

СВИНАРСТВО

І АГРОПРОМИСЛОВЕ ВИРОБНИЦТВО

PIG BREEDING

& AGROINDUSTRIAL PRODUCTION

**МІЖВІДОМЧИЙ
ТЕМАТИЧНИЙ НАУКОВИЙ
ЗБІРНИК**



**THE INTERDEPARTMENTAL
SUBJECT SCIENTIFIC
DIGEST**

7 (85)

2026

ISSN 2786–7730

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ СВИНАРСТВА І
АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА

СВИНАРСТВО

І АГРОПРОМИСЛОВЕ ВИРОБНИЦТВО

***МІЖВІДОМЧИЙ ТЕМАТИЧНИЙ НАУКОВИЙ
ЗБІРНИК***

**Випуск
7 (85)**

Полтава
2026

Свинарство і агропромислове виробництво : міжвідом. темат. наук. зб. / Інститут свинарства і агропромислового виробництва НААН. Вип. 7(85). Полтава, 2026. 136 с. doi 10.37143/2786-7730-2026-7(85)

У збірнику публікуються результати теоретичних та експериментальних досліджень, оглядові статті з актуальних питань галузі тваринництва, зокрема свинарства, розглядаються проблеми біорізноманіття та екологічні проблеми природокористування, технології виробництва та переробки продукції тваринництва, ветеринарної медицини, біобезпеки та благополуччя тварин.

Згідно з наказом МОН України № 928 від 11.06.2026 збірник включено до Переліку наукових фахових видань України в категорії «Б» у межах кластеру «Сільськогосподарські і ветеринарні науки».

Спеціальності: Н2 Тваринництво; Н6 Ветеринарна медицина; Н7 Агроінженерія

Засновник – Інститут свинарства і агропромислового виробництва НААН (<https://ror.org/00r693281>). Видання є правонаступником міжвідомчого тематичного наукового збірника «Свинарство», що виходив друком з 1966 р. (ISSN 0371-4365).

Свідчення про державну реєстрацію збірника «Свинарство і агропромислове виробництво» – серія KB № 25401-15341ПР від 03.01.2023 р.; ідентифікатор друкованого медіа в Реєстрі суб'єктів у сфері медіа – R3 0-01976.

Періодичність – два рази на рік. Мови видання – українська, англійська (змішаними мовами). Ліцензія CC BY-NC 4.0 (Licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License).

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор *Церенюк О. М.*, д. с.-г. н., проф., Інститут свинарства і АПВ НААН (Україна)

Заступник головного редактора *Сусол Р. Л.*, д. с.-г. н., проф., Інститут свинарства і АПВ НААН (Україна) (Україна)

Ващенко П. А., д. с.-г. н., с. н. с., Полтавський державний аграрний університет (Україна)

Гетьманський Т., д. н., проф., Інститут біології, Поморський університет у Слупську (Польща)

Гетья А. А., д. с.-г. н., проф., Нац. університет біоресурсів і природокористування України

Грудневська Д., д. PhD, Державний науково-дослідний інститут внутрішнього рибальства ім. Станіслава Саковича в Ольштині (Польща)

Кольчик О. В., к. вет. н., с. н. с., ННЦ «Інститут експериментальної і клінічної ветеринарної медицини» (Україна)

Кропівець-Доманська К., к. с.-г. н., Природничий університет у Любліні (Польща)

Кручиненко О. В., д. вет. н., проф., Полтавський державний аграрний університет (Україна)

Кургалюк Н. М., д. біол. н., проф., Інститут Біології, Поморський університет у Слупську (Польща)

Лихач В. Я., д. с.-г. н., проф., Нац. університет біоресурсів і природокористування України

Пекала-Сафінська А., д. вет. н., проф., Познанський університет природничих наук (Польща)

Повод М., д. с.-г. н., проф., Сумський національний аграрний університет (Україна)

Поморська-Мол М., д. вет. н., проф., Познанський університет природничих наук (Польща)

Родіонова К. О., к. вет. н., доц., Одеський державний аграрний університет (Україна)

Руска Д., д. с.-г. н., доц., Латвійський університет наук про життя і технологій (Латвія)

Саєнко А. М., к. с.-г. н., ст. досл., Інститут свинарства і АПВ НААН (Україна)

Стефанишин О. М., к. біол. н., с. н. с., Інститут біології тварин НААН (Україна)

Ткаченко Г. М., д. біол. н., проф., Інститут Біології, Поморський університет у Слупську (Польща)

Халак В. І., к. с.-г. н., с. н. с., Державна установа «Інститут зернових культур НААН» (Україна)

Рекомендовано до друку Вченою радою Інституту свинарства і АПВ НААН (протокол № 7 від 22.06.2026).

Збірник зареєстровано у Міжнародному центрі періодичних видань (ISSN International Centre, France), системі Crossref, науково-метричній базі даних Index Copernicus, порталі НБУ ім. В. І. Вернадського, загальнодержавній реферативній базі даних «Україніка наукова», базі даних наукових цитувань «OUCI», наукометричній базі даних OpenAlex, базі даних журналів відкритого доступу CiteFactor, WorldCat.

NATIONAL ACADEMY OF AGRARIAN SCIENCES OF UKRAINE

INSTITUTE OF PIG BREEDING AND AGROINDUSTRIAL
PRODUCTION

PIG BREEDING

AND AGROINDUSTRIAL PRODUCTION

***INTERINSTITUTIONAL THEMATIC
SCIENTIFIC COLLECTION***

**Issue
7 (85)**

Poltava
2026

Pig Breeding and Agroindustrial Production : interinstitutional thematic scientific collection of Institute of Pig Breeding and AIP NAAS. Poltava, 2025. Is. 5–6(83-84). 208 p. doi 10.37143/2786-7730-2025-5-6(83-84)

In the digest it is published the results of theoretical and experimental research, review articles on topical issues of animal husbandry, in particular pig breeding, biodiversity and environmental problems of nature management, technology of production and processing of livestock products, veterinary medicine, biosafety and animal welfare.

The founder is Institute of Pig Breeding and Agroindustrial Production NAAS (<https://ror.org/00r693281>). The publication is the successor of the interinstitutional thematic scientific collection "Pig Breeding", published since 1966 (ISSN 0371-4365).

The certificate of the state registration of the scientific collection "Pig Breeding and Agroindustrial Production" – KV series No. 25401-15341PR dated January 3, 2023; the identifier of printed media in the Register of subjects in the field of media is R3 0-01976.

The periodicity – twice a year. The languages of the publication are Ukrainian, English (in mixed languages). Licence CC BY-NC 4.0 (Licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License).

EDITORIAL BOARD:

Editor in Chief Tsereniuk O. M., Doc. of Agricul. Sci., Prof., Institute of Pig Breeding and AIP NAAS (Ukraine)

Deputy Editor-in-Chief Susol R. L., Doc. of Agricul. Sci., Prof., Odesa State Agrarian University (Ukraine)

Vashchenko P. A., Doc. of Agricul. Sci., Senior Researcher, Poltava State Agrarian University (Ukraine)

Hetmański T., Dr. Hab., Prof. UP, Institute of Biology Pomeranian University in Slupsk (Poland)

Getia A. A., Doc. of Agricul. Sci., Prof., National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine

Grudniewska J., Dr. Eng., Stanisław Sakowicz Inland Fisheries National Research Institute (Poland)

Kolchuk O. V., Cand. of Vet. Sci., Senior Researcher, NSC "Institute of Experimental & Clinical Veterinary Medicine" (Ukraine)

Kropiwniec-Domanska K., Cand. of Agricul. Sci., University of Life Sciences in Lublin (Poland)

Kruchynenko O. V., Doc. of Vet. Sci., Prof., Poltava State Agrarian University (Ukraine)

Kurhaluk N. M., Doc. of Biol. Sci., Prof., Institute of Biology, Pomeranian University in Slupsk (Poland)

Lykhach V. Ya., Doc. of Agricul. Sci., Prof., National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine

Pekala-Safinska A., Dr. Hab., Prof. UPP, Poznan University of Life Sciences (Poland)

Povod M., Dr. of Agricul. Sci., Prof., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Pomorska-Mol M., Dr. Hab., prof. UPP, Poznan University of Life Sciences Poznan (Poland)

Rodionova K. O., Cand. of Vet. Sci., Assoc. Prof., Odesa State Agrarian University (Ukraine)

Ruska D., Doc. of Agricul. Sci., Assoc. Prof., Latvian University of Life Sciences and Technologies (Latvia)

Saenko A. M., Cand. of Agricul. Sci., Senior Researcher, Institute of Pig Breeding and AIP NAAS (Ukraine)

Stefanyshyn O. M., Cand. of Biol. Sci., Institute of Animal Biology NAAS (Ukraine)

Tkaczhenko H. M., Doc. of Biol. Sci., Prof., Institute of Biology, Pomeranian University in Slupsk (Poland)

Khalak V. I., Cand. of Agricul. Sci., Senior Researcher, State Institute of Grain Crops of NAAS (Ukraine)

It is recommended for the publication by the Scientific Council of Institute of Pig Breeding and AIP NAAS (protocol № 7 dated June 22, 2026).

The digest is registered in the International Center for Periodicals (ISSN International Centre, France), the Crossref system, scientific and metric database Index Copernicus, the NBU portal named after V.I. Vernadskyi, the national reference database "Ukrainika Naukova", the search system and database of scientific citations "Open Ukrainian Citation Index", the OpenAlex scientometric database, the database of open access journals CiteFactor, the bibliographic database WorldCat.

З М І С Т / C O N T E N T S

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ТА ПЕРЕРОБКИ ПРОДУКЦІЇ ТВАРИННИЦТВА *TECHNOLOGY OF PRODUCTION AND PROCESSING OF LIVESTOCK PRODUCTS*

- Арапакі С. С., Сусол Р. Л.** Апробація елементів енергоощадної годівлі свиней основного стада в умовах обмежених кормових ресурсів
Arapaki S. S., Susol R. L. Testing of energy-efficient feeding methods for breeding herd pigs under conditions of limited feed resources 7
- Бугай І. О.** Відтворна здатність двопородних свиноматок данської селекції за товарного виробництва свинини
Buhai I. O. Reproductive capacity of two-breed sows of danish selection in pork production 20
- Дімчя Г. Г.** Вплив запилювальної активності медоносних бджіл на врожайність та якість насіння соняшника
Dimchia G. G. Influence of pollination activity of honey bees on the yield and quality of sunflower seeds 31
- Пека М. Ю.** Genetics in pig breeding: a review of ukrainian research in international scientific publications
Пека М. Ю. Генетика у свинарстві: огляд українських досліджень у міжнародних наукових публікаціях 42
- Сініцин О. С., Зіновєв С. Г., Пушкіна М. Л.** Вплив компонентів корму, отриманих з волоських горіхів, на показники росту, якість м'яса, антиоксидантний статус та репродуктивні якості у свиней
Sinitsyn O. S., Zinoviev S. H., Pushkina M. L. Influence of feed components received from walnuts on growth indexes, meat quality, antioxidant status and reproductive qualities in pigs 58
- Церенюк О. М., Скрипник В. О., Акімов О. В., Кольчик О. В.** Фенотипова консолідація двопородних свиноматок за поєднання з кнурами породи дюрк.
Tsereniuk O. M., Skrypnyk V. O., Akimov O. V., Kolchik O. V. Phenotypical consolidation of two-breed sows for the combination with durok boars 74
- Ярошук Д. А., Лихач А. В., Лихач В. Я.** Оцінка адаптивної здатності свиней різних порід за показниками кормової поведінки
Yaroshchuk D., Lykhach A., Lykhach V. Assessment of adaptive capacity in different pig breeds based on feeding behavior parameters 82

**ВЕТЕРИНАРНА МЕДИЦИНА, БІОБЕЗПЕКА ТА
БЛАГОПОЛУЧЧЯ ТВАРИН
*VETERINARY MEDICINE, BIOSAFETY AND ANIMAL WELFARE***

Чорнозуб М. П., Ємельяненко О. В., Соболев О. І. Порошинська О. А., Козій В. І. Аналіз спадкової схильності до гриж у свиней за результатами оцінки потомства кнурів-плідників
Chornozub M. P., Emelianenko O. V., Sobolev O. I., Poroshynska O. A., Koziy V. I. Analysis of hereditary predisposition to hernias in pigs based on the evaluation of offspring from breeding boars 98

Yachna M., Kurhaluk N., Tkaczenko H. Mycotoxin contamination in aquaculture systems: sources, toxicological effects and implications for food safety
Ячна М., Кургалюк Н., Ткаченко Г. Забруднення мікотоксинами в системах аквакультури: джерела, токсикологічні ефекти та наслідки для безпеки харчових продуктів 107

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ТА ПЕРЕРОБКИ
ПРОДУКЦІЇ ТВАРИННИЦТВА
*TECHNOLOGY OF PRODUCTION AND PROCESSING OF
LIVESTOCK PRODUCTS*

УДК 636.4.084

TESTING OF ENERGY-EFFICIENT FEEDING METHODS FOR BREEDING
HERD PIGS UNDER CONDITIONS OF LIMITED FEED RESOURCES

S. S. Arapaki,¹ R. L. Susol²

¹Odessa State Agrarian University,
99 Kanatnaya Str. 99, Odesa, Ukraine, 65039

<https://ror.org/000kkaz97>

²Institute of Pig Breeding and Agroindustrial Production NAAS,
1 Shvedska Mohyla Str, Poltava, Ukraine, 36009

<https://ror.org/00r693281>

Арапаки С. С.
s.arapaki87@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0007-6672-3526>
Сусол Р. Л. ✉
r.susol@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0003-2395-1282>

Manuscript was received/

Рукопис надійшов

10.05.2026

Received after review/

Після рецензування

28.05.2026

Accepted for printing/

Прийнято до друку

22.06.2026

Available online/

Доступно онлайн

30.06.2026

Declaration of conflicts of interest/

Декларування конфлікту інтересів:

Не потрібно/

Not necessary

Ethical approval/

Етичне схвалення:

Not applicable/

Не застосовується



Attribution Licens 4.0 International
(CC BY 4.0)



The study aimed to evaluate energy-saving feeding strategies for the main herd of pigs under conditions of limited feed resources, using the 'ideal protein' principle for boars and sows of various ages. **Methods.** The scientific and economic study was conducted in accordance with standard methods used in pig farming, involving first-litter sows of hybrid origin (F1 ½: Large White × Landrace) and terminal breeding boars. Control and experimental groups of animals were formed using the matched-pairs principle. Boars and sows in the control groups were fed standard balanced diets, whilst animals in the experimental groups were fed compound feed with a reduced crude protein content and an increased content of crystalline lysine, in accordance with the 'ideal protein' concept. Upon completion of the second lactation, sows in the control and experimental groups were fed identical standard diets. Reproductive performance and productive characteristics of the sows were assessed during farrowings I–IV. For breeding boars, feed intake was measured, body condition and reproductive capacity were assessed, and the survival rate of the breeding stock relative to the start of their use was determined. **Results.** An analysis of the reproductive capacity and productivity of sows under conditions of reduced protein intake, whilst optimising lysine levels by using a crystalline lysine supplement, revealed no significant deterioration or improvement in the parameters studied. However, for breeding boars, a crude protein deficiency, even when partially compensated for by lysine, had significantly more critical consequences, as spermatogenesis is one of the most amino acid-dependent biological processes in the pig's body. A significant deterioration was observed in sperm production parameters such as ejaculate volume and sperm concentration. **Conclusions.** Practical modelling and testing of energy-saving feeding strategies for the main herd of pigs (boars and sows of various ages) under conditions of limited feed resources have demonstrated that applying the 'ideal protein' principle to animals in these groups is entirely feasible, however, it should be regarded as a necessary measure for a short period – for example, one reproductive cycle of sows.

Keywords: pigs, feed shortage, energy-efficient feeding, crude protein, amino acid nutrition, reproduction, productivity, sows, breeding boars.

