рибному філе. На перших етапах вивчення нами використовувались великий розбіг за концентраціями

¹³ Богатко Н., Полтавченко Т.В., Будник З.М., та ін., 2022

¹⁴ Antia Gonzalez Pereira, Maria Carpena, Paula Garcia Oliveira et al., 2021

¹⁵ Safa Hussein Baqer, Sarmad Ghazi Al-Shawi, Zena Kadhim Al-Younis, 2024

¹⁶ Peiyu Wei, Kexue Zhu, Jun Cao, 2021

кверцетину та його клатратних форм, за різних температурних режимів зберігання. Нами велись пошуки адекватних методів оцінки збереженості рибного філе при використанні кверцетину та його похідних за умов позитивних низьких температур¹⁷.

Грунтуючись на результатах попереднього етапу досліджень ми зупинились на необхідності детального вивчення захисних властивостей кверцетину та комплексу кверцетину з 2-гідроксипропіл β-циклодекстрином (кверцетин у концентраціях 0,4 і 2 г/л) при зберіганні рибного філе за температури 4±1 °С. За нашим досвідом найбільш адекватними та інформативними для оцінки збереженості харчової якості риби у нашому випадку були показники вмісту сечової кислоти та органолептичний аналіз.

Як було зазначено вище, у наших попередніх дослідженнях було з'ясовано, що кверцетин та його супрамолекулярний комплекс з 2-гідроксипропіл β-циклодекстрином спроможні подовжити термін харчової придатності філе коропа (*Cyprinus carpio*) при гіпотермічному зберіганні. Але показники вмісту аміно-аміачного азоту, які ми досліджували в якості критеріїв ступеню збереженості рибної продукції, для зразків рибного філе під захистом кверцетину, не виходили за межі припустимих стандартів протягом усього терміну зберігання. Тому для оцінки збереженості рибного філе від руйнації внаслідок аутолітичних процесів нами було обрано вміст сечової кислоти у складі м'язової тканини риби. Були відсутні відомості про ступінь проникнення кверцетину у м'язову тканину риби та фізико-хімічні особливості дії його супрамолекулярного комплексу. Все це змусило нас продовжити дослідження здатності водних розчинів кверцетину захищати біологічні тканини від ушкоджуючої дії факторів руйнування при тривалому гіпотермічному зберіганні.

Вочевидь, що впродовж зберігання відбуваються зміни фізико-хімічні процесів у біологічній тканині, інтенсивність яких залежить від умов навколишнього середовища основним чином температурних і які впливають на харчову якість риби. Як уже зазначалось, харчову якість риби оцінювали за вмістом сечової кислоти, яка є маркером інтенсивності аутолітичних процесів та не має перевищувати рівень 1,26 мг% тканини¹⁸ та органолептичними показниками (колір, запах, консистенція риби), а саме риба повинна мати рожевий або блідо-рожевий колір, свіжий запах та бути щільною та пружною за консистенцією. У таблиці 1 наведено вміст сечової кислоти в тканині риби протягом гіпотермічного зберігання (4±1 °С).

¹⁷ Свляш В. В., Газзаві-Рогозіна Л. В., Пілюгіна І. С., Фалько О. В., Чижевський В. В., 2023

¹⁸ Kaneko K, Aoyagi Y, Fukuchi T., et al., 2014

Таблиця 1

**Вміст сечової кислоти у м'ясі коропа охолодженого (мг/100 г)
при різних термінах зберігання та різних концентраціях розчинів
кверцетину при температурі зберігання 4 ± 1 °C (n=5, P=0,95)**

№ групи	Вміст сечової кислоти в тканині риби, мг/100 г тканини, відповідно доби зберігання		
	3	7	9
Група 1 Кверцетин 2,0 г/л	1,276±0,02	2,157±0,03	3,44±0,03
Група 2 Клатрат кверцетину (кверцетин -2,0 г/л)	0,861±0,01	1,859±0,02	1,96 2,06±0,04
Група 3 Кверцетин 0,4 г/л	0,680±0,01	1,266±0,02	1,99±0,02
Група 4 Клатрат кверцетину (кверцетин -0,4 г/л)	0,106±0,01	0,424±0,02	1,012±0,01
Група 5 Контроль	1,574±0,02	2,303±0,04	4,28±0,02

В таблиці 2 наведені показники органолептичної оцінки рибного філе на різних строках гіпотермічного зберігання.

Таблиця 2

**Показники органолептичної оцінки м'язової тканини коропа
за різними термінами зберігання та різних концентраціях розчинів
кверцетину при температурі зберігання 4 ± 1 °C**

Параметр оцінки (риби)	Група 1 кверцетин 2,0 г/л	Група 2 клатрат кверцетину (кверцетин -2,0 г/л)	Група 3 кверцетин 0,4 г/л	Група 4 клатрат кверцетину (кверцетин -0,4 г/л)	Група 5 риба без обробки
3 доби					
Колір	жовтий	блідо-жовтий	блідо-жовтий	блідо-рожевий	блідо-сірий
Запах	рибний	рибний	рибний	свіжий, рибний	насичений рибний
консистенція	м'яка	м'яка	м'яка	щільна, пружна	рихла
7 діб					
Колір	жовтий	блідо-жовтий	блідо-жовтий	блідо-рожевий	сірий
Запах	кислий	рибний	рибний	свіжий, рибний	кислий
консистенція	рихла	м'яка	м'яка	щільна, пружна	рихла
9 діб					
Колір	жовто-сірий	жовтий	жовтий	блідо-рожевий	сірий
Запах	кислий	кислий	кислуватий	свіжий рибний	неприємний, тухлий
консистенція	рихла	рихла	рихла	щільна, пружна	повна втрата форми і пружності зразка

Отже, використання розчину клатрату кверцетину з концентрацією кверцетину 0,4 г/л для попередньої обробки коропа дзеркального дає змогу збільшити термін зберігання риби за температури $+4\pm 1$ °C до 9 діб при нормі не більше 2 діб та може розглядатись як потенційний спосіб тривалого збереження харчової якості риби.

3. Пошук пояснень нетривіальних (незрозумілих) результатів

За нашими даними була відсутня лінійна залежність між концентрацією кверцетину у клатраті кверцетину та ступеню збереженості рибного філе. На відміну від цього, більші концентрації кверцетину чи кверцетину у його клатратній формі не були тією ж мірою ефективні для збереження харчової якості риби, як у випадку використання розчину клатрату кверцетину, де кверцетин є був концентрації 0,4 г/л. Єдиним поясненням цього феномену могла бути ступінь проникності біологічно активної речовини (кверцетину) до всього об'єму м'язової тканини риби та фізико-хімічні особливості дії його супрамолекулярного комплексу. Все це змусило нас продовжити дослідження здатності водних розчинів флавоноїдів захищати біологічні тканини від пошкоджуючої дії тривалого зберігання за позитивних температур.

Відомо, що хлорид заліза(III) (FeCl_3) використовується як реагент для якісного виявлення кверцетину, оскільки він утворює забарвлені комплексні сполуки з фенольними гідроксильними групами флавоноїдів. При додаванні розчину до кверцетину спостерігається зміна кольору від світло-жовтого (властивого самому кверцетину) до темно-зеленого, чорно-зеленого або синьо-чорного¹⁹.

Фрагменти м'язової тканини коропа витримували у розчинах №№ 1-6 протягом 20 хвилин (Рис. 4). Потім поміщали у пластикові контейнери і залишали 12 годин при температурі 12 °C.

У відповідності з нашими початковими дослідженнями у поточному дослідженні було розширено кількість варіантів дослідних груп:

1. Кверцетин нативний 2,0 г/л
2. Кверцетин нативний 0,4 г/л
3. Клатрат кверцетину, кверцетин у концентрації 2,0 г/л
4. Клатрат кверцетину, кверцетин у концентрації 1,0 г/л
5. Клатрат кверцетину, кверцетин у концентрації 0,4 г/л
6. Клатрат кверцетину, кверцетин у концентрації 0,2 г/л

¹⁹ Katarzyna Godlewska, Paweł Pacyga, Agnieszka Najda, Izabela Michalak, 2023



Рис. 4. Підготовка до експерименту стосовно з'ясування ступеню глибини проникнення кверцетину в об'ємі рибного філе

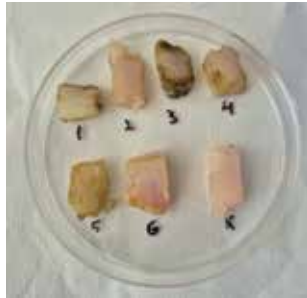


Рис. 5. Розрізані фрагменти рибного філе після нанесення 3% розчину хлористого заліза (FeCl_3)



Рис. 6. Розрізані фрагменти рибного філе група контролю та експериментальна № 5 після нанесення 3% розчину хлористого заліза (FeCl_3)

К. Контроль

Після цього фрагменти розрізали скальпелем в поперек шматочку навпіл та для забарвлення і виявлення кверцетину наносили на зріз розчин хлористого заліза (FeCl_3) (3%). Витримували 5 хвилин, після чого візуально оцінювали ступінь фарбування/глибину проникнення кверцетину (Рис. 5, 6).

Як бачимо, (Рис. 5, 6) фрагменти рибного філе дослідних груп №№ 1, 3, 4, 6 – забарвлені на периферії, найбільш забарвлена периферія шматочка № 3 (концентрація кверцетину 2,0 г/л у розчині клатрату кверцетину); фрагмент 5-ї дослідної групи (концентрація кверцетину 0,4 г/л у розчині клатрату кверцетину) забарвлено по усій площі зрізу. Контрольний зразок не має забарвлення. Тобто виходячи з отриманих результатів можливо зробити попередні загальні висновки, що кверцетин у концентрації 0,4 г/л з розчину клатрат кверцетину здатен проникати у всьому об'ємі м'язової тканини коропа. В інших досліджених варіантах концентрації кверцетину та кверцетину у його клатратній формі, кверцетин здатен проникати тільки на невелику глибину фрагментів рибного філе, а кверцетин у концентрації 2 г/л з розчину клатрату кверцетину накопичується на периферії в найбільшій концентрації. Цілком зрозуміло, що отримано переконливий якісний результат проникнення кверцетину, але в подальшому існує потреба у проведенні фізико-хімічних досліджень з використанням можливо хроматографічних методів або методів, заснованих на спектрофотометрії комплексів флавоноїдів з іонами металів для отримання чисельних характеристик вмісту кверцетину на різній глибині м'язової тканини риби.

Для розуміння можливого механізму ступеню проникнення кверцетину нами було висловлено припущення, що оскільки комплекс кверцетину з 2-гідроксипропіл- β -циклодекстрином являє собою молекулярну дисперсію, в якій частинки мають нанорозміри, то за різної концентрації кверцетину вони можуть мати різний розмір, що у свою чергу дозволяє частинкам меншого діаметру глибше проникати у м'язову тканину. Задля підтвердження цієї гіпотези було проведено експеримент з визначення гідродинамічного діаметру часток розчинів клатрату кверцетину з різною концентрацією кверцетину. Отримані результати представлено на Рис. 7.

Як бачимо, на жаль наша гіпотеза не підтвердилась: частинки при концентраціях кверцетину 0,4 та 1,0 г/л у розчинах клатрату кверцетину мають практично однаковий розмір, але ступінь проникнення їх до товщі м'язової тканини діаметрально різняться. Очевидно, що для розуміння механізму дії супромолекулярного комплексу кверцетину

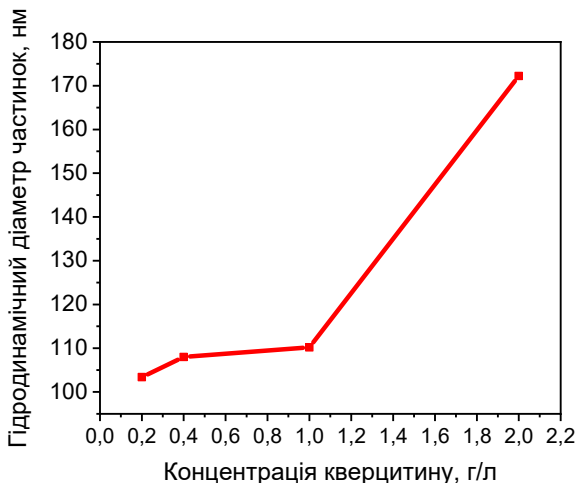


Рис. 7. Гідродинамічний діаметр часток розчинів клатрату кверцетину різної концентрації кверцетину (0,2; 0,4; 1,0 та 2,0 г/л)

з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином на збереженість рибного філе потребує подальших більш глибоких досліджень. Наш невеличкий дослідницький колектив буде вдячний отримати думки та поради від колег для вирішення цієї проблеми.

ВИСНОВКИ

1. Розчинність комплексу кверцетину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином перевищує природну розчинність кверцетину щонайменше у 250 разів.

2. Показано, що використання клатрату кверцетину з концентрацією кверцетину 0,4 г/л, дозволяє за температури 4 ± 1 °C зберегти протягом 9 діб харчову якість рибного філе.

3. Найбільш інформативними показниками харчової придатності риби в умовах гіпотермічного зберігання з використанням досліджених сполук є органолептична оцінка та вміст сечової кислоти у м'язовій тканині.

4. Кверцетин за концентрації 0,4 г/л у складі розчину клатрату кверцетину здатен проникати у всьому об'ємі м'язової тканини коропа.

АНОТАЦІЯ

Було створено супрамолекулярний комплекс кверцетину з 2-гідроксипропіл β -циклодекстрином. Отриманий комплекс має

у 250 разів вищу розчинність ніж природний кверцетин, що значно збільшує його проникність та дозволяє зменшити концентрацію необхідну для забезпечення довгострокового збереження риби. Максимальний термін придатності рибного філе за температури 4 ± 1 °C було досягнуто з використанням супрамолекулярного комплексу де концентрація кверцетину становила 0,4 г/л. На відміну від цього, більші концентрації кверцетину у розчинах його клатратної форми не були тією ж мірою ефективні для збереження харчової якості риби. Тобто була відсутня лінійна залежність між концентрацією кверцетину та ступеню збереженості рибного філе. Означений захисний ефект дії клатрату кверцетина з концентрацією кверцетину 0,4 г/л обумовлено тим, що лише у цьому випадку кверцетин проникав (виявлявся) у всьому об'ємі дослідної м'язової тканини. Але за результатом проведених нами досліджень не вдалося з'ясувати причини проникності кверцетину комплексу клатрату кверцетину у означеній концентрації до всього об'єму біологічної тканини, можливо це пов'язано із особливими властивостями β -циклодекстрину бути «транспортером» сполук для проникнення крізь біологічні мембрани.

Література

1. Dasong Liu, Li Liang, Wenshui Xia, Joe M Regenstein, Peng Zhou. Biochemical and physical changes of grass carp (*Ctenopharyngodonidella*) filets stored at -3 and 0 °C. *Food Chem.* 2013. Vol. 140. (1–2). P. 105–114. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.034>
2. Luan, L. L., Fu, S. L., Yuan, C. H., Ishimura G., Chen, S. G., Chen, J. C. et al. Combined effect of superchilling and tea polyphenols on the preservation quality of hairtail (*Trichiurus haumela*). *International Journal of Food Properties.* 2017. Vol. 20, № 1. P. 992–1001. DOI:10.1080/10942912.2017.1325903
3. Mykola Kukhtyn, Zoya Malimon, Volodymyr Salata, Igor Rogalsky, et al. The Effects of Antimicrobial Residues on Microbiological Content and the Antibiotic Resistance in Frozen Fish. *World s Veterinary Journal.* 2022. Vol. 12, № 4. P. 374–381. DOI: 10.54203/scil.2022.vvj47
4. A. N. Panche A. D. Diwan and S. R. Chandra Flavonoids: an overview *Journal of Nutritional Science.* Vol. 5, 2016, e47. DOI: <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>
5. Yanping Wu, Ling Jiang, Wenyi Ran, Kai Zhong, Yinglan Zhao, Hong Gao. Antimicrobial activities of natural flavonoids against foodborne pathogens and their application in food industry. *Food Chemistry.*, 2024. Vol. 460. Part 1. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140476>

6. Zhiliang Huang, Qi Wang, Jun Cao, Dayong Zhou, Chuan Li. Mechanisms of polyphenols on quality control of aquatic products in storage: A review. *Crit Rev Food Sci. Nutr.* 2024. Vol. 64, № 18. P. 6298–6317. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2167803>
7. Surangi H Thilakarathna, H P Vasantha Rupasinghe. Flavonoid Bioavailability and Attempts for Bioavailability Enhancement. *Nutrients.* 2013 Vol. 5. № 9. P. 3367–3387. doi: 10.3390/nu5093367
8. Lei Chen, Hui Cao, Qun Huang, Jianbo Xiao, Hui Teng Absorption, metabolism and bioavailability of flavonoids: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2022. Vol. 62. 28, P. 7730–7742. DOI: 10.1080/10408398.2021.1917508
9. Adrián Matencio, Silvia Navarro-Orcajada, Francisco García-Carmona, José Manuel López-Nicolás. Applications of cyclodextrins in food science. A review. *Trends in Food Science & Technology.* 2020. Vol. 104, P. 132–143. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.009>
10. Ушакова, Г.О., Дёмшина, О.А. Лабораторный практикум к учебной дисциплине «Биохимия». Днепропетровск: Арбуз, 2015. 61 с.
11. G. Astray, C. Gonzalez-Barreiro, J.C. Mejuto a, R. Rial-Otero b, J. Simal-Gándara A review on the use of cyclodextrins in foods *Food Hydrocolloids* 2009. Vol. 23, № 7. P. 1631–1640. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.01.001>
12. Michael H. Abraham, William E. Acree Jr. / On the solubility of quercetin// *Journal of Molecular Liquids* 2014. Vol. 197, P. 157–159. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2014.05.006>
13. Богатко Н., Полтавченко Т.В., Будник З.М., та ін., 2022. Ризик-орієнтований контроль риби і рибопродуктів під час виробництва та обігу за впровадження системи НАССР. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування (серія «Сільськогосподарські науки» Т. 4, № 100, с. 20–37. DOI: <https://doi.org/10.31713/vs420220>
14. Antía Gonzalez Pereira, Maria Carpena, Paula García Oliveira, Juan Carlos Mejuto, Miguel Angel Prieto and Jesus Simal Gandara. Main Applications of Cyclodextrins in the Food Industry as the Compounds of Choice to Form Host–Guest Complexes. *International Journal of Molecular Sciences.* 2021. Vol. 22, № 3. 1339. <https://doi.org/10.3390/ijms22031339>
15. Safa Hussein Baqer, Sarmad Ghazi Al-Shawi, Zena Kadhim Al-Younis. Quercetin, the Potential Powerful Flavonoid for Human and Food: A Review *Front. Biosci. (Elite Ed).* 2024. Vol. 16, № 3, 30. <https://doi.org/10.31083/j.fbe1603030>
16. Peiyu Wei, Kexue Zhu, Jun Cao, Yue Dong, Mengzhe, Li, Xuanri, Shen Zhenhua, Duan Chuan Li. The inhibition mechanism of the texture deterioration of tilapia fillets during partial freezing after treatment with polyphenols.

Food Chemistry. 2021. Vol. 335, № 15. 127647. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127647>Get rights and content

17. Євлаш В. В., Газзаві-Рогозіна Л. В., Пілюгіна І. С., Фалько О. В., Чижевський В. В. Вплив флаво-ноїду кверцетину на мікроорганізми свіжовиловленої риби та вміст аміно-аміачного азо-ту при гіпотермічному зберіганні Наукові праці НУХТ 2023. Том 29, № 5 6, с. 99111 DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-5

18. Kaneko K, Aoyagi Y, Fukuuchi T, Inazawa K, and Yamaoka N. Total Purine and Purine Base Content of Common Foodstuffs for Facilitating Nutritional Therapy for Gout and Hyperuricemia. *Biol. Pharm.* 2014. Vol. 37, № 5. P. 709–721. DOI: 10.1248/bpb.b13-00967

19. Katarzyna Godlewska, Paweł Pacyga, Agnieszka Najda, Izabela Michalak. Investigation of Chemical Constituents and Antioxidant Activity of biologically Active Plant-Derived Natural Products. *Journals Molecules.* 2023. Vol. 28, № 14. 5572. doi: 10.3390/molecules28145572

Information about the authors:

Falko Oksana Valeriivna,

Candidate of Biological Sciences,
Senior Researcher at the Department of Cryopreservation
of Reproductive Systems
Institute for Problems of Cryobiology and Cryomedicine
of the National Academy of Sciences of Ukraine
23, Pereyaslavskaya street, Kharkiv, Ukraine

Chyzhevskiy Viktor Vasylovych,


Candidate of Biological Sciences,
Senior Researcher at the Department of Cryopreservation
of Reproductive Systems
Institute for Problems of Cryobiology and Cryomedicine
of the National Academy of Sciences of Ukraine
23, Pereyaslavskaya street, Kharkiv, Ukraine

Klochkov Volodymyr Kyrylovych,

Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher,
Department of Nanocrystalline Materials
Institute of Scintillation Materials
of the National Academy of Sciences of Ukraine
60, Nauky avenue, Kharkiv, Ukraine

04

SECTION



BIOTECHNOLOGY AND BIOENGINEERING

**OPTIMISATION OF REPRODUCTIVE
BIOTECHNOLOGIES IN GOATS:
THE ROLE OF CRYOPRESERVATION**

Bogdaniuk A. O., Yurchuk T. O., Petrushko M. P.
DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-695-9-9>

INTRODUCTION

According to the State Statistics Service of Ukraine, as of early 2023 the national goat population (*Capra aegagrus hircus*) comprised 422.8 thousand head, representing a 13.2% decrease compared to the previous year. The majority of animals belong to Ukrainian local, Saanen, and Alpine breeds. The military aggression of the Russian Federation against Ukraine has affected all sectors of society, rendering food security an issue of particular importance. Currently, approximately 14.2 thousand animals are maintained in breeding agricultural enterprises and may be most efficiently utilised for milk, fibre, and meat production. Dairy goat farming is especially prominent due to the recognised advantages of goat milk over bovine milk. Specifically, goat milk is considered less allergenic and more digestible^{1,2}, largely owing to its lower lactose content, making it suitable for individuals with hypolactasia³.

Ukraine has significant potential for goat breeding^{4,5}. However, maintaining purebred herds and increasing their numbers necessitates the application of modern assisted reproductive technologies (ART)⁶.

¹ ALKaisy Q.H., Al-Saadi J.S., Al-Rikabi A.K.J., Altemimi A.B., Hesarinejad M.A., Abdelmaksoud T.G. Exploring the health benefits and functional properties of goat milk proteins. *Food Sci Nutr*. 2023. Vol. 11. № 10. P. 5641–5656. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3531>

² Roy D., Ye A., Moughan P. J., Singh H. Composition, structure, and digestive dynamics of milk from different species – a review. *Frontiers in Nutrition*. 2020. Vol. 7. Article 577759. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.577759>

³ Lad S. S., Aparnathi K. D., Mehta B., Velpula S. Goat milk in human nutrition and health – a review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017. Vol. 6, No. 6. P. 1781–1792. <https://doi.org/10.20546/ijemas.2017.605.194>

⁴ Guziev Yu. V., Vinnichuk D. T. Goat farming – a promising sector of livestock production in Ukraine. *Tavriya Scientific Bulletin*. 2013. No. 83. P. 161–165. URL: https://www.tmv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/83_2013/32

⁵ Fedorovych Ye., Salyha Yu., Fedorovych V., Mazur N., Bodnar P. Development of goat farming in Ukraine. *Bulletin of Agricultural Science*. 2022. Vol. 100, No. 2. P. 42–49. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202202-06>

⁶ Paramio M. T., Izquierdo D. Assisted reproductive technologies in goats. *Small Ruminant Research*. 2014. Vol. 121, No. 1. P. 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.01.002>

Artificial insemination (AI) remains one of the most effective methods for goat breeding⁷, enabling control over herd size, kidding seasonality, and genetic purity.

Due to the anatomical structure of the goat cervix, intrauterine AI is generally impractical; therefore, high sperm concentration and motility are required for successful cervical or vaginal insemination. Laparoscopic AI represents an alternative approach, albeit requiring specialised equipment and skilled personnel⁸. Given the preference for female offspring in dairy production, the use of sex-sorted semen is of particular relevance, although such procedures may adversely affect sperm morphological and functional parameters, as well as fertilisation capacity⁹. Goats inhabiting temperate regions exhibit pronounced reproductive seasonality, with breeding activity typically occurring in autumn¹⁰. Oestrus can be artificially induced through hormonal treatments (e.g., follicle-stimulating hormone (FSH), progesterone, gonadotropins), thereby allowing regulation of kidding periods¹¹. Similarly, bucks demonstrate seasonal variation in semen quality. The high sperm concentration per ejaculate enables division into multiple insemination doses, reducing the need for maintaining numerous breeding males and improving farm economic efficiency. Contemporary advancements in ART in animal production are largely predicated upon the effective utilisation of cryopreserved gametes¹², facilitating optimisation of breeding programmes, conservation of genetic resources, and enhancement of reproductive performance. This is particularly critical for species with marked reproductive seasonality, such as goats, in which gamete quality is strongly influenced by physiological status during breeding and non-breeding periods.

Cryopreservation of spermatozoa is known to induce a range of structural, functional, and molecular alterations, including plasma membrane disruption,

⁷ Baldassarre H., Karatzas C. N. Advanced assisted reproductive technologies in goats. *Animal Reproduction Science*. 2004. Vol. 82. P. 255–266. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.04.027>

⁸ Gangwar C., Ranjan R., Kharche S. D., Pourouchottamane R., Rai B. Success of artificial insemination in goats: an overview. *Indian Journal of Small Ruminants*. 2023. Vol. 29, No. 1. P. 1–10. <https://doi.org/10.5958/0973-9718.2023.00017.X>

⁹ Bathgate R., Mace N., Heasman K., Evans G., Maxwell W. M. C., De Graaf S. P. Birth of kids after artificial insemination with sex-sorted frozen-thawed goat spermatozoa. *Reproduction in Domestic Animals*. 2013. Vol. 48, No. 6. P. 893–898. <https://doi.org/10.1111/rda.12182>

¹⁰ Koshevoy V. P., Sklyarov P. M., Naumenko S. V. Characteristics of reproductive function in sheep and goats. In: *Reproductive problems and ways of solving them*. Kharkiv: Kharkiv State Zooveterinary Academy, 2011. P. 136–461. URL: <http://dspace.dsau.dp.ua/jspui/handle/123456789/778>

¹¹ Hashemi M., Safdarian M., Kafi M. Estrous response to synchronisation outside the natural breeding season in ewes. *Small Ruminant Research*. 2006. Vol. 65, No. 3. P. 279–283. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.07.051>

¹² Kopeika E. F., Petrushko M. P., Piniayev V. I. et al. Cryopreservation of reproductive cells and embryos of animals. *Problems of Cryobiology and Cryomedicine*. 2019. Vol. 29. P. 3–18. <https://doi.org/10.15407/cryo29.01.003>

reduced motility, oxidative stress, and DNA damage¹³. The extent of these changes depends not only on freezing protocols but also on initial sperm quality, which is itself influenced by the season of collection. Sperm obtained during the non-breeding season generally exhibits lower cryoresistance, potentially compromising fertilisation capacity¹⁴. Importantly, fertilisation success and subsequent embryonic development depend not only on sperm quality but also on oocyte functional competence. Oocytes possess the ability to repair sperm DNA damage post-fertilisation, partially mitigating the detrimental effects of cryopreservation¹⁵. However, this reparative capacity may vary with the season of oocyte retrieval, a factor that remains insufficiently investigated. Despite existing studies addressing seasonal effects on either sperm or oocyte quality, the combined interaction within the “oocyte–spermatozoa” system using fresh and cryopreserved gametes remains inadequately understood. In particular, the influence of season combined with sperm cryopreservation on early embryogenesis, as well as the compensatory potential of oocytes, warrants further investigation.

Thus, the relevance of the present study lies in elucidating the role of seasonality in gamete quality formation, assessing the effects of sperm cryopreservation across different seasons, investigating oocyte–sperm interactions under varying biological conditions, determining the contribution of oocyte repair mechanisms to normal embryogenesis, and optimising ART protocols with consideration of seasonal factors.

1. Methodological and laboratory approaches to goat reproduction using ART

Research in goat reproduction employing ART is conducted in accordance with contemporary bioethical standards and international guidelines for animal welfare. All procedures involving biological material comply with national legislation and European conventions on the protection of vertebrate animals used for scientific purposes. Adherence to bioethical principles is essential not only from a regulatory perspective but also for ensuring reproducibility and scientific validity, as animal physiological status directly influences gamete and embryo quality¹⁶.

¹³ Bogdaniuk A. O., Yurchuk T. O., Petrushko M. P. Seasonal differences in sperm characteristics. *Cytology and Genetics*. 2022. Vol. 56, No. 5. P. 410–416. <https://doi.org/10.3103/S009545272205003>

¹⁴ Bogdaniuk A., Garkavii V., Petrushko M. Seasonal variability in cryoresistance of spermatozoa. *Problems of Cryobiology and Cryomedicine*. 2022. Vol. 32, No. 1. P. 34–43. <https://doi.org/10.15407/cryo32.01.034>

¹⁵ Musson R., Gašior Ł., Bisogno S., Ptak G. E. DNA damage in embryos and gametes. *Human Reproduction Update*. 2022. Vol. 28, No. 3. P. 376–399. <https://doi.org/10.1093/humupd/dmab046>

¹⁶ Landi M., Everitt J., Berridge B. Bioethical, reproducibility, and translational challenges of animal models. *ILAR Journal*. 2021. Vol. 62, No. 1–2. P. 60–65. <https://doi.org/10.1093/ilar/ilaa027>

Semen collection from bucks is typically performed using an artificial vagina in the presence of an oestrous female as a stimulus¹⁷. This approach yields high-quality ejaculates while minimising stress and preserving natural ejaculation mechanisms. Semen collection is conducted regularly, taking into account seasonal variations in reproductive activity. Sperm quality assessment includes evaluation of concentration, total and progressive motility, morphological characteristics, membrane integrity, and, where necessary, functional characteristics. Standardised analytical methods ensure comparability across studies and laboratories (Fig. 1).

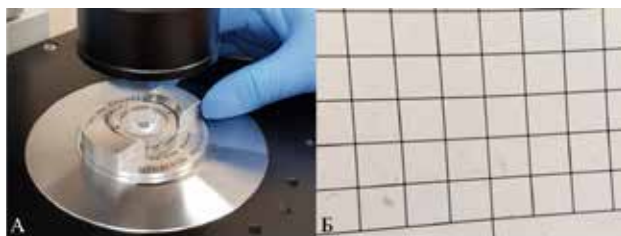


Fig. 1. External view of the Makler chamber (A) and appearance of goat spermatozoa under a microscope at $\times 400$ magnification

Goat oocytes are obtained via follicular aspiration, commonly from ovaries collected post-mortem from animals without reproductive pathology. This method enables efficient utilisation of biological material and recovery of large numbers of oocytes at various maturation stages. Retrieved cumulus–oocyte complexes (COCs) are morphologically evaluated based on cumulus cell layers and cytoplasmic homogeneity. Subsequent washing in buffered media removes follicular fluid residues and potential contaminants. Random allocation of oocytes into experimental groups minimises biological variability and enhances data reliability.

In vitro fertilisation (IVF) is performed following *in vitro* maturation (IVM) of oocytes, a critical step for achieving nuclear and cytoplasmic competence¹⁸. Maturation is conducted in specialised media containing hormonal and metabolic components until the metaphase II stage is reached. Mature oocytes

¹⁷ Lv C., Larbi A, Liang J., Li C., Bouabid B., Wu G., Quan G. Effects of semen collection methods on sperm quality and metabolite profile in goat seminal plasma: Comparing between artificial vagina and electro-ejaculator techniques. *Animal Reproduction Science*. 2025. Vol. 279. Article 107885. <http://doi:10.1016/j.anireprosci.2025.107885>.

¹⁸ Widjiati W., Darsini N., Hendrawan VF., Taqwa SF., Shabira Z., Kurniawati DY. Post-warming quality of goat oocytes under heat shock stress: A study of the maturation rate, heat shock protein-70, adenosine triphosphate, and glutathione levels. *Veterinary World*. 2025. Vol. 18, No 7. P. 2127–2135. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2025.2127-2135>

are co-incubated with capacitated spermatozoa, which undergo biochemical and structural modifications necessary for fertilisation. The process is conducted under controlled environmental conditions.

Embryos are subsequently cultured *in vitro* to the morula and blastocyst stages. Optimal culture conditions, including osmolarity, pH, and redox balance, are maintained. Media composition is adjusted according to embryonic metabolic requirements, with pyruvate and lactate predominating in early stages and glucose in later stages. Minimisation of oxidative stress is essential for embryo quality and implantation potential. Embryo development is assessed according to international standards, including those of the International Embryo Transfer Society (IETS)¹⁹, considering cleavage rate, blastomere symmetry, fragmentation, and blastocoel formation. Embryogenesis efficiency is determined by blastocyst yield relative to fertilised oocytes. Embryo transfer to recipients is performed following oestrus synchronisation using hormonal protocols to ensure synchrony between donor and recipient reproductive cycles²⁰. Transfer is conducted surgically or via minimally invasive techniques. Typically, a single embryo is transferred to avoid multiple pregnancies and associated complications (Fig. 2).



Fig. 2. Laparotomic transfer of a donor goat embryo into the uterine horn of a recipient goat

¹⁹ Wright J. M. Photographic illustrations of embryo developmental stages. In: Manual of the International Embryo Transfer Society. 4th ed. 2010. P. 141–144

²⁰ Luo J., Wang W., Sun S. Recent advances in dairy goat reproduction. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2019. Vol. 32, No. 8. P. 1284–1295. <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0486>

The veterinarian exteriorizes the uterine horn from the abdominal cavity, creates an opening using an 18G needle, and inserts the tip of a catheter containing the embryo. The embryologist then depresses the syringe plunger to release the embryo into the lumen of the uterine horn.

Pregnancy diagnosis is performed using ultrasonography, followed by monitoring until delivery. This integrated approach enables objective evaluation of ART efficiency.

Overall, *in vitro* maturation and fertilisation, followed by controlled embryo culture and transfer, provide a reliable framework for evaluating reproductive potential in goats. While these assisted reproductive techniques are well-established, factors such as seasonal variation and the use of fresh versus cryopreserved gametes can influence early embryonic development, highlighting the need to assess their practical impact under different experimental conditions. The following section presents the results of our study, examining how these variables affect oocyte fertilisation, embryo development, and reproductive outcomes.

2. Biotechnological aspects of goat embryo collection and development: our experience

Male reproductive function is largely dependent on seasonal changes, which affect not only sperm quality but also fertilisation efficiency and subsequent embryo development. In this context, it is important to use appropriate models to assess the fertilising capacity of sperm, in particular by utilising oocytes obtained during different periods of reproductive activity. Assessing the maturation potential of oocytes *in vitro* is a key step for further analysis of fertilisation, as the degree of their cytoplasmic and nuclear maturity determines the success of viable embryo formation. One of the morphological criteria for maturity is the expansion of cumulus cells, which reflects the functional state of the oocyte-cumulus complex and its readiness for fertilisation.

During the breeding season, we obtained 356 immature oocyte-cumulus complexes (Fig. 3A), which were placed in a medium for IVM and, after 24 hours, their maturity was assessed by the expanded layer of cumulus cells (Fig. 3B). During the non-breeding season, 182 oocyte-cumulus complexes were obtained.

Each season, the oocyte-cumulus complexes were randomly divided into three groups for the *in vitro* fertilisation with freshly collected and cryopreserved spermatozoa. Thus, during the breeding season, 120 oocytes were fertilised with freshly collected sperm, 120 with sperm cryopreserved during the breeding season, and 116 with sperm cryopreserved during the non-breeding season. Oocytes aspirated during the non-breeding season were grouped similarly: 61 oocytes were fertilised with freshly collected sperm,

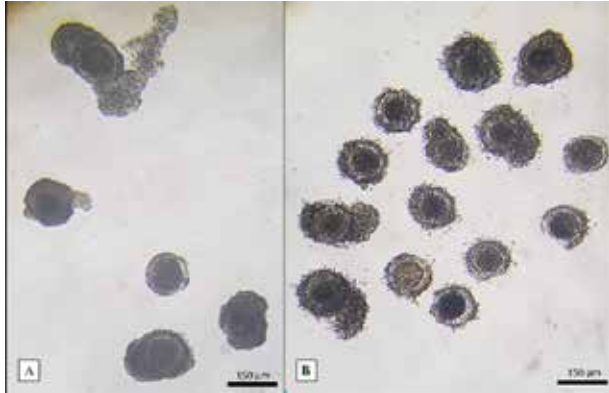


Fig. 3. Microscopic photographs of oocyte-cumulus complexes from goats obtained during the breeding season: immature (A) and mature (B)

61 with sperm cryopreserved during the breeding season, and 60 with sperm cryopreserved during the non-breeding season.

After 16–18 hours of incubation of the oocytes with sperm, the oocytes were stripped of the cumulus cells and the result of *in vitro* fertilisation was assessed, which was determined by the presence of two polar bodies in the perivitelline space (Fig. 4).

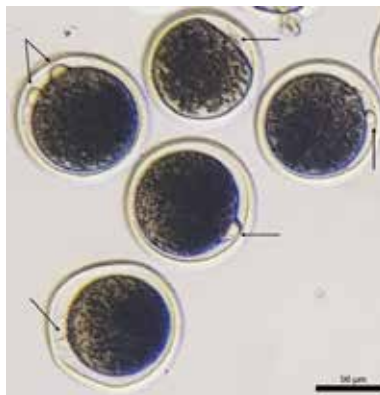


Fig. 4. Microphotograph of oocytes from goats during the breeding season, stripped of cumulus cells, following *in vitro* fertilisation with sperm cryopreserved during the breeding season. The arrows indicate the bodies polar

Embryos were cultured continuously *in vitro* for one week; embryos at the 7th day of development were analysed and classified, and the blastulation rate was calculated (Table 1).

Table 1

Blastulation rate following *in vitro* fertilisation of goat oocytes in different breeding seasons using freshly collected and cryopreserved spermatozoa

Season in which oocytes were collected	Blastulation rate, %		
	Sperm		
	Freshly collected	Cryopreserved during the breeding season	Cryopreserved during the non-breeding season
Breeding	82.6±3.7 a	71.9±9.2 a,b	57.9±9.7 b,c
Non-breeding	69.6±9.6 b,c	68.2±11.2 b,c	53.5±6.5 c

Note: Columns marked with the same letter (a–b) do not differ significantly, $p \geq 0.05$.

The results obtained showed that the highest blastocyst development rate was observed for oocytes collected during the breeding season, when fertilised with freshly collected sperm from the same season (Fig. 5A). This indicator differs insignificantly from the blastulation rate when sperm cryopreserved during the breeding season were used for fertilisation. Fertilisation of oocytes from the breeding season with sperm cryopreserved during the non-breeding season yields sufficiently high embryo development rates (Fig. 5B).

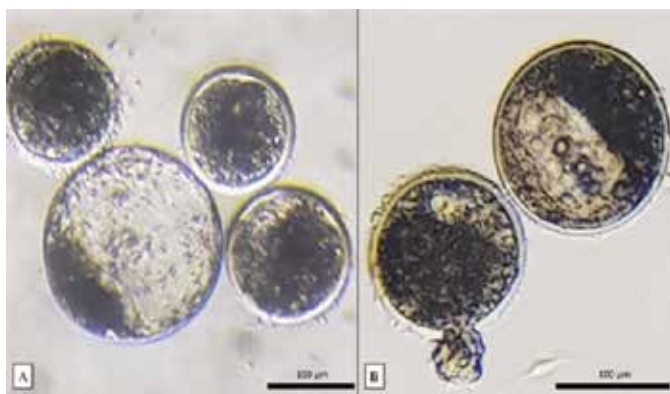


Fig. 5. Microphotographs of blastocysts obtained following *in vitro* fertilisation of goat oocytes collected during the breeding season with freshly obtained (A) and sperm (cryopreserved during the non-breeding season) (B)

Analysis of the blastulation rate following fertilisation of oocytes collected during the non-breeding season revealed that the groups fertilised with fresh and cryopreserved sperm collected during the breeding season exhibited the same level of blastocyst development. These values did not differ from those of the breeding season, for which cryopreserved spermatozoa were used. The lowest level of embryo development on the 7th day of *in vitro* culture was observed in the fertilisation of oocytes obtained during the non-breeding season with spermatozoa cryopreserved during the non-breeding season. This may indicate that the reparative abilities of oocytes from the non-breeding season are insufficient to repair all damage to sperm cryopreserved during the non-breeding season, particularly to DNA molecules. Ultrasound diagnosis of pregnancies on the 50th day after embryo transfer to recipient goats of the Ukrainian local breed revealed that there was no significant difference in embryo implantation rates between the study groups (Table 2). Around 30% of the goats in each group were diagnosed as pregnant, indicating that the season of oocyte collection and sperm ation does not affect the embryos' ability to implant; moreover, embryos obtained following oocyte fertilisation with cryopreserved sperm are capable of implanting at the same rate as those obtained using freshly collected cells.

Table 2

Pregnancy rates diagnosed on day 50 after the transfer of Zaanen breed embryos to recipient goats of the Ukrainian local breed, obtained during different breeding seasons

Season in which oocytes were collected	Pregnancy rate, %		
	Sperm		
	Freshly collected	Cryopreserved during the breeding season	Cryopreserved during the non-breeding season
Breeding	33.3	29	23.8
Non-breeding	30	24.4	28.1

Approximately 100 days after pregnancy diagnosis, the kidding period began. Six females were found to be pseudopregnant. No significant difference in kidding frequency was observed between the study groups (Table 3).

More than 20% of recipient goats gave birth to kids (Fig. 6). The absence of a significant difference in the frequency of kidding between the study groups suggests that the use of cryopreserved sperm in any breeding season allows for the birth of kids at the same rate as when using freshly collected sperm.

Thus, a synthesis of the results of *in vitro* fertilisation of oocytes obtained in different seasons, in combination with both freshly collected and cryopreserved spermatozoa at various times of the year, indicates the presence of seasonally

Table 3

Frequency of kidding following the transplantation of Saanen breed embryos, obtained in different breeding seasons, into recipient goats of the Ukrainian local breed

Season in which oocytes were obtained	Kidding rate, %		
	Sperm		
	Freshly collected	Cryopreserved during the breeding season	Cryopreserved during the non-breeding season
Breeding	33.3	26.7	23.1
Non-breeding	30.9	22.2	21.8

determined differences in the course of early embryogenesis. In particular, it has been established that both the breeding season and the effect of sperm cryopreservation are associated with changes in the rate of embryo development to pre-implantation stages.

At the same time, these factors do not have a significant effect on subsequent reproductive indicators, in particular the pregnancy rate and the rate of lambing. This may indicate the presence of compensatory mechanisms at the implantation



Fig. 6. Recipient goats with their newborn kids, resulting from the transplantation of embryos created by *in vitro* fertilisation of oocytes from the breeding season using freshly collected (A) and cryopreserved (B) sperm during the non-breeding season

and gestation stages, which ensure the realisation of the reproductive potential of embryos that have reached the transfer stage, regardless of the conditions under which they were obtained.

Overall, the obtained results demonstrate that, despite detectable seasonal fluctuations in early embryonic development, the practical reproductive outcome remains stable. The comparable kidding rates across all experimental groups confirm that the use of cryopreserved spermatozoa does not compromise the final efficiency of assisted reproductive technologies in goats. From an applied perspective, this indicates that cryopreservation can be reliably implemented throughout the year without a loss in reproductive performance, thereby expanding the flexibility of breeding programs. Taken together, these findings suggest that seasonal factors and sperm cryopreservation primarily influence the kinetics of early embryo development rather than its ultimate viability. The lack of significant differences in pregnancy and kidding rates points to the existence of intrinsic compensatory mechanisms operating at later stages of reproduction, including implantation and gestation. This highlights the biological resilience of caprine embryos and supports the feasibility of integrating cryobiological approaches into routine reproductive management, irrespective of seasonal constraints.

CONCLUSIONS

A summary of the data obtained indicates that the efficiency of *in vitro* embryogenesis in goats is largely determined by seasonal characteristics of the functional state of gametes. The highest rates of embryo development were observed when using oocytes obtained during the breeding season, in combination with both freshly collected ($82.6\pm 3.7\%$) and cryopreserved ($71.9\pm 9.2\%$) spermatozoa from the same period.

It has been shown that the use of cryopreserved sperm obtained during the non-breeding season to fertilise oocytes from the breeding season is associated with a lower rate of embryo development to the blastocyst stage ($57.9\pm 9.7\%$) compared with freshly collected sperm. At the same time, this rate is comparable to the figures obtained when using sperm cryopreserved during the breeding season, indicating the dominant role of the factor cryopreservation in determining the functional integrity of sperm.

The lowest efficiency of *in vitro* embryogenesis was observed when using gametes obtained during the non-breeding season: in particular, when oocytes from this period were fertilised with sperm cryopreserved under similar seasonal conditions, the rate of embryo development on the 7th day of culture was $53.5\pm 6.5\%$.

It was established that, despite the observed differences in the course of early embryonic development, subsequent reproductive parameters remain

stable: the pregnancy rate and the rate of lambing following embryo transfer do not depend on the season of sperm collection or its physiological state (fresh or cryopreserved).

SUMMARY

Seasonal variability in reproductive function remains a major challenge in goat breeding, affecting gamete quality, fertilisation efficiency, and embryo development, and thereby limiting the consistency of assisted reproductive technologies. This study investigated the effects of seasonal factors and sperm cryopreservation on *in vitro* fertilisation and embryo development in goats. Oocytes obtained during breeding and non-breeding seasons were fertilised using both freshly collected and cryopreserved spermatozoa collected at different times of the year. The results demonstrated that the highest blastocyst development rates were achieved when both oocytes and sperm were obtained during the breeding season. In contrast, the lowest embryo development rates were observed when gametes from the non-breeding season were used, particularly in combination with cryopreserved sperm. Despite significant seasonal differences in early embryogenesis, no differences were found in pregnancy and kidding rates following embryo transfer. More than 20% of recipient goats successfully gave birth across all experimental groups. These findings indicate that seasonal factors and cryopreservation influence early embryo development dynamics but do not affect the final reproductive outcome, likely due to compensatory mechanisms at later stages of gestation. The study supports the effective use of cryopreserved sperm in goat reproduction throughout the year.

Bibliography

1. ALKaisy Q.H., Al-Saadi J.S., Al-Rikabi A.K.J., Altemimi A.B., Hesarinejad M.A., Abedelmaksoud T.G. Exploring the health benefits and functional properties of goat milk proteins. *Food Sci Nutr*. 2023. Vol. 11. № 10. P. 5641–5656. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3531>
2. Roy D., Ye A., Moughan P. J., Singh H. Composition, structure, and digestive dynamics of milk from different species – a review. *Frontiers in Nutrition*. 2020. Vol. 7. Article 577759. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.577759>
3. Lad S. S., Aparnathi K. D., Mehta B., Velpula S. Goat milk in human nutrition and health – a review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017. Vol. 6, No. 6. P. 1781–1792. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.194>
4. Guziev Yu. V., Vinnichuk D. T. Goat farming – a promising sector of livestock production in Ukraine. *Tavriya Scientific Bulletin*. 2013. No. 83. P. 161–165. URL: https://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/83_2013/32

5. Fedorovych Ye., Salyha Yu., Fedorovych V., Mazur N., Bodnar P. Development of goat farming in Ukraine. *Bulletin of Agricultural Science*. 2022. Vol. 100, No. 2. P. 42–49. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202202-06>
6. Paramio M. T., Izquierdo D. Assisted reproductive technologies in goats. *Small Ruminant Research*. 2014. Vol. 121, No. 1. P. 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.01.002>
7. Baldassarre H., Karatzas C. N. Advanced assisted reproductive technologies in goats. *Animal Reproduction Science*. 2004. Vol. 82. P. 255–266. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.04.027>
8. Gangwar C., Ranjan R., Kharche S. D., Pourouchottamane R., Rai B. Success of artificial insemination in goats: an overview. *Indian Journal of Small Ruminants*. 2023. Vol. 29, No. 1. P. 1–10. <https://doi.org/10.5958/0973-9718.2023.00017.X>
9. Bathgate R., Mace N., Heasman K., Evans G., Maxwell W. M. C., De Graaf S. P. Birth of kids after artificial insemination with sex-sorted frozen-thawed goat spermatozoa. *Reproduction in Domestic Animals*. 2013. Vol. 48, No. 6. P. 893–898. <https://doi.org/10.1111/rda.12182>
10. Koshevoy V. P., Sklyarov P. M., Naumenko S. V. Characteristics of reproductive function in sheep and goats. In: *Reproductive problems and ways of solving them*. Kharkiv: Kharkiv State Zooveterinary Academy, 2011. P. 136–461. <http://dspace.dsau.dp.ua/jspui/handle/123456789/778>
11. Hashemi M., Safdarian M., Kafi M. Estrous response to synchronisation outside the natural breeding season in ewes. *Small Ruminant Research*. 2006. Vol. 65, No. 3. P. 279–283. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.07.051>
12. Kopeika E. F., Petrushko M. P., Piniayev V. I. et al. Cryopreservation of reproductive cells and embryos of animals. *Problems of Cryobiology and Cryomedicine*. 2019. Vol. 29. P. 3–18. <https://doi.org/10.15407/cryo29.01.003>
13. Bogdaniuk A. O., Yurchuk T. O., Petrushko M. P. Seasonal differences in sperm characteristics. *Cytology and Genetics*. 2022. Vol. 56, No. 5. P. 410–416. <https://doi.org/10.3103/S009545272205003>
14. Bogdaniuk A., Garkavii V., Petrushko M. Seasonal variability in cryoresistance of spermatozoa. *Problems of Cryobiology and Cryomedicine*. 2022. Vol. 32, No. 1. P. 34–43. <https://doi.org/10.15407/cryo32.01.034>
15. Musson R., Gąsior Ł., Bisogno S., Ptak G. E. DNA damage in embryos and gametes. *Human Reproduction Update*. 2022. Vol. 28, No. 3. P. 376–399. <https://doi.org/10.1093/humupd/dmab046>
16. Landi M., Everitt J., Berridge B. Bioethical, reproducibility, and translational challenges of animal models. *ILAR Journal*. 2021. Vol. 62, No. 1–2. P. 60–65. <https://doi.org/10.1093/ilar/ilaa027>

17. Lv C., Larbi A., Liang J., Li C., Bouabid B., Wu G., Quan G. Effects of semen collection methods on sperm quality and metabolite profile in goat seminal plasma: Comparing between artificial vagina and electro-ejaculator techniques. *Animal Reproduction Science*. 2025. Vol. 279. Article 107885. <http://doi:10.1016/j.anireprosci.2025.107885>.

18. Widjiati W., Darsini N., Hendrawan VF., Taqwa SF., Shabira Z., Kurniawati DY. Post-warming quality of goat oocytes under heat shock stress: A study of the maturation rate, heat shock protein-70, adenosine triphosphate, and glutathione levels. *Veterinary World*. 2025. Vol. 18, No 7. P. 2127–2135. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2025.2127-2135>

19. Wright J. M. Photographic illustrations of embryo developmental stages. In: *Manual of the International Embryo Transfer Society*. 4th ed. 2010. P. 141–144.

20. Luo J., Wang W., Sun S. Recent advances in dairy goat reproduction. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2019. Vol. 32, No. 8. P. 1284–1295. <https://doi.org/10.5713/ajas.19.0486>

Information about the authors:

Bogdaniuk Anastasiia Oleksandrivna,

Doctor of Philosophy, Director
LLC “Institute of Contemporary Veterinary Technologies”
27, Shevchenka street, Chervyky, Kyiv Oblast, Ukraine

Yurchuk Taisia Oleksandrivna,

Candidate of Biological Sciences,
Head of the Laboratory for Gamete and Embryo Cryopreservation,
Department of Cryobiology of Reproductive Systems,
Institute for Problems of Cryobiology and Cryomedicine of the National
Academy of Sciences of Ukraine
23, Pereyaslavskaya street, Kharkiv, Ukraine;
Associate Professor,
InLife – Institute of Animal Reproduction and Food Research
Polish Academy of Sciences
Władysława Trylińskiego 18, 10-683 Olsztyn, Poland

Petrushko Maryna Pavlivna,

Doctor of Biological Sciences, Professor,
Head of the Department of Cryobiology of Reproductive Systems
Institute for Problems of Cryobiology and Cryomedicine of the National
Academy of Sciences of Ukraine
23, Pereyaslavskaya street, Kharkiv, Ukraine

**BIOTECHNOLOGY AND BIOENGINEERING:
BACTERIAL LECTINS AS COMPONENTS
OF ORIGINAL MEDICINAL PRODUCTS
OF BIOLOGICAL/BIOTECHNOLOGICAL ORIGIN**

Welchinska O. V.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-695-9-10>

INTRODUCTION

Carbon-binding proteins (lectins) have attracted the interest of researchers over the past decades due to their functional role and diverse applications. Lectins are biologically active substances present in every biological system and every living organism. They participate in carbohydrate-protein recognition processes and the identification of biological objects. Lectins have found application in medicine. Their unique properties allow them to be used to study the structure and properties of carbon-containing biopolymers, influence metabolic processes, and act as analytical reagents. Lectins are expensive reagents because they are often sourced from exotic, hard-to-find raw materials. Finding unconventional lectin sources and isolating lectins with unique carbohydrate specificity remain challenging tasks. Technologies have been developed for producing plant lectins and their conjugates, as well as lectins of animal origin. Lectins have been found in all living organisms – from viruses and bacteria to mammals. Microbial lectins offer advantages over lectins of other origins, as they can be enhanced using genetic engineering, have a wide range of origins – from bacteria to fungi, possess high activity, and exhibit a wide variety of specificities^{1, 2}.

Bacterial lectins are the least studied. Lectins are formed during the life cycle of microorganisms. The functions of microorganisms can

¹ Kovalenko E.A. Lectin biosynthesis by bacteria of genus *Bacillus* depending on their physiological functions. 11-th Int. Lectin Conf. Tartu Univer. Est. Acad. Sci: Abstr. Tartu. 1989. P. 40.

² Krivan H.C. Bacterial adhesions: identification of glycolipid receptors for many pulmonary pathogens. *Glycoconjugate J.* 1988. 5(3). P. 351.

be explained by the specific interaction of lectins with carbohydrate-containing polymers^{3, 4}.

Most lectins are located intracellularly, while some are found on the cell surface or in the extracellular growth medium. Based on their location, lectins are divided into two main groups: bound or associated lectins (membrane-bound, cytoplasmic, intracellular) and unbound or extracellular lectins (soluble, extracellular). Bound-form lectins are involved in adhesion processes and have been found in pathogenic, opportunistic and saprophytic microorganisms. The group of extracellular lectins includes bacterial toxins (botulism, dysentery, diphtheria, and others). These are toxic proteins that have carbon-binding properties, lack agglutinating activity, and act as pathogenicity factors. The biological reactions that lectins participate in occur due to the presence of specific recognition sites in their molecules and can precipitate polysaccharides, glycoproteins, and glycolipids. The following biological reactions of lectins have been studied more thoroughly: enzymatic activity and toxicity to eukaryotic cells, phagocytic activity, inhibition of cell growth, agglutination of erythrocytes and mitogenic stimulation of lymphocytes. Among lectins, a group of bifunctional lectins is distinguished, which are represented by enzyme and toxin lectins. An example of an enzymatic bacterial lectin is the extracellular lectin of *Vibrio cholerae* with proteolytic activity. This group includes bifunctional lectins, in which the substrates for the lectin and enzyme are various carbohydrates. Toxic lectins include extracellular lectins: enterotoxins, tetanus and botulinum toxin, as well as *Shigella* toxins. Unlike true lectins, they do not have agglutinating activity and are monovalent with one active binding site.

These reactions are divided into two types: primary (the interaction of lectins with carbohydrate receptors on the cell surface) and secondary (metabolic transformations within the cell and its response to the lectin). Lectins are proteins or glycoproteins that selectively bind to carbohydrates. In medical practice, lectins are used mainly in diagnostics and as objects of promising research. The direct use of lectins as drugs is limited due to their high toxicity. Lectins have been used to create drugs used in anticancer therapy – toxic lectins (from mistletoe, ricin), which are capable of selectively blocking protein synthesis in tumor cells, as immunomodulators and immunosuppressants, as antiviral agents, for targeted drug delivery. Experiments are being conducted with lectins from *B. subtilis* bacteria to increase the effectiveness of chemotherapy. Some lectins (concanavalin A) have immunosuppressive effects and are used to minimize rejection during organ transplantation. Plant lectins (snowdrop lectins) show

³ Kundu M., Basy Y. Chakrabarti P. Purification and characterization of an extracellular lectin from *Mycobacterium smegmatis*. *FEBS Lett.* 1989. 256. N 1-2. P. 207–210.

⁴ Mandal C. Sialic acid binding lectins. *Experientia.* 1990. 46. P. 433–441.

activity against herpes viruses and coronaviruses. They block their reproduction at early stages. Lectins are considered as vectors in nanocomposites for precise drug delivery to affected tissues⁵.

1. Biological properties of lectins

Primary lectin reactions include cell agglutination and adhesion. Agglutination results from the cell's surface charge in the presence of acidic carbohydrates, such as sialic acids. Agglutination reactions are based on the selective binding of a lectin to a carbohydrate receptor on the cell surface.

The lectin acts as a ligand in this reaction. This requires the formation of a bond between the active lectin receptor and the corresponding receptor on the sensitive cell. Inhibition of agglutination by the carbohydrate confirms the presence of the carbohydrate structure on the cell surface, to which the lectin is specific. A lectin's agglutinating ability is possible due to the presence of two active binding sites in its molecule. Monovalent lectins more often block receptors and do not cause cell agglutination. For many bacterial lectins, optimal agglutination values are within the neutral and acidic pH range. For most bacterial lectins, temperature has no effect on the reaction. Hemagglutination occurred at 10, 30, and 42°C. In the presence of chelating agents, lectins undergo conformational changes in the molecule and are unable to cause cell agglutination. Modifications that alter the valence or size of the lectin have been described. For example, treatment of bean agglutinin with glutaraldehyde increased the lectin's hemagglutinating activity against human erythrocytes by 100–200 times. The nature of hemagglutination is influenced by the surface properties of agglutinating cells, receptor sensitivity, membrane fluidity, and other factors. Treating agglutination-sensitive cells with enzymes – glucosidases or carbohydrate-modifying agents – learns information about the nature and properties of lectin receptors. Cells that are not agglutinated by low concentrations of lectins become agglutinable. A study of the hemagglutinating activity of the B subunit of *E. coli* enterotoxin revealed that, in the absence of treatment of human erythrocytes with agents, only group B erythrocytes were agglutinated by lectin. Glycosidases act on agglutination. The degree of agglutination of eukaryotic cells by Shiga toxin has been described when treated with enzymes. This lectin toxin is specific to oligosaccharides. Treatment of erythrocytes with neuraminidase resulted in the absence of the hemagglutination reaction, which is caused by lectins, such as sialo-specific lectins⁶.

⁵ Miller R.L. Properties of a sialic acid-specific lectin from the slug *Limax flavus*. *Meth. Enzym.* 1987. 138. P. 527–536.

⁶ Muller H.E. Neuraminidases of bacteria and protozoa and their pathogenetic role. *Behr. Inst. Mitteilungen.* 1974. 55. P. 34–56.

In some experiments, neuraminidase increased the interaction between red blood cells and lectins. Moreover, the high density of sialic acids on the cell surface imparts a negative charge and can prevent agglutination. Terminal sialic acids on intact red blood cells in humans and animals often prevent toxin binding. Red blood cells are treated with neuraminidase. This promotes the cleavage of some terminal sialic acids and the release of galactose residues, which leads to enhanced hemagglutination.

Agglutination of animal red blood cells is a differential indicator used to identify individual lectins in microorganisms with lectin systems.

Bacterial surface lectins bind to various types of phagocytic cells (human neutrophils, mouse peritoneal macrophages). The lectinophagocytosis model is based on lectin receptor reactions.

The result of such interactions is phagocytosis of bacteria. Three types of interactions have been described: a membrane-integrated macrophage lectin receptor on the bacterial surface, a soluble lectin receptor on the bacterial cell surface, and a soluble bacterial lectin receptor on the macrophage (Figures 1, 2)^{7, 8, 9}.

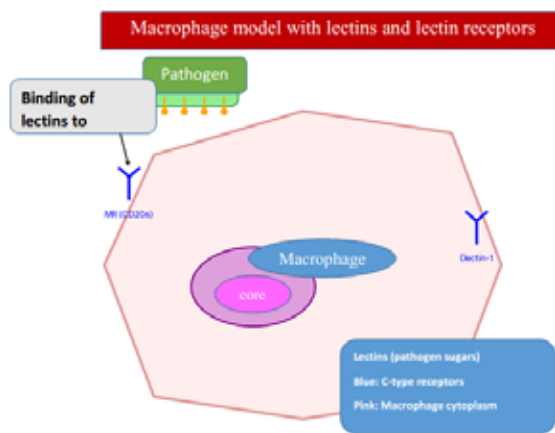


Fig. 1. Model of macrophage with bacterial lectins and lectin receptors

Source: Author.

⁷ Wang Q., Zhang L., Hu W., Hu Z.H., Bei Y.Y., Xu J.Y. et al. Norcantharidin-associated galactosylated chitosan nanoparticles for hepatocyte-targeted delivery. *Nanomed.* 2010. 6. 371e81.

⁸ Jain N.K., Jain S.K. Development and in vitro characterization of galactosylated low molecular weight chitosan nanoparticles bearing doxorubicin. *AAPS Pharm. Sci. Tech.* 2010.11. 686e97.

⁹ Suriano F., Pratt R., Tan J.P., Wiradharma N., Nelson A., Yang Y.Y. et al. Synthesis of a family of amphiphilic glycopolymers via controlled ring-opening polymerization of functionalized cyclic carbonates and their application in drug delivery. *Biomaterials.* 2010. 31. 2637e45.

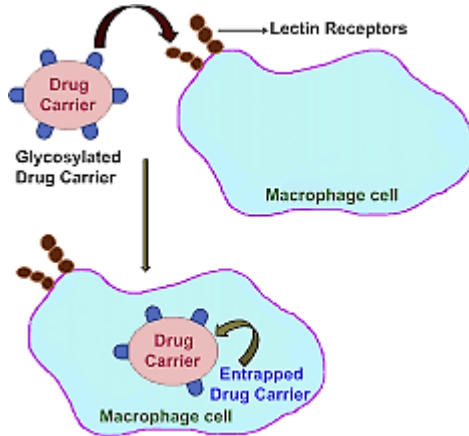


Fig. 2. Lectin receptor-mediated targeting to macrophages

Source: DOI:10.1016/j.biomaterials.2012.02.033.

Sepsis is a condition caused by various organisms such as bacteria, fungi, and viruses, which can lead to inadequate blood flow, organ failure, and death due to the body's immune response. Diagnosing sepsis is challenging because its symptoms are often associated with other pathologies. Bloodstream infections are linked to high morbidity and mortality, and the economic cost of complications associated with sepsis is also quite high. The gold standard method for pathogen detection is classical culture method. This method has several disadvantages: the long duration it takes, the high volume of blood required (20–30 mL for each repeat, 3–4 repeats), the potential for false-negative results due to the need to start treatment immediately. Disadvantages of classical culture methods, research into new detection methods is ongoing. Various techniques have been developed: nucleic acid-based sensors, polymerase chain reaction (PCR) and its derivatives, and mass spectrometry sensors. The design of biosensor systems has made it possible to detect various nucleic acids. Immobilizing different DNA-modifying enzymes on a substrate surface has enabled the detection of pathogenic bacteria and viruses.¹⁰ PCR has revolutionized biological research. The development of qPCR after the invention of conventional PCR (qPCR) has expanded the potential of molecular methods. Molecular methods are accurate, rapid, versatile and capable of detecting microorganisms in a variety of samples

¹⁰ Esra Ekiz, Emine Kubra Tayyarcı, Eylül Evran, Kubra Guven, Esra Acar Soykut, İsmail Hakkı Boyacı. Investigation of the effect of bacteriophage cocktail on microbial quality in the case of cold chain breakage: a case study on *Escherichia coli* contamination in milk. *Food and Humanity*. 2023. 1. P. 1073–1081. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.09.004>

(environment, products, clinical samples). A significant disadvantage of PCR is its inability to differentiate between living and dead cells. After cell death DNA remains intact for several days. Due to the inability to distinguish between living and dead cells, DNA-based diagnostics can lead to an overestimation of the number of living cells¹¹.

One approach is the use of reverse transcriptase PCR (RT-PCR) for mRNA detection. This can lead to false-positive results due to the high concentration of dead bacteria and the inability to remove mRNA during sample processing. mRNA tends to better indicate the presence of live cells compared to DNA detection. Another technique involves measuring the RNA/DNA molar ratio. It lacks sufficient sensitivity for detecting live bacteria in environments with high levels of dead bacteria. Cross-linking agents can reduce the PCR amplification signal of dead bacteria. Factors such as dye selection, dye concentration, incubation conditions, and the presence of many dead cells can also affect the results. Bacteriophages are viruses that disrupt the metabolism of bacteria in order to replicate. In the case of lytic phages, they cause the death of the host cell. Phages require bacterial host cells for replication and spread. This makes them obligate intracellular parasites. The first step in phage infection is the attachment of the phage to a bacterial cell, followed by the injection of the viral genome into the host cell^{12, 13, 14}.

The phage uses the metabolism of the host cell to replicate its genome and produce virions. The virions cause lysis of the bacterial host cell and spread into the environment, completing the lytic cycle. A method for the detection of *E. coli*, a model bacterium, using bacteriophage-based lysis without a DNA extraction step, combined with direct qPCR, is proposed. The mechanism by which bacteriophages selectively bind to their host cells, attach to living bacteria, lyse the host, and replicate is exploited. The objective is to quantify live bacteria present in a plasma matrix using bacteriophages. This method aims to provide a rapid (3 h), accurate and reproducible method for the detection of live pathogenic cells in a plasma matrix with minimal

¹¹ Mayra C. García-Anaya, David R. Sepulveda, Alma I. Sáenz-Mendoza, Claudio Rios-Velasco, Paul B. Zamudio-Flores, Carlos H. Acosta-Muñiz. Phages as biocontrol agents in dairy products. *Trends in Food Science & Technology*. 2020. 95. P. 10–20.