Для цитування (за ДСТУ 8302:2025):

Arapaki S. S., Susol R. L. Testing of energy-efficient feeding methods for breeding herd pigs under conditions of limited feed resources. *Свинарство і агропромислове виробництво* : міжвідом. темат. наук. зб. / Ін-т свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2026. Вип. 7(85). С. 7–19. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7\(85\)1](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7(85)1)

Introduction. As is well known, modern pig production technology is based on three key components: genetics and breeding methods; feeding conditions; and housing conditions [1–3]. Moreover, considerable attention should be paid to the issue of feeding, as the influence of feeding on animal productivity accounts for 55–60 per cent, that of selection and breeding methods for 20–25 per cent, and that of housing conditions for 15–20 per cent; in other words, a balanced diet determines the realisation of the herd's inherent genetic potential on average and for each individual animal [4, 5].

Adverse environmental conditions during foetal development trigger an adaptive response in the foetus, known as 'foetal programming' (epigenetics), which can lead both to a lasting change in the organism's sensitivity to external factors and to permanent effects on the organism's phenotype. This forms the basis for the hypothesis that the offspring's transcriptome exhibits both short-term and long-term changes, depending on the mother's diet [6].

Research findings indicate that a significant restriction in protein intake during gestation and lactation substantially impairs the reproductive performance of sows. Indicators such as the percentage of sows showing signs of oestrus, the average number of days from weaning to the onset of oestrus, the average ovulation rate and the live weight of sows were significantly lower in animals with a low crude protein content in their diet. At the same time, this did not have a significant negative impact on conception rates or embryo survival up to 28 days post-insemination. Furthermore, the negative effect of a restricted crude protein level in the diet was more pronounced in replacement sows and sows undergoing testing compared with mature sows at their second farrowing and older. In the absence of an oestrous cycle in sows with a low crude protein content in their diet, oestrus and ovulation were induced by injections of hormonal preparations [7].

Ukrainian pig farms traditionally use standard cereal ingredients in their feed rations, such as wheat, barley, maize and, less commonly, rye and triticale. Each of these feed ingredients generally has both strengths and weaknesses when it comes to formulating appropriate pig diets, due to an imbalance in crude protein content and amino acid composition, which is insufficient to achieve high levels of productivity. Therefore, well-balanced rations must include high-protein components (peas, chickpeas, and high-protein industrial crops such as sunflower meal, soya meal and soya cake). Furthermore, modern approaches to diet optimisation involve the inclusion of a range of biologically active substances, such as macro- and micro-nutrients, vitamins, enzyme complexes, acidifiers in the form of organic acids, toxin adsorbents, and so on [5, 8, 9].

The current situation in the livestock sector, and in pig farming in particular, on a global scale, is driven by climate change in the form of global warming, which is leading to frequent droughts and low yields of a number of fodder and food crops. In Ukraine, this is compounded by military operations, which at the

start of the war disrupted the basic logistics of supplying certain feed ingredients essential for high productivity, and consequently the composition of the feed base as a whole, as well as labour shortages, rising costs of fuel and lubricants, increases in other production costs, frequent further weakening of biosecurity in the sector, the occupation of territories, fluctuations in market prices for feed ingredients, and so on [10, 11]. All of the above requires modern technologists at pig production enterprises to promptly address a whole range of current pressing challenges aimed at developing and implementing various methods and approaches concerning key components of pig production technology, including genetics, breeding, selection, feeding conditions and husbandry [1, 2, 4, 12]. At the same time, given the current circumstances at pig farms, the issue of energy-efficient feeding remains crucial for ensuring an optimal level of productivity in the pig herd, which is what determines the relevance of the research we have selected.

The aim of the study was to evaluate energy-saving feeding strategies for the main herd of pigs under conditions of limited feed resources, applying the 'ideal protein' principle to boars and sows of various ages.

Materials and methods. The scientific and production study was conducted at the 'GSP' private enterprise in the Berezivka district of the Odesa region, using methods generally accepted in pig farming [13–15], on F1½ hybrid sows (Large White × Landrace) and breeding boars. Control and experimental groups of animals were formed using the matched-pair principle, taking into account the sows' origin, age, live weight, body condition, physiological status and productivity indicators based on the results of their first farrowing.

First-litter sows in the control group were fed standard diets from the time of insemination, whilst those in the experimental group were fed diets based on the 'ideal protein' principle, with their reproductive capacity and productive characteristics subsequently assessed up to the fourth farrowing. Upon completion of the second lactation, sows in both the control and experimental groups were fed identical standard diets, balanced according to key parameters, and were kept under identical housing conditions.

The sows were fed in accordance with the farm's established feeding procedures and the recommendations of scientific consultants from Wright Frank Ltd, who develop pig feed rations and supply a range of biologically active feed supplements.

The feeding rations for sows and breeding boars in the control groups were balanced using traditional protein components (sunflower meal, soya meal) and crystalline amino acids. Corresponding animals in the experimental groups were fed compound feeds with a reduced crude protein content and an increased level of crystalline lysine, in accordance with the 'ideal protein' concept. The metabolisable energy and other nutrient contents of the diets of the control and experimental groups met the physiological requirements of pregnant/lactating sows and breeding boars [9].

The body condition of sows was assessed visually on the 5th day after farrowing and at the time of weaning the piglets, using a 5-point scale. The reproductive performance of sows in terms of farrowing was assessed using indicators such as litter size (number of live piglets at farrowing) and litter

weight (average live weight of a single piglet in the litter). The number of piglets at weaning at 28 days, the average litter live weight, the average live weight per piglet and the relative survival rate of piglets during the suckling period (%) were also determined.

After weaning the piglets, the duration of the empty period (in days) and the conception rate following the first insemination (as a percentage of those presented for insemination) were recorded for the sows. The productive longevity of the animals was also determined by calculating the survival rate of sows from farrowings II–IV as a percentage relative to the first farrowing.

For terminal breeding boars in the main herd ($n = 3$) and those under evaluation ($n = 5$), feed intake (kg/day) was determined, and body condition scores were assessed. Their reproductive capacity was also assessed using the sow insemination rate (%), litter size (number of piglets), and semen production parameters, such as ejaculate volume (ml) and the percentage of spermatozoa exhibiting rectilinear progressive motility. In addition, the survival rate of breeding boars relative to the start of use (%) was determined using methods generally accepted in pig farming [13–15].

All research was carried out in accordance with the well-established International Principles of the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and Other Scientific Purposes [16], as well as in accordance with Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of the European Union of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes [17].

The obtained digital data were analysed using methods of variational statistics [18, 19] with the aid of Microsoft Excel 2010 software. The significance of the differences between the indicators of the control and experimental groups of pigs was assessed using the Student's t -test (t , at $p < 0.05$; $p < 0.01$; $p < 0.001$ for significance levels I, II and III, respectively).

Research results and discussion. The current situation that has arisen since the start of the war in many pig-farming holdings across Ukraine has led to a partial or complete shortage of protein components in the diet. We therefore modelled this situation and proposed a solution using the 'ideal protein' model (Table 1), which involved the complete exclusion of protein ingredients from the feed rations for pregnant sows and breeding boars.

For lactating sows, we have kept 5.0 per cent each of peas and sunflower meal, and 3.5 per cent of soya meal in the diet. The rationale behind this necessary approach is to preserve as much of the diet's protein content as possible for its potential future use in feeding young pigs with a live weight of up to 25.0–30.0 kg (pre-starter and starter periods), as during this period the animals have increased requirements for protein content in their feed and the 'ideal protein' model does not meet these needs, which may have negative consequences for the animals' health and, consequently, for the productivity and survival rate of the young pigs.

Table 1. The structure of compound feed for feeding the main herd of pigs, %

Ingridients	Groups of animals					
	control			experimental		
	sows		breeding boars	sows		breeding boars
	pregnant	lactating		pregnant	lactating	
Maize	15,0	15,0	25,0	15,0	15,0	25,5
Barley	33,5	12,5	25,0	36,8	22,0	30,0
Wheat	35,0	42,5	28,0	45,0	46,0	41,0
Peas	5,0	5,0	5,0	–	5,0	–
Soya meal	3,5	9,5	5,0	–	3,5	–
Sunflower meal	5,0	12,0	8,7	–	5,0	–
MPS ¹	0,85	0,95	0,95	0,85	0,9	0,95
Table salt	0,4	0,4	0,45	0,4	0,4	0,4
Chalk	1,05	1,1	1,05	1,05	1,0	1,05
Lizin	0,1	0,25	0,1	0,3	0,4	0,35
Clinofid	0,1	0,3	0,25	0,1	0,3	0,25
Nufocide	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Lakta Wright premix	–	0,4	0,4	–	0,4	0,4
Jesta Wright premix	0,4			0,4		

Note: ¹ – mineral-phosphorus supplement

Furthermore, the nutritional requirements of pregnant sows, unlike those of lactating sows, are relatively insignificant and only increase significantly during the final third of gestation, when foetal growth is most rapid. Therefore, 3–4 weeks before the scheduled farrowing, sows should be switched to compound feed intended for lactating sows, in accordance with current recommendations and the research findings of R. Susol and K. Garmatyuk [12].

As regards the nutritional requirements of breeding boars, it is worth noting that their requirements fall between those of pregnant sows and lactating sows [9].

Increasing the level of crystalline lysine in the diet of pregnant sows, based on the 'ideal protein' concept, had both positive and potentially negative consequences under farm conditions, as the diet of the experimental group differed significantly from that of the control group not only in terms of the source of lysine (Table 2), but also in terms of the total crude protein content and other essential amino acids (methionine, threonine, tryptophan). Furthermore, it is worth noting that the 'ideal protein' concept takes into account the requirements for amino acids such as valine and isoleucine.

However, the need to incorporate these amino acids into the diet is hampered by their unavailability on the Ukrainian market for feed additives on an industrial scale. Consequently, it is impossible to balance the diets of the sows in the experimental group for valine and isoleucine without using protein components in the feed; in other words, the feeding regime for the animals in the experimental group is a compromise solution.

Table 2. Analysis of the diets of the tested pigs in the main herd

Indicator	Groups of animals					
	control			experimental		
	sows		breeding boars	sows		breeding boars
	pregnant	lactating		pregnant	lactating	
Metabolisable energy, MJ	13,26	13,20	13,21	13,31	13,34	13,38
Crude protein, %	14,01	17,33	14,98	11,25	14,12	10,95
Crude fat, %	2,45	2,54	2,67	2,33	2,36	2,51
Crude fibre, %	3,64	4,76	4,16	2,52	3,53	2,42
Crude ash, %	4,08	4,74	4,43	3,56	4,06	3,60
Lysine, %	0,63	0,92	0,70	0,60	0,85	0,65
Methionine, %	0,26	0,34	0,30	0,20	0,26	0,20
Methionine + cystine, %	0,52	0,63	0,56	0,43	0,51	0,43
Threonine, %	0,56	0,69	0,63	0,44	0,55	0,45
Tryptophan, %	0,17	0,22	0,19	0,13	0,17	0,13
Ca, %	0,80	0,88	0,84	0,78	0,80	0,82
P, %	0,63	0,72	0,68	0,57	0,64	0,59
Ca : P	1,26 : 1	1,21 : 1	1,23 : 1	1,36 : 1	1,25 : 1	1,39 : 1
Na, %	0,24	0,26	0,28	0,22	0,24	0,23
Lysine: Metabolisable energy	0,47 : 1	0,70 : 1	0,53 : 1	0,45 : 1	0,64 : 1	0,49 : 1

An analysis of the productivity of sows in the experimental groups (Table 3) showed that, overall, the productivity levels of the animals in the experimental group were similar to those of the control group. The results obtained demonstrated that feeding the pregnant sows in the experimental group a compound feed with a 2.76 % reduction in crude protein content compared with the control group led to an increase in the animals' appetite and, consequently, feed intake, for example, on the 85th day of gestation, by 0.23 kg or 7.9 % per day. This likely contributed to a trend towards an improvement in the body condition of the sows on the 5th day post-farrowing by 0.15 points or 4.3 %. However, in terms of litter size and litter weight, sows in the control group outperformed those in the experimental group by 0.3 piglets (2.3 per cent) and 0.04 kg (3.0 per cent) respectively, given the optimal levels of crude protein and amino acid composition in the compound feed.

A similar pattern was observed on day 28 following weaning, when sows in the control group significantly outperformed their counterparts in the experimental group in terms of litter live weight by 7.2 kg or 8.9 per cent ($p < 0.01$) and the average weight of the first piglet by 0.4 kg or 5.5 % ($p < 0.01$). Furthermore, at the time of weaning, sows in the control group showed a tendency to outperform those in the experimental group in terms of the number of piglets and piglet survival during the suckling period by 4.5 % and 1.8 %, respectively.

Table 3. Analysis of the productivity of sows in the research groups (n =35), $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$

Indicator	Group of animals	
	control	experimental
Body condition on the 5th day after farrowing, points	3,46 $\pm$ 0,066	3,61 $\pm$ 0,054
Litter size, heads	12,9 $\pm$ 0,31	12,6 $\pm$ 0,33
Litter weight, kg	1,35 $\pm$ 0,011	1,31 $\pm$ 0,019
At weaning on day 28:		
– Litter live weight, kg	88,3 $\pm$ 2,05	81,1 $\pm$ 2,23**
– Number of piglets, heads	11,5 $\pm$ 0,27	11,0 $\pm$ 0,29
– Average weight of the first piglet, kg	7,7 $\pm$ 0,05	7,3 $\pm$ 0,05**
– Survival rate of piglets, %	89,1	87,3
Body condition of sows at the time of weaning, points	2,51 $\pm$ 0,059	2,32 $\pm$ 0,061
Duration of the empty period, days	4,5 $\pm$ 0,18	3,6 $\pm$ 0,14
Conception rate following the first insemination, %	85,0	89,0
Survival rate of sows relative to their first farrowing by age, heads (%):		
– II farrowing	31 (91,4)	33 (94,3)
– III farrowing	28 (80,0)	29 (82,9)
– IV farrowing	26 (74,3)	27 (77,1)
– V farrowing	22 (62,9)	23 (65,7)
– VI farrowing	16 (45,7)	17 (48,6)

Note: – **p < 0,01

Concerning the body condition of sows at the time of weaning, a trend was observed whereby sows in the control group were 0.19 points, or 8.2 per cent, better than those in the experimental group. However, for the remaining indicators considered, a trend towards superiority was observed in the sows of the experimental group compared with the control group. Sows in this group showed signs of oestrus 0.9 days earlier after weaning the piglets and had a 4.0 per cent higher conception rate after the first insemination. This group also showed a trend towards better survival rates among sows following recovery, with appropriate protein and amino acid nutrition, as indicated by the results of the second, third, fourth, fifth and sixth farrowings, at 2.9–5.7 per cent, respectively. This can probably be explained by the stress experienced by sows due to restricted protein intake, which activates adaptive mechanisms of metabolic optimisation in such animals. This is confirmed by scientific studies [6, 7], which indicate that moderate restriction of protein intake, whilst maintaining a balanced diet in terms of essential amino acids, activates adaptive mechanisms of metabolic optimisation. These mechanisms involve a reduction in the metabolic load on the sows' bodies and, as a result, lead to a potential improvement in reproductive performance.

Consequently, the assessment of sows' reproductive performance under conditions of reduced protein intake, whilst optimising lysine levels through the use of a crystalline lysine supplement, revealed no significant deterioration or improvement in performance indicators; however, it was important for us to also assess the reproductive performance of breeding boars under similar conditions (Table 4).

A crude protein deficiency, against a background of partial compensation for lysine through the use of its synthetic crystalline form, is significantly more

critical for breeding boars than for sows, as spermatogenesis is one of the most amino acid-dependent biological processes in the pig's body.

Table 4. Analysis of the performance of breeding boars in the research groups, $\bar{X} \pm S_{\bar{X}}$

Indicators	Group of animals	
	controlled	researched
Boars being tested (n = 5)		
Body condition score, points	3,5 $\pm$ 0,16	3,0 $\pm$ 0,15
Semen production parameters:		
Number of ejaculates assessed	45	43
Ejaculate volume, ml	210,0 $\pm$ 2,52	190,2 $\pm$ 4,01***
Sperm concentration, billion/ml	0,28 $\pm$ 0,01	0,25 $\pm$ 0,01*
Proportion of sperm with rectilinear progressive motility, %	82,0	74,0
Fertilisation rate of sows, %	86,0	79,0
Litter size of sows, heads	12,8 $\pm$ 0,14	12,1 $\pm$ 0,18**
Survival rate of boars relative to the start of use, %:	100,0	80,0
Breeding boars in the main herd (n = 3)		
Body condition score, points	3,5 $\pm$ 0,18	3,2 $\pm$ 0,20
Semen production parameters:		
Number of ejaculates assessed	60	60
Ejaculate volume, ml	255,4 $\pm$ 3,11	241,9 $\pm$ 4,54*
Sperm concentration, billion/ml	0,34 $\pm$ 0,01	0,30 $\pm$ 0,01*
Proportion of spermatozoa with rectilinear progressive motility, %	86,0	80,0
Fertilisation rate of sows, %	88,0	83,0
Litter size of sows, heads	13,2 $\pm$ 0,16	12,6 $\pm$ 0,15**
Survival rate of boars relative to those transferred to the main herd, %:	100,0	67,0

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

An analysis of the performance of breeding boars in the research groups showed that the animals in the experimental group consumed 0.2 kg more feed, or 7.4 per cent more, than the breeding boars in the control group. This is likely due to an increased sense of hunger in the boars of this group, caused by reduced protein content and an imbalance in several essential amino acids (methionine, threonine, tryptophan, valine and isoleucine), which are at or below the lower limit of the normal range, whereas protein synthesis is limited not only by lysine but also by the balance (ratio) of all critical amino acids relative to lysine. The approach we adopted to feeding the breeding boars in the experimental group had a slight negative impact on live weight and body condition scores (the boars tested were 0.5 points, or 14.3 per cent, behind their counterparts in the control group). However, the negative impact of this feeding regime on semen quality proved to be significantly greater, leading, accordingly, to a deterioration in the reproductive function of stud bulls of various ages.

Based on the results of a visual assessment, we observed a certain trend whereby the breeding boars in the experimental group under examination showed a reduced rate of growth; they were characterised by a slightly poorer degree of carcass conformation and slightly weaker overall muscle development, against a background of a finer skeletal structure compared with the animals in the control group.

The ejaculate volume of the breeding rams in this experimental group was 19.8 ml, or 9.4 per cent ($p < 0.001$) lower than that of the control group, against

a background of a decrease in sperm concentration by 0.03 billion/ml or 10.7 % ($p < 0.05$) and a reduction in the proportion of spermatozoa exhibiting rectilinear progressive motility by 8.0 %. As a result, the fertilisation rate of sows using semen from boars in the experimental group decreased by 7.0 %, and the number of piglets per litter decreased by 0.7 piglets or 5.5 % compared with the corresponding figures for animals in the control group. Furthermore, the survival rate of the boars in the experimental group was 20 per cent lower than their initial numbers at the start of the trial.

Regarding the breeding boars that were transferred to the main herd, the situation is as follows: the animals in the experimental group consumed 0.4 kg more feed, or 12.9 per cent more, than the breeding boars in the control group. The body condition scores of the breeding boars in the experimental group tended to be 0.3 points lower than those of their counterparts in the control group, representing 8.6 per cent.

The actual volume of ejaculate from breeding boars in the experimental group of the main herd was 13.5 ml, or 5.3 per cent ($p < 0.05$), lower than that of the breeding boars in the control group. A reduction in sperm concentration of 0.04 billion/ml or 11.8% ($p < 0.05$) was also observed in this group, along with a 6.0% decrease in the proportion of sperm exhibiting rectilinear progressive motility, a 5.0% reduction in the fertilisation rate of sows, and a reduction in the number of piglets per litter by 0.6 piglets, or 4.6 per cent, compared with the figures in the control group. Similarly to the boars under investigation, the survival rate of the breeding boars in the experimental group of the main herd, relative to their initial number at the time of transfer to the main herd, was 33 per cent lower.

Overall, our results regarding the specific adverse effect of crude protein deficiency, against a background of partial lysine compensation through the use of its synthetic form in pigs, demonstrate that this effect is more critical for breeding boars than for sows. Furthermore, it is worth noting that the use of the diets administered to the experimental groups, compared with the full-ration diet of the control groups, had a significantly more critical effect on the young breeding boars under study than on the boars in the main herd, as the young organism continues not only to grow (increase in muscle tissue, development of pronounced meat conformation) but also to develop (ongoing testicular development, establishment of the endocrine system's status, and the process of spermatogenesis). In other words, a deficiency of crude protein in the diet of young breeding boars undergoing testing – even when an optimal amount of such an important essential amino acid as lysine is provided – leads to competition or an imbalance between 'somatic growth' and reproductive capacity [20].

On the other hand, we consider the experiment carried out as a necessary option for feeding animals during unforeseeable circumstances, such as martial law, and in situations where the proposed feeding principle and approach will be of short duration. In such cases, this feeding method can be regarded as entirely effective and promising. A prolonged deficiency of protein in the diet of young boars increases the risk of osteochondrosis and weakness of the skeleton and limbs in particular, which complicates the process of semen

collection and subsequently leads to the development of immunodeficiency, the appearance of ulcers, hepatodystrophy and underdevelopment of the reproductive system [21]. As regards adult boars in the main herd, the application of this feeding regimen for a short period may reduce the rate of ammonia synthesis and, consequently, the load on the liver, decrease heat production, and lower the risk of hepatosis. In other words, for boars in the main herd, this may even be beneficial, but the key factor remains the impact on sperm production (maintaining normal sperm concentration against a background of a slight reduction in ejaculate volume, provided there is a moderate deficiency of crude protein and essential amino acids) and the duration of such a deficiency over time.

Conclusions. Practical modelling of the situation and testing of energy-saving feeding strategies for the main herd of pigs (boars and sows of various ages) under conditions of limited feed resources have demonstrated that applying the 'ideal protein' principle to animals in these groups is entirely feasible; however, it should be regarded as a necessary measure for a short period, for example, one reproductive cycle of sows.

Prospects for further research. A promising area for future research is a comprehensive study of the use of increased amounts of protein ingredients in compound feed under conditions of limited feed resources for pigs of different ages and physiological states.

REFERENCES

1. Apanaki, C., & Cycon, P. (2025). Naukovo-metodychni zasady investytsiino-innovatsiinoho rozvytku svynarstva u rehioni: strukturni elementy, instrumenty ta indykatory rezultatyvnosti. [Development and implementation of energy-saving elements of pig fattening technology under conditions of limited feed resources]. *Ahrarnyi visnyk Prychornomoria* [Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral], 116, 127–139 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.37000/abbsl.2025.116.08>
2. Zoria, O., Shostia, A., Vashchenko, P., Bezkrivnyi, O., & Malysh, O. (2026). Naukovo-metodychni zasady investytsiino-innovatsiinoho rozvytku svynarstva u rehioni: strukturni elementy, instrumenty ta indykatory rezultatyvnosti [Scientific and methodological principles of investment and innovative development of pig farming in the region: structural elements, tools and performance indicator]. *Ahrosvit* [AgroWorld], 4, 40–50 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2026.4.40>
3. Khalak, V. I., Gutyj, B. V., & Bordun, O. M. (2024). Tryvalist produktyvnoho dovolittia svynomatok riznogo rinvia adaptatsii ta zhyttiezdatnosti [Duration of productive longevity of sows of different levels of adaptation and viability]. *Naukovo-tekhnychnyi biuleten Derzhavnoho naukovo-doslidnoho kontrolnoho instytutu veterynarnykh preparativ ta kormovykh dobavok i Instytutu biologii tvaryn* [Scientific and Technical Bulletin of State Scientific Research Control Institute of Veterinary Medical Products and Fodder Additives and Institute of Animal Biology], 25(1), 231–240 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.36359/scivp.2024-25-1.29>
4. Tsereniuk O. M., Akimov, & Kosov O. V. (2015). Povnotsinna hodivlia svynei [Comprehensive pig feeding]. *Suchasne tvarynyystvo* [Modern livestock farming] [in Ukrainian]. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/suchasne-tvarynyystvo/item/8097-povnotsinna-hodivlia-svynei.html> (date of access: 01.05.26).
5. Lykhach, V., Bevez, N., Lykhach, A., Balanchuk, I., Faustov, R., & Shaposhnik, V. (2026). Influence of a garlic-based additive on performance parameters and intestinal morphology of replacement gilts under commercial conditions in Ukraine. *Veterinary World*, 19(3), 1229–1245. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2026.1229-1245>
6. Svajgr, A. J., Hammell, D. L., Degeeter, M. J., Hays, V. W., Cromwell, G. L., & Dutt, R. H. (1972). Reproductive Performance of Sows on a Protein-Restricted Diet. *J of*

Reproduction and Fertility, 30(3), 455–458. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.0300455>

7. Oster, M., Murani, E., Metges, C. C., Ponsuksili, S., & Wimmers, K. (2012). A low protein diet during pregnancy provokes a lasting shift of hepatic expression of genes related to cell cycle throughout ontogenesis in a porcine model. *BMC Genomics*, 13, 93. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-13-93>

8. Praissinher, V., Propstmaier, H., & Shcherb, S. (2017). Efektyvna vidhodivlia z malym vmistom soi u kormi [Effective fattening with a low soy content in the feed]. *Agroexpert*, 7(108), 94–96 [in Ukrainian].

9. Provatorov, H. V. et al. (2007). Normy hodivli, ratsiony i pozhyvnyist kormiv dlia riznykh vydiv silskohospodarskykh tvaryn [Feeding guidelines, rations and nutritional value of feed for various types of farm animals]. Sumy: TOV «VTD «Universytetska knyha» [in Ukrainian].

10. Kotykova, O., Babych, M., Nadvynychnyy, S., & Pohorielova, O. (2025). Agriculture in Ukraine: Regional and Global Impacts of the war. *European Countryside*, 17(1), 204–227. <https://doi.org/10.2478/euco-2025-0011>

11. FAO report: agriculture remains a lifeline for rural families in war-affected Ukraine. *FAO.ORG* Retrieved from https://www.fao.org/newsroom/detail/fao-report--agriculture-remains-a-lifeline-for-rural-families-in-war-affected-ukraine/en?utm_source=chatgpt.com (date of access: 01.05.26).

12. Susol, R. L., Harmatiuk, K. V., & Khalak, V. I. (2018). Optymizatsiia systemy rozvedennia i hodivli svynei miasnoho napriamku produktyvnosti v umovakh pivdnia Ukrainy [Optimisation of the breeding and feeding system for pigs reared for meat production in southern Ukraine]. *Zernovi kultury* [Cereal crops], 2(12), 353–359 [in Ukrainian].

13. Rybalko, V. P., Berezovskyi, M. D., Bohdanov H. A. ta in. (2005). Suchasni metodyky doslidzhen u svynarstvi [Modern research methods in pig farming]. Poltava: Institute of Pig Breeding UAAN [in Ukrainian].

14. Soboliev, O. I., Nedashkivskyi, V. M., Petryshak, R. A. et al. (2022). Metodolohiia ta orhanizatsiia naukovykh doslidzhen u tvarynnytstvi [Methodology and Organisation of Scientific Research in Animal Husbandry]. Bila Tserkva, 74–81 [in Ukrainian].

15. Ladyka, V. I., Khmelnychy, L. M., Povod, M. H. et al. (2023). Tekhnolohiia vyrobnytstva ta pererobky produktii tvarynnytstva [Technology for the production and processing of livestock products]. Odesa: Oldi+ [in Ukrainian].

16. Yevropeiska konventsia pro zakhyst khrebetnykh tvaryn, shcho vykorystovuiutsia dlia doslidnykh ta inshykh naukovykh tsilei (Strasburh, 18 ber. 1986 r.) [European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and Other Scientific Purposes (Strasbourg, 18 March 1986)]. *Official website of the Verkhovna Rada of Ukraine: Ukrainian legislation*. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_137#Text (date of access: 25.06.2026).

17. Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes (Text with EEA relevance). *Official J. of the European Union*. 2010. L 276/33 (date of access: 25.06.2026).

18. Kovalenko, V. P. ta in. (2010). Biometrychnyi analiz minlyvosti oznak silskohospodarskykh tvaryn i ptytsi [Biometric analysis of trait variability in farm animals and poultry]. Kherson [in Ukrainian].

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

20. Bo Ren, Xu Cheng, De Wu, Sheng-Yu Xu, Lian-Qiang Che, Zheng-Feng Fang, Gang Lv, Hong-Jun Dong, & Yan Lin. (2012). Effect of different amino acid patterns on semen quality of boars fed with low-protein diets. *Animal Reproduction Sci.*, 161, 96–103. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2015.08.010>

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сусол Р., Арапакі С. Розробка та впровадження елементів енергоощадної годівлі свиней в умовах обмежених кормових ресурсів під час військового стану. *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2025. Вип. 116. С. 127–139. <https://doi.org/10.37000/abbsl.2025.116.08>

Arapaki S. S., Susol R. L. Testing of energy-efficient feeding methods for breeding herd pigs under conditions of limited feed resources

2. Зоря О., Шостя А., Ващенко П., Безкровний О., Малиш О. Науково-методичні засади інвестиційно-інноваційного розвитку свинарства у регіоні: структурні елементи, інструменти та індикатори результативності. *Агросвіт*. 2026. № 4. С. 40–50. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2026.4.40>
3. Халак В. І., Гутий Б. В., Бордун О. М. Тривалість продуктивного довголіття свиноматок різного рівня адаптації та життєздатності. *Науково-технічний бюлетень ДНДКІ ветеринарних препаратів та кормових добавок і Інституту біології тварин ДНДКІ ветпрепаратів та кормових добавок*. Вип. 25. №1. 2024. С. 231–240. <https://doi.org/10.36359/scivp.2024-25-1.29>
4. Церенюк О. М., Акімов, Косов О. В. Повноцінна годівля свиней. *Сучасне тваринництво*. 2015. 17 квіт. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/suchasne-tvarynnnytstvo/item/8097-povnotsinna-hodivlia-svynei.html> (дата звернення 01.05.26).
5. Lykhach V., Bevez N., Lykhach A., Balanchuk I., Faustov R., Shaposhnik V. Influence of a garlic-based additive on performance parameters and intestinal morphology of replacement gilts under commercial conditions in Ukraine. *Veterinary World*. 2026. 19(3): 1229–1245. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2026.1229-1245>
6. Svajgr A. J., Hammell D. L., Degeeter M. J., Hays V. W., Cromwell G. L., Dutt R. H. Reproductive Performance of Sows on a Protein-Restricted Diet. *J. of Reproduction and Fertility*. 1972. Vol. 30. Iss. 3. P. 455–458. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.0300455>
7. Oster M., Murani E., Metges C. C. et al. A low protein diet during pregnancy provokes a lasting shift of hepatic expression of genes related to cell cycle throughout ontogenesis in a porcine model. *BMC Genomics*. 2012. Vol. 13. Article 93. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-13-93>
8. Прайссінгер В., Пропстмайер Г., Щерб С. Ефективна відгодівля з малим вмістом сої у кормі. *Agroexpert*. 2017. № 7(108). С. 94–96.
9. Норми годівлі, раціони і поживність кормів для різних видів сільськогосподарських тварин: довідник / Г. В. Проваторов, В. І. Ладика, Л. В. Бондарчук та ін. Суми: ТОВ «ВТД «Універ. книга», 2007. 488 с.
10. Kotykova O., Babych M., Nadvynychnyy S., Pohorielova O. Agriculture in Ukraine: Regional and Global Impacts of the war. *European Countryside*. 2025. Vol. 17(1). P. 204–227. <https://doi.org/10.2478/euco-2025-0011>
11. FAO report: agriculture remains a lifeline for rural families in war-affected Ukraine. FAO.ORG URL: https://www.fao.org/newsroom/detail/fao-report--agriculture-remains-a-lifeline-for-rural-families-in-war-affected-ukraine/en?utm_source=chatgpt.com (date of access: 01.05.26).
12. Сусол Р. Л., Гарматюк К. В., Халак В. І. Оптимізація системи розведення і годівлі свиней м'ясного напрямку продуктивності в умовах півдня України. *Зернові культури*. 2018. Т. 2. № 12. С. 353–359.
13. Сучасні методики досліджень у свинарстві / В. П. Рибалко, М. Д. Березовський, Г. А. Богданов та ін. / Ін-т свинарства УААН. Полтава, 2005. 228 с.
14. Методологія та організація наукових досліджень у тваринництві: навч. посіб. / О. І. Соболев, Недашківський В. М., Р. А. Петришак та ін.; за заг. ред. О. І. Соболева. Біла Церква. 2022. С. 74–81.
15. Технологія виробництва та переробки продукції тваринництва / В. І. Ладика, Л. М. Хмельничий, М. Г. Повод та ін. ; за заг. ред. В. І. Ладики, Л. М. Хмельничого. Одеса: Олді+, 2023. 244 с.
16. Європейська конвенція про захист хребетних тварин, що використовуються для дослідних та інших наукових цілей (Страсбург, 18 бер. 1986 р.). *Офіц. сайт Верховної Ради України: законодавство України*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_137#Text (дата звернення: 25.06.2026).
17. Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes (Text with EEA relevance). *Official J. of the European Union*. 2010. L 276/33. (дата звернення: 25.06.2026).
18. Біометричний аналіз мінливості ознак сільськогосподарських тварин і птиці : навч. посіб. / В. П. Коваленко та ін. Херсон, 2010. 225 с.
19. Аналіз біометричних даних у розведенні та селекції тварин / С. С. Крамаренко, С. І. Луговий, А. В. Лихач, О. С. Крамаренко. Миколаїв: МНАУ, 2019. 211 с.