¹² Na Li, Xiaoming Yuan, Chun Li, Nuo Chen, Juan Wang, Bo Chen, Shubo Yu et al. A novel *Bacillus cereus* bacteriophage DLn1 and its endolysin as biocontrol agents against *Bacillus cereus* in milk. *International Journal of Food Microbiology*. 2022. 369. 109615. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109615>.

¹³ Yen-Ling Fang, Chih-Hung Wang, Yi-Sin Chen, Chun-Chih Chien, Feng-Chih Kuo, Huey-Ling You, Mel S. Lee and Gwo-Bin Lee. An integrated microfluidic system for early detection of sepsis-inducing bacteria. *Lab. on a Chip*. 2021. 1.

¹⁴ Merve Calimci, Tugba Tezcan, Emine Kubra Tayyarcan, Kubra Guven, Ismail Hakki Boyaci, Ugur Tamer. Bacteriophage-based live bacteria detection for rapid infection diagnosis. *Talanta*. 286. 127569.

sample volume. This eliminates the need for complex pre-treatment and DNA extraction steps^{15, 16, 17, 18}.

Mitogenic stimulation of lymphocytes is one of the properties of lectins. Lymphocytes are the only cells in living organisms that can recognize antigens and initiate immunological reactions. Lymphocyte activation is a model for studying the body's response to specific antigens. For a mitogenic response to occur, lectin binding to carbohydrate sites on the lymphocyte cell surface is essential. In response to lectin, lymphocytes produce and secrete protein factors that exhibit mitogenic activity. After treatment with lectin-mitogens, lymphocytes undergo blast transformation, increase in size, develop cytoplasmic vacuoles, and stimulate metabolic processes – the synthesis of DNA, proteins, RNA, and lipids. The transport of potassium, calcium, and other ions increases. Cell division occurs. This process continues in the presence of lectin and then becomes independent of it. The mitogenic activity of lectins is demonstrated in relation to native lymphocytes. Other lectins can induce lymphocyte mitosis after treatment of the cell surface with neuraminidase. Some lectins induce the synthesis and release of lymphokines, which are polyfunctional substances, by lymphocytes. Lymphokines influence cell growth, regulate immunological reactions, and have a cytotoxic effect.

A number of lectins have been described as having the ability to induce the production of interferon by lymphocytes. Interferons are unique substances, low-toxic natural bioregulators and chemotherapeutic agents. Two types of interferon have been described: type 1 includes leukocyte (α) and fibroblast (β) interferons (induced by viruses and their nucleic acids); type 2 includes γ -interferon (induced by mitogens, lectins, and antigens).

¹⁵ Коваленко Е.О. Позаклітинні лектини бактерій роду *Bacillus*: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня док. біол. наук: спец. 03.00.07 «Мікробіологія» / Е.О. Коваленко. – Київ, 1999. – 36 с.

¹⁶ Пат. 68373 Україна, МПК7 C12P19/04 (C12P19/04, C12 R1:125). Застосування сіалоспецифічного лектину, виділеного із штаму *Bacillus subtilis* 668 ІМВ для інгібіції репродукції вірусу імунодефіциту людини / Підгорський В.С., Рибалко С.Л., Коваленко Е.О., Шарикіна Н.І., Гетьман К.І., Максименко О.В., Іванська Н.В.; заявник та власник патенту Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАНУ. – № 2000095282; заявл. 14.09.00; опубл. 16.08.04, Бюл. № 8.

¹⁷ Пат. 83305 Україна, МПК C12P 19/04 (A61K 39/245, A61P 1/16). Лікарський засіб, який містить бактеріальний лектин для лікування хворих, уражених гепатитом С / Підгорський В.С., Коваленко Е.О., Рибалко С.Л., Шарикіна Н.І., Гетьман К.І.; заявник та власник патенту Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАНУ. – № а 2006 13193; заявл. 13.12.06; опубл. 26.06.08, Бюл. № 12.

¹⁸ Пат. 83578 Україна, МПК А61К 38/16 (А61Р 31/16, C12P 19/04). Лікарський засіб, який містить бактеріальний лектин для лікування хворих, уражених грипом / Підгорський В.С., Коваленко Е.О., Рибалко С.Л., Шарикіна Н.І., Гетьман К.І.; заявник та власник патенту Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАНУ. – № а 2006 13194; заявл. 13.12.06; опубл. 25.07.08, Бюл. № 14.

A separate group of lectins are bifunctional lectins: enzyme lectins and toxin lectins. A classic example of a bacterial lectin with enzymatic properties is the extracellular lectin of *Vibrio cholerae*, which has proteolytic activity. This group includes bifunctional lectins, in which the substrates for the lectin and enzyme are different carbohydrates. Lectin-enzymes do not chemically modify carbohydrates. Examples of bifunctional lectins include glucose- and mannose-specific lectins with α -galactosidase activity from *Vicia faba* and *Lens culinaris*.

A property of bacterial lectins is their toxicity to eukaryotic cells. Toxic lectins include extracellular lectins (bacterial exotoxins): enterotoxins, tetanus and botulinum toxins, and *Shigella* toxins. These are toxic proteins with carbohydrate-binding properties. Unlike true lectins, they do not possess agglutinating activity and are usually monovalent lectins with a single active binding site (Figures 3, 4).

Toxins exhibit image and tissue specificity when interacting with a susceptible host. This specificity is based on the presence of complementary receptors on the surface of the host cell recognized by the toxin. This recognition is stereospecific. It represents the interaction of a soluble toxic ligand and an insoluble cell surface receptor.

In the universal model of the structure of lectin-like toxins, the toxic complex consists of three domains: the A-domain is enzymatic and is responsible for the activity of the toxin, the B-domain is binding and determines the specific binding of the toxic complex to the host cell, and the E-domain is an independent component and is responsible for the penetration of the toxin

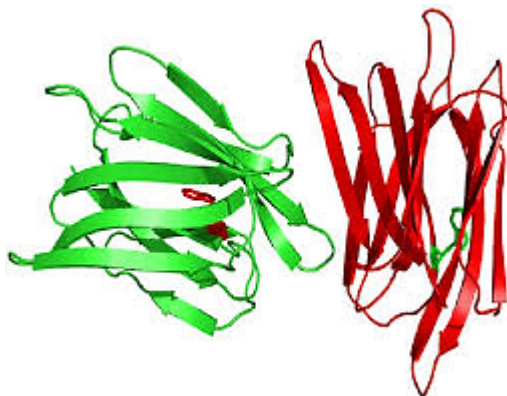


Fig. 3. Ribbon structure of a banana lectin (2BMY) generated from PyMol. Trp residues are shown in both subunits

Source: DOI: 10.1371/journal.pone.0062428.g001.



Fig. 4. Structure of S-Lectin

Source: DOI: <https://www.rcsb.org/structure/1SLT>.

into the cell. Conventionally, bacterial toxins are divided into groups: protein synthesis inhibitors; toxins that activate nucleotide cyclase; toxins with an unknown mechanism of action.

Diphtheria toxin from *Corynebacterium diphtheriae* is an example of a toxin that inhibits protein synthesis. The toxin affects cells in three stages: the enterotoxin binds to the surface of the eukaryotic cell (the B domain is responsible for the specific binding of diphtheria toxin to the cell surface); fragments of the toxin penetrate the cell cytoplasm (where protein synthesis is inhibited); and polypeptide elongation factor 2 is inactivated. Lectins specific for mannosyl- and N-acetyl-glucosaminyl oligosaccharides were found to antagonize this toxin's common glycoprotein target. In the presence of Con A and WGA, cells were protected from the toxin's action and actively synthesized the protein. Lectins that bind galactose and N-acetylgalactosamine were not antagonists of the toxin.

Shigella toxin, which is secreted into the environment by *Shigella dysenteriae*, is a protein synthesis inhibitor. The toxin contains two components: the A chain (molecular weight 32,225 D) and the B chain (molecular weight 7,691 D). *Shigella* toxin exhibits biological properties, including enterotoxicity, neurotoxicity, and cytotoxicity. It differs from diphtheria toxin in that it does not

affect soluble cytosolic factors in protein synthesis processes. The toxin's action leads to irreversible inactivation of ribosomes.

The toxin's activity on tissue culture cells can be inhibited by treating the cells with protease, isozyme, or by adding specific carbohydrate inhibitors – chitotriose and chitotetrose. Shigella toxin binds actively to the glycolipid globotriosylceramide.

2. Bacterial lectins as components of original pharmaceutical compositions

The properties of extracellular lectins of the *Bacillus* family, namely, sialospecific lectin isolated from the *Bacillus subtilis* 668 IMB strain for inhibiting the reproduction of the human immunodeficiency virus, were studied. A drug containing bacterial lectin has been developed for the treatment of hepatitis C, influenza, and herpes types 1 and 2. To create the original pharmaceutical composition, previously synthesized heterocyclic compounds with a bis-structure were used, which have proven themselves in studies as antitumor agents. To create molecular mixtures of bis-uracil derivatives with an original pharmacophoric group and lectins, the most active producers of extracellular lectins from the Ukrainian Collection of Microorganisms of the IMV NASU were selected, namely, bacterial lectins of saprophytic strains *Bacillus subtilis* 668 IMV and *Bacillus polymyxa* 102 KSU^{19, 20}.

Determination of acute toxicity in two animal species (different routes of administration) showed that the bacilli lectins are moderately and slightly toxic substances (Table 1). The experimental animals were white non-linear male mice (body weight 17.0±2.0 g and 22.0±2.0 g) and male rats (body weight 160.0±20.0 g).

The bis-derivative 5-FU (I) was used as a chemical component to create a new pharmaceutical composition^{21, 22} (Figure 5).

¹⁹ Пат. 84928 Україна, МПК А61К 38/16 (С12Р 19/04, А61Р 31/22). Лікарський засіб, який містить бактеріальний лектин для лікування хворих, уражених герпесом 1 і 2 типів / Підгорський В.С., Коваленко Е.О., Рибалко С.Л., Шарикіна Н.І., Гетьман К.І.; заявник та власник патенту Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАНУ. – № а 2006 13192; заявл. 13.12.06; опубл. 10.12.08, Бюл. № 23.

²⁰ Пат. 34108А Україна, МПК 6 С07D239/00, С07С21/00. Спосіб отримання 1,1'-(2"-бром-2"-хлоретеніл)-біс-(5-фторурацил)-у, який має протипухлинну активність / Вельчинська О.В.; заявник та власник патенту Інститут фармакології та токсикології АМН України. – № 99063049; заявл. 02.06.1999; опубл. 15.02.01, Бюл. № 1.

²¹ Welchinska, E. & Vilchynska, V. (2016). New compound N1,N1'-(2"-bromo-2"-chloroethenyl)-bis-(5-fluorouracil) as the active antitumor agent for sarcoma 180. CBU International conference proceedings 2016: Innovations in Science and Education, 4, 740–743. DOI 10.12955/cbup.v4.842.

²² Welchinskaya, H.V., Piecuszak, B., Kovalenko, E.A., Sharykina, N.I., Getman, K.I. & Podgorsky, V.S. (2003). Biological activity of bacterial lectins and their molecular complexes with heterocyclic bis-adducts. Mikrobiolohichnyy zhurnal – Journal of Microbiology (Kiev, Ukraine: 1993). 65(5), 20–25.

Table 1

Acute toxicity parameters of Bacillus lectins by different routes of administration

Routes of administration	Lectin 668, LD50, mg/kg	Lectin 102, LD50, mg/kg
Mice		
Intramuscular	68 (46-101)	294 (210-318)
Subcutaneous	71 (59-84)	248 (195-301)
Intraperitoneal	89 (75-106)	200 (154-246)
Intravenous	37 (26-54)	–
Rats		
Intraperitoneal	71 (62-80)	60 (52-68)
Intravenous	52 (45-59)	–

Note: Here and further, total preparations of lectins 668 and 102 were investigated.

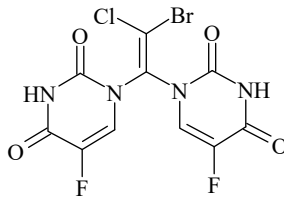


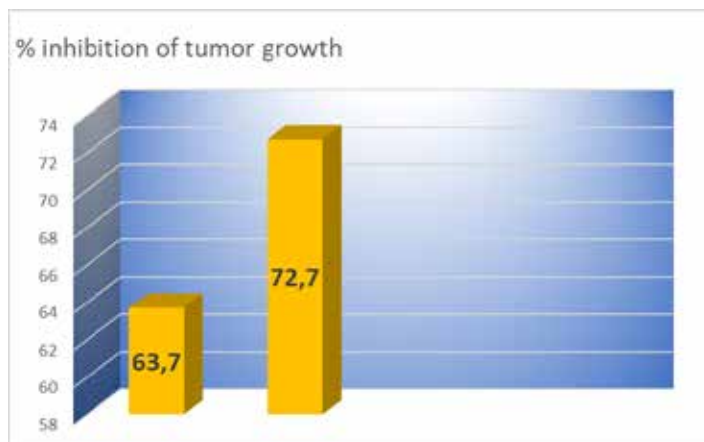
Fig. 5. Structure of compound I

LD50, mg/kg of compound I – 125 mg/kg. The bis-derivative of 5-FU I and its molecular mixtures are less toxic than lectin 668, but more toxic than lectin 102. When more toxic substances (bis-derivative I and lectin 668) were combined, the overall toxicity of the molecular mixture decreased by 1.06 times. The antitumor activity of the obtained molecular mixture of compound I with bacterial lectins was assessed by the following indicators: % inhibition of tumor growth; % death of experimental animals.

Studies on the specific antitumor activity of the molecular mixture Compound I-Lectin were conducted on models of experimental tumor growth Plis lymphosarcoma at doses of 24.0 mg/kg, 31 mg/kg, 35 mg/kg (comparative drug 5-FU). A pronounced antitumor effect with a high % inhibition of tumor growth was registered on Plis lymphosarcoma in mixtures: lectin 102 – bis-derivative of 5-fluorouracil (I) (% inhibition of tumor growth – 63.7%). It was found that when replacing the lectin component – lectin 102 in the molecular mixture with lectin 668 in Plis lymphosarcoma, a higher % inhibition of tumor growth was recorded.

For the mixture: lectin 668 – bis-derivative 5-FU (I) this value was 72.7% – 1.14 times higher % inhibition of Plis lymphosarcoma growth than in the mixture: lectin 102 – bis-derivative 5-FU (I).

Combining more active drugs in Plis lymphosarcoma: lectin 102 (% inhibition of tumor growth – 50.0%) and bis-derivative 5-FU (I) (% inhibition of tumor growth – 75.3–91.07%) in the molecular mixture did not lead to an increase in % inhibition of tumor growth (63.7%) (Figure 6).



Lectin 102-Compound I Lectin 668-Compound I

Fig. 6. Study of the antitumor activity of molecular mixtures of 5-FU and Lectins 102, 668on lymphosarcoma Plis

To confirm the composition and structure of the synthesized compound (I) and its molecular mixtures with bacterial lectins, elemental analysis, PMR spectroscopy, chromatographic and spectral methods were used. The high-performance liquid chromatography (HPLC) method, which was previously successfully implemented in the analysis of biologically active substances, was actively introduced into the analysis of the obtained substances^{23, 24, 25}.

²³ Губський Ю.І., Вельчинська О.В. Синтез та дослідження біологічної активності нових N-заміщених аміно-гіадиазолілфосфіносукцинімідів. «Медична хімія», 2008 р. – Т. 10, № 4, с. 5–11.

²⁴ Вельчинська О., Ніженковська І., Мелешко Р. Сучасні підходи до фармацевтичного аналізу методом ВЕРХ алкалоїду паклітакселу. Фітотерапія. Часопис. 2024. № 3. С. 168–174 (Скопус). doi: <https://doi.org/10.32782/2522-9680-2024-3-168>

²⁵ Вельчинська О., Ніженковська І., Мелешко Р. Імплементация методу ВЕРХ у фармацевтичний аналіз алкалоїду групи ізохіноліну. Вельчинська О., Ніженковська І., Мелешко Р. (2025). Імплементация методу ВЕРХ у фармацевтичний аналіз алкалоїду групи ізохіноліну. Фітотерапія. Часопис, 4, 198–207, doi: <https://doi.org/10.32782/2522-9680-2025-4-198>

CONCLUSIONS

Bacterial lectins have specific pharmacological properties and are an exclusive object for the creation of new medicines of biological and biotechnological origin using their participation as a biological component. The parameters of acute toxicity and antitumor activity of a separate chemical component – bis-derivative 5-FU (I) and bacterial lectins 102 and 668, as well as their molecular mixtures, were investigated. When comparing the acute toxicity parameters of molecular mixtures of bis-derivative 5-fluorouracil with lectin 102 or lectin 668, it was found that the molecular mixture of bis-derivative 5-FU with lectin 102 is 1.01 times more toxic than the second (LD50 135 mg/kg and 137 mg/kg, respectively). A pronounced antitumor effect with a high % tumor growth inhibition was registered on Plis lymphosarcoma in the mixture of lectin 102 – bis-derivative of 5-fluorouracil (I) (% tumor growth inhibition – 63.7%). When replacing the lectin component – lectin 102 in the molecular mixture with lectin 668 in Plis lymphosarcoma, a higher % tumor growth inhibition was recorded – 72.7% – 1.14 times higher % growth inhibition of Plis lymphosarcoma than in the mixture: lectin 102 – bis-derivative of 5-FU (I). The obtained molecular mixtures of Lectin-Compound I are highly effective in the treatment of tumors and are of interest in the creation of promising drugs.

SUMMARY

Based on the conducted research and the obtained results, a conclusion can be drawn regarding the effectiveness of using bacterial lectins as a biological component for the creation of medicines of biological/biotechnological origin. Bacterial lectins are an exceptional object for the creation of new drugs of biological and biotechnological origin. Molecular mixtures based on the chemical component – bis-derivative 5-FU (I) and bacterial lectins 102 and 668 were created. The parameters of acute toxicity of molecular mixtures were studied. Their significant antitumor activity on the tumor strain Lymphosarcoma Plis was revealed. An increase in antitumor activity was found when replacing lectin 102 (% tumor growth inhibition – 63.7%) with lectin 668 (% tumor growth inhibition – 72.7%) in the molecular mixture. Bacterial lectins are unique objects of research in the creation of new molecular mixtures with specific pharmacological activity. Bacterial lectins are a group of chemicals that are not fully studied to date and require more attention with the prospect of creating original pharmaceutical compositions – drugs of the future.

Bibliography

1. Kovalenko E.A. Lectin biosynthesis by bacteria of genus *Bacillus* depending on their physiological functions. 11-th Int. Lectin Conf. Tartu Univer. Est. Acad. Sci: Abstr. Tartu. 1989. P. 40.
2. Krivan H.C. Bacterial adhesions: identification of glycolipid receptors for many pulmonary pathogens. *Glycoconjugate J.* 1988. 5(3). P. 351.
3. Kundu M., Basy Y. Chakrabarti P. Purification and characterization of an extracellular lectin from *Mycobacterium smegmatis*. *FEBS Lett.* 1989. 256. N 1-2. P. 207–210.
4. Mandal C. Sialic acid binding lectins. *Experientia.* 1990. 46. P. 433–441.
5. Miller R.L. Properties of a sialic acid-specific lectin from the slug *Limax flavus*. *Meth. Enzym.* 1987. 138. P. 527–536.
6. Muller H.E. Neuraminidases of bacteria and protozoa and their pathogenic role. *Behr. Inst. Mitteilungen.* 1974. 55. P. 34–56.
7. Wang Q., Zhang L., Hu W., Hu Z.H., Bei Y.Y., Xu J.Y. et al. Norcantharidin-associated galactosylated chitosan nanoparticles for hepatocyte-targeted delivery. *Nanomed.* 2010. 6. 371e81.
8. Jain N.K., Jain S.K. Development and in vitro characterization of galactosylated low molecular weight chitosan nanoparticles bearing doxorubicin. *AAPS Pharm. Sci. Tech.* 2010.11. 686e97.
9. Suriano F., Pratt R., Tan J.P., Wiradharma N., Nelson A., Yang Y.Y. et al. Synthesis of a family of amphiphilic glycopolymers via controlled ring-opening polymerization of functionalized cyclic carbonates and their application in drug delivery. *Biomaterials.* 2010. 31. 2637e45.
10. Esra Ekiz, Emine Tayyarcan, Eylul Evran, Kubra Guven, Soykut, Ismail Hakki Boyaci. Investigation of the effect of bacteriophage cocktail on microbial quality in the case of cold chain breakage: a case study on *Escherichia coli* contamination in milk. *Food and Humanity.* 2023. 1. P. 1073–1081. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.09.004>
11. Mayra C. García-Anaya, David R. Sepulveda, Alma I. Sáenz-Mendoza, Claudio Rios-Velasco, Paul B. Zamudio-Flores, Carlos H. Acosta-Muñiz. Phages as biocontrol agents in dairy products. *Trends in Food Science & Technology.* 2020. 95. P. 10–20.
12. Na Li, Xiaoming Yuan, Chun Li, Nuo Chen, Juan Wang, Bo Chen, Shubo Yu et al. A novel *Bacillus cereus* bacteriophage DLn1 and its endolysin as biocontrol agents against *Bacillus cereus* in milk. *International Journal of Food Microbiology.* 2022. 369. 109615. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109615>.
13. Yen-Ling Fang, Chih-Hung Wang, Yi-Sin Chen, Chun-Chih Chien, Feng-Chih Kuo, Huey-Ling You, Mel S. Lee and Gwo-Bin Lee. An integrated

microfluidic system for early detection of sepsis-inducing bacteria. Lab. on a Chip. 2021. 1.

14. Merve Calimci, Tugba Tezcan, Emine Kubra Tayyarcan, Kubra Guven, Ismail Hakki Boyaci, Ugur Tamer. Bacteriophage-based live bacteria detection for rapid infection diagnosis. Talanta. 286. 127569.

15. Коваленко Е.О. Позаклітинні лектини бактерій роду *Bacillus*: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня док. біол. наук: спец. 03.00.07 «Мікробіологія» / Е.О. Коваленко. – Київ, 1999. – 36 с.

16. Пат. 68373 Україна, МПК⁷ C12P19/04 (C12P19/04, C12 R1:125). Застосування сіалоспецифічного лектину, виділеного із штаму *Bacillus subtilis* 668 ІМВ для інгібіції репродукції вірусу імунодефіциту людини / Підгорський В.С., Рибалко С.Л., Коваленко Е.О., Шарикіна Н.І., Гетьман К.І., Максименко О.В., Іванська Н.В.; заявник та власник патенту Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАНУ. – № 2000095282; заявл. 14.09.00; опубл. 16.08.04, Бюл. № 8.

17. Пат. 83305 Україна, МПК C12P 19/04 (A61K 39/245, A61P 1/16). Лікарський засіб, який містить бактеріальний лектин для лікування хворих, уражених гепатитом С / Підгорський В.С., Коваленко Е.О., Рибалко С.Л., Шарикіна Н.І., Гетьман К.І.; заявник та власник патенту Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАНУ. – № а 2006 13193; заявл. 13.12.06; опубл. 26.06.08, Бюл. № 12.

18. Пат. 83578 Україна, МПК A61K 38/16 (A61P 31/16, C12P 19/04). Лікарський засіб, який містить бактеріальний лектин для лікування хворих, уражених грипом / Підгорський В.С., Коваленко Е.О., Рибалко С.Л., Шарикіна Н.І., Гетьман К.І.; заявник та власник патенту Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАНУ. – № а 2006 13194; заявл. 13.12.06; опубл. 25.07.08, Бюл. № 14.

19. Пат. 84928 Україна, МПК A61K 38/16 (C12P 19/04, A61P 31/22). Лікарський засіб, який містить бактеріальний лектин для лікування хворих, уражених герпесом 1 і 2 типів / Підгорський В.С., Коваленко Е.О., Рибалко С.Л., Шарикіна Н.І., Гетьман К.І.; заявник та власник патенту Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАНУ. – № а 2006 13192; заявл. 13.12.06; опубл. 10.12.08, Бюл. № 23.

20. Пат. 34108А Україна, МПК 6 C07D239/00, C07C21/00. Спосіб отримання 1,1'-(2''-бром-2''-хлоретенил)-біс-(5-фторурацил)-у, який має протипухлинну активність / Вельчинська О.В.; заявник та власник патенту Інститут фармакології та токсикології АМН України. – № 99063049; заявл. 02.06.1999; опубл. 15.02.01, Бюл. № 1.

21. Welchinska, E. & Vilchynska, V. (2016). New compound N1,N1'-(2''-bromo-2''-chloroethenyl)-bis-(5-fluorouracil) as the active antitumor agent for

sarcoma 180. CBU International conference proceedings 2016: Innovations in Science and Education, 4, 740–743. DOI 10.12955/cbup.v4.842.

22. Welchinskaya, H.V., Piecuszak, B., Kovalenko, E.A., Sharykina, N.I., Getman, K.I. & Podgorsky, V.S. (2003). Biological activity of bacterial lectins and their molecular complexes with heterocyclic bis-adducts. *Mikrobiolohichnyy zhurnal – Journal of Microbiology* (Kiev, Ukraine: 1993). 65(5), 20–25.

23. Губський Ю.І., Вельчинська О.В. Синтез та дослідження біологічної активності нових N-заміщених аміно-тіадиазолілфосфіносукцинімідів. «Медична хімія», 2008 р. – Т. 10, № 4, с. 5–11.

24. Вельчинська О., Ніженковська І., Мелешко Р. Сучасні підходи до фармацевтичного аналізу методом ВЕРХ алкалоїду паклітакселу. *Фітотерапія. Часопис*. 2024. № 3. С. 168–174 (Скопус). doi: <https://doi.org/10.32782/2522-9680-2024-3-168>.

25. Вельчинська О., Ніженковська І., Мелешко Р. Імплементція методу ВЕРХ у фармацевтичний аналіз алкалоїду групи ізохіноліну. Вельчинська О., Ніженковська І., Мелешко Р. (2025). Імплементція методу ВЕРХ у фармацевтичний аналіз алкалоїду групи ізохіноліну. *Фітотерапія. Часопис*, 4, 198–207, doi: <https://doi.org/10.32782/2522-9680-2025-4-198>.

Information about the author:

Welchinska Olena Vasylivna,

Doctor of Pharmaceutical Sciences,

Professor at the Medicinal Chemistry and Toxicology Department

Bogomolets National Medical University

13, Taras Shevchenko boulevard. Kyiv, Ukraine

**ВИРОБНИЦТВО ПОСТБІОТИКІВ НА ОСНОВІ
НОВІТНІХ НЕТЕРМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Негода Т. С., Полова Ж. М.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-695-9-11>**ВСТУП**

Постбіотики, що визначаються як неживі мікробні клітини та їхні компоненти, що надають користь здоров'ю хазяїна, являють собою значний прогрес у функціональних продуктах харчування та дієтичних добавках¹. Порівняно з пробіотиками та пребіотиками, постбіотики пропонують переваги у стабільності продукту, безпеці та гнучкості рецептури. У загальній практиці, знищення нагріванням є широко використовуваним методом виробництва постбіотиків. Однак, знищені нагріванням постбіотики мають мало недоліків, таких як присмак горіння, денатурація імуномодуючих молекул та втрата функціональних метаболітів. Новітні нетермічні технології працюють порівняно з традиційними методами виробництва постбіотиків, підкреслюючи їх придатність для впровадження в промислових масштабах та переваги, які вони надають порівняно з традиційною термічною обробкою. Нещодавні досягнення в постбіотичних дослідженнях та нетермічній обробці вказують на значні інноваційні можливості². Однак залишаються проблеми в масштабуванні методів, уточненні параметрів та усуненні регуляторних та економічних обмежень. Промислова інтеграція нетермічних технологій вимагає додаткових доказів для підтвердження доцільності, економічної ефективності та дотримання вимог безпеки, виявлення ключових прогалин в оптимізації протоколів інактивації, взаємозв'язків між впливом та реакцією, а також клінічного впливу.

Споживання достатньої кількості пробіотиків продемонструвало низку переваг для здоров'я людини. Всесвітня організація охорони здоров'я визначила пробіотики як живі організми, корисні для хазяїна,

¹ Aggarwal, Sunita, et al. "Postbiotics: From emerging concept to application". *Frontiers in Sustainable Food Systems* 6 (2022): 887642.

² Amobonye, Ayodeji, et al. "Postbiotics: an insightful review of the latest category in functional biotics". *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 41.8 (2025): 293.

коли вони споживаються в бажаній кількості. Тому їжа/добавка повинні зберігати мінімальну кількість клітин протягом усього терміну придатності, щоб приносити користь споживаному хазяїну³. Однак під час обробки, транспортування та зберігання відбувається значна втрата кількості пробіотичних клітин, що вимагає інноваційних рішень для подолання цих проблем. На основі досліджень у галузі пробіотиків було запроваджено нові номенклатури, такі як постбіотики, парaproбіотики/постбіотики, тиндалізовані пробіотики, фармабіотики, психобіотики та пробіоцевтики. Міжнародна наукова асоціація пробіотиків та пребіотиків (ISAPP) визначила термін постбіотики як неживі мікроорганізми або їхні компоненти, які надають користь для здоров'я хазяїна при споживанні в необхідній дозі⁴. Це широке визначення значно розширює традиційне розуміння функціональних харчових інгредієнтів, зміщуючи фокус з життєздатних мікроорганізмів на включення їх неживих форм та похідних клітинних компонентів.

Склад постбіотиків надзвичайно різноманітний, охоплюючи широкий спектр біоактивних компонентів, таких як коротколанцюгові жирні кислоти (КЖК), фрагменти клітинних стінок мікробів, екзополісахариди (ЕП), клітинні лізати, тейхоеві кислоти та вітаміни. Ці компоненти демонструють різноманітну біологічну активність, включаючи імуномодуляцію, посилення кишкового бар'єру та протизапальну дію. КЖК, включаючи ацетат, пропіонат та бутират, особливо помітні своєю роллю в регуляції метаболізму, здоров'ї кишкового епітелію та контролі апетиту. Окрім коротколанцюгових жирних кислот (SCFA), позаклітинні білки (ЕР) та фрагменти мікробних клітинних стінок зміцнюють слизові бар'єри та мають потенційні антиоксидантні та антимікробні властивості.

Однак, різна ефективність різних компонентів підкреслює необхідність глибших досліджень того, як ці речовини діють окремо та синергетично.

Постбіотики пропонують помітні переваги порівняно з традиційними пробіотиками та пребіотиками, зокрема з точки зору стабільності продукту, безпеки та адаптивності рецептури. На відміну від живих пробіотиків, які чутливі до обробки та умов навколишнього середовища порівняно з пробіотиками, постбіотики за своєю суттю стабільніші, оскільки складаються з неживих речовин. Більше того, постбіотики не залежать від управління постачанням холодового ланцюга, тому мають перевагу

³ Ashrafudoulla, Md, et al. "Challenges and opportunities of non-conventional technologies concerning food safety". *World's Poultry Science Journal* 79.1 (2023): 3-26.

⁴ Asefa, Zerihun, et al. "Postbiotics and their biotherapeutic potential for chronic disease and their feature perspective: a review". *Frontiers in Microbiomes* 4 (2025): 1489339.

над пробіотиками. Крім того, відсутність живих клітин у постбіотиках усуває ризик несприятливих взаємодій, таких як системні інфекції або мікробна транслокація, особливо у вразливих групах населення, таких як особи з ослабленим імунітетом. Постбіотики можуть безпосередньо модулювати імунну систему, взаємодіючи з епітеліальними клітинами хазяїна, позбавленими будь-якої потреби в колонізації. Постбіотики не взаємодіють з харчовою матрицею, погоджуючись додавати їх до харчових продуктів/інших рецептур у широкому діапазоні рН та температур без шкоди для біоактивної функції. Крім того, їхня стабільність полегшує їх інтеграцію в різні харчові та фармацевтичні рецептури, включаючи термічно оброблені або стійкі до зберігання продукти. Ця адаптивність розширює потенціал для ширшого промислового застосування та підтримує розробку продуктів з точним контролем дозування⁵.

Термічна обробка залишається каменем постбіотичного виробництва завдяки її встановленій ефективності в інактивації мікробів та екстракції біоактивних сполук. Однак традиційні методи, такі як тиндалізація/термічна обробка, що використовуються для постбіотичного виробництва, призводять до денатурації біоактивних метаболітів, таких як ферменти, поверхневі білки, коротколанцюгові жирні кислоти, та втрати структурної цілісності епітеліальних білків, що впливає на функціональність та знижує штам специфічність постбіотиків. Аналогічно, зниження тепла викликало грубість та шорсткість клітин, погіршуючи імунomodуючі ефекти постбіотиків та зменшуючи вивільнення оцтової та масляної кислот, при підвищенні температури тепла від 65 до 95 °C можлива деградація. Ці обмеження, включаючи потенціал для зміни чутливих біоактивних речовин та впливу на сенсорні якості, викликали інтерес до вдосконалення цього підходу шляхом оптимізації параметрів та інтеграції з іншими, більш інноваційними та нетермічними методами. Деякі з нетермічних технологій, такі як імпульсні електричні поля (ІЕП), ультразвукова обробка, опромінення, холодна плазма, імпульсна та ультрафіолетова (УФ) технологія світла, а також обробка високим тиском (ОВТ), використовуються як методи, що зберігають якість та збільшують стабільність без будь-яких втрат профілю. Нетермічні технології не містять хімікатів та потребують менше енергії, ніж термічні методи, що сприяє сталому розвитку. Ці нетермічні технології легко сприяють руйнуванню клітинних стінок пробіотиків, вивільняючи внутрішньоклітинні компоненти. Ультразвук та холодна плазма привертають дедалі більшу увагу завдяки своїй здатності

⁵ Benkowski, Andrzej A., et al. "Postbiotics: considerations for safety and quality management". *Poster presented at International Association of Food Protection* (2023).