20. Bo Ren, Xu Cheng, De Wu, Sheng-Yu Xu, Lian-Qiang Che, Zheng-Feng Fang, Gang Lv, Hong-Jun Dong, Yan Lin. Effect of different amino acid patterns on semen quality of boars fed with low-protein diets. *Animal Reproduction Sci.* 2012. Vol. 161 P. 96–103. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2015.08.010>

АПРОБАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЕНЕРГООЩАДНОЇ ГОДІВЛІ СВИНЕЙ ОСНОВНОГО СТАДА В УМОВАХ ОБМЕЖЕНИХ КОРМОВИХ РЕСУРСІВ

С. С. Арапакі,¹ П. Л. Сусол²

¹Одеський державний аграрний університет,
вул. Канатна, 99, м. Одеса, Україна, 65039

<https://ror.org/000kkaz97>

²Інститут свинарства і агропромислового виробництва НААН
вул. Шведська Могила 1, м. Полтава, Україна, 36009

<https://ror.org/00r693281>

Мета роботи полягала у проведенні апробації елементів енергоощадної годівлі свиней основного стада в умовах обмежених кормових ресурсів за використання принципу «ідеального протеїну» для кнурів і свиноматок різного віку. **Методи.** Науково-господарський дослід був проведений за загальноприйнятими у свинарстві методиками на свиноматках-першоопоросках гібридного походження $F_1 \frac{1}{2}$ (велика біла + ландрас) та термінальних кнурах-плідниках. За принципом пар-аналогів були сформовані контрольні та дослідні групи тварин. Кнури й свиноматки контрольних груп отримували типові збалансовані раціони, а тваринам дослідних груп згодовували комбікорми зі зниженим рівнем сирого протеїну та підвищеним вмістом кристалічного лізину відповідно до концепції «ідеального протеїну». По завершенню II лактації свиноматки контрольної та дослідної груп отримували ідентичні типові раціони годівлі. Досліджували показники відтворювальної здатності й продуктивних характеристик свиноматок протягом I–IV опоросу. Для кнурів-плідників визначали рівень споживання корму, проводили оцінку кондицій тіла й відтворювальної здатності, а також визначали збереженість плідників відносно початку їх використання. **Результати.** Аналіз відтворювальної здатності та продуктивності свиноматок за умови зниженого рівня протеїнового живлення на фоні оптимізації рівня лізину внаслідок використання його добавки у кристалічній формі не виявив суттєвого погіршення або покращення досліджуваних показників. Проте для кнурів-плідників дефіцит сирого протеїну на фоні часткової його компенсації лізином мав значно критичніші наслідки, оскільки сперматогенез – це один із найбільш амінокислотозалежних біологічних процесів у організмі свиней. Спостерігалось суттєве погіршення таких показників спермопродукції як об'єм еякуляту й концентрація сперматозоїдів. **Висновки.** Фактичне моделювання та апробація елементів енергоощадної годівлі свиней основного стада (кнурів і свиноматок різного віку) в умовах обмежених кормових ресурсів довело, що використання принципу «ідеального протеїну» для тварин цих груп цілком можливе, проте його слід розглядати як вимушений захід протягом нетривалого часу – наприклад, одного репродуктивного циклу відтворення свиноматок.

Ключові слова: свині, дефіцит кормів, енергоощадна годівля, сирий протеїн, амінокислотне живлення, відтворення, продуктивність, свиноматки, кнури-плідники

For citation (APA Style):

Arapaki, S. S., & Susol, R. L. (2026). Testing of energy-efficient feeding methods for breeding herd pigs under conditions of limited feed resources. *Svynarstvo i Ahropromyslove Vyrobnystvo* [Pig Breeding and Agroindustrial Production]. Poltava, 7(85), 7–19 [in Ukrainian]. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7\(85\)1](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7(85)1)

Використання штучного інтелекту (ШІ):

Автори рукопису засвідчують, що у процесі проведення дослідження та підготовки цього рукопису для виконання будь-яких завдань не використовували жодних інструментів або сервісів генеративного ШІ, перелічених у Таксономії делегування завдань генеративному ШІ (GAIDeT, 2025). Усі етапи роботи виконані виключно авторами.

Відомості про авторів:

Арапакі Сергій Сергійович, аспірант, кафедра технології виробництва і переробки продукції тваринництва, Одеський державний аграрний університет

Сусол Руслан Леонідович, доктор сільськогосподарських наук, професор, в. о. завідувача лабораторії молочного скотарства, Інститут свинарства і АПВ НААН

20. Bo Ren, Xu Cheng, De Wu, Sheng-Yu Xu, Lian-Qiang Che, Zheng-Feng Fang, Gang Lv, Hong-Jun Dong, Yan Lin. Effect of different amino acid patterns on semen quality of boars fed with low-protein diets. *Animal Reproduction Sci.* 2012. Vol. 161 P. 96–103. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2015.08.010>

АПРОБАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ ЕНЕРГООЩАДНОЇ ГОДІВЛІ СВИНЕЙ ОСНОВНОГО СТАДА В УМОВАХ ОБМЕЖЕНИХ КОРМОВИХ РЕСУРСІВ

С. С. Арапакі,¹ П. Л. Сусол²

¹Одеський державний аграрний університет,
вул. Канатна, 99, м. Одеса, Україна, 65039

<https://ror.org/000kkaz97>

²Інститут свинарства і агропромислового виробництва НААН
вул. Шведська Могила 1, м. Полтава, Україна, 36009

<https://ror.org/00r693281>

Мета роботи полягала у проведенні апробації елементів енергоощадної годівлі свиней основного стада в умовах обмежених кормових ресурсів за використання принципу «ідеального протеїну» для кнурів і свиноматок різного віку. **Методи.** Науково-господарський дослід був проведений за загальноприйнятими у свинарстві методиками на свиноматках-першоопоросках гібридного походження $F_1 \frac{1}{2}$ (велика біла + ландрас) та термінальних кнурах-плідниках. За принципом пар-аналогів були сформовані контрольні та дослідні групи тварин. Кнури й свиноматки контрольних груп отримували типові збалансовані раціони, а тваринам дослідних груп згодовували комбікорми зі зниженим рівнем сирого протеїну та підвищеним вмістом кристалічного лізину відповідно до концепції «ідеального протеїну». По завершенню II лактації свиноматки контрольної та дослідної груп отримували ідентичні типові раціони годівлі. Досліджували показники відтворювальної здатності й продуктивних характеристик свиноматок протягом I–IV опоросу. Для кнурів-плідників визначали рівень споживання корму, проводили оцінку кондицій тіла й відтворювальної здатності, а також визначали збереженість плідників відносно початку їх використання. **Результати.** Аналіз відтворювальної здатності та продуктивності свиноматок за умови зниженого рівня протеїнового живлення на фоні оптимізації рівня лізину внаслідок використання його добавки у кристалічній формі не виявив суттєвого погіршення або покращення досліджуваних показників. Проте для кнурів-плідників дефіцит сирого протеїну на фоні часткової його компенсації лізином мав значно критичніші наслідки, оскільки сперматогенез – це один із найбільш амінокислотозалежних біологічних процесів у організмі свиней. Спостерігалось суттєве погіршення таких показників спермопродукції як об'єм еякуляту й концентрація сперматозоїдів. **Висновки.** Фактичне моделювання та апробація елементів енергоощадної годівлі свиней основного стада (кнурів і свиноматок різного віку) в умовах обмежених кормових ресурсів довело, що використання принципу «ідеального протеїну» для тварин цих груп цілком можливе, проте його слід розглядати як вимушений захід протягом нетривалого часу – наприклад, одного репродуктивного циклу відтворення свиноматок.

Ключові слова: свині, дефіцит кормів, енергоощадна годівля, сирий протеїн, амінокислотне живлення, відтворення, продуктивність, свиноматки, кнури-плідники

For citation (APA Style):

Arapaki, S. S., & Susol, R. L. (2026). Testing of energy-efficient feeding methods for breeding herd pigs under conditions of limited feed resources. *Svynarstvo i Ahropromyslove Vyrobnystvo* [Pig Breeding and Agroindustrial Production]. Poltava, 7(85), 7–19 [in Ukrainian]. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7\(85\)1](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7(85)1)

The use of artificial intelligence (AI):

The authors of this manuscript confirm that, during the course of their research and the preparation of this manuscript, they did not use any generative AI tools or services listed in the Taxonomy for Delegating Tasks to Generative AI (GAIDeT, 2025) to carry out any tasks. All stages of the work were carried out exclusively by the authors.

Information about the authors:

Serhii Serhiiovych Arapaki, PhD student, Department of Livestock Production and Processing Technology, Odesa State Agrarian University

Ruslan Leonidovych Susol, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Acting Head of the Dairy Cattle Laboratory, Institute of Pig Breeding and Animal Production, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

УДК 636.4.082.266

ВІДТВОРНА ЗДАТНІСТЬ ДВОПОРОДНИХ СВИНОМАТОК ДАНСЬКОЇ СЕЛЕКЦІЇ ЗА ТОВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА СВИНИНИ

І. О. Бугай

Інститут свинарства і агропромислового виробництва НААН

вул. Шведська Могила, 1, м. Полтава, Україна, 36009

<https://ror.org/00r693281>

Бугай І. О. ✉

agkprime@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-1476-0903>

Рукопис надійшов/

Manuscript was received

13.04.2026

Після рецензування/

Received after review

16.05.2026

Прийнято до друку/

Accepted for printing

22.06.2026

Доступно онлайн/

Available online

30.06.2026

Декларування конфлікту інтересів:

Не потрібно

Етичне схвалення:

Схвалено Комісією з біоетики

ІС і АПВ НААН

(протокол № 2 від 07.04.2026)



Attribution License 4.0 International
(CC BY 4.0)



Мета. Дослідити відтворну здатність двопородних свиноматок данської селекції за їх поєднання з термінальними кнурами у вітчизняних умовах. **Методи.** Експериментальна частина роботи була виконана на базі ТОВ “Веда Поділля”. З метою вивчення відтворної здатності свиноматок за трипородних поєднань з термінальними кнурами були сформовані чотири групи тварин, що склалися з двопородних маток від поєднання ландрасів (Л) з великою білою (ВБ) породою з подальшим їх поєднанням з термінальними кнурами порід дюрк (Д) та п’єтрен (П). На основі абсолютних показників розраховувався індекс для комплексної оцінки відтворної здатності свиноматок – СІВЯС. Результати досліджень опрацьовували методом варіаційної статистики. **Результати.** Порівняно з традиційно прийнятою, тривалість поросності була більшою на 2,67–3,53 доби. За показником кількості мертворождалих порослят більшими значеннями вирізнялися двопородні матки ВБ×Л, як за їх поєднання з кнурами дюрк, так і з кнурами п’єтрен ($p < 0,05$). Поєднання (ВБ×Л)×П відзначалося більшим загальним числом народжених порослят, хоча ця різниця порівняно з іншими була невірогідною. За великоплідністю вищими значеннями вирізнялися поєднання двопородних маток з кнурами породи дюрк. При цьому двопородні матки ВБ×Л за їх поєднання з кнурами дюрк вірогідно перевершували за цим показником поєднання (Л×ВБ)×П на 9,32 % ($p < 0,05$) та на 8,70 % – поєднання (ВБ×Л)×П ($p < 0,05$). Більша чисельність порослят, які були переведені на штучне вигодовування, була у поєднаннях двопородних свиноматок з кнурами породи п’єтрен. За показниками маси гнізда та середньої маси одного поросляти при відлученні більші значення отримані за поєднання двопородних свиноматок з кнурами породи дюрк ($p < 0,05$). Вищим рівнем значень за індексом СІВЯС відзначалися поєднання двопородних свиноматок з кнурами п’єтрен. **Висновки.** Результати оцінки відтворної здатності двопородних свиноматок за їх поєднання з термінальними кнурами у вітчизняних умовах свідчать про високий рівень продуктивності всіх досліджених варіантів поєднань. При цьому, поєднання свиноматок велика біла × ландрас з кнурами породи дюрк характеризувалося вищим рівнем значень за показником маси гнізда при відлученні на 10,58 % ($p < 0,05$), а за показником середньої маси одного поросляти при відлученні – на 8,54 % ($p < 0,05$) порівняно з поєднаннями свиноматок ландрас × велика біла з кнурами породи п’єтрен. За комплексної оцінки відтворної здатності свиноматок, вищими значеннями індексу СІВЯС вирізнялися поєднання двопородних свиноматок з кнурами п’єтрен (124,95–125,90 бала) порівняно з поєднаннями двопородних свиноматок з кнурами породи дюрк (118,49–124,06 бала). **Ключові слова:** свині, відтворна здатність, СІВЯС, велика біла, ландрас, термінальні кнури, данська селекція, індекси.

Для цитування (за ДСТУ 8302:2025):

Бугай І. О. Відтворна здатність двопородних свиноматок данської селекції за товарного виробництва свинини. *Свинарство і агропромислове виробництво* : міжвідом. темат. наук. зб. / Ін-т свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2026. Вип. 7(85). С. 20–30. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7\(85\)2](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7(85)2)

Вступ. Свинарство завжди було провідною ланкою тваринництва України. Водночас на сьогодні воно не позбавлене негативних наслідків, пов'язаних зі світовою і вітчизняною економічною кризою, африканською чумою, імпортом селекційного матеріалу та продукції свинарства, спроможністю населення, а наразі – воєнною агресією РФ, які у сумі призводять до зменшення породного складу галузі, поголів'я, кількості господарств з розведення свиней, обсягу виробництва продукції, зникненню локальних вітчизняних популяцій тощо [1]. Попри це, свинарство продовжує залишатися однією з головних галузей тваринництва й відіграє важливу роль в економіці країни та в досягненні продовольчої безпеки. У свинарстві отримують важливі та корисні для людського організму продукти харчування, як-от м'ясо, сало, субпродукти. Свинина є важливою сировиною для переробних підприємств харчової промисловості для виготовлення бекону, шинки, ковбас, сосисок і різних консервів. Шкіра та щетина свиней використовуються в легкій промисловості [2]. Відповідно, проблема забезпечення населення України м'ясом та м'ясопродуктами в найближчі роки може бути вирішена переважно шляхом розвитку та зміцнення галузі свинарства. Саме про це свідчить і практика передового світового досвіду [3–5]. Свинарство має значні резерви для підвищення рентабельності. Інтенсифікація виробництва на внутрішньому ринку певною мірою обмежується поточною купівельною спроможністю населення, проте її зростання очікується в перспективі. Крім того, поглиблення інтеграції України до Європейського Союзу, ймовірно, відкриє нові можливості для розширення експорту [6, 7].

Слід також враховувати, що нині зберігається залежність вітчизняного свинарства від зарубіжної селекції. Так на думку низки науковців, за останні 30 років частка впливу зарубіжної селекції у свинарстві стала домінантною. Нині в Україні провідною є данська селекція, яку використовують переважно промислові господарства, натомість частка тварин вітчизняної селекції впала до такої, що не зумовлює суттєвого впливу на галузь. Водночас у вітчизняних умовах утримання та годівлі свиней імпортовані тварини не завжди продуктивніші за вітчизняних, що пов'язане насамперед із незадовільною адаптацією свиней закордонної селекції до місцевих геокліматичних та епізоотичних умов України [8–13]. За товарного виробництва продукції свинарства основним елементом різноманітних технологій, своєю чергою, є вірна організація системи промислового схрещування чи породно-лінійної гібридизації. Основою для цих систем є чистопорідні тварини племінних стад. Попри те, що в країні наявний достатньо широкий племінний склад, у свинарстві України в різноманітних системах схрещування та породно-лінійної гібридизації основною материнською формою є свині великої білої породи та тварини одержані при поєднанні порід велика біла й ландрас [9, 14–18]. При цьому саме відтворна здатність свиноматок є одним з визначальних елементів

ефективності загального виробництва свинини як на рівні товарних, так і племінних господарств.

Отже, враховуючи все вищевикладене, дослідження у вітчизняних умовах відтворної здатності двопородних свиноматок данської селекції за їх поєднання з термінальними кнурами є актуальним та має практичне значення. У цьому й полягала мета нашої роботи.

Матеріали та методи досліджень. Експериментальна частина роботи була виконана на базі ТОВ “Веда Поділля” (Тернопільська обл., Підволочиський р-н, село Поділля) за загальними принципами проведення досліджень [18]. З метою вивчення відтворної здатності свиноматок за трипородних поєднань з термінальними кнурами були сформовані чотири групи тварин (табл. 1), що склалися з двопородних маток від поєднання ландрасів (Л) з великою білою породою (ВБ) (I, III групи за прямих поєднань, II, IV – за зворотних поєднань) з подальшим поєднанням цих двопородних маток з термінальними кнурами порід дюрк (Д) та п’єтрен (П).

Таблиця 1. Схема досліджень

Групи тварин	Поєднання порід				Трипорідне поєднання
	Свиноматки		Кнури		
	порода	п	порода	п	
I	ЛхВБ	15	Д	3	(ЛхВБ)×Д
II	ВБхЛ	15	Д	3	(ВБ×Л)хД
III	ЛхВБ	15	П	3	(Л×ВБ)хП
IV	ВБхЛ	15	П	3	(ВБ×Л)хП

Піддослідних свиней годували повноцінними повнораціонними комбікормами згідно з нормами годівлі племінних тварин та відповідно до фізіологічних потреб [19].

У свиноматок враховували наступні показники продуктивності: тривалість поросності (дів); загальну кількість народжених порослят (голів); багатоплідність (число живих порослят при народженні, голів); масу гнізда порослят та їх індивідуальну масу при народженні (кг); кількість (голів), індивідуальну масу (кг) та масу гнізда порослят при відлученні у 28 дів (кг), збереженість порослят до відлучення (%). Також при народженні порослят погніздово враховували загальну кількість мертвонароджених, муміфікованих плодів та народжених слабких порослят (голів).

На основі абсолютних показників розраховували індекс для комплексної оцінки відтворної здатності свиноматок – СІВЯС (селекційний індекс відтворної здатності (відтворювальних якостей) свиноматок [20]), за формулою (1):

$$\text{СІВЯС} = 6X_1 + 9,34(X_2/X_3), \quad (1)$$

де: СІВЯС – селекційний індекс відтворної здатності (відтворювальних якостей) свиноматок;
 X_1 – багатоплідність, гол.;
 X_2 – маса гнізда порослят при відлученні, кг;
 X_3 – доба відлучення

Результати досліджень опрацьовували методом варіаційної статистики [21]. Проводили апостеріорні попарні порівняння за критерієм Тьюкі при параметричному ANOVA. Для статистичного аналізу даних використовували програму Microsoft Excel.

Результати дослідження та їх обговорення. Результати оцінки тривалості поросності двопородних свиноматок за поєднання їх з прикінцевими формами кнурів вказують на триваліший період поросності порівняно з традиційно прийнятим (114–115 діб) [22] (рис. 1). Так, по різних групах даний показник коливався в межах від 116,67 до 117,53 доби й порівняно з традиційно прийнятою тривалістю поросності був більшим на 2,67–3,53 доби.

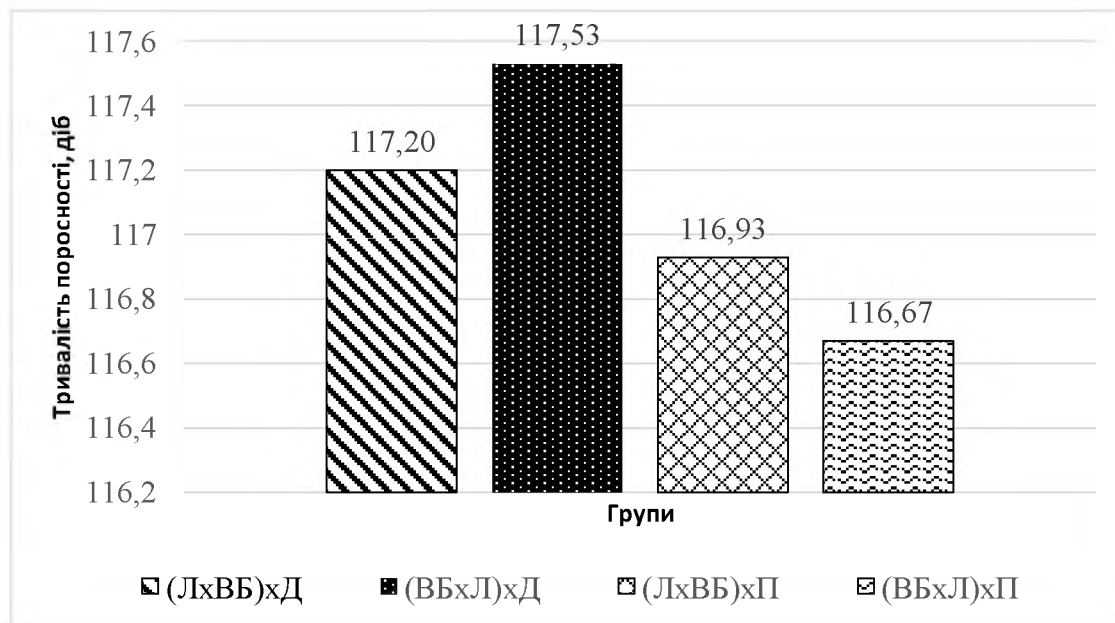


Рис. 1 Тривалість поросності свиноматок

Вірогідної різниці між всіма оціненими групами встановлено не було. Однак за використання кнурів породи дюрки за різних варіантів поєднань тривалість поросності перебувала в межах 117,20–117,53 доби, тоді як за використання плідників породи п'єтрен цей показник становив відповідно 116,67–116,93 доби.

За відтворювальними ознаками свиноматок (табл. 2), вірогідну різницю встановлено за такими показниками, як кількість мертвонароджених поросят та великоплідність.

За показником кількості мертвонароджених поросят більшими значеннями вирізнялися двопородні матки ВБхЛ як за їх поєднання з кнурами дюрки, так і з кнурами п'єтрен (останнє поєднання суттєво різнилося порівняно з варіантами (ВБхЛ)хД та (ЛхВБ)хП – $p < 0,05$).

Водночас, саме поєднання (ВБхЛ)хП відзначалося найбільшим загальним числом народжених поросят, хоча порівняно з іншими поєднаннями ця різниця була невірогідною.

Таблиця 2. Відтворювальні ознаки свиноматок за різних поєднань порід, $\bar{X} \pm S_x$

Поєднання	Всього народжених поросят, гол.	Багато-плідність, гол.	Мертво-народжених поросят, гол.	Маса гнізда при народженні, кг	Велико-плідність, кг
(Л×ВБ)×Д	18,67±0,481	16,73±0,529	1,93±0,384	26,05±0,913	1,56±0,026
(ВБ×Л)×Д	18,60±0,727	15,67±0,733	2,93±0,236	25,19±1,179	1,61±0,039
(Л×ВБ)×П	19,33±0,502	17,33±0,481	2,00±0,247	25,15±0,440	1,46±0,043 1*
(ВБ×Л)×П	20,47±0,654	16,93±0,357	3,53±0,622 1*, 2*	24,87±0,362	1,47±0,030 1*

Примітки: за критерієм Тьюки (порівняння між усіма 4 групами); Довірчий інтервал: 0,95 – *, 0,99 – **, 0,999 – ***; 1* – має достовірну різницю до ♀(ВБ×Л) × ♂Д; 2* – має достовірну різницю до ♀(Л×ВБ) × ♂П.

Стосовно числа живих поросят на опорос вищим рівнем (однак також без вірогідних різниць) відзначалися свиноматки поєднання (Л×ВБ)×П. Найменшим значенням загального числа поросят при народженні (в тому числі й живих) вирізнялося поєднання маток ВБ×Л з кнурами породи дюрк.

За масою гнізда при народженні вірогідних різниць між групами встановлено не було. Різниця між найбільш контрастними за цим показником групами (I й IV) становила 4,74 %.

За великоплідністю вищими значеннями вирізнялися варіанти поєднання двопородних маток з кнурами породи дюрк. При цьому двопородні матки ВБ×Л за їх поєднання з кнурами дюрк вірогідно перевершували за цим показником поєднання (Л×ВБ)×П на 9,32 % ($p < 0,05$) та на 8,70 % – поєднання (ВБ×Л)×П ($p < 0,05$).

Враховуючи потоковість технології товарного виробництва, відсутність необхідності чіткої ідентифікації походження кожного товарного поросяти та потребу в забезпеченні максимальної вирівняності в межах відлучних груп поросят, порівняно з племінним виробництвом, за товарного виробництва використовується такий підхід, як переведення частини поросят на штучне вигодовування. При цьому під свиноматкою залишають по 14 поросят на вигодовування. Відповідно враховується чисельність поросят, що переведені на штучне вигодовування після отримання молозива від свиноматки (табл. 3).

Таблиця 3. Показники відтворної здатності свиноматок при відлученні поросят на 21-й день

Поєднання	Переведено на штучне вигодовування, гол.	Кількість поросят при відлученні, гол.	Маса гнізда, кг	Середня маса 1 поросяти, кг	Збереженість, %
(Л×ВБ)×Д	2,73±0,529	11,73±0,457	70,94±2,997	6,05±0,143	83,81
(ВБ×Л)×Д	1,67±0,733	11,67±0,218	73,41±1,309	6,32±0,160	83,33
(Л×ВБ)×П	3,33±0,481	11,40±0,389	65,64±2,396 1*	5,78±0,166 1*	81,43
(ВБ×Л)×П	2,93±0,357	12,07±0,236	70,01±1,242	5,82±0,102	86,19

Примітки: за критерієм Тьюки (порівняння між усіма 4 групами); Довірчий інтервал: 0,95 – *, 0,99 – **, 0,999 – ***; 1* – має достовірну різницю до ♀(ВБ×Л) × ♂Д

Більша чисельність поросят переведених на штучне вигодовування була у поєднаннях двопородних свиноматок з кнурами породи п'єтрен.

Відносно кількості поросят при відлученні, вірогідної різниці між різними поєднаннями отримано не було: цей показник за різними групами коливався в межах від 11,40 до 12,07 гол.

За показниками маси гнізда та середньої маси одного поросяти при відлученні більші значення отримані за поєднання двопородних свиноматок з кнурами породи дюрк. Так поєднання свиноматок ВБ×Л з кнурами породи дюрк перевершувало поєднання свиноматок Л×ВБ з кнурами породи п'єтрен за показником маси гнізда при відлученні на 10,58 % ($p < 0,05$), а за показником середньої маси одного поросяти при відлученні – на 8,54 % ($p < 0,05$).

Відносно збереженості поросят до відлучення значних розбіжностей між групами встановлено не було. Цей показник коливався в межах від 81,43 до 86,19 % з різницею між найбільш контрастними групами на рівні 4,76 %.

Розрахунок індексу СІВЯС був проведений з урахуванням фактичної багатоплідності свиноматок (рис. 2).

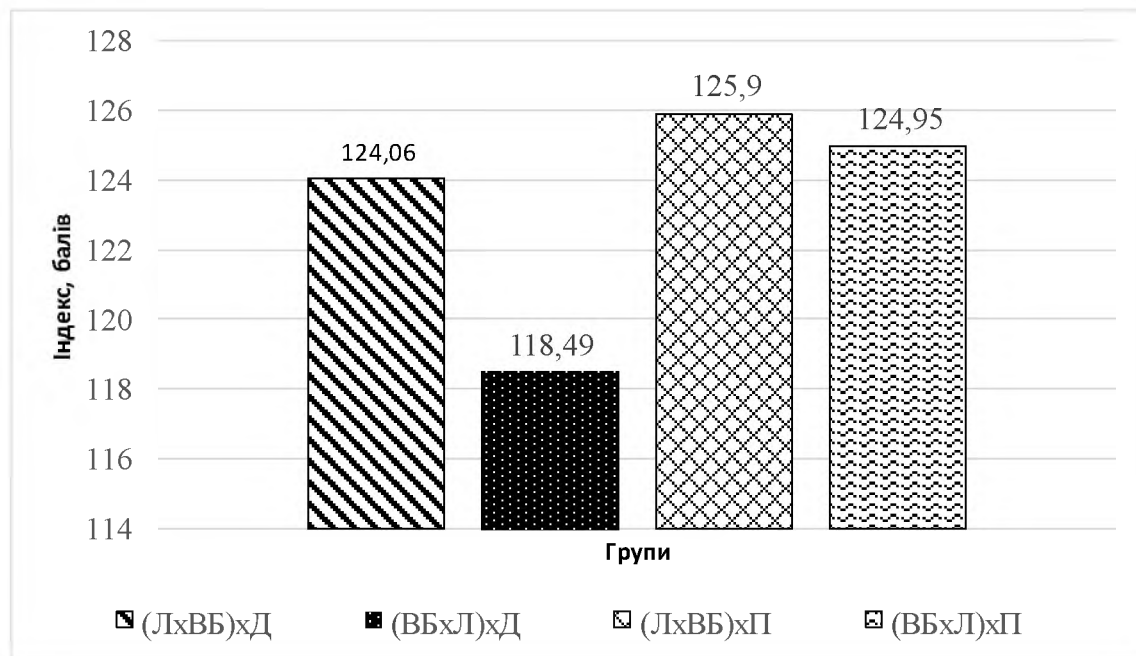


Рис. 2 Оцінка за індексом СІВЯС

Визначено, що вищим рівнем значень за індексом СІВЯС відзначалися поєднання двопородних свиноматок з кнурами породи п'єтрен порівняно з поєднаннями таких маток з кнурами породи дюрк.

Висновки. За результатами оцінки відтворної здатності двопородних свиноматок за їх поєднання з термінальними кнурами у вітчизняних умовах з'ясовано, що має місце високий рівень продуктивності всіх досліджених варіантів поєднань. При цьому, поєднання гібридних свиноматок порід велика біла х ландрас з кнурами породи дюрк характеризувалося вірогідно вищим рівнем значень маси гнізда при відлученні (на 10,58 %, $p < 0,05$) та середньої маси одного поросяти при відлученні (на 8,54 %, $p < 0,05$) порівняно зі свиноматками порід ландрас х велика біла за їх поєднання з кнурами породи п'єтрен. За комплексної оцінки відтворної здатності свиноматок, вищим рівнем значень індексу

СІВЯС вирізнялися поєднання двопородних свиноматок з кнурами породи п'єтрен (124,95–125,90 бала) порівняно з поєднаннями подібних свиноматок з кнурами породи дюрк (118,49–124,06 бала).