зберігати термочутливі постбіотичні складові та покращувати властивості продукту⁶.

Центральне дослідницьке питання, що розглядається в цьому огляді, полягає в тому, чи мають нові нетермічні технології здатність революціонізувати виробництво постбіотиків і чи підходять вони для масштабування для промислового застосування. Критично аналізуючи це питання, цей огляд також заповнює важливу прогалину в сучасній літературі, синтезуючи міждисциплінарні знання з мікробіології, харчових технологій та біотехнології для оцінки ефективності, результативності та масштабованості нетермічних методів постбіотичного виробництва. Цей огляд є одночасно своєчасним та інноваційним через зростаючий глобальний акцент на розробці сталих та ефективних методів постбіотичного виробництва, які зберігають максимальну біоактивність та функціональні переваги. Він також розглядає брак комплексних оцінок, які б безпосередньо зосереджувалися на тому, як ці методи впливають на постбіотичну стабільність, біоактивність та безпеку. Додаткова увага приділяється оцінці їхнього потенціалу для впровадження в промислового масштабі та конкретних переваг, які вони пропонують порівняно з традиційною термічною обробкою.

1. Переваги постбіотиків

Ферментація молочнокислими бактеріями виробляє різні корисні для здоров'я клітинні компоненти, а також метаболіти. Постбіотики мають такі переваги для здоров'я, як імуномодулюючі, протизапальні, протиракові, антимікробні, антиоксидантні, гіпохолестеринемічні, антигіперчутливі. Постбіотики поділяються на мікробні метаболіти (ліпіди, білки, ЕП, органічні кислоти, ферменти тощо) та компоненти (тейхоева кислота, пептидоглікан та білки клітинної поверхні). Їх також можна класифікувати за структурою та складом. Ці постбіотики взаємодіють з хазяїном та забезпечують терапевтичні підходи для систематичного та локального впливу⁷.

Джерела для виробництва постбіотиків, їхня зареєстрована користь для здоров'я та можливий механізм дії.

Екзополісахариди. ЕП – це мікробні метаболіти, що вивільнюються за межі клітинної стінки бактерій під час ферментації, які головним

⁶ Almahbashi, Amtalsaboer, and Evrim Gunes Altuntas. "From preparation to Bioactivity: A comparative study on preparation methods and characterization of postbiotics". *Food Science & Nutrition* 13.5 (2025): e70294.

⁷ Thirumdas, Rohit, and Priti Mudgil. "Emerging nonthermal Technologies for the Production of postbiotics". *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 24.6 (2025): e70335.

чином сприяють адгезії бактерій. ЕП виробляються позаклітинно та прикріплюються до мікробних клітин у вигляді шару слизу, впливаючи на імунітет господаря, метаболізм ліпідів та колонізацію патогенів. Вони класифікуються як біополімери з довголанцюговими розгалуженими гомо- або гетерополісахаридами. Основними складовими ЕП є ліпополісахариди та пептидоглікани з різними цукрами, такими як глюкоза, галактоза, глюкани, арабіноза, ксилоза, маноза та галактоза. ЕП проявляють біоактивні властивості як антиоксиданти, антихолестеринемічні, антиобезогенні та мають імуномодулюючу дію⁸. ЕП широко використовуються в харчовій, молочній та фармацевтичній промисловості як стабілізатори та емульгатори для модифікації реологічних властивостей. ЕП мають імуномодулюючу дію, взаємодіючи з макрофагами та дендритними клітинами, модулюючи активність Т- та НК-лімфоцитів. ЕП стимулює проліферацію лімфоцитів, посилюючи вироблення IgA у слизовій оболонці кишечника. Кефіран – один із позаклітинних протеїнів (ЕП), що продукуються *Lactobacillus*, який знижує артеріальний тиск під час випробувань на тваринах⁹. Однак продукція ЕР головним чином залежить від штаму, складу середовища, рН, температури та віку клітин під час ферментації (таблиця 1).

Таблиця 1

Останні наукові дані про користь постбіотиків для здоров'я

Мікроорганізм	Постбіотична молекула	Користь для здоров'я
<i>Lb. fermentum</i> L-14	Екзополісахарид	Проти ожиріння
<i>Lactobacillus</i> sp. (La1 та La2)	Безклітинний супернатант	Антиоксидантна активність
Штам <i>Lb. paracasei</i> D3-5	Ліпотейхоєві кислоти	Антивіковий ефект
<i>Lb. fermentum</i>	Безклітинний супернатант	Імуномодуляція
<i>Lb. animalis</i>	Бактеріальні везикули	Зменшення апоптозу клітин
<i>Lb. plantarum</i>	Позаклітинні везикули	протизапальний ефект
<i>Lb. fermentum</i>	Безклітинні супернатанти	Противірусні ефекти проти герпесу
<i>Lb. plantarum</i>	Коротколанцюгові жирні кислоти та молочна кислота	Модулював кишкові бактерії
<i>Lb. rhamnosus</i> GG <i>Lb. reuteri</i>	Безклітинний супернатант	Антимікробний ефект
<i>Lb. helveticus</i> 611	Безклітинні супернатанти	Антибактеріальна та протигрибкова активність

⁸ Hijová, Emília. "Postbiotics as metabolites and their biotherapeutic potential". *International journal of molecular sciences* 25.10 (2024): 5441.

⁹ Fang, Fang, et al. "Effect of potential postbiotics derived from food-isolated *Lactobacillus parabuchneri* on different enterotypes of human gut microbiome". *Lwt* 182 (2023): 114782.

Продовження таблиці 1

Мікроорганізм	Постбіотична молекула	Користь для здоров'я
<i>Lb. paracasei</i>	Безклітинні супернатанти	Модуляція імунної відповіді хазяїна
<i>Lb. plantarum RM1</i>	Безклітинні супернатанти	Знезараження афлатоксином M1
<i>L. rhamnosus CRL1505</i>	Пептидоглікан	Імуномодулюючий
<i>Lb. acidophilus LA-5</i>	Тепло знищує клітини	Антиоксидантна властивість та протипухлинні властивості
<i>Lb. curvatus B.67</i>	Бактеріоцин	Антимікробна активність
<i>Lb. plantarum</i>	Безклітинні супернатанти	Імуномодуляція
<i>Lb. paracasei</i>	Безклітинний екстракт	Антиоксидантна активність
<i>Bifidobacterium (B.) bifidum MG731</i>	Ізоляти, убиті нагріванням	Протизапальний потенціал
<i>Schleiferilactobacillus harbinensis LH 991</i>	Коротколанцюгові жирні кислоти	Антимікробна активність
<i>B. longum CECT 7347</i>	Коротколанцюгові жирні кислоти	Антихолестеринемічний
<i>Faecalibacterium prausnitzii</i>	Коротколанцюгові жирні кислоти	Модуляція кишкової мікробіоти
<i>Lb. plantarum</i>	Безклітинні супернатанти	Протизапальна активність
<i>B. bifidum</i> <i>Lb. plantarum DSA</i> <i>Lb. acidophilus</i> <i>Lb. helveticus CNRZ 32</i> <i>Lb. rhamnosus GG</i>	Вітаміни, органічні кислоти та коротколанцюгові жирні кислоти	Антимікробна, антиоксидантна активність
<i>Лімосилактобактерія реутері</i>	Коротколанцюгові жирні кислоти	Антибактеріальні властивості
<i>Lb. parabuchneri MF2103</i>	Коротколанцюгові жирні кислоти	Модуляція кишкової мікробіоти
<i>Лактиплантибациллус плантарум</i>	Органічні кислоти	Антимікробна активність та антиоксидантна активність
<i>Ентерокок феціум</i>	Бактеріоцин	Антимікробна активність
<i>Ентерокок фекаліс</i>	Бактеріоцин	Антимікробна активність та активність проти проростання спор
<i>Lb. plantarum</i>	Безклітинні супернатанти	Антибактеріальний та антибіоплівковий
<i>Lb. plantarum EIR/IF-1</i>	Безклітинні середовища для культивування	Антимікробна активність
<i>Saccharomyces boulardii</i>	Сублімована та розпилювальна сушка	Профілактика виразкового коліту
<i>Bacillus subtilis H4 i Bacillus amyloliquefaciens LFB112</i>	Ферментація листя шовковиці	Протизапальний та антиоксидантний

Закінчення таблиці 1

Мікроорганізм	Постбіотична молекула	Користь для здоров'я
<i>Lactocaseibacillus rhamnosus</i> (<i>Lc. rhamnosus</i>) GG і <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> (<i>L. plantarum</i>)	Термічно інактивовані культури	Імуномодулюючі властивості
<i>Lb. plantarum</i>	Термічно інактивовані культури Ультразвукові культури	Антибактеріальний та протигрибковий
<i>Lactocaseibacillus paracasei</i> SNB	Капсулярний полісахарид Білок поверхневого шару	Покращення дисфункції кишкового бар'єру та кишкової мікробіоти
<i>Lb. paracasei</i> Shirota	Безклітинний супернатант	Біоповерхнево-активні речовини/біоемальгатор, ліпаза та бактеріоцини
фунт <i>plantarum</i> subsp. <i>plantarum</i> і <i>Bifidobacterium animalis</i> spp. <i>lactis</i> BB-12	Безклітинний супернатант	Антимікробна дія
Фелінус лінкеус	Полісахарид, багатий на галактуронову кислоту	Імуномодулюючі властивості
Кордицепс військовий	Полісахариди	Покращені агрегаційні властивості та вироблення метаболітів пробіотиками

Коротколанцюгові жирні кислоти. КЖК є найважливішими та широко вивченими з кількох метаболітів з різною терапевтичною активністю. КЖК – це леткі органічні метаболіти, що в основному утворюються в результаті ферментації рослинних полісахаридів (пребіотиків) бактеріями товстої кишки. КЖК (ацетат, пропіонат та бутирати) виробляються кишковою мікробіотою шляхом ферментації харчових волокон. Бутират є джерелом енергії для еритроцитів, які відповідають за відновлення кишкового епітелію та модуляцію експресії генів¹⁰. КЖК необхідні для підтримки імунологічного та шлунково-кишкового гомеостазу. Кишкова мікробіота виробляє КЖК, які регулюють метаболізм глюкози та знижують рівень глюкози в крові, що корисно для пацієнтів з діабетом. Протизапальна активність КЖК зумовлена моноцитами та мононуклеарними клітинами крові, що секретують простагландини, цитокіни та хемокіни. Постбіотики, зокрема КЖК, пом'якшують серцево-судинні захворювання, знижуючи оксидативний стрес, рівень холестерину

¹⁰ Maiuolo, Jessica, et al. "The postbiotic properties of butyrate in the modulation of the gut microbiota: the potential of its combination with polyphenols and dietary fibers". *International Journal of Molecular Sciences* 25.13 (2024): 6971.

та запальні процеси. Ацетатні КЖК, отримані з кишкової мікроби, змінюють метаболізм субстратів у всьому організмі зі збільшенням окислення жирів натщесерце, зменшуючи кардіометаболічні фактори ризику¹¹. Бутират натрію як постбіотик зменшує тяжкість болю в животі та інших симптомів, пов'язаних із синдромом подразненого кишечника, покращуючи якість життя пацієнтів.

Безклітинні супернатанти (БКС). БКС, отримані з пробіотичних штамів *Lactobacillus*, багаті на антиоксиданти та протизапальні, антимікробні та протиракові компоненти. Ці біоактивні метаболіти утворюються під час ферментації та збираються центрифугуванням¹². Біоплівки, отримані з включеними постбіотиками *Lb. gasseri*, показали значну кількість поліфенолів з сильними антиоксидантними та антибактеріальними властивостями. БКС *Lb.fermentum*, *Lb.paracasei* та *Lb.brevis* містили вищі рівні поліфенолів, а флавоноїди проявляли антиоксидантну, антибіоплішкову активність та протизапальні властивості. Аналогічно, вміст флавоноїдів спостерігався в пробіотичному екстракті *Lb.rhamnosus*¹³.

Безклітинний екстракт *Lb.fermentum* продемонстрував протиракові властивості щодо клітин колоректального раку¹⁴. Спостерігається ефект боротьби з ожирінням за допомогою безклітинного екстракту *Bacillus velezensis*. Безклітинні супернатанти *Lactobacillus* знизили життєздатність грибків та метаболічну активність і покращили стійкість епітелію до грибків¹⁵.

Пептиди. Більшість кишкових лактобактерій виробляють пептиди, що мають антимікробні властивості, ефективні в боротьбі з бактеріальними та вірусними інфекціями. Ці антимікробні пептиди пригнічують дію бактерій, створюючи пори в клітинних стінках. Антимікробний пептид пригнічує синтез макромолекулярних речовин та руйнує мікробну мембрану. Механізм дії антимікробного пептиду включає підкислення клітинної мембрани, порачію клітинної мембрани, продукцію певних

¹¹ Mousavi Ghahfarrokhi, Seyed Sadeq, et al. "Management of cardiovascular diseases by short-chain fatty acid postbiotics". *Current Nutrition Reports* 13.2 (2024): 294–313.

¹² Prajapati, Nidhi, et al. "Postbiotic production: harnessing the power of microbial metabolites for health applications". *Frontiers in Microbiology* 14 (2023): 1306192.

¹³ Salva, Susana, et al. "Lactobacillus rhamnosus postbiotic-induced immunomodulation as safer alternative to the use of live bacteria". *Cytokine* 146 (2021): 155631.

¹⁴ Sornsenee, Phoomjai, et al. "Lyophilized cell-free supernatants of *Limosilactobacillus fermentum* T0701 exhibited antibacterial activity against *Helicobacter pylori*". *Scientific Reports* 14.1 (2024): 13632.

¹⁵ Spaggiari, Luca, et al. "Lactobacillus acidophilus, *L. plantarum*, *L. rhamnosus*, and *L. reuteri* cell-free supernatants inhibit *Candida parapsilosis* pathogenic potential upon infection of vaginal epithelial cells monolayer and in a transwell coculture system in vitro". *Microbiology spectrum* 10.3 (2022): e02696-21.

ферментів, смертельних для клітин, та пошкодження внутрішніх органел клітин. Бактеріоцини, що виробляються лактобактеріями, є катіонними пептидами переважно впливають на цитоплазматичну мембрану через пори.

Бактеріоцини – це рибосомні пептиди з бактерицидною та бактеріостатичною дією. Бактеріоцини отримують користь завдяки шести фундаментальним принципам, які включають стабільність, спектр, безпеку, різноманітність, біоінженерію та виробництво. З кількох бактеріоцинів нізин та педіоцин є найбільш широко використовуваними постбіотиками у харчових продуктах¹⁶. Постбіотичні поверхневі білки проявляють кілька протизапальних властивостей, поглинають шкідливі важкі метали та зміцнюють функцію епітеліального бар'єра. Постбіотичні пептиди також використовуються для приготування пакувальних матеріалів з антимікробними властивостями.

Вітаміни та ферменти. Вітаміни є важливими постбіотиками, що виробляються кишковою мікробіотою. Люди не біосинтезують вітаміни; вони отримуються з їжею, а деякі вітаміни, такі як В12, виробляються кишковою мікробіотою. Деякі молочнокислотні організми (МКБ) можуть синтезувати вітамін В2 та фолієву кислоту. *Propionibacterium freudenreichii* може синтезувати В12. У промислових масштабах великий інтерес представляють ферменти, такі як протеази, отримані з *Bacillus subtilis*¹⁷. Багато вітамінів діють як коферменти в кількох метаболічних шляхах. Іншим класом постбіотичних метаболітів є ферменти. Ферменти, пов'язані з захисним механізмом, є важливими та відіграють роль у боротьбі з вільними радикалами. Ферменти, отримані з бактерій та грибів, мають промислове значення. Відомо, що пробіотичні ферменти, такі як супероксиддисмутаза, металоферменти, глутатіонпероксидаза та каталази, борються з активними формами кисню. Каталаза, як постбіотичний фермент з *Lb. lactis*, пригнічувала рак товстої кишки у мишей.

2. Фактори, що впливають на постбіотичне виробництво

Субстрат для ферментації. Методи та субстрати ферментації дозволяють цілеспрямовано виробляти постбіотики, використовуючи специфічні мікробні штами, вирощені в умовах, оптимізованих для цієї

¹⁶ Yordshahi, Aidin Shafipour, et al. "Design and preparation of antimicrobial meat wrapping nanopaper with bacterial cellulose and postbiotics of lactic acid bacteria". *International journal of food microbiology* 321 (2020): 108561.

¹⁷ Dobreva, Lili, et al. "Candidate-probiotic lactobacilli and their postbiotics as health-benefit promoters". *Microorganisms* 12.9 (2024): 1910.

мети¹⁸. Вибір субстрату ферментації суттєво впливає не лише на вихід, але й на функціональні властивості отриманих постбіотиків. Крім того, тип субстрату, що використовується під час ферментації, безпосередньо впливає на спектр та концентрацію утворених метаболітів, демонструючи значний вплив на біоактивні властивості отриманих постбіотиків.

Використання різноманітних ферментаційних субстратів, таких як молочні білки, сирна сироватка або відновлювані біоресурси, поряд з інноваційними мікробними штамами, може розширити як спектр, так і ефективність біоактивних метаболітів у постбіотиках. Ці ферментаційні субстрати також відрізняються своєю здатністю підтримувати ріст мікробів та сприяти виробленню різних біоактивних сполук¹⁹. Спостережувані дані свідчать про те, що бульйон MRS (середовище Блікфельда) загалом підтримує більшу проліферацію бактерій порівняно з молоком та демонструє порівнянну ефективність із сироваткою. Однак постбіотики, отримані з бульйону MRS, показали кращі антимікробні властивості, демонструючи більші зони інгібування проти патогенних бактерій, ніж постбіотики, отримані з молока або сироватки, що вказує на залежні від субстрату варіації антимікробної ефективності. Постбіотики, отримані з MRS, також показали кращі характеристики наночастинок порівняно з молоком або сироваткою, що є критично важливим для біодоступності та функціонального застосування постбіотиків у харчових та фармацевтичних системах. Ці результати підкреслюють критичну роль вибору субстрату у формуванні функціональних властивостей постбіотиків, особливо в умовах промислового виробництва, де відтворюваність та ефективність є ключовими факторами. Мінливість у продуктивності субстрату свідчить про необхідність систематичного підходу до оцінки субстрату, забезпечуючи відповідність вибраного середовища виробничим цілям та передбачуваному застосуванню.

Крім того, використання ферментаційних субстратів для постбіотичного виробництва також надає унікальну можливість для промислової переробки та утилізації відходів. Перетворюючи рясні промислові побічні продукти на високоцінні функціональні інгредієнти, це відповідає ширшим цілям сталого розвитку та сприяє скороченню відходів. Це дійсно особливо актуально у випадку сироватки, побічного продукту молочного виробництва, оскільки сироватка служить ефективним ферментаційним субстратом, виробляючи постбіотики з функціональними властивостями,

¹⁸ O'Sullivan, Aaron, Kevin M. Ryan, and Luis Padrela. "Production of biopharmaceutical dried-powders using supercritical CO₂ technology". *The Journal of Supercritical Fluids* 187 (2022): 105645.

¹⁹ Pimentel, Tatiana Colombo, et al. "Postbiotics: An overview of concepts, inactivation technologies, health effects, and driver trends". *Trends in Food Science & Technology* 138 (2023): 199–214.

порівнянними або перевищуючими ті, що отримані з більш традиційних середовищ.

Мікробні штами та консорціуми. Окрім ферментаційних субстратів, оптимізація мікробних штамів та їх консорціумів у вибраних ферментаційних субстратах забезпечує ще один шлях для покращення цільового виробництва постбіотиків за допомогою прецизійної ферментації. На сьогоднішній день різні мікроорганізми, такі як бактерії (*Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Leuconostoc*, *Weissella*, *Bacillus*, *Streptococcus*, *Faecalibacterium*, *Enterococcus* та *Pediococcus*), гриби (*Aspergillus oryzae*, *Phellinus linteus* та *cordyceps militaris*) та дріжджі (*Pichia*, *Kluuyveromyces*, *Torulaspora* та *Saccharomyces*), є найбільш широко використовуваними для виробництва постбіотиків²⁰. Недавні дослідження показують, що різна мікробна динаміка може підвищити загальну біоактивність постбіотиків, тим самим дозволяючи розробляти рецептури зі специфічними перевагами для здоров'я.

Метод ферментації. Тип ферментації, такий як занурений (партійний, підживлюваний) або твердофазний ферментація, є ще одним фактором, який слід враховувати для оптимізованого виробництва постбіотиків. Було показано, що точний контроль над умовами навколишнього середовища максимізує виробництво метаболітів та їх біологічну функцію²¹. В одному з таких досліджень постбіотики, отримані з шовковиці, вироблені в оптимізованих умовах зануреного ферментації, продемонстрували підвищену антиоксидантну активність та зниження маркерів запалення *in vitro*. Досягнення в сенсорних технологіях можуть забезпечити моніторинг у режимі реального часу під час ферментації та забезпечити критично важливі засоби забезпечення якості та консистенції продукту. Ці досягнення в сенсорних технологіях можуть допомогти в регулюванні параметрів ферментації для підтримки оптимальних умов для росту мікробів та виробництва метаболітів, зм'якшуючи мінливість від партії до партії. Однак впровадження технологій моніторингу в режимі реального часу часто обмежується високою вартістю та потребою в спеціалізованій експертизі, що створює перешкоди для їх широкого використання в промислових умовах. Подальший розвиток доступних та економічно ефективних інструментів моніторингу може підвищити надійність постбіотичного виробництва на основі ферментації.

²⁰ Thorakkattu, Priyamvada, et al. "Postbiotics: current trends in food and pharmaceutical industry". *Foods* 11.19 (2022): 3094.

²¹ Zhong, Yujie, et al. "Recent advances and potentiality of postbiotics in the food industry: Composition, inactivation methods, current applications in metabolic syndrome, and future trends". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 64.17 (2024): 5768–5792.

Консенсус ISAPP підкреслює, що процеси ферментації та подальші методи інактивації повинні відповідати певним стандартам, щоб узгодитися з визначенням постбіотиків як препаратів неживих мікроорганізмів та/або їх компонентів, що надають користі для здоров'я²². Консенсус також підкреслює важливість ретельної валідації процесів для забезпечення безпеки продукту, біоактивності та відповідності нормативним вимогам. Консенсус ISAPP також підкреслює, що чіткість нормативних актів є важливою для правильного позиціонування постбіотиків у ширшому ландшафті функціональних харчових продуктів та нутрицевтиків. Встановлення загальноприйнятих визначень та стандартів сприятиме зростанню промисловості, одночасно забезпечуючи безпеку та довіру споживачів. Ці вимоги підкреслюють ширші наслідки оптимізації ферментації, пов'язуючи наукові досягнення з нормативними базами для забезпечення узгодженості та відтворюваності в галузі.

Впровадження підходів «чистого етикетування» у постбіотичному виробництві, які наголошують на використанні натуральних та мінімально оброблених інгредієнтів, робить постбіотики, отримані шляхом ферментації, особливо придатними для цього підходу, пропонуючи такі переваги, як природний контроль росту мікробів та збереження біоактивних сполук. Однак методи виробництва «чистого етикетування» стикаються з труднощами, включаючи вищі витрати та технічні обмеження, пов'язані з масштабуванням систем на основі ферментації.

3. Перспективні методи виробництва постбіотиків

Ефективне виробництво постбіотиків спирається на різноманітні інноваційні методи, розроблені для оптимізації виходу, безпеки та функціональності біоактивних сполук. З розвитком цієї галузі, балансування ефективності, безпеки та промислової доцільності залишається центральним для перетворення наукових знань у практичне застосування. Тому в цьому розділі досліджуються методи, які забезпечують збереження ключових властивостей, що сприяють здоров'ю, водночас забезпечуючи масштабовані, стійкі виробничі процеси шляхом вивчення як традиційних, так і нових технологій.

Традиційні методи термічної обробки.

Традиційні методи в основному використовуються у виробництві постбіотиків, що забезпечують інактивацію мікробів та екстракцію біоактивних сполук. Вони добре обізнані в розробці стабільних

²² Salminen, Seppo, et al. "The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics". *Nature reviews Gastroenterology & hepatology* 18.9 (2021): 649–667.

та безпечних постбіотичних продуктів, що слугують мостом між інноваційними технологіями та практичним промисловим застосуванням.

Термічна обробка вже давно вважається одним з найпоширеніших та економічно ефективних методів виробництва постбіотиків завдяки її ефективності в інактивації мікробів та здатності посилювати вивільнення біоактивних сполук²³. Було відзначено, що термічна обробка, така як пастеризація, автоклавування та омичний нагрівання, при застосуванні до пробіотичних мікробних культур ефективно сприяє екстракції антимікробних, імуномодуючих та антиоксидантних метаболітів. Ступінь інактивації мікробів є значним у харчовій та фармацевтичній галузях, де мікробне забруднення становить значний ризик. Умови термічної обробки, включаючи температуру та тривалість, а також тип штаму, відіграють роль як у виході постбіотиків, так і у фізико-хімічних характеристиках. Специфічність штаму, інтенсивність та тривалість термічної обробки повинні бути ретельно збалансовані для досягнення інактивації мікробів, мінімізуючи небажані зміни властивостей. Крім того, термічна обробка також може впливати на текстурний та розмірний профіль отриманих пробіотиків, що, у свою чергу, може вплинути на їх включення до різних харчових продуктів. Наприклад, було показано, що застосування термічної обробки в діапазоні 70–100 °C впливає на розподіл розмірів наночастинок постбіотиків²⁴. Вищі температури можуть призвести до утворення менших, більш однорідних частинок, що може сприяти кращому диспергуванню та засвоєнню при включенні до харчових матриць. Зміна температури та часу обробки може призвести до отримання постбіотиків з різними функціональними профілями. Високі температури негативно впливають на сенсорні та харчові якості кінцевого продукту. Високотемпературна обробка може призвести до втрати аромату, смаку, кольору та необхідних поживних речовин, тим самим обмежуючи прийнятність термічно оброблених постбіотиків серед споживачів. Застосування тепла також створює ризик зміни структурної цілісності термочутливих біоактивних речовин, таких як пептиди та коротколанцюгові жирні кислоти²⁵. Ці структурні зміни можуть зменшити їхню біологічну активність або змінити їхні корисні для здоров'я властивості.

Нормативна база для постбіотиків, яка наголошує на включенні неживих мікробних клітин або їх компонентів, добре узгоджується з цілями

²³ Sun, Zhe, et al. "Effect of thermal inactivation on antioxidant, anti-inflammatory activities and chemical profile of postbiotics". *Foods* 12.19 (2023): 3579.

²⁴ Dharumadurai, Dhanasekaran. *Postbiotics*. Springer, 2023.

²⁵ Zhou, Zhongkun, and Peng Chen. "Short-chain fatty acids as postbiotics". *Postbiotics*. Academic Press, 2025. 207–227.

контрольованої термічної інактивації. Термічна обробка особливо добре підходить для виконання цих регуляторних вимог шляхом ефективної нейтралізації мікробних клітин без шкоди для фундаментального визначення постбіотиків. Постійний розвиток методів термічної обробки підкреслює її незмінну актуальність у цій галузі, водночас підкреслюючи необхідність інновацій для вирішення поточних проблем. До них належать нові підходи, такі як мікрохвильовий нагрів, радіочастотний нагрів та інфрачервоний нагрів, які пропонують потенційні переваги з точки зору енергоефективності та скорочення часу обробки порівняно з традиційними термічними методами.

Нетермічні технології.

Нетермічні технології пропонують інноваційні підходи до виробництва та покращення виробництва постбіотиків, зберігаючи їхні біоактивні сполуки та забезпечуючи мікробну безпеку. Ці передові методи, починаючи від фізичних і закінчуючи альтернативними методами обробки, відіграють вирішальну роль в оптимізації виробничих процесів, покращенні стабільності продукту та дотриманні стандартів сталого розвитку та нормативних актів²⁶. Ці нові методи, починаючи від високого тиску до ультразвуку, опромінення та холодної плазми, пропонують інноваційні шляхи збереження біоактивних сполук, одночасно підвищуючи мікробну безпеку.

Фізичні методи. Прихильники нетермічних фізичних методів стверджують, що вони перевершують традиційні термічні технології, зберігаючи функціональну та харчову цілісність постбіотиків. Нетермічні фізичні методи демонструють значний промисловий потенціал у виробництві функціональних продуктів харчування. На відміну від термічної обробки, нетермічні методи, такі як ультразвукова обробка, високопродуктивне фотохімічне випаровування та полімерні фільтри, інактивують мікроорганізми без термічної деградації біоактивних сполук, поєднуючи безпеку, сталий розвиток та економічні переваги. Це гарантує, що термочутливі молекули, такі як коротколанцюгові жирні кислоти та бактеріоцини, зберігають свої властивості, такі як антиоксидантна здатність та антимікробна ефективність. Ці технології також покращують ключові сполуки, що сприяють здоров'ю, такі як бактеріоцини та епітеліальні білки, важливі для метаболічного здоров'я та імунomodulaції. З огляду на зростаючий споживчий попит на функціональні продукти, багаті на біоактивні речовини, здатність нетермічних технологій забезпечувати

²⁶ Jadhav, Harsh Bhaskar, Uday S. Annapure, and Rajendra R. Deshmukh. "Non-thermal technologies for food processing". *Frontiers in Nutrition* 8 (2021): 657090.

безпеку, зберігаючи при цьому біоактивність, робить їх кращими за традиційні методи. Крім того, продукти, отримані нетермічними методами, відповідають руху за чисту етикетку, який споживачі асоціюють з більшою користю для здоров'я. Знижене споживання теплової енергії забезпечує економічні та екологічні переваги. Постбіотики, вироблені за допомогою нетермічних процесів, зберігають вищу біодоступність, посилюючи їхню взаємодію з системою хазяїна²⁷. Це збереження сприяє лікуванню хронічних захворювань та системному метаболізму, тоді як збереження структурних особливостей постбіотиків підвищує їхню ефективність у лікуванні запальних та метаболічних розладів. Ці переваги позиціонують нетермічні методи як місток між функціональними продуктами харчування та біотерапією, сприяючи інноваціям у персоналізованому харчуванні та клінічному застосуванні.

4. Потенційне використання новітніх нетермічних технологій з у постбіотичному виробництві

Підсумовуючи, нетермічні фізичні методи пропонують багатообіцяючі досягнення у постбіотичному виробництві, покращуючи екстракцію біоактивних сполук, зберігаючи функціональну цілісність та підтримуючи цілі сталого розвитку. Однак, для оптимізації цих технологій для широкого промислового застосування необхідні подальші інновації в масштабуванні, зниженні витрат та узгодженні нормативних актів.

Ультразвукова технологія. Ультразвукова обробка стала одним з найінноваційніших та найпопулярніших методів серед нетермічних фізичних методів для покращення виробництва постбіотиків. Ультразвукову обробку застосовували до та після ферментації для сприяння руйнуванню мікробних клітин та екстракції метаболітів²⁸. Цей процес базується на принципах акустичної кавітації, де високочастотні звукові хвилі генерують мікробульбашки, які згодом руйнуються, створюючи інтенсивні локалізовані сили зсуву, здатні руйнувати стінки мікробних клітин. Механічний вплив не тільки сприяє ефективному вивільненню постбіотичних компонентів, таких як біосурфактанти, бактеріюцини та епітелієві кислоти, але й дозволяє обробляти складні субстрати для використання мікробами, покращуючи виробництво постбіотиків.

Застосування ультразвукової обробки на певних стадіях ферментації значно знижує значення поверхневого натягу, що свідчить про

²⁷ Żółkiewicz, Jakub, et al. "Postbiotics – a step beyond pre-and probiotics". *Nutrients* 12.8 (2020): 2189.

²⁸ Behzadnia, Asma, et al. "Lactobacillus plantarum-derived biosurfactant: Ultrasound-induced production and characterization". *Ultrasonics Sonochemistry* 65 (2020): 105037.

покращення виходу біосурфактантів. Крім того, цей процес покращив протівірусні властивості під час виробництва постбіотиків з *Lc. plantarum* з використанням агропромислових відходів, таких як меляса та пермеат молочної сироватки, що підкреслює подвійне досягнення: підвищення цінності недорогих субстратів та покращення виробництва та екстракції постбіотиків. Ці результати підкреслюють подвійну роль ультразвукової обробки у підвищенні як сталості використання субстрату, так і функціональної продуктивності постбіотичних продуктів. Однак застосування ультразвуку має бути точно вчасно. Втручання протягом 12-ї години ферментації призвели до оптимального вилучення метаболітів порівняно з попереднім або пізнішим застосуванням. Це підкреслює необхідність ретельного калібрування процесу для максимізації ефективності та одночасного збереження якості вироблених постбіотиків. Окрім покращеного виробництва постбіотиків, високоінтенсивний ультразвук, наприклад, також виявився ефективним у покращенні біоактивних та сенсорних якостей молочних постбіотиків, що робить ці продукти більш привабливими для споживачів.

Постбіотики, отримані з використанням ультразвукової обробки, перевершили термічну обробку з точки зору їхньої антибактеріальної активності (65%) проти *Escherichia coli* порівняно з 51% інактивацією, що спостерігалася в термічно отриманих постбіотичних зразках.