Перспективи подальших досліджень. Доцільно провести оцінку прояву ефекту гетерозису з метою встановлення кращих поєднань для впровадження у вітчизняних господарствах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Войтенко С. Л., Сидоренко О. В., Петренко М. О., Карунна Т. І. Сучасний стан свинарства та проблематика: ареал порід, основні селекційні ознаки, генеалогічна структура. *Розведення і генетика тварин*. 2026. Вип. 71. С. 31–40. <https://doi.org/10.31073/abg.71.04>
2. Повод М. Г., Ковальова О. М., Михалко О. Г., Меженський Г. В., Луник Ю. М., Гончар В. І. Аналіз галузі свинарства та оцінка економічної ефективності двофазового дорощування поросят за різних способів годівлі. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2025. (48). С. 86–95. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-3.11>
3. Гераніна Л. А. Репродуктивні якості свиноматок за різного рівня їх адаптації та інших індексів. *Свинарство і агропромислове виробництво* : міжвідом. темат. наук. зб. / Ін-т свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2025. Вип. 5–6(83–84). С. 34–45. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2025-5-6\(83-84\)3](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2025-5-6(83-84)3)
4. Ліннік В. С., Кузнецов Г. М., Берестова Л. Є., Креньов А. В., Ліхтер М. І. Виробництво та переробка свинини у домашньому господарстві / Ін-т тваринництва УААН. Харків, 2003. 123 с.
5. Маломуж З. О., Мазур В. Є. Продуктивність різних генотипів свиней при розведенні в чистоті, схрещуванні та гібридизації. *Свинарство*: респ. темат. наук. зб. Київ: Урожай, 1997. Вип. 53. С. 30–33.
6. Жижка С. В., Нечмілов В. М., Козир В. С. Оцінка ефективності систем утримання свиноматок англійського походження у станках різної конструкції в період лактації. *Свинарство і агропромислове виробництво* : міжвідом. темат. наук. зб. / Ін-т свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2025. Вип. 5–6(83–84). С. 46–65. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2025-5-6\(83-84\)4](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2025-5-6(83-84)4)
7. Михайлов В. В., Лихач В. Я., Ленков Л. Г., Садовий А. А., Фаустов Р. В. Європейське свинарство у цифрах: аналіз стану та тенденцій. *Таверійський науковий вісник. С.-г. науки* / Херсон. держ. аграрно-економ. ун-т. Одеса: ВД «Гельветика», 2024. № 135(2). С. 167–175. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.135.2.21>
8. Рибалко В. П., Церенюк О. М., Вовк В. О. Порівняльні інтродуктивні характеристики червоної білопоясої породи м'ясних свиней. *Свинарство і агропромислове виробництво* : міжвідом. темат. наук. зб. / Ін-т свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2025. Вип. 5–6(83–84). С. 122–137. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2025-5-6\(83-84\)8](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2025-5-6(83-84)8)
9. Войтенко С. Л., Петренко М. О., Шаферівський Б. С., Каруна Т. І. Племінне свинарство України: виклики часу. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. No 26(3). С. 81–86. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.15>
10. Юрченко О. С., Бондарська О. М., Лукаш В. Я., Калітаєв К. К., Коваленко О. А. Стан вітчизняного свинарства. Проблеми та перспективи. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. Кам'янець-Подільський, 2024. № 42. С. 53–63. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-1.8>
11. Повод М. Г., Храмкова О. М. Відтворювальні якості свиноматок F1 різної селекції та інтенсивності росту їх приплоду при гібридизації в умовах промислового комплексу. *Науково-технічний бюлетень Інституту тваринництва НААН*. Харків, 2016. № 116. С. 121–126. URL: <https://ifi-naas.org.ua/116-2016/> (дата звернення: 15.12.2026).
12. Хахула О. Б. особливості функціонування ринку продукції племінного свинарства в Україні. *Агросвіт*. 2020. № 13–14. С. 104–110. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2020.13-14.104>

13. Кремень М. І., Повод М. Г., Желізняк І. М., Шостя Г. М., Шпирна І. Г., Карунна Т. І. Продуктивні якості свинюматок великої білої та ландрас порід англійського походження за чистопородного розведення та схрещування і появу різних форм гетерозису при поєднанні цих порід. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Тваринництво*. Суми, 2024. № 3. С. 39–50. <https://doi.org/10.32782/bsnau.lvst.2024.3.5>
14. Скрипник В. О., Церенюк О. М., Акімов О. В. Відтворювальні якості свинюматок різних порід та поєднань. *Свинарство і агропромислове виробництво* : міжвідом. темат. наук. зб. / Ін-т свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2024. Вип. 4(82). С. 67–79. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2024-4\(82\)5](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2024-4(82)5)
15. Березовський М. Д., Наріжна О. Л., Ващенко П. А., Шостя А. М., Усенко С. О., Кузьменко Л. М., Слинько В. Г. Термінальні кнури та інші батьківські форми в системі гібридизації. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. Полтава, 2021. Вип. 3. С. 135–141. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.03.16>
16. Карпенко В. Господарські корисні якості свинюматок породи ландрас та велика біла за чистопородного розведення, схрещування та гібридизації в умовах промислового комплексу. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Тваринництво*. Суми, 2020. № 1(40). С. 59–64. <https://doi.org/10.32845/bsnau.lvst.2020.1.9>
17. Ващенко П. А. Комбінаційна здатність заводських ліній свиней великої білої породи. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. Полтава, 2009. № 3. С. 71–73.
18. Ібатуллін І. І., Жуковський О. М., Башенко М. І. Методологія та організація наукових досліджень у тваринництві. Київ: Аграрна наука, 2017. 327 с.
19. Проваторов Г. В., Ладика В. І., Бондарчук Л. В. Норми годівлі, раціони і поживність кормів для різних видів сільськогосподарських тварин. Суми: Універ. книга, 2007.
20. Церенюк О. М., Хватов А. І., Стрижак Т. А. Об'єктивна оцінка материнської продуктивності свиней. *Таврійський науковий вісник*. 2010. Вип. 69. С. 112–126.
21. Барановський Д. І., Хохлов А. М., Гетманец О. М. Биометрия в MS Excel: учеб. пособ. Харьков: ФЛП Бровин А. В., 2017. 228 с.
22. Kramarenko A., Yulevich O., Liuta I., Kramarenko S. Analysis of variability in gestation length in sows and its association with litter traits at birth. *Scientific Horizons*. 2024. Vol. 27. No 11. P. 9–20. <https://doi.org/10.48077/scihor11.2024.09>

REFERENCES

1. Voitenko, S. L., Sydorenko, O. V., Petrenko, M. O., & Karunna, T. I. (2026). Suchasnyi stan svynarstva ta problematyka: areal porid, osnovni selektsiini oznaky, henealohichna struktura [Current status of pig farming and problems: breeds areas, main selection traits, genealogical structure]. *Animal Breeding and Genetics*, 71, 31–40. <https://doi.org/10.31073/abg.71.04>
2. Povod M. G. et al. Analiz haluzi svynarstva ta otsinka ekonomichnoi efektyvnosti dvofazovoho doroshchuvannia porosiat za riznykh sposobiv hodivli. Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika [Analysis of the pig farming industry and assessment of the economic efficiency of two-phase growing of piglets under various feeding methods]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika* [Podilian Bulletin: agriculture, engineering, economics], 48, 86–95. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-3.11>
3. Heranina, L. A. (2025). Reproduktyvni yakosti svynomatok zalezno vid rivnia yikh adaptatsii ta inshykh indeksiv [Reproductive qualities of sows depending on their level of adaptation other indices]. *Svynarstvo i ahropromyslove vyrobnytstvo* [Pig Breeding and Agroindustrial Production]. Poltava, 5–6(83–84), 34–45 [in Ukrainian]. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2025-5-6\(83-84\)3](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2025-5-6(83-84)3)
4. Linnik, V. S., Kuznietsov, H. M., Berestova, L. Ye., Krenov, A. V., & Likhter, M. I. (2003). Vyrobnytstvo ta pererobka svynyny u domashnomu hospodarstvi [Pig production and processing on a small-scale farm]. Kharkiv: IT UAAN [in Ukrainian].
5. Malomuzh, Z. O., & Mazur, V. Ye. (1997). Produktyvnist riznykh henotypiv svynei pry rozvedenni v chystoti, skhreshchuvanni ta hibrizatsii [The performance of different

pig genotypes in pure-line breeding, crossbreeding and hybridisation]. *Svynarstvo* [Pig Breeding]. Kyiv: Urozhai, 53, 30–33 [in Ukrainian].

6. Zhyzhka, S. V., Nechmilov, V. M., & Kozyr, V. S. (2025). Otsinka efektyvnosti system utrymannia svynomatok anhliskoho pokhodzhennia u stankakh riznoi konstruktzii v period laktatsii [Evaluation of the efficiency of housing systems for english-origin sows in farrowing crates of different designs during lactation]. *Svynarstvo i Ahropromyslove Vyrobnystvo* [Pig Breeding and Agroindustrial Production]. Poltava, 5–6(83–84), 46–64 [in Ukrainian]. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2025-5-6\(83-84\)4](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2025-5-6(83-84)4)

7. Mykhaylov, V. V., Lykhach, V. Ya., Lenkov, L. G., Sadovyi, A. A., & Faustov, R. V. (2024). Yevropeiske svynarstvo u tsyfrakh: analiz stanu ta tendentsii [European pig farming in figures: an analysis of the current situation and trends]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Silskohospodarski nauky* [Tavria Scientific Bulletin. Agricultural Sci]. Odesa: VD «Helvetyka», 135(2). 167–175 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.135.2.21>

8. Rybalko, V. P., Tsereniuk, O. M., & Vovk, V. O. (2025). Porivnialni introduktivni kharakterystyky chervonoj bilopoiatoi porody miasnykh svynei [Comparative introductive characteristics of the red white- belted breed of meat pigs]. *Svynarstvo i Ahropromyslove Vyrobnystvo* [Pig Breeding and Agroindustrial Production]. Poltava, 5–6(83–84), 122–137 [in Ukrainian]. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2025-5-6\(83-84\)8](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2025-5-6(83-84)8)

9. Voitenko, S., Petrenko, M., Shaferivskiy, B., & Karuna, T. (2023). Pleminne svynarstvo Ukrainy: vyklyky chasu [Breeding pig farming of Ukraine: challenges of the time]. *Scientific Progress & Innovations*, 26(3), 81–86. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.15>

10. Yurchenko, O. S., Bondarska, O. M., Lykhach, V. Y., Kalitaev, K. K., Kovalenko, O. A. (2024). Ctan vitchyznianoho svynarstva. Problemy ta perspektyvy [The state of domestic pig production. Problems and prospects]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika* [Podilian Bulletin: agriculture, engineering, economics], 42, 53–63 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-1.8>

11. Povod, M. H., & Khramkova, O. M. (2016). Vidtvoriuvalni yakosti svynomatok F1 riznoi selektsii ta intensyvnosti rostu yikh pryplodu pry hibrizatsii v umovakh promyslovoho kompleksu [The reproductive performance of F1 sows from different breeding lines and the growth rates of their litters following hybridisation in an industrial farming setting]. *Naukovo-tekhnichnyi biuleten Instytutu tvarynnystva NAAN* [Scientific and technical bulletin of Livestock farming Institute of NAAS of Ukraine]. Kharkiv, 116, 121–126. URL: <https://lfi-naas.org.ua/116-2016/> (дата звернення: 15.03.2025).

12. Khakhula, B. (2020). Osoblyvosti funktsionuvannia rynku produktsii plemynnoho svynarstva v Ukraini [Some features of breeding pig products market in Ukraine]. *Agrosvit*, 13–14, 104–110. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2020.13-14.104>

13. Kremez, M. I., Povod, M. H., Zhelizniak, I. M., Shostia, H. M., Shpyrna, I. H., & Karunna, T. I. (2024). Produktivni yakosti svynomatok velykoi biloi ta landras porid anhliskoho pokhodzhennia za chystoporodnoho rozvedennia ta skhreshchuvannia i poiav riznykh form heterozysu pry poiednanni tsykh porid [Productive qualities of sows of the great white and landrace breeds of english origin during purebred breeding and crossing and the appearance of various forms of heterosis when combining these breeds]. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Livestock*, 3, 39–50. <https://doi.org/10.32782/bsnau.lvst.2024.3.5>

14. Skrypnyk, V. O., Tsereniuk, O. M., & Akimov, O. V. (2024). Vidtvoriuvalni yakosti svynomatok riznykh porid ta poiednan [Reproductive qualities of sows of different breeds and combinations]. *Svynarstvo i ahropromyslove vyrobnystvo* [Pig Breeding and Agroindustrial Production]. Poltava, 4(82), 67–79 [in Ukrainian]. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2024-4\(82\)5](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2024-4(82)5)

15. Berezovskyy, M. D., Narizhna, O. L., Vashchenko, P. A., Shostya, A. M., Usenko, S. O., Kuzmenko, L. M., & Slynko, V. H. (2021). Terminalni knury ta inshi batkivski formy v systemi hibrizatsii [Terminal boars and other male parents in hybridization system]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii* [Bulletin of Poltava State Agrarian Academy], 3, 135–141. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.03.16>

16. Karpenko, B. (2020). Hospodarsky korysni yakosti svynomatok porody landras ta velyka bila za chystoporodnoho rozvedennia, skhreshchuvannia ta hibrizatsii v umovakh promyslovoho kompleksu. [Economically useful qualities of sows landrace and large white for purebred breeding, crossbreeding and hybridization in conditions of industrial crossing]. *Visnyk*

Sumskoho Natsionalnoho Ahrarnoho Universytetu. Serii: Tvarynnystvo. [Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Livestock]. Sumy, 1(40), 59–64. <https://doi.org/10.32845/bsnau.lvst.2020.1.9>

17. Vashchenko, P. A. (2009). Kombinatsiina zdatnist zavodskykh liniy svynei velykoi biloi porody [Breeding potential of Large White pig breeding lines]. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii. Poltava* [Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy], 3, 71–73 [in Ukrainian].

18. Ibatullin, I. I., Zhukorskyi, O. M., & Bashchenko, M. I. (2017). Metodolohiia ta orhanizatsiia naukovykh doslidzhen u tvarynnystvi [Methodology and organisation of scientific research in animal husbandry]. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].

19. Provatorov, H. V., Ladyka, V. I., & Bondarchuk, L. V. (2007). Normy hodivli, ratsiony i pozhyvnist kormiv dlia riznykh vydiv silskohospodarskykh tvaryn [Feeding guidelines, diets and feed nutritional value for various types of farm animals]. Sumy: Universytetska Knyha [in Ukrainian].

20. Tsereniuk, O. M., Khvatov, A. I., & Stryzhak, T. A. (2010). Obiektivna otsinka materynskoï produktyvnosti svynei [An objective assessment of maternal productivity in sows]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk* [Tavria Scientific Bulletin], 69, 112–126 [in Ukrainian].

21. Baranovskyi, D. Y., Khokhlov, A. M., & Hetmanets, O. M. (2017). Byometryria v MS Excel [Byometryria v MS Excel]. Kharkov: FLP Brovyn A. V. [in Ukrainian].