Ультразвукова обробка прискорює час обробки та зменшує споживання енергії, вирішуючи критичні операційні проблеми у великомасштабному виробництві. Ці властивості не лише підвищують економічну ефективність промислових процесів, але й підтримують розробку нових застосувань у рослинних альтернативах.

Емпіричні дослідження показали, що ультразвукова обробка, при стратегічному застосуванні під час процесів ферментації, значно підвищує вихід біоактивних метаболітів та знижує значення поверхневого натягу, як це спостерігається в багатих на біосурфактанти постбіотиках, отриманих з субстратів агропромислових відходів. Ці результати підкреслюють потенціал ультразвуку для оптимізації відновлення високоцінних компонентів, забезпечуючи помітне покращення порівняно з традиційними методами екстракції, одночасно досягаючи цілей сталого розвитку.

Здатність ультразвукової технології зберігати термочутливі біоактивні сполуки, уникаючи при цьому деградації харчових та сенсорних якостей, є основною перевагою над методами термічної обробки. Традиційні методи на основі тепла, хоча й широко використовуються, часто призводять до денатурації або втрати критично важливих постбіотичних

молекул, включаючи бактеріоцини, органічні кислоти та епітеліальні кислоти, тим самим знижуючи біоактивність отриманих продуктів. На противагу цьому, процеси з використанням ультразвуку підтримують структурну та функціональну цілісність цих сполук, забезпечуючи збереження їхніх корисних для здоров'я властивостей. Таке збереження особливо важливе де збереження сенсорних властивостей, таких як смак, колір та текстура, є пріоритетом для прийняття на ринку. Крім того, ультразвукова обробка дозволяє уникнути утворення небажаних термічних побічних продуктів, таких як фурани, які не тільки шкідливо впливають на безпеку продукту, але й не відповідають тенденціям щодо «чистого» етикетування. Ці особливості роблять ультразвукову технологію привабливим варіантом для розробки постбіотиків, які відповідають потребам споживачів у високоякісних, корисних для здоров'я продуктах харчування.

Нещодавні дослідження підкреслили високу ефективність екстракції за допомогою ультразвукової технології, особливо у відновленні фенольних та інших біологічно активних сполук. Покращена екстракція метаболітів, таких як флавоноїди, органічні кислоти та біоактивні пептиди, безпосередньо пов'язана з підвищеною антиоксидантною здатністю, яка є невід'ємною частиною користі постбіотиків для здоров'я, включаючи їх протизапальні властивості та властивості, що посилюють кишковий бар'єр. Покращений вихід та функціональні властивості цих сполук підкреслюють потенційну цінність ультразвукової технології для виробництва потужних постбіотиків, а також з широким спектром біоактивності. Крім того, здатність екстрагувати ці сполуки з ферментаційних бульйонів та складних матриць демонструє універсальність та масштабованість ультразвуку для промислового застосування.

Інтеграція ультразвукової обробки з методами ферментації являє собою передовий підхід до адаптації постбіотичних профілів для конкретних застосувань. Зокрема, було показано, що використання ультразвуку на критичних стадіях ферментації, таких як 12-та година для виробництва біосурфактантів, покращує функціональні характеристики, включаючи протівірусну активність проти патогенів. Модулюючи ступінь порушення клітинної стінки та вивільнення внутрішньоклітинних метаболітів, ультразвук сприяє виробництву постбіотиків з підвищеною біоактивністю та цільовою користю для здоров'я.

Екологічні та економічні переваги ультразвукової технології особливо важливі для її впровадження в промислових масштабах. Як нетермічний метод, ультразвук працює за кімнатної або нижчої температури, що призводить до значного зниження споживання енергії порівняно

з традиційними термічними процесами²⁹. Його швидке та цілеспрямоване руйнування мікробів зменшує потребу в додаткових етапах стерилізації або очищення, що ще більше мінімізує використання ресурсів, включаючи воду та миючі хімікати. Нижча потреба в енергії та ресурсах не тільки зменшує викиди парникових газів, але й знижує експлуатаційні витрати, що робить ультразвук привабливим варіантом для великомасштабного виробництва. Його потенціал для досягнення як економічних, так і екологічних цілей позиціонує його як переконливий вибір для виробників, які прагнуть досягти глобальних цілей сталого розвитку, зберігаючи при цьому високу ефективність виробництва.

Відповідність ультразвукової обробки сучасному визначенню постбіотиків забезпечує її актуальність у регуляторному та ринковому контекстах. Ультразвукова технологія ефективно інактивує мікроорганізми, зберігаючи при цьому їх структурні конфігурації та біоактивні властивості, виробляючи постбіотики, які відповідають цим критеріям визначення. Ця здатність до стандартизації та узгодженості є важливою для прийняття регуляторними органами та точного маркування, підтримки виробників в обґрунтуванні заяв про користь для здоров'я та підтримки довіри споживачів. Крім того, виробництво чітко визначених, високоякісних постбіотиків за допомогою ультразвукової обробки відповідає нормативним базам, що розвиваються, для нових харчових продуктів, сприяючи виходу на міжнародний ринок та зміцнюючи довіру до функціональних харчових продуктів.

Розширення використання ультразвуку в постбіотичному виробництві не лише відповідає цілям сталого розвитку та безпеки, але й стимулює інновації в розробці функціональних продуктів харчування та нутрицевтиків. Зберігаючи біоактивну цілісність, підвищуючи ефективність екстракції та сприяючи сталому використанню ресурсів, ультразвукова технологія вирішує критичні проблеми в процесі постбіотичного виробництва. Її сумісність з існуючими системами виробництва харчових продуктів та здатність інтегруватися з іншими нетермічними методами забезпечують додаткову гнучкість для промислового застосування. Подальші дослідження та вдосконалення параметрів ультразвукової обробки будуть важливими для повної реалізації її потенціалу, що дозволить розробляти постбіотики, які відповідають різноманітним потребам споживачів та клінічним потребам, одночасно підтримуючи глобальні цілі сталого розвитку.

²⁹ Cassani, Lucía, Esteban Gerbino, and Andrea Gómez-Zavaglia. "Technology aspects of probiotic production and live biotherapeutics". *Probiotics for human nutrition in health and disease*. Academic Press, 2022. 143–170.

Обробка під високим тиском.

Хоча високотемпературний полімерний розчин (ВПР) є ще однією перспективною нетермічною технологією з величезним потенціалом для комерціалізації у виробництві постбіотиків, пропонуючи значні переваги у збереженні термочутливих біоактивних сполук та мікробних метаболітів³⁰. Подібно до інших нетермічних технологій, ВПР інактивує мікроорганізми без значної термічної деградації, тим самим забезпечуючи збереження поживних та функціональних якостей, а також передбачувану користь для здоров'я від постбіотичних продуктів. На відміну від традиційних методів на основі тепла, ВПР працює шляхом застосування тиску, який зазвичай коливається від 100 до 600 МПа при кімнатній або злегка підвищеній температурі, ефективно інактивуючи мікроорганізми, уникаючи втрати або денатурації необхідних постбіотичних молекул, включаючи коротколанцюгові жирні кислоти, бактеріоцини та епітеліальні білки. ВПР можна застосовувати для парабіотичного формування *Lc. plantarum* M1UG BL21 з посиленою протипухлинною дією. Здатність ВПР до консервування має вирішальне значення для створення інноваційних рецептур, що дозволяє використовувати конкретні заяви про користь для здоров'я, такі як покращена функція кишкового бар'єру та імунomodуляція. Більше того, нетермічна природа високообробленого харчового продукту (ВПР) робить його сумісним з екологічно чистим етикетуванням та мінімальними обробними рухами, тенденціями, які дедалі більше віддають перевагу сучасним споживачам.

Крім того, ВПР може забезпечити стабілізацію постбіотичних метаболітів, таких як КЖК, бактеріоцини та ЕР, зберігаючи цілісність мікробних клітин до стратегічно цілеспрямованого лізису. Це контрольоване вивільнення може підвищити вихід та біоактивність ключових постбіотичних сполук, полегшуючи їх використання в оздоровчих та біотерапевтичних. Час обробки ВПР у робочому процесі постбіотичного виробництва також можна оптимізувати, наприклад, застосовуючи процес після ферментації, але до повної інактивації, щоб максимізувати як якість, так і кількість вироблених біоактивних сполук. Така оптимізація може призвести до постбіотичних рецептур, збагачених такими сполуками, як молочна кислота, ацетат та циклічні дипептиди, відомі своїми антимікробними та оздоровчими перевагами. Ця здатність робить ВПР цінним інструментом для розробки цільових постбіотичних профілів зі специфічним застосуванням у сфері охорони здоров'я. Мікробні

³⁰ Huang, Hsiao-Wen, et al. "Current status and future trends of high-pressure processing in food industry". *Food control* 72 (2017): 1–8.

штами, такі як *Lactobacillus* та *Bifidobacterium*, унікально реагують на ВПР, впливаючи на вихід та біоактивність похідних постбіотиків. Ця динаміка надає можливості для диференціації продукту та цільової функціональності, пропонуючи величезний потенціал для створення інноваційних рецептур, збагачених постбіотиками, з використанням технології ВПР.

Імпульсні електричні поля (ІЕП).

ІЕП – це дуже ефективний нетермічний метод, який працює як малоінвазивна техніка завдяки своїй точності у балансуванні проникності клітинних мембран та постбіотичного виробництва³¹. ІЕП працює шляхом застосування інтенсивних електричних імпульсів, які створюють тимчасові пори в мембранах мікробних клітин, що дозволяє вибірково екстрагувати внутрішньоклітинні сполуки. Таким чином, цей метод сприяє екстракції внутрішньоклітинних біологічно активних сполук, таких як білки, ЕР та мікробні метаболіти, не викликаючи значних молекулярних пошкоджень, часто пов'язаних зі звичайними термічними методами. Експериментальні дослідження, такі як ті, що стосуються *Lc. rhamnosus*, *L. paracasei* та *Saccharomyces cerevisiae*, продемонстрували здатність ІЕП вивільняти цінні біологічно активні речовини, зберігаючи при цьому їх структурну та функціональну цілісність. Крім того, умови ІЕП, такі як напруженість електричного поля, тривалість імпульсів та частота обробки, можуть бути оптимізовані для максимізації вивільнення внутрішньоклітинних метаболітів для конкретних штамів мікробів та бажаних постбіотичних профілів, зберігаючи при цьому життєздатність клітин до моменту необхідності інактивації. Такі коригування відкривають шлях для адаптованих процесів постбіотичного виробництва, забезпечуючи вищу врожайність та покращену специфічну функціональну або пов'язану зі здоров'ям біоактивність. Ще однією переконливою перевагою ІЕП є його здатність перевершувати традиційні термічні методи у збереженні структурної та функціональної цілісності термочутливих біоактивних сполук. Дослідження підтвердили, що зразки, оброблені ІЕП, демонструють вищий вихід біоактивних сполук та сильнішу біоактивність порівняно зі зразками, що піддавалися термічним процесам. Крім того, швидший час обробки, пов'язаний з ІЕП, який зазвичай коливається від наносекунд до міросекунд, мінімізує ризики термічної деградації, що робить цю технологію особливо придатною для виробництва термолабільних харчових компонентів, корисних для здоров'я.

³¹ Salar, Francisco J., et al. "Ifs and buts of non-thermal processing technologies for plant-based drinks' bioactive compounds". *Food Science and Technology International* 29.5 (2023): 445–479.

Його здатність підтримувати якість продукції, забезпечуючи інактивацію мікробів, позиціонує цю технологію як практичний вибір для великомасштабного виробництва.

Ще однією важливою особливістю ІЕП є його відповідність нормативним та визначеним стандартам для постбіотиків, що постійно розвиваються, яким ІЕП відповідає, забезпечуючи повну інактивацію мікробних клітин, зберігаючи при цьому їхні функціональні метаболіти. Ця відтворювана та точна здатність до інактивації не лише сприяє дотриманню правил безпеки та маркування, але й підтримує забезпечення якості. Така узгодженість є важливою для формування довіри споживачів та забезпечення точної класифікації постбіотичних продуктів, особливо враховуючи, що нормативно-правові бази щодо постбіотиків продовжують розвиватися. З іншого боку, інтеграція ІЕП з іншими нетермальними технологіями пропонує додаткові можливості для покращення постбіотичного виробництва. Дослідження досліджували синергію між ІЕП та ультразвуком, показуючи, що їхні додаткові механізми – ІЕП для цільової пермеабілізації та ультразвук для механічного руйнування клітин – призводять до покращення виходу метаболітів та функціональних властивостей. Наприклад, обробка ІЕП у поєднанні з руйнуванням клітин *S. cerevisiae* під високим тиском показала ефективну та селективну екстракцію різних внутрішньоклітинних компонентів, таких як білки та іонні компоненти. Подібні результати також були описані, де обробка ІЕП дріжджової біомаси призвела до економічно ефективної послідовної екстракції кількох біомолекул з доданою вартістю, таких як β -глюкани. Ці результати підкреслюють потенціал гібридних технологій для оптимізації використання ресурсів, скорочення часу обробки та мінімізації впливу на навколишнє середовище великомасштабних виробничих процесів. Тому подальше дослідження таких синергетичних підходів є важливим для повної реалізації комбінованого потенціалу та переваг цих передових технологій як у виробництві функціональних харчових продуктів, так і в біотерапевтичних застосуваннях. Підсумовуючи, подальше вдосконалення інтеграції ІЕП з іншими технологіями та врахування регуляторних питань може відіграти трансформаційну роль у розвитку галузі постбіотиків та функціональних харчових продуктів.

Альтернативна обробка.

Альтернативні нетермічні методи обробки, такі як холодна плазма, надкритичний CO₂, УФ-випромінювання та іонізуюче випромінювання, також привернули значну увагу до постбіотичного виробництва завдяки їхній здатності досягати ефективної мікробної інактивації, зберігаючи при цьому функціональну та харчову цілісність біоактивних

сполук³². На відміну від традиційних термічних методів, ці технології забезпечують цілеспрямований мікробний контроль без шкоди для структурних властивостей постбіотичних компонентів. Подібно до фізичних нетермічних методів, ці методи також підтримують і можуть навіть підвищувати біоактивність та стабільність ключових постбіотичних метаболітів, таких як коротколанцюгові жирні кислоти та епітеліальні кислоти, тим самим розширюючи їхню корисність у розробці функціональних харчових продуктів. Однак, незважаючи на їхні перспективні властивості, впровадження цих методів вимагає ретельного вивчення їх масштабності, економічної доцільності, сумісності з різноманітними виробничими матрицями, прийнятності для споживачів, необхідності спеціалізованого обладнання та точного калібрування, щоб уникнути надмірного впливу, а також створює труднощі для широкого промислового впровадження альтернативних нетермічних методів обробки для постбіотичного виробництва. Крім того, початкові інвестиції у спеціалізоване обладнання та навчання персоналу викликають сумніви щодо економічної доступності цих методів для малих та середніх підприємств, особливо в менш розвинених регіонах.

Холодна плазма є однією з таких особливо перспективних технік у постбіотичному виробництві завдяки їхній подвійній здатності ефективно інактивувати мікроорганізми та вибірково зберігати або підвищувати концентрації біоактивних молекул. Нові дані також підкреслюють потенціал інтеграції альтернативних нетермічних методів обробки з прецизійними конструкціями ферментації та субстратами для створення постбіотичних рецептур з унікальними функціональними властивостями. Було показано, що специфічні комбінації методів ферментації з альтернативними нетермічними втручаннями збагачують біоактивні профілі вироблених постбіотиків, посилюючи їхню антимікробну, антиоксидантну та протизапальну активність.

Загалом, альтернативні нетермічні методи обробки надають трансформаційну можливість для постбіотичного виробництва, пропонуючи чудове збереження біоактивних речовин, підвищену стабільність продукту та додаткові переваги для сталого розвитку порівняно з традиційними термічними підходами. Однак, подолання проблем стандартизації, масштабності та економічної доцільності матиме вирішальне значення для реалізації їхнього повного промислового потенціалу. У розділах нижче детально представлені ці передові методи.

³² Silva, Eric Keven, M. Angela A. Meireles, and Marleny DA Saldaña. "Supercritical carbon dioxide technology: A promising technique for the non-thermal processing of freshly fruit and vegetable juices". *Trends in Food Science & Technology* 97 (2020): 381–390.

Обробка холодною плазмою.

Обробка холодною плазмою являє собою передову нетермічну технологію, яка привернула увагу завдяки своєму потенціалу в інактивації мікробів, зберігаючи при цьому цілісність чутливих біоактивних компонентів. Механізм, за допомогою якого холодна плазма досягає інактивації мікробів, зосереджений на дії реактивних частинок, таких як кисень та азот, які проникають через мембрани мікробних клітин, що призводить до внутрішньоклітинного порушення та, зрештою, до загибелі клітин без термічної деградації, пов'язаної зі звичайними процесами на основі тепла³³. Зберігаючи структурну та функціональну цілісність температурно-чутливих постбіотичних сполук, таких як коротколанцюгові жирні кислоти та бактеріоцини, обробка холодною плазмою може сприяти виробництву високоякісних постбіотиків зі збереженими властивостями, що сприяють здоров'ю.

Дослідження продемонстрували здатність обробки холодною плазмою зберігати необхідні метаболіти, критично важливі для ефективності постбіотиків, включаючи коротколанцюгові жирні кислоти та епітеліальні кислоти. Ця здатність до збереження робить холодну плазму універсальною технологією, здатною підвищити як безпеку, так і ефективність продуктів, збагачених постбіотиками, і є особливо вигідною для виробництва функціональних інгредієнтів, де збереження біоактивності є надзвичайно важливим.

Порівняно з традиційними термічними процесами, нетермічний підхід холодної плазми значно мінімізує деградацію критично важливих поживних речовин, таких як вітаміни, пептиди та полісахариди, на які часто негативно впливає тепло. Уникнення такої деградації підтримує виробництво постбіотичних продуктів з підвищеною біоактивністю та функціональною цінністю, і таким чином підкреслює здатність холодної плазми досягати подвійних цілей безпеки та ефективності в постбіотичному виробництві.

Експериментальні дані підтверджують здатність продуктів, оброблених холодною плазмою, зберігати мікробіологічну безпеку, зберігаючи при цьому високий рівень біоактивних компонентів. Ця подвійна функціональність робить холодну плазму надійним вибором для розробки продуктів, які відповідають нормативним стандартам безпеки та одночасно мають функціональні переваги для здоров'я. Крім того, порівняльні дослідження показують, що обробка холодною плазмою має

³³ White, Shecoya, et al. "A review of non-thermal interventions in food processing technologies". *Journal of Food Protection* 88.6 (2025): 100508.

менш негативний вплив на сенсорні властивості, такі як колір, текстура та смак, ніж традиційні методи високої температури. Ця здатність підтримує постійні тенденції в харчовій промисловості, де перевага натуральним та мінімально обробленим варіантам відіграє ключову роль у формуванні купівельної поведінки.

Промислова масштабованість холодної плазми підтримується досягненнями в технологіях плазмових пристроїв, включаючи модульні та безперервні потокові системи, які сприяють інтеграції у високопродуктивні виробничі середовища. Однак, мінливість конфігурацій пристроїв, джерел плазми та робочих параметрів створює проблеми, що потребують систематичної оптимізації та стандартизації.

Крім того, сумісність обробки холодною плазмою з іншими біотехнологічними підходами, такими як ферментація, дозволяє розробляти інноваційні постбіотичні рецептури, розроблені для задоволення конкретних потреб у сфері охорони здоров'я або демографічних показників споживачів. Завдяки своїй здатності підтримувати стійкі, безпечні та високоякісні виробничі процеси, холодна плазма являє собою трансформаційну технологію для секторів функціональних продуктів харчування та нутрицевтиків. Використовуючи свій міждисциплінарний потенціал, галузі промисловості можуть розробляти інноваційні рішення, що забезпечують постбіотики, що сприяють здоров'ю, з широкою привабливістю для споживачів та відповідністю нормативним вимогам. Однак подальші дослідження взаємодії між різними видами плазми, мікробними штамами та харчовими матрицями мають вирішальне значення для розробки найкращих практик, які забезпечують стабільні результати у постбіотичному виробництві.

Опромінення.

Опромінення (УФ-випромінювання, γ -опромінення та імпульсне світло) відіграє значну роль у виробництві пробіотичних та постбіотичних харчових продуктів, слугуючи методом підвищення безпеки та подовження терміну придатності без залишення шкідливих хімічних залишків або негативного впливу на сенсорні та харчові властивості³⁴. Застосування технології опромінення в харчовій промисловості привернуло увагу завдяки її здатності ефективно зменшувати мікробне забруднення без необхідності термічної обробки, яка часто може погіршити харчові та сенсорні якості харчових продуктів.

³⁴ Yan, Bing, et al. "From laboratory to industry: The evolution and impact of pulsed electric field technology in food processing". *Food Reviews International* 41.2 (2025): 373–398.

У постбіотичному виробництві опромінення може бути використане для інактивації живих мікроорганізмів, залишаючи після себе їхні корисні метаболіти та клітинні компоненти. Ці методи використовують електромагнітне випромінювання для порушення мікробної ДНК, досягаючи високого рівня мікробної інактивації. Опромінення може ефективно припинити мікробну активність, зберігаючи при цьому структурну цілісність біоактивних сполук, таких як коротколанцюгові жирні кислоти, ферменти та пептиди, які відповідають за постбіотичні ефекти. Тому технології опромінення в поєднанні з деякими методами лізису клітин є особливо вигідними для функціональних харчових систем, де споживчі уподобання все більше віддають перевагу мінімально обробленим продуктам з «чистим» етикетуванням. Дослідження продемонстрували ефективність обробки ультрафіолетовим та імпульсним світлом у підтримці якості та безпеки продуктів, збагачених постбіотиками, уникаючи при цьому термічного або окислювального пошкодження, часто пов'язаного з традиційними методами.

Контрольоване застосування опромінення дозволяє зменшити мікробне навантаження без суттєвої зміни харчових та сенсорних якостей харчового продукту. Крім того, опромінення також може підтримувати свіжість та якість пробіотичних та постбіотичних продуктів, потенційно продовжуючи термін їхнього зберігання та зменшуючи харчові відходи.

Однак, слід ретельно враховувати дозу опромінення, оскільки надмірне опромінення може змінити структуру постбіотичних сполук та інших поживних речовин. Визначення оптимальних параметрів опромінення має вирішальне значення для досягнення балансу між мікробною безпекою та збереженням корисних компонентів. Такі фактори, як тип харчової матриці, цільові мікроорганізми та бажаний термін придатності, необхідно враховувати під час розробки протоколів опромінення для постбіотичних продуктів. Крім того, використання опромінення в харчовій промисловості підлягає регуляторному нагляду для забезпечення безпеки споживачів. Різні країни мають різні правила щодо застосування технології опромінення та маркування опромінених продуктів. Виробники повинні суворо дотримуватися цих правил та надавати споживачам прозору інформацію про використання опромінення у своїй продукції.

Поточні дослідження спрямовані на оптимізацію протоколів опромінення, щоб максимізувати переваги постбіотичного виробництва харчових продуктів, забезпечуючи при цьому безпеку та якість продукції. Вчені досліджують інноваційні підходи, такі як поєднання опромінення з іншими методами для створення нових постбіотичних сполук або підвищення біодоступності існуючих. Ретельно контролюючи процес

опромінення, можна викликати корисні зміни в мікробних метаболітах, що потенційно може призвести до покращення стану здоров'я споживачів. Ці досягнення можуть ще більше підвищити ефективність та застосовність опромінення у функціональній харчовій промисловості.

Оскільки попит на функціональні продукти харчування продовжує зростати, технологія опромінення, ймовірно, відіграватиме дедалі важливішу роль у забезпеченні безпеки, якості та ефективності цих функціональних харчових продуктів. Тому подальші дослідження та розробки в цій галузі сприятимуть удосконаленню методів переробки харчових продуктів та розширенню ринку пробіотиків і постбіотиків.

Надкритичний CO₂.

Обробка надкритичним CO₂ (Sc-CO₂) стала перспективним методом у постбіотичному виробництві, пропонуючи низку переваг порівняно з традиційними методами. Цей інноваційний процес включає вплив на мікробні клітини високого тиску CO₂ у їх надкритичному стані, що викликає руйнування клітин та посилює вивільнення внутрішньоклітинних компонентів. Механізм дії головним чином залежить від здатності Sc-CO₂ проникати крізь клітинні мембрани, спричиняючи швидке зниження тиску та подальший лізис клітин. Унікальні властивості Sc-CO₂ роблять його ідеальним середовищем для постбіотичного виробництва. Його низька в'язкість та висока дифузійність дозволяють йому ефективно проникати в клітинні структури, тоді як низький поверхневий натяг дозволяє легко видаляти його з кінцевого продукту. Таке контрольоване руйнування дозволяє ефективно екстрагувати біоактивні сполуки, включаючи пептиди, ферменти та метаболіти, які складають постбіотичну фракцію.

Крім того, використання Sc-CO₂ у постбіотичному виробництві пропонує низку переваг для навколишнього середовища та безпеки. CO₂ нетоксичний, негорючий та легкодоступний, що робить його безпечнішою альтернативою органічним розчинникам, які зазвичай використовуються в традиційних методах екстракції. Більше того, процес можна проводити за відносно низьких температур, що зменшує споживання енергії та мінімізує ризик термічного розкладу цінних сполук. Крім того, антимікробні властивості Sc-CO₂ сприяють збереженню цих екстрагованих компонентів, забезпечуючи їхню стабільність та біоактивність. Ця притаманна антимікробна дія допомагає запобігти забрудненню під час процесу екстракції та продовжує термін зберігання отриманих постбіотичних продуктів. Нетермічний характер обробки Sc-CO₂ також допомагає підтримувати структурну цілісність та функціональність термочутливих постбіотичних компонентів, що робить

її потенційно придатною для виробництва високоякісних постбіотиків та продуктів з високими сенсорними властивостями.

Більше того, універсальність обробки Sc-CO₂ дозволяє точно налаштувати параметри процесу, такі як тиск, температура та час експозиції. Ця адаптивність дозволяє дослідникам та виробникам оптимізувати умови екстракції для конкретних мікробних штамів або бажаних постбіотичних компонентів, що призводить до більш цілеспрямованих та ефективних виробничих процесів. Крім того, метод обробки Sc-CO₂ добре узгоджується з принципами зеленої хімії та сталого виробництва. CO₂, що використовується в процесі, може бути перероблений, що зменшує кількість відходів та вплив на навколишнє середовище. Цей екологічний аспект у поєднанні з його ефективністю позиціонує обробку Sc-CO₂ як перспективну технологію для майбутнього функціональної харчової промисловості, постбіотичного виробництва та нутрицевтичної промисловості.

Оскільки дослідження в цій галузі продовжують розвиватися, ймовірно, що обробка Sc-CO₂ відіграватиме дедалі важливішу роль у розробці нових постбіотичних продуктів з підвищеною біоактивністю та стабільністю. Потенційне застосування цієї технології виходить за рамки харчової промисловості та нутрицевтиків, з можливим використанням у фармацевтичній, косметичній та інших галузях промисловості, де цінним є вилучення біоактивних сполук з мікробних джерел.

5. Методи нетермічної обробки

Що стосується методів нетермічної обробки, що використовуються для постбіотичного виробництва, кілька нетермічних процедур набули поширення в комерційних умовах. Серед них високотемпературна обробка наразі є однією з найбільш комерційно передових нетермічних технологій, що використовуються в харчовій промисловості, включаючи постбіотичне виробництво. Однак, незважаючи на її зростаюче впровадження, комерційне впровадження високотемпературної обробки у постбіотичному виробництві дещо обмежене такими факторами, як високі капітальні витрати та робота в пакетному режимі, що може вплинути на виробництво та масштабованість. Тим не менш, доведена ефективність цієї технології у збереженні сенсорної та поживної якості підтримує її подальше та ширше застосування в постбіотичному секторі, особливо для продуктів, що потребують м'якої мікробної інактивації та збереження біоактивності. Далі ультразвукова обробка також виходить на передній план і все частіше використовується компаніями в постбіотичному виробничому секторі для вилучення внутрішньоклітинних біоактивних сполук з мікробних клітин.

Ультразвукова обробка виявилася цінною для підвищення ефективності ферментації та збільшення виходу цільових постбіотичних речовин без піддавання їх шкідливому нагріванню. Однак її комерційне використання все ще зростає, а не є повністю усталеним, оскільки компанії продовжують оптимізувати такі параметри, як інтенсивність, тривалість та контроль температури, щоб збалансувати порушення клітин, зберігаючи при цьому біоактивність. Проблеми, пов'язані з масштабуванням та інтеграцією ультразвукової обробки в безперервні промислові процеси, залишаються, але постійні дослідження та промисловий інтерес свідчать про ширше впровадження в найближчому майбутньому для ефективної постбіотичної екстракції.

Екстракція Sc-CO₂ є переважною для отримання специфічних постбіотичних сполук, оскільки це екологічний метод без розчинників, який зберігає стабільність та біоактивність чутливих метаболітів. Однак її використання в постбіотичній екстракції обмежене такими проблемами, як високі початкові інвестиційні витрати, складність обробки гетерогенних мікробних матриць та потреба в спеціалізованому обладнанні та технічних знаннях. Крім того, для ефективного вилучення різноманітних мікробних метаболітів необхідна оптимізація через їхні різні хімічні властивості та спорідненість. Ці фактори обмежують широке комерційне впровадження, хоча поточні дослідження спрямовані на подолання цих бар'єрів та повне використання переваг надкритичного CO₂ для селективного постбіотичного відновлення високої чистоти.

Збільшення масштабів опромінення для постбіотичного виробництва може вплинути як на безпеку, так і на сприйняття на ринку кількома способами. З точки зору безпеки, опромінення ефективно інактивує мікроорганізми без нагрівання, зберігаючи клітинні структури та метаболічну активність. Однак забезпечення постійного дозування та рівномірного впливу в промислових масштабах має вирішальне значення для уникнення неповної інактивації або ненавмисних змін у клітинних компонентах, які можуть вплинути на безпеку або ефективність. З точки зору сприйняття на ринку, опромінення стикається з проблемами через сприйняття споживачами та вимоги регуляторних органів до маркування. Багато споживачів залишаються настороженими до опромінених продуктів через хибні уявлення про радіаційні ризики, що потенційно обмежує проникнення на ринок. Регулюючі органи також вимагають чіткого маркування опромінених продуктів, що може ще більше вплинути на рішення споживачів про купівлю. Тому необхідні зусилля для навчання споживачів щодо безпеки та переваг опромінення, щоб покращити сприйняття споживачами. Крім того, експлуатаційні витрати та вимоги

до інфраструктури для великомасштабних установок опромінення можуть впливати на ціноутворення та конкурентоспроможність продукції. Врахування цих факторів є важливим для успішного комерційного впровадження опромінення у постбіотичному виробництві.

Технології холодної плазми перебувають на ранній стадії впровадження у постбіотичному виробництві, при цьому поточні дослідження та пілотні застосування показують багатообіцяючі результати, але також виявляють значні перешкоди. Технологія холодної плазми є значною мірою експериментальною, з раннім комерційним інтересом до постбіотичного виробництва. Її цінують за здатність інактивувати мікроби та змінювати властивості поверхні, не спричиняючи термічного пошкодження, що може захистити або покращити функціональну якість постбіотичних інгредієнтів. Прагнення до безпечної обробки без залишків позиціонує холодної плазму як потенційне рішення для стерилізації та біоактивної модуляції. Тим не менш, поточне впровадження обмежене проблемою контролю впливу плазми для оптимізації антимікробної дії без пошкодження корисних молекул та складністю масштабування безперервного промислового виробництва. Вартість обладнання, відтворюваність процесу та відсутність усталених регуляторних баз є основними обмежувальними факторами. Загалом, нетермічні технології мають значний майбутній потенціал як методи наступного покоління у постбіотичному виробництві. Досягнення в інженерії, управлінні процесами та науковому розумінні, ймовірно, розширять їх комерційне застосування, що дозволить безпечно та ефективно виробляти високоякісні постбіотики. Якщо ці проблеми вдасться вирішити, нетермічні технології можуть допомогти стимулювати інновації, покращити сталий розвиток процесів та задовольнити зростаючий попит на натуральні та функціональні інгредієнти в харчовому секторі та секторі охорони здоров'я.

6. Промислове застосування

Оптимізація різних параметрів процесу та забезпечення якості є життєво важливими кроками у переході інноваційних постбіотичних технологій від лабораторних досліджень до промислового використання. Загалом, такі фактори, як калібрування процесу, технологічний прогрес та суворий контроль якості, підтримують виробництво безпечних, ефективних та масштабованих постбіотичних продуктів. Ці дані мають вирішальне значення для повного використання нетермічних методів у ширшій сфері розвитку рішень, що сприяють здоров'ю, у харчовій та нутрицевтичній промисловості.

Оптимізація процесів

Зростаюче визнання постбіотиків на ринках функціональних продуктів харчування підкреслює важливість підтримки стандартів якості та безпеки продукції, які є критично важливими для прийняття споживачами та зростання ринку³⁵. Перехід від лабораторного виробництва постбіотиків до промислового середовища вимагає точного застосування оптимізованих параметрів та валідованих концентрацій. Хоча поточні досягнення є багатообіцяючими, необхідні подальші зусилля для створення глобальних регуляторних баз, що підтримують комерціалізацію постбіотиків. Оптимізація нетермічних процесів виробництва постбіотиків передбачає ретельне калібрування умов обробки для адаптації до специфічних характеристик мікробних штамів та субстратів. Такі фактори, як рівень тиску, напруженість електричного поля, а також частота, потужність і тривалість обробки під час ультразвукової обробки, суттєво впливають на вихід постбіотичного продукту та біоактивність кінцевих продуктів. Тому систематична оцінка різних параметрів процесу для нетермічних технологій є вкрай важливою для виявлення взаємодій між змінними та їх впливу на результати мікробної ферментації. Такий підхід не тільки сприятиме відтворюваності постбіотичного виробництва, але й дозволить проводити прогнозне моделювання для промислової масштабованості. Впровадження стратегій контролю процесів не лише забезпечує дотримання нормативних вимог, але й зміцнює довіру споживачів, постійно постачаючи безпечні та ефективні постбіотичні продукти.

Крім того, завдання забезпечення ефективної інактивації мікробів разом зі збереженням чутливих біоактивних сполук є центральним для оптимізації нетермічних процесів. Нетермічні методи, що працюють за м'якших умов, дозволяють уникнути деградації біоактивних речовин, яка зазвичай спостерігається в підходах на основі тепла. Цей баланс є важливим для виробництва постбіотиків, що відповідають консенсусному визначенню, яке вимагає нежиттєздатних мікробних клітин або їх компонентів для забезпечення користі для здоров'я. Досягнення цієї подвійної мети залишається критичною сферою досліджень, особливо щодо підтримки узгодженості між ефективністю та регуляторними стандартами.

Ще одним аспектом оптимізації ефективності постбіотичного виробництва є динамічна природа харчових матриць, які потребують постійного моніторингу в режимі реального часу та адаптивного

³⁵ Thorakkattu, Priyamvada, et al. "Postbiotics: current trends in food and pharmaceutical industry". *Foods* 11.19 (2022): 3094.

коригування параметрів нетермічної обробки для забезпечення стабільності якості продукту та врахування мінливості партій. Оскільки це є поширеною проблемою при масштабуванні від лабораторних до промислових обсягів, впровадження таких систем не тільки посилить функціональні та безпечні контрольні показники, але й забезпечить стабільність продуктів, збагачених постбіотиками, під час виробництва та зберігання. Розробка прогнозних моделей на основі даних моніторингу в режимі реального часу потенційно може запропонувати шляхи для пом'якшення коливань якості сировини або умов обробки. Однак складність взаємодії між параметрами обробки та мікробними реакціями вимагає вдосконалення цих моделей для ширшого застосування, а поточні обмеження в передових технологіях моніторингу вимагають подальшого розвитку для забезпечення високопродуктивного, відтворюваного виробництва постбіотиків.

Інтеграція нетермічних технологій у промислові виробничі лінії пропонує масштабовані та енергоефективні рішення, що відповідають принципам сталого виробництва. Знижуючи експлуатаційні витрати та вплив на навколишнє середовище, ці методи забезпечують значні конкурентні переваги для харчової промисловості, особливо враховуючи зростання попиту споживачів на продукти з чистим етикетуванням та мінімально оброблені продукти. Однак економічна доцільність впровадження таких технологій у великих масштабах вимагає додаткового аналізу витрат і вигод для забезпечення їхньої довгострокової стійкості.

Стратегічний вибір нетермічних технологій для досягнення певних характеристик кінцевого продукту є ключовим фактором у промисловому застосуванні. Економічні, регуляторні та екологічні фактори відіграють важливу роль у визначенні доцільності нетермічних технологій для постбіотичного виробництва. Ці рішення повинні керуватися глибоким розумінням можливостей та обмежень кожної технології для узгодження з виробничими цілями. Певні методи пропонують такі переваги, як нижче споживання енергії, зменшення викидів парникових газів та просте дотримання нормативних вимог завдяки послідовній інактивації мікробів та стандартизації. Однак залишаються проблеми у балансуванні цих переваг з початковими інвестиціями, необхідними для впровадження нетермічних технологій, особливо для менших виробників.

Узгодження технологічних рішень з цілями розробки продуктів гарантує, що досягнення постбіотичних досліджень будуть ефективно перетворені на масштабовані, готові до виходу на ринок застосування. Таке узгодження підтримує еволюцію сектору функціональних продуктів харчування до стійких, корисних для здоров'я продуктів, які відповідають очікуванням споживачів та регуляторних органів. Хоча досягнення

цього узгодження є перспективним, воно вимагає подальшої співпраці між дослідниками, виробниками та політиками для вирішення проблем промислової інтеграції та глобальної конкурентоспроможності.

Забезпечення якості.

Забезпечення якості у нетермічному постбіотичному виробництві приділяє значну увагу контролю параметрів безпеки, щоб гарантувати, що постбіотики не містять життєздатних та потенційно патогенних мікроорганізмів. Технологія високого тиску та імпульсного світла була ретельно вивчена та визнана за свою ефективність в інактивації широкого спектру мікроорганізмів, тим самим мінімізуючи ризик виживання життєздатних клітин у кінцевому продукті. Це особливо актуально для постбіотичних рецептур, оскільки вони призначені для забезпечення користі для здоров'я без потенційних побічних ефектів, пов'язаних з живими бактеріями. Надійна мікробна інактивація, що забезпечується нетермічними технологіями, підтверджує їхню надійність та ширше застосування у функціональних харчових продуктах. Однак, необхідні подальші дослідження для оцінки довгострокових профілів безпеки постбіотиків, оброблених цими методами, та того, як їх антимікробна дія змінюється залежно від різних субстратів та мікробних складів. Комплексні заходи контролю безпеки є незамінними для забезпечення того, щоб нетермічні процеси постбіотичного виробництва відповідали як регуляторним, так і споживчим очікуванням. Регулярний моніторинг кількості мікробів, виявлення ендотоксинів та оцінка інших мікробних побічних продуктів є критично важливими компонентами стратегій контролю якості. Крім того, ці заходи повинні бути узгоджені зі стандартами харчової переробки та міжнародними визначеннями постбіотиків. Забезпечення безпеки цих продуктів особливо варте уваги, оскільки їхні переваги над пробіотиками, а саме відсутність життєздатних організмів, досягаються лише завдяки суворому нагляду під час виробництва. Потрібна подальша робота для стандартизації протоколів виявлення та забезпечення їх сумісності з широким спектром технологічних середовищ, гарантуючи, що як дрібномасштабні, так і промислові виробники зможуть дотримуватися суворих порогів безпеки.

Нетермічні технології значно підвищують безпеку постбіотичного виробництва, уникаючи утворення забруднюючих речовин, що утворюються в процесі виробництва, які часто пов'язані з термічною обробкою. Наприклад, високопродуктивне виробництво, полімерне виробництво та імпульсне світло не утворюють продуктів розкладу, індукованих нагріванням, що відповідає вимогам споживачів до продуктів з чистим етикетуванням та мінімально оброблених продуктів. Аспект

сталого розвитку цих методів також підкреслює їхню здатність зменшувати вплив постбіотичного виробництва на навколишнє середовище, одночасно забезпечуючи високоякісну продукцію без залишків. Незважаючи на ці переваги, подальші порівняльні дослідження є необхідними для оцінки відмінностей у типі та ступені забруднення між різними нетермічними методами та для закріплення їхнього статусу як екологічно чистих альтернатив.

Ще одним аспектом, який слід враховувати при забезпеченні якості постбіотиків, є довговічність та стабільність при зберіганні постбіотиків, вироблених нетермічними методами. Вкрай важливо, щоб постбіотики могли зберігати та забезпечувати суттєву комерційну та наукову користь навіть за складних умов зберігання. Відомо, що постбіотики демонструють надзвичайну стійкість до впливу навколишнього середовища, таких як коливання температури, вологість та вплив світла, що різко контрастує з крихкістю живих пробіотичних формуляцій. Ця підвищена стабільність розширює логістичну можливість інтеграції постбіотиків у різні харчові системи. Однак необхідні більш масштабні дослідження, щоб кількісно визначити точне покращення терміну придатності, що забезпечується різними нетермічними методами, та створити прогностичні моделі, які корелюють конкретні умови виробництва з довгостроковою стабільністю та ефективністю продукту.

Тривалий термін придатності нетермічно оброблених постбіотиків безпосередньо сприяє їхній економічній та практичній придатності для інтеграції в широкий спектр харчових форматів. Незалежно від того, чи включені вони у вигляді сухих порошків, рідких концентратів чи активних компонентів упаковки, ці продукти демонструють мінімальну деградацію за типових умов розповсюдження та зберігання. Ця практична перевага позиціонує постбіотики як кращу альтернативу продуктам на основі живих культур, які часто стикаються з логістичними проблемами через свою чутливість до зовнішніх умов. Тим не менш, необхідні додаткові дослідження для оцінки сумісності постбіотиків зі складними харчовими матрицями, щоб забезпечити їхню функціональну цілісність під час застосування в промислових масштабах.

Здатність нетермічних методів обробки зберігати біоактивні властивості дозволяє розробляти постбіотики зі стабільною ефективністю та передбачуваною користю для здоров'я, сприяючи довірі споживачів та підтверджуючи заяви про користь для здоров'я. Інактивуючи ферментативні та метаболічні процеси розщеплення, нетермічні технології гарантують, що біоактивні сполуки, такі як бактеріоцини, епітеліальні кислоти та органічні кислоти, залишаються неушкодженими. Однак залишається

критично важливим дослідити, якою мірою зберігається структурна цілісність цих молекул за різних умов обробки, та оптимізувати методи виробництва для максимальної функціональності.

Протоколи контролю якості в постбіотичному виробництві повинні забезпечувати цілісність та функціональність чутливих біоактивних сполук, які часто схильні до денатурації під час термічної обробки. Нетермічні технології, такі як холодна плазма та ультразвук, особливо ефективні для збереження структурних та функціональних властивостей цих молекул, що робить їх ідеальними для постбіотичного виробництва. Аналітичні методи для регулярного кількісного визначення концентрації та біоактивності функціональних компонентів мають вирішальне значення для підтвердження ефективності та забезпечення відповідності специфікаціям продукту. Це ще більше підкреслює необхідність стандартизованих у галузі методів для перевірки збереження антимікробних та антиоксидантних властивостей у різноманітних харчових матрицях після обробки.

Безперервна оцінка є життєво важливою для забезпечення стабільності біоактивних профілів у всіх виробничих партіях та масштабованих обсягах, від лабораторних до промислових. Ця узгодженість підтверджує регуляторні та маркетингові заяви щодо безпеки та ефективності постбіотиків. Вкрай важливо розробити надійні системи, які забезпечують відтворюваність від партії до партії, зберігаючи при цьому функціональну цілісність біоактивних сполук. Однак, необхідні додаткові дослідження для вивчення мінливості, що вноситься складом субстрату, вибором штаму мікробів та параметрами нетермічної обробки.

Крім того, регуляторне визначення та належне маркування постбіотиків відіграють вирішальну роль у забезпеченні можливості отримання дозволу на продаж та зміцненні довіри споживачів. Дотримання таких структур, як ті, що встановлені ISAPP, гарантує, що постбіотики точно ідентифікуються як неживі мікроорганізми або їх компоненти з доведеною користю для здоров'я. Прозорі практики маркування, які розкривають методи виробництва, джерела мікробів та підтвержені заяви про користь для здоров'я, є важливими для сприяння регуляторним переглядам та зміцнення довіри споживачів. Однак досягнення узгодженості в регуляторних визначеннях на різних ринках залишається постійною проблемою, яку необхідно вирішити для сприяння глобальному впровадженню постбіотиків як функціональних харчових інгредієнтів. На сьогоднішній день регуляторна база для постбіотиків все ще формується та варіюється в різних куточках світу, тоді як кілька нетермічних процесів починають впроваджуватися компаніями, а інші залишаються переважно на стадії досліджень та розробок. Регуляторний ландшафт

для постбіотиків наразі змінюється, що відображає відносно недавню появу цієї категорії в секторах функціональних харчових продуктів та фармацевтики. На відміну від пробіотиків або пребіотиків, постбіотики не мають універсально встановлених та специфічних регуляторних рамок, що створює як складність, так і гнучкість для компаній, які прагнуть вивести продукцію на ринок. Наразі регуляторний нагляд застосовується відповідно до класифікації продукту – чи то як харчовий інгредієнт, дієтична добавка, чи як фармацевтичний засіб. Такі органи, як FDA у Сполучених Штатах та Європейське агентство з безпеки харчових продуктів (EFSA) у Європі, вимагають комплексної оцінки безпеки, ідентичності, чистоти та передбачуваної користі для здоров'я, значною мірою спираючись на загальні рекомендації, встановлені для біоактивних сполук та нових харчових інгредієнтів. Виробники повинні дотримуватися належної виробничої практики (GMP), забезпечувати узгодженість від партії до партії, контролювати забруднювачі та проводити оцінки ризиків, які демонструють безпеку для споживання людиною. Відсутність спеціальної регуляторної бази для постбіотиків створює проблеми для стандартизації, але також заохочує ретельну наукову характеристику та перевірку безпеки, що має вирішальне значення для прийняття регуляторними органами та довіри споживачів у всьому світі. Крім того, зусилля з гармонізації та глобальні регуляторні діалоги посилюються для розробки чітких визначень та критеріїв прийнятності постбіотиків, що сприятиме процесу їхнього затвердження регуляторними органами та розширенню ринку в найближчі роки.

Дотримання регуляторних визначень є особливо важливим для експорту та міжнародної торгівлі постбіотиками. Різниця у визначеннях або недостатня документація можуть суттєво обмежити доступ до світових ринків. Встановлення гармонізованих глобальних визначень та регуляторних практик залишається незадоволеною потребою в цій галузі, що потенційно перешкоджає масштабованості виробництва постбіотиків.

Хоча у нетермічному постбіотичному виробництві досягнуто значного прогресу, все ще існують прогалини в гармонізованих стандартах, механістичному розумінні та перевірці безпеки. Подальші зусилля повинні бути зосереджені на створенні універсально застосовних стандартних операційних процедур та валідованих аналітичних методів, щоб забезпечити перехресне дослідження та міжгалузеву порівнянність. Також необхідні механістичні дослідження шляхів дії окремих компонентів, таких як специфічні фрагменти клітинної стінки або вторинні метаболіти. З'ясування цих шляхів не тільки оптимізує виробничі процеси, але й покращить терапевтичний індекс отриманих постбіотичних продуктів.

Оцінки безпеки повинні проводитися в кожному окремому випадку, особливо для нових мікробних штамів та нетрадиційних субстратів, оскільки можуть виникнути непередбачені алергенні або біоактивні реакції. Для створення комплексного профілю безпеки постбіотиків необхідні подальші доклінічні та клінічні випробування. Це включає дослідження мінімальних ефективних доз, тривалості дії та потенційної взаємодії з іншими дієтичними або фармацевтичними сполуками, щоб забезпечити наукове обґрунтування заяв про користь для здоров'я.

Зрештою, у терапевтичному контексті необхідні подальші дослідження для встановлення рекомендацій на основі доказів щодо інтеграції постбіотиків у профілактичні та терапевтичні програми. Визначення чітких рекомендацій щодо їх ефективного використання дозволить розробити цільові постбіотичні продукти зі специфічними функціями для здоров'я. Ці зусилля не лише сприятимуть комерціалізації постбіотиків, але й сприятимуть їхній інтеграції в клінічні та функціональні харчові продукти.

Упаковка харчових продуктів.

Було проведено кілька наукових досліджень щодо використання постбіотичних компонентів у пакувальних матеріалах, що має ряд переваг. Розробили наноматеріал для пакування м'яса, включивши постбіотики *Lb. plantarum* до бактеріальної наноцелюлози для вивчення антимікробних властивостей. Подібну бактеріальну наноцелюлозну антимікробну мембрану було виготовлено проти харчових патогенів для харчового застосування.

Незважаючи на численні переваги, постбіотичні комерційні продукти все ще стикаються з проблемами, включаючи обмежене визнання регуляторними органами та низьку обізнаність споживачів. Хоча пробіотики широко відомі та прийняті, концепція постбіотиків залишається відносно новою, що вимагає від компаній інвестувати в чітку комунікацію та навчання. Крім того, хоча ранні клінічні результати є багатообіцяючими, необхідні додаткові випробування на людях, щоб підтвердити конкретні переваги різних постбіотичних штамів та сполук. Тим не менш, галузь швидко рухається до задоволення цих потреб. Великі компанії з виробництва харчових продуктів та інгредієнтів, інвестують у дослідження та розробки, схвалення регуляторних органів та глобальні партнерства для виведення на ринок продуктів, покращених постбіотиками. Ці зусилля доповнюються зростаючим попитом споживачів на продукти, що сприяють здоров'ю, особливо ті, що забезпечують підтримку імунітету, баланс травлення та сумісні з напруженим способом життя. Постбіотики унікально підходять для задоволення цих потреб завдяки своєму профілю

безпеки, гнучкості рецептури та надійній стабільності зберігання. Оскільки споживачі продовжують надавати пріоритет здоров'ю, прозорості та функціональності у своєму виборі продуктів харчування, очікується, що постбіотики відіграватимуть центральну роль у наступному поколінні інновацій у сфері функціональних харчових продуктів. Зі зростанням застосування постбіотичних продуктів від молочних продуктів та напоїв до снєків, хлібобулочних виробів, добавок і навіть кормів для домашніх тварин, комерційні постбіотичні продукти мають всі можливості для трансформації ландшафту харчових продуктів, орієнтованих на здоров'я, у всьому світі.

7. Нормативно-правова база для постбіотиків

Регуляторний ландшафт для постбіотиків залишається фрагментованим та недостатньо розвиненим у світі. На відміну від усталених категорій, таких як пробіотики, постбіотики наразі не мають спеціальних регуляторних рамок, що створює як виклики, так і можливості для виробників, регуляторів та споживачів. Урядові органи в усьому світі вивчають питання регулювання постбіотиків, але до сьогодні не існує офіційних опублікованих рекомендацій чи правил спеціально для постбіотиків як харчових інгредієнтів або дієтичних добавок. Натомість, постбіотичні продукти регулюються чинними законами для харчових продуктів, дієтичних добавок або фармацевтичних препаратів, залежно від їхнього цільового використання. Регуляторний підхід значно відрізняється в різних юрисдикціях. Наприклад, у Японії харчові продукти, що містять постбіотики, дозволені відповідно до чинних норм харчових продуктів із функціональним призначенням; однак у Таїланді доступні різні добавки, що містять постбіотики та отримали схвалення від тайського FDA. Аналогічно, Сполучені Штати регулюють постбіотичні продукти відповідно до своїх заявок на новий дієтичний інгредієнт (NDI), а Міністерство охорони здоров'я Канади схвалює використання терміну «постбіотики» у ситуації, коли виробники надають достатні докази. Австралійське управління терапевтичних товарів (TGA) також дозволило включення постбіотичних інгредієнтів до списку лікарських засобів. В Індії, Китаї, Бразилії та Південній Америці не знайдено жодних правил щодо постбіотиків. Аналогічно, в Європі не існує спеціальної системи регулювання постбіотиків, і вони повинні відповідати рекомендаціям, пов'язаним з харчовими добавками, залежно від їх передбачуваного використання.

У більшості країн регуляторні органи вимагають, щоб виробництво постбіотиків відповідало GMP, забезпечуючи простежуваність

операцій, відповідність об'єктів специфікаціям та відповідність матеріалів. Комплексні системи повинні гарантувати критерії безпеки, якості, ідентичності, ефективності та чистоти для виробленої продукції. Основні компоненти безпеки включають впровадження систем аналізу небезпек для моніторингу хімічних, алергенних, фізичних та біологічних забруднювачів протягом усього виробництва. Критичні контрольні точки повинні бути визначені та контролюватися, а коригувальні заходи вживатися за потреби. Міркування безпеки постбіотиків повинні відповідати встановленим стандартам для живих мікроорганізмів, оскільки постбіотики походять від батьківських штамів мікробів. Це включає оцінку генів стійкості до антимікробних препаратів, факторів вірулентності та здатності до вироблення токсинів. Відсутність консенсусу щодо визначень постбіотиків ще більше посилює регуляторну невизначеність. Розбіжна термінологія та відсутність узгоджених критеріїв перешкоджають розробці конкретних регуляторних баз. Регуляторні органи стикаються з труднощами в категоризації продуктів, які суттєво відрізняються від споріднених категорій, таких як пробіотики. Крім того, на відміну від пробіотиків, постбіотики створюють унікальні труднощі для характеристики фармацевтичного класу, оскільки постбіотичні формуляції можуть містити різні компоненти (клітини, клітинні фрагменти та метаболіти), що вимагає відповідних аналітичних методів для ідентифікації та кількісного визначення. Крім того, через можливе систематичне поглинання постбіотичних сполук, необхідний ретельний розгляд щодо їхніх можливих імуногенних реакцій. Регуляторна база щодо постбіотиків повинна враховувати, що на етикетках будь-яких продуктів має бути зазначено назву мікроорганізму (рід, вид та штам), з якого отримано інгредієнт, тип постбіотика, кількість у відповідних одиницях, гарантовану наприкінці терміну придатності, розмір порції, умови зберігання, термін придатності та контактну інформацію компанії. Нормативно-правова база розвивається в напрямку визнання постбіотиків препаратами неживих мікроорганізмів, здатних надавати користь здоров'ю. Однак міжнародний консенсус має вирішальне значення для встановлення узгоджених критеріїв оцінки, вимог безпеки та інновацій, які сприятимуть ширшому доступу до світового ринку. Регуляторний ландшафт постбіотиків являє собою нову галузь, що вимагає скоординованих зусиль між промисловістю, академічними колами та регуляторними органами. Зі зростанням наукового розуміння постбіотиків, регуляторні бази повинні розвиватися, щоб забезпечити чіткі шляхи для безпечних та ефективних продуктів до споживачів.

ВИСНОВКИ

У цьому огляді критично оцінюється як традиційні, так і новітні нетермічні технології постбіотичного виробництва, з акцентом на їхній ефективності, масштабованості та промисловій застосовності. Він оцінює потенціал нетермічних методів для вирішення проблем у розробці постбіотиків, таких як підтримка біоактивності, забезпечення безпеки та збереження сенсорних якостей, а також дотримання нормативних стандартів та очікувань споживачів. За допомогою систематичного огляду літератури це дослідження досліджує, чи можуть нетермічні технології революціонізувати постбіотичне виробництво та покращити їх інтеграцію у функціональні харчові продукти. Результати дослідження показують, що нетермічні технології, такі як високоєфективна плазмова обробка, полімерна плазма, ультразвук та холодна плазма, пропонують значні переваги порівняно з традиційними термічними процесами. Ці методи зберігають структурну цілісність та посилюють біоактивні властивості постбіотичних компонентів, які є важливими для користі для здоров'я. Дані свідчать про те, що постбіотики, вироблені нетермічними методами, демонструють чудові метаболічні та імуномодулюючі ефекти, підтримують функцію кишкового бар'єра та є перспективними у зниженні ризику хронічних захворювань, долаючи при цьому обмеження традиційних термічних методів. Нетермічні методи виробництва також відповідають сучасним вимогам до виробництва функціональних харчових продуктів, підвищуючи мікробну безпеку, стабільність та консистенцію, необхідні для клінічного застосування. Ці методи оптимізують ефективність обробки, зберігаючи при цьому характеристики, що сприяють здоров'ю, та відповідають галузевим тенденціям до продуктів з чистим етикетуванням, пропонуючи як екологічні, так і економічні переваги. Інтеграція нетермічної обробки з інноваційними стратегіями ферментації може сприяти створенню індивідуальних постбіотичних профілів для конкретних потреб у сфері охорони здоров'я та уподобань споживачів. Цей огляд також підкреслює міждисциплінарний характер постбіотичних досліджень, що охоплюють мікробіологію, харчову інженерію, біотехнологію та громадське здоров'я. Порівнюючи традиційні та нетермічні технології, він демонструє, як інноваційні методи обробки стимулюють розробку функціональних харчових інгредієнтів наступного покоління. Результати підтверджують припущення, що нетермічні технології являють собою фундаментальний зсув у виробництві та використанні постбіотиків, що ще більше посилюється їхньою здатністю відповідати нормативним стандартам. Незважаючи на ці досягнення, кілька обмежень заслуговують на розгляд. Хоча нетермічні методи пропонують технічні переваги, масштабна

валідація їхнього довгострокового впливу на здоров'я залишається недостатньою. Нормативні бази все ще розвиваються, а регіональні відмінності створюють труднощі для гармонізації. Оптимізація параметрів процесу вимагає подальших досліджень для балансування ефективності, безпеки та економічної ефективності під час масштабування, ретельно розглядаючи усунення невідповідностей у дизайні досліджень та стандартах звітності шляхом розробки стандартизованих протоколів для виробництва та забезпечення якості. Інновації необхідні для вдосконалення нетермічних технологій за допомогою передових процесів ферментації, що дозволить точно розробляти постбіотики для цільового застосування. Загалом, нетермічне постбіотичне виробництво стикається з науковими та практичними перешкодами, але надає багатообіцяючі можливості для подальших інновацій та розвитку.

АНОТАЦІЯ

Постбіотики, що визначаються як неживі мікробні клітини та їхні компоненти, що надають користь здоров'ю хазяїна, являють собою значний прогрес у функціональних продуктах харчування та дієтичних добавках. Порівняно з пробіотиками та пребіотиками, постбіотики пропонують переваги у стабільності продукту, безпеці та гнучкості рецептури. У загальній практиці, знищення нагріванням є широко використовуваним методом виробництва постбіотиків. Однак, знищені нагріванням постбіотики мають мало недоліків, таких як присмак горіння, денатурація імуномодуючих молекул та втрата функціональних метаболітів. У цій оглядовій статті розглядається, як новітні нетермічні технології працюють порівняно з традиційними методами виробництва постбіотиків, підкреслюючи їх придатність для впровадження в промислових масштабах та переваги, які вони надають порівняно з традиційною термічною обробкою. На основі літератури в огляді розглядаються ключові нетермічні технології, включаючи обробку високим тиском, імпульсні електричні поля, ультразвук, холодну плазму, надкритичний CO₂ (Sc-CO₂) та опромінення. Їхні принципи та промислова застосовність досліджуються на предмет впливу на біоактивність, стабільність та функціональну цінність постбіотиків, з оцінками, що підкреслюють їхні сильні сторони, обмеження та потенціал оптимізації. Нещодавні досягнення в постбіотичних дослідженнях та нетермічній обробці вказують на значні інноваційні можливості. Однак залишаються проблеми в масштабуванні методів, уточненні параметрів та усуненні регуляторних та економічних обмежень. Промислова інтеграція нетермічних технологій вимагає додаткових доказів

для підтвердження доцільності, економічної ефективності та дотримання вимог безпеки, виявлення ключових прогалин в оптимізації протоколів інактивації, взаємозв'язків між впливом та реакцією, а також клінічного впливу. Огляд ознайомить з основами постбіотики, порівнянням методів виробництва, конкретними нетермічними технологіями та практичними міркуваннями впровадження, тим самим забезпечуючи основу для майбутніх досліджень, спрямованих на оптимізацію використання цих технологій у клінічних та промислових умовах.

Постбіотики нещодавно стали одним із найновіших функціональних харчових продуктів завдяки постійно мінливому ландшафту втручань у здоров'я, спрямованих на мікробіом. Постбіотики, разом з іншими функціональними біотиками, а саме пробіотиками, пребіотиками та синбіотиками, надають свою користь для здоров'я головним чином через модуляцію кишкової мікробіоти. Постбіотики вважаються більш перспективними, ніж пробіотики, оскільки вони викликають подібні ефекти, незважаючи на інактивацію, таким чином усуваючи занепокоєння щодо активності та стабільності штамів, які виникали щодо пробіотиків. Цей огляд намагається дати критичне розуміння постбіотиків, спочатку переглядаючи їх визначення, щоб створити спрощену основу для подальшого обговорення взаємодії між постбіотиками, харчуванням, мікробіотою та здоров'ям. Аналогічно, цей огляд встановлює зв'язок між постбіотиками та пробіотиками, підкреслюючи, що постбіотики також можуть бути отримані з інших мікробів, окрім лактобактерій, таких як дріжджі та гриби. Крім того, представлено огляд екстракції та виробництва постбіотиків, а також біохімію коротколанцюгових жирних кислот, ферментів, пептидів, полісахаридів, пептидогліканів та тейхоевих кислот, які всі були ідентифіковані як компоненти постбіотиків. Нарешті, оцінено їх біоактивність (антиоксидантну, протизапальну, протидіабетичну, імуномодулюючу, антигіпертензивну, антимікробну) та патентний ландшафт постбіотиків з метою сприяння їх інноваційному застосуванню в харчовій, ветеринарній, фармацевтичній та косметичній промисловості. Визначивши основні прогалини та напрямки для вдосконалення, вважається, що цей критичний огляд слугуватиме орієнтиром у зростаючих зусиллях щодо розвитку промислового потенціалу постбіотиків. Таким чином, оскільки було встановлено, що окрім життєздатності пробіотичних мікробів можна отримати різні переваги для здоров'я, інші функціональні класи біотик, включаючи постбіотики, пребіотики та синбіотики, тепер привернули увагу вчених, споживачів, промисловості та інших зацікавлених сторін.

Література

1. Aggarwal, Sunita, et al. "Postbiotics: From emerging concept to application". *Frontiers in Sustainable Food Systems* 6 (2022): 887642.
2. Amobonye, Ayodeji, et al. "Postbiotics: an insightful review of the latest category in functional biotics". *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 41.8 (2025): 293.
3. Ashrafudoulla, Md, et al. "Challenges and opportunities of non-conventional technologies concerning food safety". *World's Poultry Science Journal* 79.1 (2023): 3–26.
4. Asefa, Zerihun, et al. "Postbiotics and their biotherapeutic potential for chronic disease and their feature perspective: a review". *Frontiers in Microbiomes* 4 (2025): 1489339.
5. Benkowski, Andrzej A., et al. "Postbiotics: considerations for safety and quality management". *Poster presented at International Association of Food Protection* (2023).
6. Almahbashi, Amtalsaboob, and Evrim Gunes Altuntas. "From preparation to Bioactivity: A comparative study on preparation methods and characterization of postbiotics". *Food Science & Nutrition* 13.5 (2025): e70294.
7. Thirumdas, Rohit, and Priti Mudgil. "Emerging nonthermal Technologies for the Production of postbiotics". *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 24.6 (2025): e70335.
8. Hijová, Emília. "Postbiotics as metabolites and their biotherapeutic potential". *International journal of molecular sciences* 25.10 (2024): 5441.
9. Fang, Fang, et al. "Effect of potential postbiotics derived from food-isolated *Lactobacillus parabuchneri* on different enterotypes of human gut microbiome". *Lwt* 182 (2023): 114782.
10. Maiuolo, Jessica, et al. "The postbiotic properties of butyrate in the modulation of the gut microbiota: the potential of its combination with polyphenols and dietary fibers". *International Journal of Molecular Sciences* 25.13 (2024): 6971.
11. Mousavi Ghahfarrokhi, Seyed Sadeq, et al. "Management of cardiovascular diseases by short-chain fatty acid postbiotics". *Current Nutrition Reports* 13.2 (2024): 294–313.
12. Prajapati, Nidhi, et al. "Postbiotic production: harnessing the power of microbial metabolites for health applications". *Frontiers in Microbiology* 14 (2023): 1306192.
13. Salva, Susana, et al. "*Lactobacillus rhamnosus* postbiotic-induced immunomodulation as safer alternative to the use of live bacteria". *Cytokine* 146 (2021): 155631.

14. Sornsenee, Phoomjai, et al. "Lyophilized cell-free supernatants of *Limosilactobacillus fermentum* T0701 exhibited antibacterial activity against *Helicobacter pylori*". *Scientific Reports* 14.1 (2024): 13632.
15. Spaggiari, Luca, et al. "Lactobacillus acidophilus, *L. plantarum*, *L. rhamnosus*, and *L. reuteri* cell-free supernatants inhibit *Candida parapsilosis* pathogenic potential upon infection of vaginal epithelial cells monolayer and in a transwell coculture system in vitro". *Microbiology spectrum* 10.3 (2022): e02696-21.
16. Yordshahi, Aidin Shafipour, et al. "Design and preparation of antimicrobial meat wrapping nanopaper with bacterial cellulose and postbiotics of lactic acid bacteria". *International journal of food microbiology* 321 (2020): 108561.
17. Dobрева, Lili, et al. "Candidate-probiotic lactobacilli and their postbiotics as health-benefit promoters". *Microorganisms* 12.9 (2024): 1910.
18. O'Sullivan, Aaron, Kevin M. Ryan, and Luis Padrela. "Production of biopharmaceutical dried-powders using supercritical CO₂ technology". *The Journal of Supercritical Fluids* 187 (2022): 105645.
19. Pimentel, Tatiana Colombo, et al. "Postbiotics: An overview of concepts, inactivation technologies, health effects, and driver trends". *Trends in Food Science & Technology* 138 (2023): 199–214.
20. Thorakkattu, Priyamvada, et al. "Postbiotics: current trends in food and pharmaceutical industry". *Foods* 11.19 (2022): 3094.
21. Zhong, Yujie, et al. "Recent advances and potentiality of postbiotics in the food industry: Composition, inactivation methods, current applications in metabolic syndrome, and future trends". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 64.17 (2024): 5768–5792.
22. Salminen, Seppo, et al. "The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics". *Nature reviews Gastroenterology & hepatology* 18.9 (2021): 649–667.
23. Sun, Zhe, et al. "Effect of thermal inactivation on antioxidant, anti-inflammatory activities and chemical profile of postbiotics". *Foods* 12.19 (2023): 3579.
24. Dharumadurai, Dhanasekaran. *Postbiotics*. Springer, 2023.
25. Zhou, Zhongkun, and Peng Chen. "Short-chain fatty acids as postbiotics". *Postbiotics*. Academic Press, 2025. 207–227.
26. Jadhav, Harsh Bhaskar, Uday S. Annapure, and Rajendra R. Deshmukh. "Non-thermal technologies for food processing". *Frontiers in Nutrition* 8 (2021): 657090.
27. Żółkiewicz, Jakub, et al. "Postbiotics – a step beyond pre-and probiotics". *Nutrients* 12.8 (2020): 2189.