22. Kramarenko, A., Yulevich, O., Liuta, I., & Kramarenko, S. (2024). Analysis of variability in gestation length in sows and its association with litter traits at birth. *Scientific Horizons*, 27(11), 9–20. <https://doi.org/10.48077/scihor11.2024.09>

REPRODUCTIVE CAPACITY OF TWO-BREED SOWS OF DANISH SELECTION IN PORK PRODUCTION

I. O. Buhai

*Institute of Pig Breeding and Agroindustrial Production NAAS
1 Shvedska Mohyla Str., Poltava, Ukraine, 36009
<https://ror.org/00r693281>*

Objective. To study the reproductive capacity of two-breed sows of Danish selection at combining them with terminal boars in domestic conditions. **Methods.** The experimental part of the work was carried out on the basis of LLC “Veda Podillia”. In order to study the reproductive capacity of sows in three-breed combinations with terminal boars, four groups of animals were formed, consisting of two-breed sows from the combination of Landraces (L) with Large White (LW) breed with their subsequent combination with terminal boars of Duroc (D) and Pietren (P) breeds. Based on the absolute indexes, an index for a comprehensive assessment of the reproductive capacity of sows – SIVIAS – was calculated. The results of the studies were processed by the method of variational statistics. **Results.** The duration of farrowing was longer by 2.67–3.53 days compared with the traditionally accepted one. In terms of the number of stillborn piglets, two-breed sows LW×L were distinguished by higher values, both when combined with Duroc boars and Pietren boars ($p < 0.05$). The combination (LW×L)×P was characterized by a higher total number of piglets born, although this difference compared to the others was insignificant. In terms of high fertility, the highest values were obtained for the combinations of two-breed sows with Duroc boars. At the same time, the two-breed LW ×L sows in their combination with Duroc boars significantly exceeded the combination (L×LW)×P by 9.32 % ($p < 0.05$) and the combination (LW×L)×P by 8.70 % ($p < 0.05$). The greater number of piglets that were transferred to artificial feeding was in the combinations of two-breed sows with Pietren breed boars. In terms of the indexes of the weight of the litter and the average weight of one piglet at weaning, the higher values were obtained for the combinations of two-breed sows with Duroc boars ($p < 0.05$). The highest level of values according to the SIVIAS index was noted for the combinations of two-breed sows with Pietren breed boars. **Conclusions.** The results of the assessment of the reproductive capacity of two-breed sows when combined with terminal boars in domestic conditions indicate a high level of productivity of all studied combinations. At the same time, the combination of Large White × Landrace sows with Duroc boars was characterized by a higher level of values for the litter weight at weaning by 10.58 % ($p < 0.05$), and for the average weight of one piglet at weaning – by 8.54 % ($p < 0.05$) compared to the combinations of Landrace × Large White sows with Pietren boars. In a comprehensive assessment of the reproductive capacity of sows, the highest values of the SIVIAS index were observed in the combinations of two-breed sows with Pietren boars (124.95–125.90 points) compared to the combinations of two-breed sows with Duroc boars (118.49–124.06 points).

Keywords: pigs, reproductive capacity, SIVIAS, Large White, Landrace, terminal boars, Danish selection, indexes

For citation (APA Style):

Buhai, I. O. (2026). Vidtvorna zdatnist dvoporodnykh svynomatok danskoi selektsii za tovarnoho vyrobnytstva svynyny [Reproductive capacity of two-breed sows of danish selection in pork production]. *Svynarstvo i Ahropromyslove Vyrobnytstvo* [Pig Breeding and Agroindustrial Production]. Poltava, 7(85), 20–30 [in Ukrainian]. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7\(85\)2](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7(85)2)

Використання штучного інтелекту (ШІ):

Автори рукопису засвідчують, що у процесі проведення дослідження та підготовки цього рукопису для виконання будь-яких завдань не використовували жодних інструментів або сервісів генеративного ШІ, перелічених у Таксономії делегування завдань генеративному ШІ (GAIDeT, 2025). Усі етапи роботи виконані виключно авторами.

Відомості про авторів:

Бугай Іван Олексійович, аспірант, Інститут свинарства і агропромислового виробництва НААН

УДК 638.19:638.132.1

ВПЛИВ ЗАПИЛЮВАЛЬНОЇ АКТИВНОСТІ МЕДОНОСНИХ БДЖІЛ НА ВРОЖАЙНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ НАСІННЯ СОНЯШНИКА

Г. Г. Дімчя

Державна установа Інститут зернових культур НААН,
вул. Володимира Вернадського, 14, м. Дніпро, 49009, Україна

Дімчя Г. Г. ✉
izkzoo3337@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9297-3138>

Рукопис надійшов/
Manuscript was received
16.04.2026
Після рецензування/
Received after review
05.05.2026
Прийнято до друку/
Accepted for printing
22.06.2026
Доступно онлайн/
Available online
30.06.2026

Декларування конфлікту інтересів:
Не потрібно

Етичне схвалення:
Не застосовується



Attribution Licens 4.0 International
(CC BY 4.0)



Бджоли, окрім виробництва основного найціннішого продукту харчування – меду, виконують величезну роботу з запилення сільськогосподарських культур, у тому числі соняшнику, в результаті значно підвищуючи його врожайність та вихід олії з одиниці площі, що має важливе народногосподарське значення щодо зміцнення продовольчої безпеки та експортного потенціалу України. Основним фактором, що визначає рівень урожайності соняшнику, є забезпеченість квіток перехресним запиленням. Трубочасті квітки соняшнику побудовані таким чином, що зазвичай виключається процес самозапилення. У літературі є дані про можливий перехід квіток соняшника до часткового самозапилення за несприятливих умов, але таке явище повністю виключається на ділянках гібридизації соняшнику через абсолютну відсутність пилку у квітках материнських ліній стерильних форм. **Мета досліджень** полягала у вивченні та обґрунтуванні доцільності використання медоносних бджіл як обов'язкового агротехнічного заходу для запилення батьківських ліній на ділянках гібридизації соняшнику. **Методи.** Польовий – спостереження за фазами росту і розвитку рослин; лабораторний – встановлення якості насіння та структури врожаю; математично-статистичний – дисперсійний аналіз результатів досліджень. **Результати.** Встановлено, що на ділянках гібридизації соняшнику медоносні бджоли активно харчувалися на квітучих кошиках материнської та батьківської ліній з 10 до 18 години. У цей час чисельність бджіл на кошиках перевищувала середню протягом дня на 6–23 %. Спостереження за поведінкою понад 1000 бджіл показали, що 88–91 % їх перельотів відбувалися у межах однієї батьківської лінії, а 62–75 % – у межах одного рядка. З усіх перельотів бджіл під час їх льотно-збиральної роботи на ділянці гібридизації лише 9–12 % здійснювалися між рослинами батьківських ліній. Отримані дані свідчать, що зі збільшенням тривалості затримки запилення кошиків швидко зростає і їх пустозерність. Затримання запилення соняшника на ділянках гібридизації на 11 днів призвело до суттєвого зменшення кількості сім'янок в кошиках материнської лінії до рівня постійно ізолюваних рослин. **Висновки.** Поліпшення умов запилення батьківських ліній шляхом збільшення чисельності медоносних бджіл на ділянці гібридизації соняшнику сприяло збільшенню врожайності гібридного потомства F₁ на понад 15 % та підвищенню вмісту олії в сім'янках на 1,2–1,6 %. **Ключові слова:** медоносні бджоли, соняшник, запилення, рівень зав'язування, урожайність, олійність.

Для цитування (за ДСТУ 8302:2025):

Дімчя Г. Г. Вплив запилювальної активності медоносних бджіл на врожайність та якість насіння соняшника. *Свинарство і агропромислове виробництво* : міжвідом. темат. наук. зб. / Ін-т свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2026. Вип. 7(85). С. 31–41. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7\(85\)3](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7(85)3)

Негативна динаміка скорочення кількості бджолиних сімей при суттєвому збільшенні площ, зайнятих посівами соняшнику в загальній структурі сівозмін польових культур України, значно ускладнила ситуацію з його запиленням.

Найбільш гостро дефіцит запилювачів відчувається на ділянках гібридизації ентомофільних культур [1–3].

Враховуючи особливості запилення соняшнику на ділянках гібридизації, де широко використовується явище цитоплазматичної чоловічої стерильності (ЦЧС), медоносні бджоли є найважливішим фактором, що потенційно є здатним забезпечити андростерильні квітки материнської форми своєчасним якісним запиленням і гарантувати ефективне їхнє запліднення [4–6].

Висока ефективність бджолозапилення обумовлюється не лише біологічними особливостями розвитку репродуктивних органів, а й самого процесу запліднення, який багато в чому визначає врожайність культур, що запилюються [7–8].

При обмеженому запиленні уповільнений розвиток зародка є результатом ослаблення фізіологічних процесів під час подвійного запліднення та подальшого розвитку зиготи. Порушення процесу запліднення та ембріогенезу, внаслідок обмеженого запилення, зазвичай призводить до значного зниження плодоношення. Бджолозапилення справляє позитивний вплив на поліпшення першої, найбільш відповідальної фази запліднення, під час якої відбувається проростання пилкових трубок у тканинах стовпчика квітки [9–11].

Суттєвий вплив на якість гібридного насіння, поряд з умовами вирощування, мають терміни схрещування батьківських форм. Подібно до всіх процесів розвитку, в статевих клітинах рослин настають критичні періоди найбільшого ослаблення запліднювальної здатності. Це зазвичай спостерігається при запиленні порівняно застарілих статевих елементів квітки. У міру старіння квітки у зародкових мішках спостерігається поступова дегенерація їх елементів. Зменшується вміст каротиноїдів у маточках, починається помутніння синергід і руйнується провідна тканина стовпчика. При цьому депресія запліднення призводить до депресії потомства. З підвищенням віку статевих органів та клітин продуктивність рослин падає, що очевидно пов'язане зі зменшенням їх життєздатності та падінням запліднювальної здатності [12–14].

Культурні ентомофільні рослини, у тому числі й соняшник, виявляють значну пластичність при запиленні та заплідненні. Теоретично та практично доведено шкідливий вплив обмеженого запилення рослин на кількість та якість насіння [15–19]. Але спеціальних досліджень щодо виявлення причин, що сприяють обмеженому запиленню соняшнику, недостатньо. Часто нові сорти та гібриди соняшнику, які добре зарекомендували себе на невеликих селекційних ділянках, після впровадження у виробництво не виявляють своєї потенційно можливої продуктивності. У таких випадках, зазвичай, низька врожайність мотивується несприятливою дією абіотичних факторів у період розвитку рослин, не надаючи при цьому значення умовам запилення квіток. Це і призвело до того, що нині насичене запилення ентомофільних культур та раціональне розміщення пасік на масивах вважається, на жаль,

додатковим, а не обов'язковим агротехнічним заходом. Особливої актуальності набуває вивчення факторів, що впливають на механізм запилення соняшнику на ділянках гібридизації, де будь-які порушення цього процесу істотно впливають не тільки на кількість та якість насіння, а й на ступінь прояву ефекту гетерозису у гібридного потомства.

Метою роботи було вивчити та обґрунтувати доцільність використання медоносних бджіл як обов'язкового агротехнічного заходу, що сприяє покращенню запилення схрещуваних батьківських ліній, підвищенню врожайності та якості насіння на ділянках гібридизації соняшнику.

Матеріали та методи досліджень. Облік відвідуваності квіток бджолами проводили на 100 квітучих рослинах у трьох повтореннях з інтервалами у 2 години, починаючи з 8 години ранку до 20 години вечора протягом 6–7 днів за період цвітіння. Характер перельотів бджіл між рослинами батьківської та материнської ліній вивчали на суміжних рядках у період з 10 до 14 години. Спостереження проводили за бджолами, які харчувалися на кошиках рослин, що добре проглядалися. У кожній повторності спостерігали за 150–200 бджолами. Ефективність запилення квіток материнської лінії на ділянці гібридизації визначали на облікових ділянках площею 10 м², розміщених на певній відстані від пасіки. Половину кожної ділянки накривали марлевым ізолятором до початку цвітіння рослин.

Вплив термінів запилення на рівень зав'язування насіння вивчали у 8 варіантах з різним періодом штучного затримання запилення кошиків. Облік кількості повноцінного насіння та визначення рівня зав'язування проводили у фазу біологічної стиглості.

Методи досліджень: польовий – спостереження за фазами росту і розвитку рослин, визначення біометричних показників та продуктивності; лабораторний – встановлення якості насіння та структури врожаю; математично-статистичний – дисперсійний аналіз результатів досліджень. Польові дослідження проводили з урахуванням вимог методики дослідної справи [20].

Результати дослідження. Проведені дослідження показали, що медоносні бджоли віддають перевагу квіткам рослин материнської лінії з цитоплазматичною стерильністю. У середньому на кошиках рослин материнської лінії харчувалися на 37,8 % більше медоносних бджіл, ніж на квітках рослин батьківської форми (рис. 1).

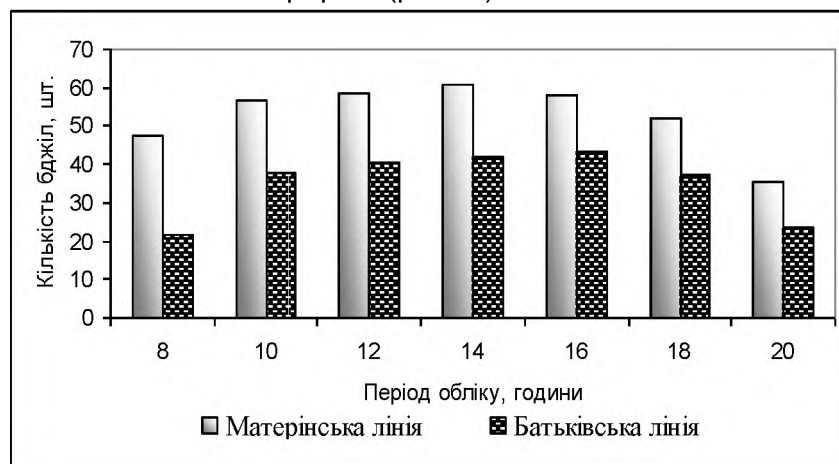


Рис. 1. Кількість медоносних бджіл на кошиках 100 рослин батьківських ліній на ділянці гібридизації соняшнику

Активне харчування медоносних бджіл на кошиках материнської та батьківської ліній відзначається в період з 10 до 18 години. У цей час чисельність бджіл на кошиках перевищує середню протягом дня на 6–23 %.

Спостереження за поведінкою понад 1000 бджіл показали, що 88–91 % їх перельотів відбувалися у межах однієї батьківської лінії, а 62–75 % – у межах одного рядка. З усіх перельотів бджіл під час їх льотно-збиральної діяльності на ділянці гібридизації лише 9–12 % здійснювалися між рослинами батьківських ліній. Але при цьому більшість (82 %) бджіл, що працювали на чоловічо-стерильних кошиках материнської лінії, носили на своєму тілі пилкові зерна рослин батьківської форми.

Показником ефективності запилювальної діяльності бджіл є порівняльний аналіз їх щільності на ділянках, розташованих на різній відстані від пасіки. Аналіз особливостей розподілу медоносних бджіл на ділянці гібридизації сояшника свідчить про значний вплив відстані від пасіки на чисельність бджіл на кошиках рослин та рівень зав'язування гібридного насіння (рис. 2).

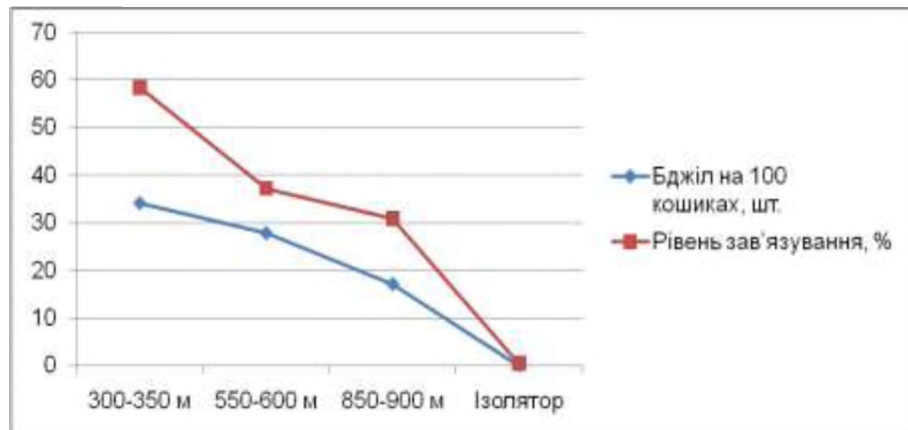


Рис. 2. Чисельність бджіл та рівень зав'язування гібридного насіння у кошиках сояшника за різної відстані ділянок від пасіки

Найменша щільність бджіл на дослідних ділянках спостерігається на початку та в кінці періоду цвітіння. Поступово, зі збільшенням кількості квітучих рослин на масиві, зростає і чисельність бджіл які харчуються на квітках кошиків сояшника на ділянці. Максимальна щільність комах на облікових ділянках відзначається під час масового цвітіння рослин. При цьому на близькій відстані від пасіки бджоли переважно харчувалися на квітках материнської лінії. Зі збільшенням відстані від пасіки зменшувалася чисельність бджіл на ділянці та значно знижувався рівень зав'язування та утворення повноцінного гібридного насіння в кошиках рослин материнської форми.