28. Behzadnia, Asma, et al. "Lactobacillus plantarum-derived biosurfactant: Ultrasound-induced production and characterization". *Ultrasonics Sonochemistry* 65 (2020): 105037.
29. Cassani, Lucía, Esteban Gerbino, and Andrea Gómez-Zavaglia. "Technology aspects of probiotic production and live biotherapeutics". *Probiotics for human nutrition in health and disease*. Academic Press, 2022. 143–170.
30. Huang, Hsiao-Wen, et al. "Current status and future trends of high-pressure processing in food industry". *Food control* 72 (2017): 1–8.
31. Salar, Francisco J., et al. "Ifs and buts of non-thermal processing technologies for plant-based drinks' bioactive compounds". *Food Science and Technology International* 29.5 (2023): 445–479.
32. Silva, Eric Keven, M. Angela A. Meireles, and Marleny DA Saldaña. "Supercritical carbon dioxide technology: A promising technique for the non-thermal processing of freshly fruit and vegetable juices". *Trends in Food Science & Technology* 97 (2020): 381–390.
33. White, Shecoya, et al. "A review of non-thermal interventions in food processing technologies". *Journal of Food Protection* 88.6 (2025): 100508.
34. Yan, Bing, et al. "From laboratory to industry: The evolution and impact of pulsed electric field technology in food processing". *Food Reviews International* 41.2 (2025): 373–398.
35. Thorakkattu, Priyamvada, et al. "Postbiotics: current trends in food and pharmaceutical industry". *Foods* 11.19 (2022): 3094.

Information about the authors:

Nehoda Tetiana Stepanivna,

Candidate of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor,
Bogomolets National Medical University
13, T. Shevchenko boulevard, Kyiv, Ukraine

Polova Zhanna Mykolaivna,

Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor,
Bogomolets National Medical University
13, Taras Shevchenko boulevard. Kyiv, Ukraine

05

SECTION



ORGANIZATION OF VETERINARY AND AGRICULTURAL PRODUCTION

ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА БІОБЕЗПЕКИ ЯК ОСНОВА КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ ТВАРИННИЦТВА ТА АКВАКУЛЬТУРИ

Лавринюк О. О., Борщенко В. В., Вербельчук С. П.
DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-695-9-12>

ВСТУП

Сучасний агропромисловий комплекс України перебуває на етапі глибокої трансформації, де питання біобезпеки, якості продукції та здоров'я тварин стають визначальними для виходу на міжнародні ринки. В умовах глобалізації продовольчих ринків та посилення вимог до якості сільськогосподарської сировини, традиційні підходи до ветеринарного обслуговування трансформуються у комплексну парадигму біологічного захисту¹. Для сучасних підприємств тваринництва та аквакультури інтегрована система біобезпеки перестає бути виключно вимогою контролюючих органів. Вона перетворюється на фундаментальний інструмент забезпечення стратегічної конкурентоспроможності та фінансової стабільності бізнесу.

Актуальність дослідження зумовлена насамперед високою епізоотичною волатильністю. Постійна загроза транскордонних інфекцій, таких як африканська чума свиней чи специфічні віруси аквакультури, створює ризики миттєвої втрати капіталу. У сучасних умовах лише системний підхід, підкріплений цифровими інструментами моніторингу, може гарантувати ізоляцію виробничих зон та безперервність технологічних процесів. При цьому впровадження превентивних заходів дозволяє реалізувати принцип «профілактика замість лікування», що безпосередньо підвищує рентабельність через покращення конверсії та збереження здоров'я поголів'я.

¹ Про внесення змін до деяких законів України щодо приведення регулювання у сфері ветеринарної медицини та у сфері благополуччя тварин у відповідність до актів права Європейського Союзу : Закон України від 16.12.2025 р. № 4718-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4718-20>

Окремим чинником виступає експортний потенціал та відповідність міжнародним стандартам. Вихід на преміальні ринки, зокрема країни ЄС, неможливий без підтвердження суворого дотримання принципів простежуваності «від лану до столу»². Інтегрована система біобезпеки виступає гарантом відсутності у продукції патогенних мікроорганізмів та залишків препаратів. Це відповідає сучасному соціальному запиту на екологічність та обмеження використання антибіотиків у сільському господарстві³.

Таким чином, розробка та впровадження інтегрованої системи біобезпеки є стратегічним завданням для менеджменту аграрних підприємств. Поєднання ветеринарних стандартів із сучасними технологіями управління даними дозволяє не лише мінімізувати біологічні ризики, а й сформувати стійку репутаційну перевагу. Такий підхід створює надійну основу для довгострокового домінування підприємства як на внутрішньому, так і на зовнішньому продовольчих ринках.

1. Стратегічні та організаційні засади забезпечення біобезпеки у тваринництві

Сучасна архітектура ветеринарного менеджменту в аграрному секторі базується на принципі диференційованої відповідальності, де загальнодержавна безпека та індивідуальна прибутковість підприємства забезпечуються різними, але взаємодоповнюючими ланками управління. Ключову роль у цій системі відіграє державна вертикаль у формі Держпродспоживслужби, яка виконує функції регулятора та стратегічного гаранта⁴. Через глобальний епізоотичний моніторинг, сертифікацію експорту та нагляд за безпечністю харчових продуктів держава створює необхідний правовий та санітарний фундамент, без якого вихід аграрної продукції на зовнішні ринки був би юридично неможливим.

Безпосередньо на рівні підприємства діє внутрігосподарська ветеринарна служба, що виступає «першою лінією оборони» та забезпечує мікрорівень технологічної стабільності. Її діяльність повністю інтегрована у виробничий цикл тваринництва або аквакультури, фокусуючись на суворому дотриманні технологічної дисципліни, впровадженні заходів превентивної медицини та безперервному моніторингу фізіологічного

² Farm to Fork Strategy / European Commission. 2024. URL: https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en

³ Aquatic Animal Health Code / WOAH. World Organisation for Animal Health. 2025. URL: <https://www.woah.org/en/what-we-do/standards/codes-and-manuals/aquatic-code-online-access/>

⁴ Офіційний вебпортал Державної служби України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів. URL: <https://dpss.gov.ua>

стану поголів'я. Саме ця ланка відповідає за щоденну життєдіяльність стада та мінімізацію внутрішніх технологічних ризиків, що є критичним фактором для операційної стійкості всього господарства.

Доповнює цю структуру гнучкий інструментарій аутсорсингу та спеціалізованого консалтингу, що свідчить про перехід до моделі високотехнологічного менеджменту. Залучення вузькопрофільних експертів дозволяє ефективно вирішувати специфічні завдання, як-от корекція метаболічних розладів через прецизійну оптимізацію раціонів, проведення складної хірургії чи незалежний аудит системи біологічного захисту. У підсумку виникає синергетичний ефект: держава формує безпечне середовище, внутрішня служба гарантує стабільність поточних процесів, а зовнішні фахівці забезпечують технологічний прорив. Така тривінева модель дозволяє не лише мінімізувати біологічні ризики, а й максимізувати додану вартість кінцевого аграрного продукту (Рис. 1).



Рис. 1. Модель синергійної взаємодії суб'єктів ветеринарного забезпечення аграрного сектору України для досягнення біобезпеки

На основі описаної моделі тривіневого ветеринарного менеджменту, аграрним підприємствам рекомендується впровадити комплекс заходів, спрямованих на стратегічну синхронізацію внутрішніх процесів із державними та міжнародними стандартами⁵.

⁵ Biosecurity in animal production and veterinary medicine / J. Dewulf et al. 2018. URL: <https://www.researchgate.net/publication/323626705>

Першочерговим кроком є налагодження тісної взаємодії з Держпродспоживслужбою через узгодження графіків протиепізоотичних заходів та завчасну підготовку до міжнародних аудитів. Це забезпечує безперешкодну сертифікацію продукції та відкриває шлях до преміальних експортних ринків, роблячи діяльність господарства прогнозованою та юридично захищеною.

Важливим організаційним аспектом є цифровізація внутрішньої технологічної дисципліни та фокус на якісних показниках відтворення. Впровадження автоматизованих систем обліку дозволяє здійснювати моніторинг здоров'я поголів'я в режимі реального часу, а інтеграція таких показників, як сервіс-період, у систему оцінки ветеринарної служби прямо стимулює прибутковість⁶. Паралельно з цим, безперервне навчання лінійного персоналу формує надійну «першу лінію оборони», що дозволяє ідентифікувати патології на ранніх етапах і суттєво мінімізувати витрати на подальше лікування.

Для досягнення технологічного прориву підприємствам варто активно використовувати зовнішній експертний ресурс через механізми аутсорсингу. Регулярний незалежний аудит системи біобезпеки, професійний аналіз якості кормів у сертифікованих лабораторіях та залучення спеціалізованих мобільних бригад дозволяють закрити вузькопрофільні ніші, які складно забезпечити власними ресурсами⁷.

У поєднанні з жорстким зонуванням території та цифровим контролем доступу, такий інтегрований підхід перетворює ветеринарну службу на високоефективну систему управління біологічними та економічними ризиками (Рис. 2). Це закладає фундамент для переходу від операційного реагування до стратегічного проектування безпечного виробничого середовища.

Впровадження описаних рекомендацій дозволить трансформувати ветеринарну службу з «центру витрат» на «центр прибутку», гарантуючи при цьому абсолютну безпечність аграрного виробництва.

У сучасній архітектурі аграрного менеджменту концепція біобезпеки розглядається як цілісна система фізичних та адміністративних заходів, спрямованих на мінімізацію ризиків проникнення й поширення

⁶ Asif Raihan. Digital Transformation of Livestock Farming for Sustainable Development. *International Journal of Livestock Research*. 2024. Vol. 14, No. 9. P. 1–11. URL: <https://www.researchgate.net/publication/384940499>

⁷ Biosecurity Guide for Health Management in Aquaculture. Rome : FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, 2024. 112 p.

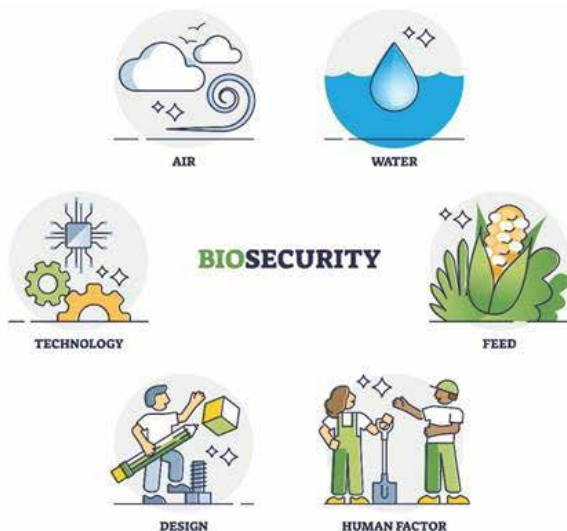


Рис. 2. Основні напрямки біобезпеки

інфекційних агентів у тваринницьких та аквакультурних комплексах⁸. Фундаментальним принципом цієї стратегії є детермінована перевага превенції: інвестиції у високий рівень захисту є суттєво нижчими за прямі та репутаційні збитки від епізоотій.

Система базується на суворому просторово-функціональному зонуванні, що розділяє територію на «брудні» та «чисті» зони. Це забезпечується роботою дезбар'єрів для транспорту, санпропускників для персоналу та оптимізацією внутрішньої логістики, що унеможливорює перехресне забруднення між технологічними групами.

Важливим вектором захисту є механізм карантинування та вхідного біологічного контролю для кожної нової партії тварин або гідробіонтів. Обов'язковий ізоляційний період, що перевищує інкубаційні терміни патогенів, у поєднанні з лабораторною верифікацією створює надійний фільтр для основного поголів'я. Водночас динамічне стратегічне планування дозволяє адаптувати специфічну імунoproфілактику та діагностичний моніторинг до регіональних особливостей і актуальних змін епізоотичної ситуації.

⁸ Biosecurity guide for health management in aquaculture / FAO. Rome : FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1255, 2023. URL: <https://www.apraca.org/wp-content/uploads/2023/06/cc5414en.pdf>

Науковий аналіз підтверджує, що такий підхід гарантує біологічну автономність підприємства та створює стабільну платформу для нарощування продуктивності. У підсумку, інтегровані заходи виступають наріжним каменем безпечності аграрної продукції, забезпечуючи її високу конкурентоспроможність на внутрішньому та зовнішньому ринках (таблиця 1).

Таблиця 1

Порівняльна ефективність систем управління біоризиками

Вектор біобеки	Інвестиції в систему превенції (стратегія випередження)	Потенційні економічні збитки (реактивна модель)	Економічний ефект та окупність
Зонування та санпропускники	Облаштування дезбар'єрів, санпропускників, закупівля спецодягу та дезінфектантів (планові витрати).	Витрати на дезінфекцію осередку спалаху, ліквідацію наслідків контамінації «чистих» зон.	Запобігання занесенню збудника окупає вартість дезбар'єру при першому ж уникненні інфекції.
Карантинування	Утримання ізольованих приміщень, лабораторна верифікація негативного статусу нових партій.	Прямі збитки від падежу основного стада після занесення інфекції новими особинами.	Мінімізація ризику повної втрати генетичного ядра підприємства та дорогого поголів'я.
Протиепізоотичні плани	Планова вакцинація та діагностичний моніторинг відповідно до регіональних ризиків.	Витрати на лікування клінічних форм хвороб, подолання антибіотико-резистентності.	Зниження витрат на медикаменти на 30–50% за рахунок формування колективного імунітету.
Технологічна дисципліна	Цифровізація обліку, навчання персоналу принципам біозахисту.	Штрафні санкції регуляторів, втрата продуктивності (приросту, надоїв) через хронічні патології.	Покращення конверсії корму та збереження планової рентабельності виробництва.
Ринковий статус	Підтримання статусу благополучного господарства для експортної сертифікації.	Втрата експортних контрактів, падіння ціни реалізації продукції на 20–40% через карантинні обмеження.	Гарантований доступ до преміальних ринків та стабільність торговельних зв'язків.

Організація ветеринарної справи та процесів догляду за тваринами трансформується з автономної допоміжної служби на стратегічний інструмент управління прибутковістю. Ефективність менеджменту сьогодні детермінується системою об'єктивних індикаторів, що відображають прямий взаємозв'язок між біобезпекою та фінансовими результатами⁹. Мінімізація втрат, зниження показників падежу та вимушеного забою дозволяє зберегти основний капітал, уникаючи витрат на відновлення поголів'я та дорогої утилізації відходів. Кожна збережена одиниця фактично є прямою інвестицією у стабільність виробничого циклу. Саме цей перехід від операційного збереження активів до довгострокового фінансового планування дозволяє розглядати біозахист у масштабах загальної стратегії підприємства. Впровадження такої моделі є формою страхування біологічних ризиків. У той час як інвестиції в профілактику є контрольованими й складають у середньому 3–7% від собівартості, збитки від епізоотичного спалаху мають лавиноподібний характер і можуть сягати 80–100% капіталізації¹⁰.

Особливе значення має «невидима» окупність. Відсутність спалахів дозволяє уникати тривалого відновлення епізоотичного статусу, яке може тривати роками. Таким чином, ветеринарні витрати переходять із категорії непередбачуваних збитків у категорію контрольованих інвестицій. Окупність досягається також завдяки стабілізації технологічних показників, покращенню конверсії корму на 10–15% та максимальній реалізації генетичного потенціалу особин.

Важливим аспектом економічної оптимізації є підвищення фізіологічної ефективності через підтримання оптимального мікробіоценозу та функціонального стану шлунково-кишкового тракту. Здоровий організм демонструє вищу швидкість росту при ідентичних витратах ресурсів, що суттєво знижує собівартість одиниці продукції. Паралельно відбувається раціоналізація структури витрат, перехід від високовартісної терапевтичної моделі лікування до інвестиційної моделі превентивних заходів¹¹. Систематична вакцинація та дезінфекція потребують значно менших капіталовкладень порівняно з антибактеріальною терапією та прямими збитками від карантинних обмежень.

⁹ Berckmans D. General principles of Precision Livestock Farming. *Animal Frontiers*. 2017. Vol. 7, No. 1. P. 6–11. DOI: <https://doi.org/10.2527/af.2017.0102>.

¹⁰ Terrestrial and Aquatic Animal Health Codes / World Organisation for Animal Health (WOAH). 2024. URL: <https://www.woah.org/en/what-we-do/standards/codes-and-manuals/>

¹¹ Noga E. J. *Fish Disease: Diagnosis and Treatment*. 2nd ed. Wiley-Blackwell, 2010. 536 p. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118786758>

Вирішальним фактором конкурентності стає виробництво екологічно валідованої сировини, вільної від залишків антибіотиків, гормональних препаратів та ксенобіотиків. У сучасних ринкових умовах такий статус є обов'язковою передумовою для отримання категорії «вищого ґатунку» або «органічного продукту», що дозволяє реалізовувати продукцію за преміальними цінами. Окремим чинником капіталізації виступає статус епізоотичного благополуччя – вагомий нематеріальний актив із прямим грошовим вираженням. Можливість безперешкодної сертифікації для експорту забезпечує цінову перевагу, що часто на 20–30% вища за внутрішньоринкову.

При цьому важливо враховувати часовий чинник. У разі масштабного спалаху період повного відновлення продуктивності може тривати до трьох років, що нерідко призводить до повної втрати ринкової частки. Таким чином, інтеграція принципів НАССР та економічно орієнтованого контролю формує стійку екосистему, де біологічна безпека виступає не обтяженням, а фундаментом фінансової успішності. Перехід до інвестиційної моделі превентивних заходів дозволяє агропідприємству не лише зберігати основний капітал (поголів'я), а й капіталізувати статус епізоотичного благополуччя як стратегічну перевагу на світовій арені.

2. Цифровізація та галузева специфіка біобезпеки в інтегрованих агросистемах

Цифровізація та впровадження високотехнологічних інновацій докорінно трансформують сучасне аграрне виробництво, перетворюючи традиційний ветеринарний менеджмент на прецизійну систему управління біологічними активами. Використання інтегрованих ІТ-рішень дозволяє подолати природні обмеження візуального огляду, забезпечуючи перехід до об'єктивного, безперервного моніторингу фізіологічного стану кожної особини в режимі реального часу¹². Впровадження концепції прецизійного тваринництва (*Precision Livestock Farming, PLF*) стає ключовим етапом модернізації аграрного сектору, де суб'єктивні інтуїтивні рішення поступаються місцем глибокому аналізу великих даних (*Big Data*)¹³.

Впровадження систем дистанційного моніторингу, що базуються на використанні біосенсорів та датчиків активності (акселерометрів), дозволяє ідентифікувати субклінічні стадії захворювань задовго до

¹² Wang S., Ghadge A., Aktas E. Digital Transformation in Food Supply Chains: An Implementation Framework. *Supply Chain Management: An International Journal*. 2023. Vol. 29, No. 8. DOI: 10.1108/SCM-09-2023-0463.

¹³ Halachmi I., Guarino M. Sensor-based monitoring in modern livestock systems. *Journal of Agricultural Engineering*. 2025. Vol. 56, No. 1.

появи перших візуальних ознак патології. Автоматизовані системи управління поголів'ям безперервно аналізують поведінкові алгоритми, інтенсивність жуйки, рухову активність та температурні коливання тіла тварини¹⁴. Виявлення мінімальних відхилень від індивідуальної фізіологічної норми дає змогу ветеринарним фахівцям діяти превентивно, застосовуючи точкові корекційні заходи замість масових обробок. Це суттєво мінімізує використання антибактеріальних препаратів, запобігає втраті продуктивного потенціалу та знижує ризик виникнення резистентності.

Цифрова трансформація також охоплює сферу ветеринарно-санітарного контролю у переробній галузі та аквакультури. У переробному секторі впровадження систем електронного контролю забезпечує миттєвий доступ до повного ветеринарного анамнезу сировини, гарантуючи її безпечність на всіх етапах трансформації у готовий продукт. В аквакультури інновації реалізуються через автоматизовані станції контролю параметрів водного середовища, які інтегровані з алгоритмами штучного інтелекту для прогнозування ризиків бактеріальних спалахів на основі аналізу взаємодії патогену та середовища (модель «Триади Снешко»).

Інтеграція цих інновацій формує єдиний інформаційний простір, де дані про стан здоров'я, якість кормів та параметри середовища синхронізуються з показниками безпечності кінцевого продукту¹⁵. Такий підхід не лише підвищує біологічну безпеку підприємства, а й створює прозору систему верифікації якості для кінцевого споживача, що є ключовою вимогою сучасних глобальних ринків. Для детальної візуалізації архітектури такої системи, що базується на використанні біосенсорів та алгоритмів штучного інтелекту, доцільно представити схему потоку даних на сучасному агрокомплексі (Рис. 3).

Дана модель демонструє, що цифровізація кардинально трансформує роль ветеринарного фахівця: замість реактивного лікування клінічних форм хвороб, він переходить до превентивного управління здоров'ям на основі об'єктивних даних. Хмарна платформа в автоматичному режимі аналізує поведінкові моделі та температурні коливання, виявляючи субклінічні стадії захворювань задовго до появи перших візуальних ознак патології.

Для обґрунтування технологічного розриву та економічної доцільності впровадження таких систем, нижче наведено порівняльний аналіз традиційної та цифрової моделей ветеринарного контролю (табл. 2). Цей

¹⁴ MXenes: Emerging Materials for Environmental Biochemical Sensing Platforms / Min Gao et al. 2025. Vol. 3, No. 4. DOI: 10.1002/elt2.70015.

¹⁵ Lekang O. I. Aquaculture Engineering. 3rd ed. Wiley-Blackwell, 2020. 544 p

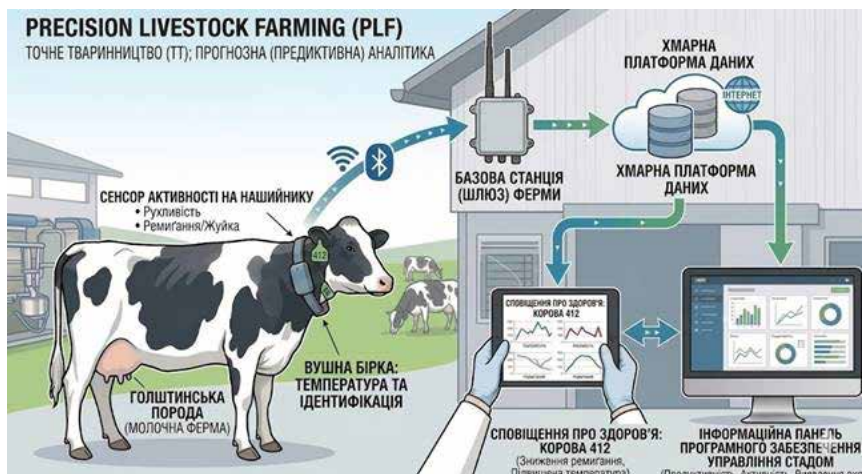


Рис. 3. Модель PLF-моніторингу з використанням хмарних рішень та сенсорів

аналіз дозволяє чітко диференціювати методи збору даних та швидкість прийняття управлінських рішень у сучасних інтегрованих агросистемах.

Таблиця 2

Порівняльний аналіз традиційного та цифрового (прецизійного) ветеринарного моніторингу на тваринницьких комплексах

Параметр порівняння	Традиційний підхід (реактивний)	Цифрова система PLF (превентивний)
Метод збору даних	Суб'єктивний візуальний огляд (людський фактор).	Автоматичний збір об'єктивних даних біосенсорами 24/7.
Час виявлення патології	На стадії появи виражених клінічних ознак (кашель, відмова від корму).	На субклінічній стадії (за 24–48 годин до появи симптомів).
Точність та об'єктивність	Залежить від досвіду персоналу та часу спостереження.	Базується на точних цифрових показниках та алгоритмах аналізу.
Стратегія використання ліків	Масова або вимушена терапія антибіотиками (часто пізно).	Точкова, селективна корекція або превентивне лікування (менші дози).
Економічний ефект	Втрата піку продуктивності, високі витрати на лікування, ризик падежу.	Збереження продуктивного потенціалу, зниження ветеринарних витрат.

Таким чином, наведені дані підтверджують, що цифровізація менеджменту біобезпеки є не просто технологічною інновацією,

а фундаментальним інструментом підвищення економічної ефективності всього агробізнесу. Аналіз архітектури PLF-систем дозволяє зробити висновок про стратегічний перехід до моделі випередження ризиків. Використання біосенсорів та штучного інтелекту забезпечує ідентифікацію патологічних відхилень ще на субклінічній стадії, що дозволяє максимально зберегти продуктивний потенціал кожної особини. Інтеграція цих інновацій формує єдиний інформаційний простір, де дані про фізіологічний стан синхронізуються з показниками безпечності кінцевого продукту – критичною вимогою для виходу на преміальні міжнародні ринки.

Особливо актуальною така цифрова трансформація стає в галузях із високим рівнем біологічного ризику, зокрема в рибництві. Організація сучасної системи біобезпеки в аквакультурі визначається унікальністю середовища життєдіяльності об'єктів вирощування. Вода тут виступає не лише життєвим простором, а й головним вектором трансляції патогенів. Саме тому ветеринарний менеджмент у цій галузі еволюціонує в комплексну систему екологічного та іхтіопатологічного моніторингу, де цифрові датчики дозволяють у режимі реального часу відстежувати фізико-хімічні параметри води, що нерозривно пов'язані з імунним статусом гідробіонтів.

Візуалізація стратегічного підходу до охорони здоров'я гідробіонтів базується на інтеграції класичних наукових концепцій із сучасними інструментами менеджменту. Цей фундаментальний взаємозв'язок між середовищем, організмом та патогеном представлено на рисунку 4 у вигляді моделі Aquaculture Biosecurity Framework (відомої як «Тріада Снешко»). Цифрове моделювання цієї залежності дозволяє ШІ-алгоритмам змістити фокус із симптоматичного лікування на системну профілактику, запобігаючи спалахам хвороб через автоматичне коригування гідрохімічного режиму ще до моменту їх клінічного прояву.

В основі запропонованої архітектури лежить концепція Тріади Снешко (*Snieszko's Triad*), яка фундаментально ілюструє механіку виникнення патологій в аквакультурі. Згідно з цією моделлю, клінічний спалах хвороби (*Disease Outbreak*) не є випадковим явищем, а виступає результатом деструктивної взаємодії трьох критичних факторів: сприйнятливого організму (HOST), інфекційного агента (PATHOGEN) та стресового водного середовища (ENVIRONMENT). Глибоке розуміння цього взаємозв'язку дозволяє ветеринарним фахівцям завчасно ідентифікувати слабкі ланки в екосистемі та діяти превентивно, не допускаючи перетину цих трьох факторів у критичній точці.

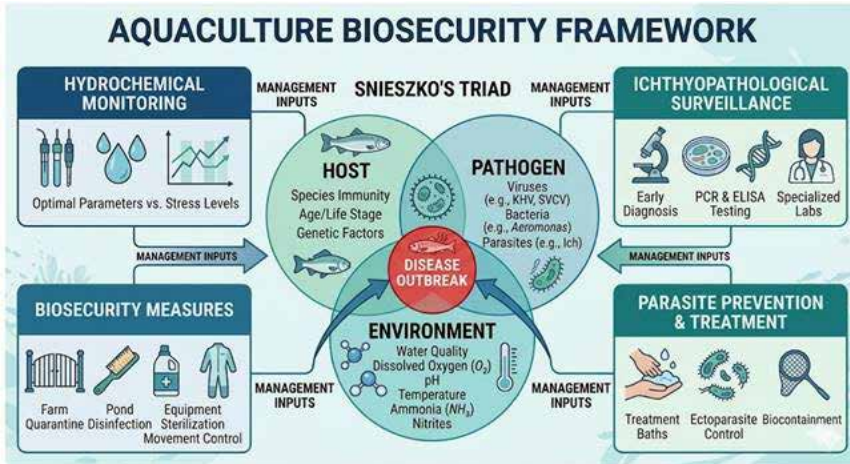


Рис. 4. Комплексна система біобезпеки в аквакультурі
(*Aquaculture Biosecurity Framework*) на засадах Тріади Шенско

Для ефективного розриву ланцюга патогенезу навколо тріади сформовано чотири стратегічні вектори управлінських заходів (*Management Inputs*), реалізація яких у сучасних умовах базується на цифрових рішеннях та прецизійних технологіях. Гідрохімічний моніторинг повністю автоматизується за допомогою мережі інтелектуальних датчиків, що контролюють ключові параметри води (O_2 , pH, NH_3) у режимі реального часу. Інтеграція штучного інтелекту дозволяє не лише збирати ці дані, а й аналізувати їх у динаміці, прогнозуючи потенційні ризики спалахів ще до появи перших клінічних ознак. Це підсилюється активним наглядом із використанням експрес-методів ПЛР-діагностики, впровадженням суворих протоколів біобезпеки та плановою профілактикою паразитозів.

Запропонована модель доводить, що сучасна стратегія в аквакультурі еволюціонувала до превентивного управління екосистемою через глибоку інтеграцію інтелектуальних систем. Системне поєднання всіх чотирьох векторів контролю за підтримки ШІ-аналітики дозволяє не лише нівелювати вплив патогенів, а й гарантувати високий рівень біологічного благополуччя та стабільну продуктивність господарства. Такий підхід створює надійний фундамент для виробництва безпечної продукції, що повністю відповідає суворим вимогам міжнародних стандартів якості та стратегічним запитам глобальних ринків.

Для сучасних аграрних підприємств із замкненим циклом виробництва («від лану до столу») система біобезпеки трансформується у стратегічну

сполучну ланку, що забезпечує наскрізну простежуваність (*traceability*). В аквакультури та тваринництві це передбачає жорсткий контроль кожного етапу: від інкубаційного цеху чи репродуктора до дільниць пакування готової продукції. Такий підхід дозволяє фахівцям не просто фіксувати стан здоров'я особин, а гарантувати повну відсутність залишків антибіотиків, ксенобіотиків чи гормонів у кінцевому продукті. Це критично мінімізує ризики рекламацій, забезпечує відповідність міжнародним стандартам (НАССР, GlobalG.A.P.) та формує високу довіру споживача через прозору історію походження продукту.

Практична імплементація цієї стратегії потребує переведення цифрових даних у площину конкретних управлінських рішень. Перехід від реактивної моделі «лікування за фактом» до проактивної концепції «управління здоров'ям та прибутком» вимагає впровадження системи ключових індикаторів (КРІ). Це дозволяє оцифрувати роботу фахівців із біобезпеки та зоотехнічного персоналу, перетворюючи біологічний захист на вимірюваний економічний актив. Для систематизації щоденного моніторингу та оперативного прийняття рішень доцільно використовувати регламентований перелік об'єктів контролю (табл. 3).

Таблиця 3

**Ключові індикатори ветеринарно-екологічного благополуччя
в аквакультури**

Об'єкт контролю	Показник / Метод	Значення для біобезпеки
Гідрохімія	Розчинений кисень (O ₂), рН, NH ₃ (аміак)	Запобігання асфіксії та хімічним опікам зябер (головний стрес-фактор)
Паразитологія	Мікроскопія зішкрібів зі шкіри та зябер	Раннє виявлення ектопаразитів (іхтіофтіріоз, дактилогіроз) до початку мору
Вірусологія	ПЛР-діагностика, ІФА	Моніторинг особливо небезпечних хвороб (SVC, KHV) для введення карантину
Гігієна ложа	Дезінфекція (хлорне вапно, марганцевокислий калій)	Елімінація спор та яєць гельмінтів у міжсезонний період

Фундаментальною складовою організації біобезпеки є безперервний контроль гідрохімічних показників. Оскільки водне середовище відзначається високою динамічністю, моніторинг рівнів розчиненого кисню, рН, концентрації аміаку, нітритів та нітратів є першочерговим завданням. Навіть незначні коливання цих параметрів виступають потужним стрес-фактором, що призводить до імуносупресії гідробіонтів та відкриває шлях для вторинних інфекцій. Ефективна модель передбачає

впровадження автоматизованих систем сенсорного контролю, які дозволяють коригувати гідрохімічний режим у реальному часі, запобігаючи метаболічному дистресу риб.

Окрему увагу приділяють профілактиці інвазійних та паразитарних хвороб, які в умовах високої щільності посадки можуть спричинити масову загибель водних біоресурсів за короткий проміжок часу. Системний підхід включає регулярну дезінфекцію лож ставів, басейнів та інвентарю, а також проведення планових лікувально-профілактичних ванн. Організація цих заходів потребує суворого дотримання експозиції та концентрації препаратів, щоб забезпечити елімінацію ектопаразитів, не пригнічуючи при цьому фізіологічний стан самих гідробіонтів.

Критично важливим елементом є спеціалізований іхтіопатологічний нагляд, спрямований на ранню діагностику вірусних (наприклад, герпесвірус коропа, весняна віремія) та бактеріальних інфекцій (аеромоноз, псевдомоноз). Сучасна служба біобезпеки в аквакультурі базується на молекулярно-генетичних методах дослідження (ПЛР-діагностика) у спеціалізованих лабораторіях. Своєчасна ідентифікація патогену дозволяє впроваджувати адресні карантинні заходи та специфічну імунопрофілактику, що мінімізує економічні втрати та гарантує біологічну безпеку продукції перед її реалізацією або подальшою переробкою.

Узагальнюючи вищевикладене, можна стверджувати, що ефективна організація системи біобезпеки в сучасній аквакультурі базується на глибокому розумінні етіології хвороб гідробіонтів. Оскільки патологічний процес є результатом складної динамічної взаємодії між організмом, патогеном та специфічним водним середовищем, стратегічне управління зміщується з реактивного лікування на превентивне моделювання екосистеми. Візуалізована модель Aquaculture Biosecurity Framework (Тріада Снешко) чітко демонструє, що критичною точкою контролю є не лише факт діагностики збудника, а й усунення стресових факторів середовища, які виступають тригерами захворювань.

Реалізація цієї стратегії забезпечується через чотири вектори управлінських заходів (*Management Inputs*): безперервний гідрохімічний моніторинг, прецизійний іхтіопатологічний нагляд, системну профілактику паразитозів та суворі протоколи біобезпеки. Завдяки впровадженню інтелектуальних систем моніторингу та ШІ-аналітики, ці вектори формують єдиний інформаційний простір, що дозволяє ідентифікувати ризики на субклінічній стадії та оперативно розривати ланцюг патогенезу.

У підсумку, такий системний підхід гарантує біологічне благополуччя об'єктів вирощування та стабільну продуктивність господарства. Це створює надійну платформу для виробництва екологічно валідованої

продукції, що відповідає найвищим міжнародним стандартам якості та забезпечує стратегічну стійкість аграрного підприємства на конкурентних світових ринках.

3. Економічна детермінація біобезпеки та інструменти стратегічного управління якістю продукції

Перехід до інтегрованих агросистем вимагає докорінної трансформації сприйняття біобезпеки: з витратної частини бюджету вона має перетворитися на стратегічний економічний актив. У межах сучасної концепції «від лану до столу» система захисту стає ключовим гарантом наскрізного контролю (*traceability*), де кожен етап виробництва – від репродуктора до цеху фінальної переробки сировини – суворо підпорядковується міжнародним стандартам НАССР. Такий підхід дозволяє не лише мінімізувати біологічні ризики на всіх рівнях, а й гарантувати абсолютну відсутність ксенобіотиків у кінцевому продукті. Це стає критичним фактором для капіталізації бренду, формування високої доданої вартості та успішного виходу підприємства на преміальні світові ринки.

Ключовим інструментом управління в цій оновленій моделі виступає система КРІ (ключових показників ефективності) ветеринарного та аграрного менеджменту. Оцифрування показників біологічного благополуччя дозволяє керівництву підприємства здійснювати прецизійний контроль над прибутковістю кожного технологічного процесу. Таким чином, біобезпека перетворюється з теоретичного поняття на вимірюваний інструмент стратегічного страхування ризиків. Інвестиції в профілактику, цифровізацію та безперервний моніторинг забезпечують сталу конкурентоспроможність агропідприємства в умовах жорстких глобальних викликів та мінливої епізоотичної ситуації.

Сучасна стратегія гарантування харчової безпеки базується на зміні фундаментальної парадигми: переході від ретроспективного контролю кінцевих показників уже готового продукту до превентивного моніторингу всіх етапів виробничого ланцюга за принципом «від лану до столу»¹⁶. В основі цієї моделі лежить глибока інтеграція системи НАССР (*Hazard Analysis and Critical Control Points*) безпосередньо в технологічні процеси первинного аграрного виробництва. Впровадження НАССР на рівні ферми дозволяє ідентифікувати та локалізувати біологічні, хімічні та фізичні ризики ще до моменту їх потрапляння на переробне підприємство. Ключовий аспект сучасного ветеринарного менеджменту полягає

¹⁶ Про державний контроль за дотриманням законодавства про харчові продукти, корми, побічні продукти тваринного походження, здоров'я та благополуччя тварин : Закон України від 18.05.2017 р. № 2042-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2042-19>

в ідентифікації та управлінні критичними точками контролю (КТК), де стан здоров'я тварин безпосередньо корелює з безпечністю кінцевої харчової продукції¹⁷.

Первинним бар'єром біологічного та хімічного захисту виступає контроль якості й безпечності кормів¹⁸. Оскільки саме аліментарний шлях є основним вектором потрапляння в організм тварин небажаних речовин – від мікотоксинів до важких металів та залишків пестицидів – суворе ветеринарно-санітарна експертиза раціонів стає фундаментом для виробництва чистої сировини. Особливе значення має гігієна технологічних режимів, зокрема процесу доїння, який розглядається як стратегічна КТК. Належна організація цього етапу дозволяє ефективно попередити бактеріальне обмінення сировини та запобігти поширенню маститів. Це безпосередньо впливає на якісний склад продукції, зокрема на кількість соматичних клітин, що визначає не лише безпечність, а й високі технологічні властивості молока для подальшої переробки.

Завершальним етапом превентивного контролю є моніторинг умов зберігання та первинної переробки продукції. Суворе дотримання температурних режимів у танках-охолоджувачах, а також виконання санітарних регламентів у зонах тимчасового зберігання, дозволяє мінімізувати ризики вторинної контамінації. Такий комплексний підхід гарантує цілісність ланцюга безпечності «від лану до столу», де кожна технологічна операція підпорядкована збереженню здоров'я поголів'я та високої якості продукту. Специфіка ветеринарного менеджменту в аквакультури полягає в реалізації концепції «Здоров'я через якість середовища», оскільки вода виступає не лише життєвим простором для гідробіонтів, а й активним транзитним середовищем для патогенів.

Впровадження системи біобезпеки в цій галузі суттєво відрізняється від наземного тваринництва через унікальні фізико-хімічні властивості водного середовища. У межах системи НАССР, особливо для установок замкнутого водопостачання (УЗВ), ключовими критичними точками контролю (КТК) стають гідрохімічний гомеостаз, мікробіологічний статус води та стабільність біофільтрації. Постійний моніторинг рівнів кисню, азотистих сполук та рН дозволяє запобігти хронічному стресу й імуносупресії риб, а регулярна дезінфекція оборотної води за допомогою УФ-опромінення чи озонування мінімізує бактеріальне навантаження без

¹⁷ Офіційний вебпортал Державної служби України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів. URL: <https://dpss.gov.ua>

¹⁸ Про державний контроль за дотриманням законодавства про харчові продукти, корми, побічні продукти тваринного походження, здоров'я та благополуччя тварин : Закон України від 18.05.2017 р. № 2042-VIII : станом на 02 берез. 2026 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2042-19>

використання агресивних хіміопрепаратів. Ветеринарна стратегія «від лану до столу» в рибництві фокусується на комплексному іхтіопатологічному моніторингу та суворому контролі накопичення ксенобіотиків, таких як важкі метали та пестициди, до яких гідробіонти схильні через біоаккумуляцію¹⁹.

Пріоритетним напрямом сучасної аквакультури є мінімізація використання антибіотиків шляхом впровадження пробіотиків та органічних кислот, що дозволяє виробляти продукцію з позначкою «*Antibiotic-Free*». Такий підхід забезпечує високі показники економічної ефективності, що прямо корелюють з індексом виживаності на ранніх стадіях розвитку та питомою швидкістю росту (SGR) до товарної маси, що суттєво пришвидшує оборотність капіталу. Науковий аналіз підтверджує, що ветеринарний менеджмент в аквакультурі остаточно трансформується в інженерно-біологічний контроль. У цій моделі управління здоров'ям гідробіонтів неможливе без прецизійного регулювання параметрів водної екосистеми. Таке інтегроване управління забезпечує біологічну автономність підприємства та створює фундамент для виробництва безпечної, екологічно валідованої продукції, здатної конкурувати на глобальних продовольчих ринках.

Для систематизації превентивних заходів у межах стратегії «від лану до столу» та оцінки їх впливу на економічну стійкість підприємства, ключовим етапом є виокремлення об'єктів моніторингу, де ризики контамінації є найбільш критичними. Нижче наведено структуру основних контрольних точок, що дозволяють оцифрувати біологічну безпеку та інтегрувати її в загальну систему управління якістю агропродукції (табл. 4).

Таблиця 4

**Критичні точки контролю (КТК) в системі НАССР
на етапах виробництва та первинної обробки**

Етап процесу	Об'єкт контролю (КТК)	Основні ризики (біологічні/хімічні)	Метод моніторингу
1	2	3	4
Годівля	Раціони, комбікорми	Мікотоксини, пестициди, важкі метали	Лабораторна експертиза кожної партії
Отримання сировини	Процес доїння	Бактеріальне обсіменіння, субклінічні та клінічні мастити	Контроль кількості соматичних клітин (SCC)

¹⁹ Про аквакультуру : Закон України від 18.09.2012 р. № 5293-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5293-17>

1	2	3	4
Аквакультура (УЗВ)	Водне середовище	Азотисті сполуки (NH ₃ , NO ₂), критичний дисбаланс рН	Гідрохімічні сенсори в режимі реального часу (Real-time)
Зберігання	Танки-охолоджувачі	Порушення температурного режиму, вторинна контамінація	Безперервна термометрія, автоматичні логери температури

Показана ієрархія контролю демонструє, що кожен етап виробничого циклу має власну специфіку детермінації ризиків. У тваринництві та молочному виробництві фокус зміщується на аліментарну безпеку (через корми) та гігієну секретії (через процес доїння), що дозволяє гарантувати високий сорт сировини вже на виході з ферми.

В аквакультурі ж модель КТК трансформується у безперервний технологічний аудит середовища. Оскільки накопичення токсичних метаболітів (аміаку та нітритів) може призвести до миттєвих економічних втрат, використання інтелектуальних сенсорів стає не просто технічною опцією, а обов'язковою умовою виживання біоактиву. Усі ці заходи в сукупності формують фундамент для наскрізної простежуваності, що дозволяє підприємству документально підтвердити безпечність продукту для кінцевого споживача (Рис. 5).



Рис. 5. Модель наскрізної простежуваності «Від лану до столу» на засадах НАССР та КРІ

Дана модель демонструє фундаментальний перехід від ретроспективної перевірки готового продукту до стратегії циклічного та наскрізного управління безпечністю. В основі цієї системи лежать чотири ключові фази, що об'єднані єдиним ветеринарним моніторингом і спрямовані на повну ліквідацію ризиків ще до моменту їх виникнення. Первинне виробництво, що охоплює тваринництво та аквакультуру, стає базовим етапом, де завдяки технологіям точного тваринництва (PLF) та установкам замкнутого водопостачання (УЗВ) здійснюється прецизійний контроль критичних точок (КТК). Моніторинг вхідних ресурсів, зокрема кормів на вміст мікотоксинів, та підтримання гідрохімічного гомеостазу водойм дозволяють попередити патології на рівні їх зародження, що безпосередньо відображається на показниках збереженості поголів'я (*Survival Rate* > 95%).

Наступні етапи логістичного ланцюга – транспортування та зберігання – фокусуються на забезпеченні безперервності «холодового ланцюга» та повної простежуваності (*Traceability*). Ветеринарний нагляд на цій фазі гарантує, що сировина, будь то молоко, м'ясо чи риба, потрапляє на переробку без втрати своєї біологічної цінності та без ризиків вторинної контамінації. Це створює надійний місток між фермою та переробним цехом, де ветеринарно-санітарна експертиза стає найбільш жорстким фільтром. Скринінг на ксенобіотики (антибіотики, гормони) та ретельне патоморфологічне дослідження паренхіматозних органів у поєднанні з принципами НАССР дозволяють повністю елімінувати біологічні чи хімічні загрози перед фінальним пакуванням.

Кінцевим результатом реалізації такої інтегрованої моделі є вихід на ринок екологічно валідованої продукції з високим ступенем довіри споживача. Маркування *Antibiotic-Free* та підтверджена безпечність стають потужним інструментом формування доданої вартості для агробізнесу. Таким чином, ветеринарний менеджмент трансформується у гаранта здоров'я нації та фундамент конкурентоспроможності вітчизняного бренду на глобальному продовольчому ринку.

Реалізація стратегії наскрізної контролю ідентифікації знаходить своє логічне завершення на етапі безпосередньої переробки отриманої сировини. Організація ветеринарної справи на переробних підприємствах характеризується докорінною зміною функціональних пріоритетів: основний акцент зміщується з лікувально-профілактичної роботи на ветеринарно-санітарну експертизу, гігієну та токсикологічний контроль. Головною детермінантою цієї діяльності є забезпечення біологічної безпеки харчових продуктів шляхом недопущення потрапляння збудників

зооантропонозів (хвороб, спільних для тварин і людей) у трофічний ланцюг²⁰.

Система контролю на забійних та переробних об'єктах базується на багаторівневій верифікації стану сировини, що починається з обов'язкового передзабійного огляду. Ця процедура дозволяє не лише відсіяти тварин з клінічними ознаками інфекцій, а й ідентифікувати особин у стані гострого стресу, оскільки метаболічні зміни в організмі стресованих тварин критично погіршують рН-показники та технологічні властивості м'яса (Рис. 6).

Система контролю на забійних та переробних об'єктах базується на багаторівневій верифікації стану сировини, що починається з обов'язкового передзабійного огляду. Ця процедура дозволяє не лише відсіяти тварин з клінічними ознаками інфекцій, а й ідентифікувати особин у стані гострого стресу, оскільки метаболічні зміни в організмі стресованих тварин критично погіршують рН-показники та технологічні властивості м'яса (Рис. 6).

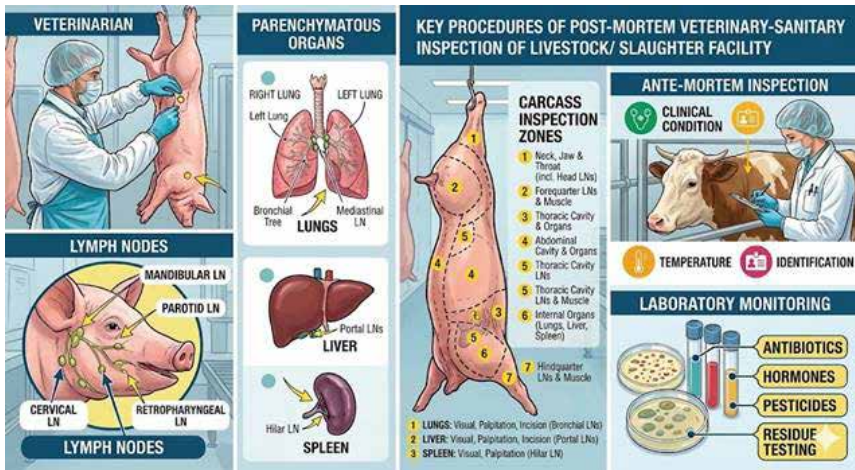


Рис. 6. Комплексна модель ветеринарно-санітарної експертизи та моніторингу залишків ксенобіотиків на забійному підприємстві

Центральною ланкою системи захисту є післязабійна ветеринарно-санітарна експертиза, яка передбачає детальний патологоанатомічний

²⁰ Про ветеринарну медицину та благополуччя тварин : Закон України від 04.02.2021 р. № 1206-IX : станом на 02 берез. 2026 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1206-20/ed20260301/>

огляд туш та внутрішніх органів. Особлива увага приділяється дослідженню лімфатичних вузлів та паренхіматозних органів (печінки, легень, селезінки), що дозволяє виключити латентні форми інфекційних та паразитарних захворювань, які неможливо діагностувати при живому огляді. Цей етап є критичною точкою контролю, де приймається остаточне рішення щодо придатності сировини для харчових цілей або необхідності її технічної утилізації.

Для систематизації превентивних заходів та оцінки їх впливу на кінцеву безпечність продукції доцільно згрупувати основні етапи ветеринарного нагляду в єдину аналітичну модель. У таблиці 5 представлено ієрархію контрольних процедур, що дозволяє провести експрес-аналіз потенційних економічних та біологічних ризиків на кожному етапі переробного циклу.

Таблиця 5

Етапи та об'єкти ветеринарно-санітарного контролю на переробному підприємстві

Етап контролю	Об'єкт дослідження / Параметри	Мета та значення для безпечності
Передзайбний огляд	Клінічний стан, температура, рівень стресу (поведінка).	Недопущення хворих тварин; запобігання погіршенню рН м'яса через стрес.
Експертиза туш	Стан м'язової тканини, підшкірної клітковини.	Виключення антраксу, ящуру та інших гострих інфекцій.
Експертиза органів	Лімфовузли, легені, печінка, селезінка.	Діагностика туберкульозу, цистицеркозу (фінозу) та паренхіматозних патологій.
Лабораторний моніторинг	Вміст антибіотиків, гормонів, пестицидів, бакпосів.	Гарантування відсутності ксенобіотиків та збудників харчових токсикоінфекцій (Salmonella тощо).

Завершальний рівень безпеки забезпечується шляхом суворого лабораторного моніторингу готової продукції. Науково обґрунтовані методи аналізу дозволяють здійснювати прецизійний контроль залишків ветеринарних препаратів (зокрема антибіотиків), гормональних стимуляторів росту та пестицидів. Такий інтегрований підхід гарантує, що готова продукція відповідає національним та міжнародним стандартам безпечності, мінімізуючи ризики хімічного та біологічного впливу на організм споживача та забезпечуючи високу довіру до аграрного бренду.

Впровадження цілісної системи KPI (*Key Performance Indicators*) у ветеринарний та аграрний менеджмент дозволяє трансформувати роботу фахівців із формального виконання інструкцій у площину стратегічного управління здоров'ям і прибутком підприємства. Такий підхід базується на

оцифруванні біологічних процесів, де показники здоров'я та збереженості поголів'я виступають головним дзеркалом якості профілактичної роботи та ефективності збудованих біобар'єрів. Високий відсоток збереженості (*Survival Rate*), який для ВРХ має становити >95–97%, у поєднанні з низьким індексом захворюваності (*Morbidity*), свідчить про превентивний характер ветеринарної служби, що мінімізує випадки вимушеного вибракування (*Culling Rate*) через хронічні патології.

Економічний блок показників дозволяє менеджменту оцінювати ветеринарні заходи як інвестиційний актив, а не лише як статтю витрат. Розрахунок вартості ветеринарного обслуговування на 1 кг готової продукції та коефіцієнт окупності заходів (*ROI*) наочно демонструють фінансову доцільність інвестицій у біобезпеку. Особлива увага в цій системі приділяється динаміці використання антибактеріальних засобів: планомірне зниження витрат на антибіотики є прямим підтвердженням покращення загальної гігієни та успішної імунопрофілактики, що відповідає сучасним вимогам екологічності та стандартам GlobalG.A.P.

Технологічна ефективність виробництва досягається через тісну інтеграцію ветеринарних та зоотехнічних маркерів. Показники середньодобового приросту (*ADG*) та виходу ділового молодняка дозволяють ідентифікувати загрози (приховані інфекції або метаболічні розлади) на ранніх етапах, до настання клінічних проявів. На заключному етапі переробки система КРІ замикається показниками якості, мінімізацією рекламацій та ідеальними результатами мікробіологічних змивів. Це гарантує, що кожна одиниця продукції – від філе риби до м'ясних виробів – відповідає найвищим стандартам безпечності, забезпечуючи підприємству стабільну репутацію та повний контроль усього виробничого циклу.

Для забезпечення сталого розвитку агропідприємства в умовах глобальної конкуренції необхідно перейти від якісних описів здоров'я тварин до кількісних індикаторів. Система ключових показників ефективності (КРІ) ветеринарного менеджменту дозволяє оцифрувати біологічні ризики та оцінити їх вплив на фінансовий результат. У таблиці «Система ключових показників ефективності (КРІ) ветеринарного менеджменту» показано комплексну ієрархію індикаторів, розподілених за категоріями біологічної ефективності, технологічного розвитку та економічної якості.

Структура інтегрованої системи КРІ демонструє взаємозв'язок між оцифруванням процесів біобезпеки та загальною рентабельністю агропідприємства замкненого циклу. Ця модель дозволяє менеджменту приймати рішення на основі даних, де кожен ветеринарний захід валідується через пришвидшення оборотності капіталу та мінімізацію рекламацій.

Таблиця 6

Система ключових показників ефективності (KPI) ветеринарного менеджменту

Категорія KPI	Показник (англійською/ українською)	Цільове значення / Сутність	Економічний ефект
Біологічна ефективність	Survival Rate (Збереженість)	>95–97% (для ВРХ)	Зниження прямих збитків від падежу
	Morbidity (Захворюваність)	Мінімально можливий рівень	Зменшення витрат на лікування
	Culling Rate (Вибракування)	Контроль хронічних патологій	Оптимізація ремонтного молодняку
Технологічний розвиток	ADG (Середньодобовий приріст)	Максимізація за породою	Скорочення терміну відгодівлі
	Yield of young stock (Вихід молодняку)	Високий індекс відтворення	Формування виробничого потенціалу
Економіка та Якість	ROI (Окупність інвестицій)	Коефіцієнт окупності заходів	Підтвердження доцільності біобезпеки
	Antibiotic usage dynamics	Стабільне зниження	Відповідність GlobalG.A.P.
	Reclamations level (Рекламації)	Прагнення до 0%	Збереження репутації та бренду

Деталізація цих показників у стратегічному контексті представлена в таблиці 7, де кожному KPI присвоєно конкретний орієнтир та визначено його роль у формуванні ринкової стратегії бренду.

Таблиця 7

Деталізація ключових показників ефективності (KPI) ветеринарного менеджменту

Сектор контролю	Показник (KPI)	Цільовий орієнтир	Вплив на стратегію
Біобезпека	Survival Rate (Збереженість)	>95–97%	Мінімізація прямих збитків
Біобезпека	Morbidity (Захворюваність)	Динамічне зниження	Скорочення витрат на препарати
Продуктивність	ADG (Середньодобовий приріст)	Згідно з генетичним потенціалом	Пришвидшення оборотності капіталу
Рентабельність	ROI ветеринарних заходів	Коефіцієнт > 1,0	Валідація інвестицій у захист
Якість бренду	Reclamations (Рекламації)	Прямус до 0%	Гарантія довіри споживача

Аналіз наведених вище показників (табл. 6 та 7) дозволяє стверджувати, що перехід до управління на основі KPI докорінно змінює роль ветеринарного фахівця: він стає не просто лікарем, а менеджером біологічних ризиків, відповідальним за капіталізацію активів. Оцифрування таких параметрів, як ROI, Morbidity та Survival Rate, надає керівництву підприємства прозорий інструмент для оцінки доцільності інвестицій у біобезпеку та дозволяє прогнозувати фінансові результати ще на етапі вищивання молодняку.

Для візуалізації синергії між біологічною ефективністю, технологічним прогресом та економічною рентабельністю розроблено цілісну архітектуру управління, що представлена на Рис. 7.



Рис. 7. Модель інтегрованої системи KPI ветеринарного менеджменту агропідприємства

Дана модель демонструє складну циклічність та глибоку взаємозалежність чотирьох ключових векторів стратегічного ветеринарного менеджменту. В основі цієї інтегрованої системи лежить принцип наскрізної простежуваності (*Traceability*), яка виступає сполучною ланкою між біологічною ефективністю, технологічним розвитком, економічною детермінацією та якістю кінцевого бренду. Таке поєднання формує єдину цифрову екосистему управління «здоров'ям і прибутком», де кожен ветеринарний захід має чітко визначену мету та вимірюваний результат.

Первинним етапом цієї моделі є біологічна ефективність, що фокусується на мінімізації показників падежу та захворюваності,

створюючи надійний фундамент для стабільного виробництва. Наступний вектор – технологічний розвиток – трансформує цей біологічний потенціал у конкретні виробничі результати, такі як максимізація середньодобових приростів (ADG) та високий вихід ділового молодняка. Економічна детермінація, у свою чергу, валідуює ці процеси через прецизійні фінансові маркери: окупність інвестицій (ROI), зниження вартості ветеринарного обслуговування на одиницю продукції та планомірну оптимізацію витрат на антибактеріальні препарати.

Завершальна фаза циклу – якість продукції та довіра споживача – гарантує відсутність рекламацій та повну відповідність світовим стандартам GlobalG.A.P. і HACCP²¹. Наведена модель переконливо доводить, що сучасний інтегрований ветеринарний менеджмент є невід’ємною складовою агрономічної інженерії. Він забезпечує не лише біологічну автономність підприємства, а й створює екологічно валідований продукт, здатний формувати високу лояльність аудиторії на преміальних продовольчих ринках.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження дозволяє констатувати, що сучасна організація ветеринарної справи в аграрному секторі остаточно трансформувалася з вузькопрофільної лікувальної дисципліни у фундаментальну систему стратегічного менеджменту, що гарантує біологічну та харчову безпеку держави. Інтегрований підхід до ветеринарного управління базується на таких ключових положеннях:

Ефективність сучасного тваринництва та аквакультури визначається не інтенсивністю лікування, а якістю побудови багатоступеневих біологічних бар’єрів. Використання моделі «Триади Снешко» та прецизійний аналіз компонентів середовища (O_2 , рН, NH_3 , якість кормів) доводять, що лише синергія технологічних рішень та суворих протоколів контролю дозволяє запобігати спалахам інфекцій ще на доклінічному етапі.

Впровадження систем точного тваринництва (PLF), використання біосенсорів, хмарних платформ та предиктивної аналітики забезпечують перехід до об’єктивного управління здоров’ям. Це дозволяє здійснювати безперервний моніторинг кожної особини в режимі реального часу та ідентифікувати субклінічні стадії захворювань за 24–48 годин до появи візуальних ознак, що є критичним для збереження економічної стійкості підприємств.

²¹ Integrated Farm Assurance Standard v6.0 / GlobalG.A.P. 2024. URL: <https://www.globalgap.org/uk/for-producers/integrated-farm-assurance-ifa/>

Ветеринарна служба виступає ключовим інструментом простежуваності (traceability) у замкненому циклі виробництва. Поєднання прижиттєвого моніторингу з жорсткою ветеринарно-санітарною експертизою на переробних підприємствах гарантує елімінацію зооантропонозних ризиків та повну відсутність у продуктах залишків антибіотиків, гормонів чи пестицидів. Це є фундаментом для реалізації стратегії Antibiotic-Free та виходу на преміальні ринки.

Переведення ветеринарної діяльності у площину вимірюваного бізнес-активу через систему ключових показників (Survival Rate >95–97%, Morbidity, ROI заходів) надає менеджменту дані для прийняття стратегічних рішень. Це сприяє зниженню собівартості продукції при одночасному підвищенні її екологічної валідації та доданої вартості.

Стабільність аграрного сектору забезпечується взаємодією державної служби, внутрішньогосподарського контролю та консалтингу. Така архітектура дозволяє оперативно реагувати на глобальні епізоотичні виклики, підтримуючи експортний потенціал та конкурентоспроможність українського агробізнесу в межах стандартів GlobalG.A.P. та HACCP.

Таким чином, інтегрована система ветеринарного забезпечення виступає фундаментом сучасного агровиробництва, гарантуючи продовольчу безпеку, високу рентабельність підприємств та здоров'я нації в цілому через концепцію «Єдине здоров'я» (One Health).

АНОТАЦІЯ

У роботі досліджено актуальні аспекти організації ветеринарної справи як стратегічного компонента сучасного аграрного бізнесу. Висвітлено проблематику переходу від реактивної моделі лікування до проактивної системи управління біобезпекою, що базується на синергії державної та приватної вертикалей контролю. Обґрунтовано економічну доцільність ветеринарних інвестицій, які трансформуються з джерела витрат у фактор підвищення рентабельності. Особливу увагу приділено технологічній конвергенції, зокрема впровадженню систем точного тваринництва (PLF) та прецизійного моніторингу в аквакультурі, що дозволяє ідентифікувати субклінічні стадії захворювань за 24–48 годин до появи видимих симптомів.

Результати дослідження доводять, що інтеграція процесів вирощування та переробки в єдину систему на засадах принципів HACCP гарантує повну простежуваність (traceability) продукту «від лану до столу». Запропоновано авторську систему ключових показників ефективності (KPI), яка дозволяє оцифрувати результативність менеджменту через індикатори збереженості поголів'я (Survival Rate) та окупності заходів (ROI). Доведено, що впровадження цифрових інновацій та суворе

дотримання протоколів ветеринарно-санітарної експертизи є фундаментом конкурентоспроможності агропідприємств на міжнародних ринках. Сформульовані висновки підтверджують роль інтегрованого ветеринарного забезпечення як гаранта продовольчої та біологічної безпеки держави в межах глобальної концепції One Health.

Література

1. Офіційний вебпортал Державної служби України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів. URL: <https://dpss.gov.ua> (дата звернення: 26.03.2026).
2. Про аквакультуру : Закон України від 18.09.2012 р. № 5293-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5293-17> (дата звернення: 26.03.2026).
3. Про ветеринарну медицину та благополуччя тварин : Закон України від 04.02.2021 р. № 1206-IX : станом на 02 берез. 2026 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1206-20/ed20260301/> (дата звернення: 26.03.2026).
4. Про внесення змін до деяких законів України щодо приведення регулювання у сфері ветеринарної медицини та у сфері благополуччя тварин у відповідність до актів права Європейського Союзу : Закон України від 16.12.2025 р. № 4718-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4718-20> (дата звернення: 26.03.2026).
5. Про державний контроль за дотриманням законодавства про харчові продукти, корми, побічні продукти тваринного походження, здоров'я та благополуччя тварин : Закон України від 18.05.2017 р. № 2042-VIII : станом на 02 берез. 2026 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2042-19> (дата звернення: 26.03.2026).
6. Berckmans D. General principles of Precision Livestock Farming. *Animal Frontiers*. 2017. Vol. 7, No. 1. P. 6–11. DOI: <https://doi.org/10.2527/af.2017.0102>.
7. Asif Raihan. Digital Transformation of Livestock Farming for Sustainable Development. *International Journal of Livestock Research*. 2024. Vol. 14, No. 9. P. 1–11. URL: <https://www.researchgate.net/publication/384940499> (дата звернення: 26.03.2026).
8. Biosecurity Guide for Health Management in Aquaculture. Rome : FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, 2024. 112 p.
9. Biosecurity in animal production and veterinary medicine / J. Dewulf et al. 2018. URL: <https://www.researchgate.net/publication/323626705> (дата звернення: 26.03.2026).

10. Farm to Fork Strategy / European Commission. 2024. URL: https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en (дата звернення: 26.03.2026).
11. Biosecurity guide for health management in aquaculture / FAO. Rome : FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1255, 2023. URL: <https://www.apraca.org/wp-content/uploads/2023/06/cc5414en.pdf> (дата звернення: 26.03.2026).
12. Integrated Farm Assurance Standard v6.0 / GlobalG.A.P. 2024. URL: <https://www.globalgap.org/uk/for-producers/integrated-farm-assurance-ifa/> (дата звернення: 26.03.2026).
13. Halachmi I., Guarino M. Sensor-based monitoring in modern livestock systems. *Journal of Agricultural Engineering*. 2025. Vol. 56, No. 1.
14. Lekang O. I. *Aquaculture Engineering*. 3rd ed. Wiley-Blackwell, 2020. 544 p.
15. MXenes: Emerging Materials for Environmental Biochemical Sensing Platforms / Min Gao et al. 2025. Vol. 3, No. 4. DOI: 10.1002/elt2.70015.
16. Noga E. J. *Fish Disease: Diagnosis and Treatment*. 2nd ed. Wiley-Blackwell, 2010. 536 p. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118786758> (дата звернення: 26.03.2026).
17. *Terrestrial and Aquatic Animal Health Codes* / World Organisation for Animal Health (WOAH). 2024. URL: <https://www.woah.org/en/what-we-do/standards/codes-and-manuals/> (дата звернення: 26.03.2026).
18. Wang S., Ghadge A., Aktas E. Digital Transformation in Food Supply Chains: An Implementation Framework. *Supply Chain Management: An International Journal*. 2023. Vol. 29, No. 8. DOI: 10.1108/SCM-09-2023-0463.
19. *Aquatic Animal Health Code* / WOAH. World Organisation for Animal Health. 2025. URL: <https://www.woah.org/en/what-we-do/standards/codes-and-manuals/aquatic-code-online-access/> (дата звернення: 26.03.2026).

Information about the authors:

Lavryniuk Oksana Oleksandrivna,

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Bioresources, Animal Husbandry,
and Aquaculture

Polissia National University
7, Staryi boulevard, Zhytomyr, Ukraine

Borshchenko Valerii Volodymyrovych,
Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Professor at the Department of Bioresources,
Animal Husbandry, and Aquaculture
Polissia National University
7, Staryi boulevard, Zhytomyr, Ukraine

Verbelchuk Serhii Petrovych,
Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Bioresources,
Animal Husbandry, and Aquaculture
Polissia National University
7, Staryi boulevard, Zhytomyr, Ukraine

NOTES

NOTES

NOTES

Izdevniecība “Baltija Publishing”
Avotu iela 8 k-1 - 25, Rīga, LV-1011
E-mail: office@baltijapublishing.lv

Iespiegts tipogrāfijā SIA “Izdevniecība “Baltija Publishing”
Parakstīts iespiešanai: 2026. gada 25. jūnijs
Tirāža 300 eks.