Рослини, які перебували у різних умовах запилення, утворили різну кількість повноцінних сім'янок. Найбільше сім'янок утворилося в кошиках рослин поблизу пасіки, де умови запилення були найбільш сприятливими.

Дослідження особливостей запилення батьківських ліній на ділянці гібридизації сояшника показало також значний вплив термінів запилення на рівень формування сім'янок у кошиках материнської лінії. Несвоєчасне запилення квіток ускладнює процес запліднення та помітно знижує кількість повноцінних сім'янок у кошиках (табл. 1).

Таблиця 1. Рівень зав'язування сім'янок соняшника за різних термінів запилення рослин на ділянках гібридизації

Варіанти дослідів	Середня кількість в 1 кошику, шт.		Рівень зав'язування, %
	квітів	сім'янок	
Вільне запилення (контроль)	2221±1,87	1326±0,97	59,7
Запилення затримано на:			
1 день			
3 дні	2299,1±1,88	1329,0±0,87	57,8
5 днів	2352,4±2,21	1228,4±1,18	52,2
7 днів	2183,7±1,14	1037,7±0,98	47,5
9 днів	2275,1±2,05	712,6±1,11	31,3
11 днів	2268,4±1,11	338,8±0,28	14,9
	2473,5±1,17	136,4±1,14	5,5
Постійний ізолятор	2286,8±2,05	32,9±0,48	1,4
HIP ₀₅			8,99*

Примітка* HIP₀₅ (найменша істотна різниця, рівень значущості 0,05) – статистичний показник, що визначає мінімальну різницю між середніми значеннями варіантів, яка є достовірною при 95%-му рівні ймовірності.

Штучна затримка запилення кошиків соняшника на 1 день призвела до зниження рівня зав'язування сім'янок на 3,2 % порівняно з рослинами, яким було забезпечене вільне запилення. Зі збільшенням тривалості затримки запилення кошиків зростає і їх пустозерність. Затримання запилення на 11 днів призвело до зниження кількості сім'янок майже до їх рівня в кошиках постійно ізолюваних рослин. Суттєвої різниці за цим показником в останніх двох варіантах дослідів не встановлено.

Порушення механізму запилення соняшнику у певні періоди цвітіння значно впливає і на процес формоутворення кошиків рослин. Відсутність запилення в перший період цвітіння кошика призводить до великої пустозерності його периферичної зони. При цьому та частина кошика, в якій розвиваються без'ядерні сім'янки, сильно відстає в рості, а покращення умов запилення у другому періоді цвітіння рослин та утворення повноцінних сім'янок сприяє сильнішому розростанню центральних зон кошика, що призводить до його деформації. Такі кошики набувають опуклої форми, що є наочним показником недостатнього запилення рослин у початковий період цвітіння. Інше явище спостерігається для кошиків, запилення яких у перші дні цвітіння відбувалося за оптимальних умов, а потім квітки центральної зони залишалися незаплідненими. У цьому випадку відбувається нормальний розвиток периферичної частини кошика і відставання в рості центральної зони, надаючи їй увігнуту форму. Рослини, цвітіння яких проходило в умовах насиченого вільного запилення, мали добре розвинені кошики з наповненими у всіх зонах сім'янками.

Умови перезапилання батьківських ліній на ділянках гібридизації соняшнику суттєво впливають і на якість насіннєвого матеріалу. При цьому відзначена пряма негативна залежність питомої маси насіння від їх кількості в кошику (табл. 2).

Таблиця 2. Якість гібридного насіння соняшнику, отриманого за різних рівнів запилення рослин

Варіант	Відстань від пасіки, м	Кількість бджіл на 100 кошиках, шт.	Рівень зав'язування сім'янок, %	Маса 1000 шт. сім'янок, г	Урожайність 1 рослини, г
1	300–350	34,1	58,5	68,6	62,8
2	550–600	27,8	37,3	73,3	41,1
3	850–900	17,1	30,9	73,4	37,8
4	Ізолятор	0	0,4	97,2	0,6
НІР ₀₅			10,88*	2,03*	13,2*

Примітка* НІР₀₅ - найменша істотна різниця, рівень значущості 0,05

З даних таблиці 2 видно, що зменшення кількості сім'янок в кошиках рослин у другому і третьому варіантах на 36,2 і 47,2 % сприяло підвищенню маси насіння відповідно на 6,9 і 7,0 %. Ще більшою масою відрізняються сім'янки з кошиків постійно ізольованих рослин.

Значне збільшення питомої маси сім'янок у кошиках із низьким рівнем зав'язування у цьому випадку має соматичний характер і відбувається внаслідок поліпшення умов їх живлення. Оскільки утворення цих сім'янок відбувається в режимі обмеженого запилення і, як правило, в межах одного кошика, генетичний потенціал продуктивності та прояв надалі у них ефекту гетерозису є нижчими.

Результати гібридизації соняшнику великою мірою залежать від умов вирощування батьківських форм. Різні умови перезапилення батьківських ліній у наших дослідженнях відчутно вплинули на рослини першого покоління. Особливо характерним було збільшення їх висоти та подовження вегетаційного періоду. При цьому коливання рівня гетерозису залежно від умов запилення і запліднення було рівноцінним коливанню цієї величини за різних комбінацій гібридизації [3, 4, 10, 12].

Наші дослідження також свідчать, що рослини F₁, отримані з насіння вирощеного в умовах обмеженого запилення і під ізоляторами без бджіл, мають вищу енергію росту (табл. 3).

Таблиця 3. Морфологічні особливості гібридних рослин F₁ отриманих за різних умов запилення

Варіант	Умови запилення батьківських ліній	Висота рослин, см		Діаметр зрілого кошика, см
		у фазі 4-5 пар листків	перед цвітінням	
1	Насичене запилення	19,7	169,1	21,7
2	Обмежене запилення	22,9	175,7	20,9
3	Ізолятор	23,1	179,0	20,5
НІР ₀₅		1,83*	15,06*	1,23*

Примітка* НІР₀₅ - найменша істотна різниця, рівень значущості 0,05

Висота рослин у цих випадках у фазі 4-5 пар листків була вищою, ніж у рослин, отриманих в умовах насиченого запилення медоносними бджолами, відповідно на 16,2 та 17,3 %. Відмінності за висотою збереглися й у наступні фази розвитку рослин, але були менш вираженими.

Перед цвітінням рослини у варіанті 1 поступалися за висотою рослинам варіантів 2 і 3 відповідно на 3,9 і 5,9 %. Відмінності у силі росту рослин, особливо у перші фази їх розвитку, пояснюються позитивним впливом на енергію росту крупності насіння цих варіантів. Більший вміст пластичних речовин у великих ендоспермах насіння сприяє швидшому росту і розвитку вегетативних органів рослин. При цьому більш енергійний розвиток рослин у варіантах 2 і 3 не відбивається на розмірі кошиків. За діаметром зрілих кошиків рослини цих варіантів поступаються варіанту 1 відповідно на 3,7 і 5,5 %.

В окремі роки, залежно від кліматичних умов, висота рослин у варіантах 2 і 3 істотно коливалася. Цим підтверджується соматична сутність підвищеної енергії росту рослин у цих варіантах. У варіанті 1 рослини характеризувалися великою сталістю морфологічних ознак, що пояснюється підвищеною генетичною цінністю насіннєвого матеріалу, отриманого в умовах насиченого запилення батьківських ліній.

Обмежене запилення батьківських ліній негативно впливає і на пилову продуктивність гібридних рослин F_1 . Найменшою пиловою продуктивністю характеризувалися рослини третього варіанту, батьківські лінії яких знаходилися в найскладніших умовах перезапилення. У випадках, де запилення батьківських ліній здійснювалося переважно медоносними бджолами, пилова продуктивність гібридного потомства була вищою на 5,9–10 %.

Щільність запилення батьківських ліній на ділянці гібридизації, поряд з іншими агротехнічними заходами, значно впливає на прояв гетерозису у гібридного потомства F_1 (табл. 4).

Таблиця 4. Продуктивність гібридних рослин F_1 отриманих при насиченому та обмеженому перезапиленні батьківських ліній

Варіант	Умови запилення батьківських ліній	Маса сім'янок з 1 кошика, г	Олійність сім'янок, %
1	Насичене запилення	112,6	49,8
2	Обмежене запилення	97,3	48,6
3	Ізолятор	95,2	48,2
HIP ₀₅		10,76*	1,37*

Примітка* HIP₀₅ - найменша істотна різниця, рівень значущості 0,05

Дані таблиці свідчать, що найбільшою продуктивністю вирізняються гібридні рослини варіанту 1, які були отримані із насіння рослин з насиченим рівнем запилення на ділянці гібридизації. Різниця між урожайністю рослин у варіантах 2 і 3 несуттєва і становить лише 2,2 %. Гібридні рослини у варіанті 1 характеризуються не лише більшою врожайністю, але й підвищеною олійністю сім'янок. Поліпшення умов запилення батьківських ліній шляхом збільшення чисельності медоносних бджіл на ділянці гібридизації сприяло підвищенню вмісту олії у сім'янках гібридного потомства F_1 на 1,2–1,6 %. Аналогічні дані були отримані також при розрахунку виходу олії з 1 га посіву. Відсутність медоносних бджіл або незначна їх кількість на ділянці гібридизації має еквівалентну дію на врожайність та вміст олії в насінні гібридних рослин першого покоління.

Висновки:

1. Одним із найефективніших способів підвищення рівня зав'язування сім'янок у кошиках материнських рослин з цитоплазматичною стерильністю на ділянці гібридизації соняшника є своєчасне перезапилення батьківських ліній медоносними бджолами.

2. Насичене запилення материнської лінії на ділянках гібридизації протягом перших трьох днів цвітіння трубчастих квіток сприяє підвищенню урожайності, суттєвому покращенню якості гібридного насіння та збільшенню вмісту олії в сім'янках рослин товарних посівів гібридів соняшнику.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шакалій С. М., Сенчук Т. Ю., Шевченко В. В., Баган А. В., Сенчило О. О. Формування урожайного потенціалу гібридів соняшника залежно від породи бджіл. *Таврійський науковий вісник. Серія: С.-г. науки* / Херсон. держ. аграр.-екон. ун-т. Херсон: ВД «Гельветика», 2021. № 121. С. 115–121. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.121.16>
2. DeGrandi Hoffman G., Martin J. H. The size and distribution of the honey bee (*Apis mellifera* L.) cross-pollinating population on male-sterile sunflowers (*Helianthus annuus* L.) *J. of Apiculture Research*. 1993. Vol. 32. Iss. 3–4. P. 135–142.
3. Skinner J.A. Abundance and spatial distribution of bees visiting male sterile and male fertile sunflower cultivars in California. *Environmental Entomolog.* 1987. Vol.16. Iss. 4. P. 922–927
4. Шакалій С. М., Баган А. В., Бараболя О. В. Продуктивність гібридів соняшника залежно від густоти посіву та ширини міжрядь. *Наукові доповіді Національного університету біотехнологій і природокористування України*. 2019. Вип. 15. № 5. С. 24–33. <https://doi.org/10.31548/dopovidi2019.05.003>
5. Троценко В. І. Соняшник: селекція, насінництво, технологія вирощування: монографія. Суми: Універ. книга, 2001. 184 с.
6. Поляков О. І. Агротехнічні і біокліматичні особливості формування урожайності і якості насіння соняшнику, сої, льону, кунжуту, рижю, молочаю в Південному Степу України : автореф. дис. д-ра с.-г. наук: 06.01.09. Дніпропетровськ, 2011. 38 с.
7. Кулинич І. М., Сенчук Т. Ю. Бджолозапилення як інструмент отримання якісного посівного матеріалу та сільськогосподарської продукції. *Сучасні напрями та досягнення селекції і насінництва сільськогосподарських культур* : матеріали наук.-практ. інтернет-конф. (Полтава, 30 бер. 2021 р.) / Полтав. держ. аграр. акад. Полтава, 2021. С. 78–80.
8. Гречка Г., Сенчук Т. Особливості флороспеціалізації українських бджіл у лісостеповій зоні України. *Бджільництво України*. 2020. Т.1. № 5. С. 7–14. <https://doi.org/10.46913/beekeepingjournal.2020.5.01>
9. Weidenmüller A., Tautz, J. In-Hive Behavior of Pollen Foragers (*Apis mellifera*) in Honey Bee Colonies Under Conditions of High and Low Pollen Need. *Etology*. 2002. Vol. 108. P. 205–221. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0310.2002.00759x>
10. Маркушин М. М., Маркушина Є. М., Петерсон Н. В., Мельников М. М. Фізіологія рослин. Вінниця: Нова Книга, 2006. 413 с.
11. Копильчук Г. П. Загальна цитологія: навч. посібник. Чернівці: Рута, 2008. 304 с.
12. Редько В. В. Особливості онтогенезу та формування продуктивності цукрових буряків і соняшнику. Київ: УкрІНТЕЛ, 1994. 140 с.
13. Андрієнко О., Жужа О. Причини невиповненості насіння та кошика соняшнику. *Пропозиція*. 2016. № 3. С. 60–68.
14. Endress P. K. Angiosperm ovules: diversity, development, evolution. *Annals of Botany*. 2011. Vol. 107. Iss. 9. P. 1465–1489. <https://doi.org/10.1093/aob/mcr120>
15. Кириченко В. В. Селекция и семеноводство подсолнечника (*Helianthus annuus* L.). Харьков. 2005. 385 с.
16. Seetharam A., Satyanarayana A.R., Method of hybrid seed production in sunflower (*Helianthus annuus* L.). I. Effect of parental ratios and method of pollination on hybrid seed yield and its attributes. *Seed Research*. 1983. Vol.11. Iss. 1. P. 1–7

17. Маркова Н. В. Агроекологічні аспекти вирощування гібридів соняшнику в умовах південного степу України. *Вісник аграрної науки Причорномор'я* / Миколаїв. нац. аграр. ун-т. Миколіїв, 2014. Вип. 1 (77). С. 133–139.
18. Parker F. D. Sunflower Pollination: Abundance, Diversity and Seasonality of Bees and Their Effect on Seed Yields. *J. of Apicultural Research*. 1981. Vol. 20. Iss.1. P. 49–61.
19. Ткаліч І. Д., Гирка А. Д., Бочевар О. В., Ткаліч Ю. І. Агротехнічні заходи підвищення урожайності насіння соняшника в умовах Степу України. *Зернові культури*. 2018. Т. 2. № 1. С. 44–52. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0006>
20. Єщенко В. О., Копитко П. Г., Опришко В. П., Костогриз П. В. Основи наукових досліджень в агрономії : підручник / за ред. В. О. Єщенка. Київ: Дія. 2005. 288 с.

REFERENCES

1. Shakaliy, S. M., Senchuk, T. Yu., Shevchenko, V. V. Bahan, A. V. & Senchylo, O. O. (2021). Formuvannia urozhainoho potentsialu hibrydiv soniashnyka zalezno vid porody bdzhil [Formation of the yield potential of sunflower hybrids depending on the breed of bees]. *Tavriyskyi naukovyi visnyk. Seriya: Silskohospodarski nauky* [Taurida Scientific Herald. Series: Rural Sciences]. Kherson: Kh.SAEU, 121, 116–121 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.121.16>
2. De Grandi Hoffman, G., & Martin, J. H. (1993). Population size and distribution of honey bees (*Apis mellifera* L.) cross-pollinating male-fertile sunflowers (*Helianthus annuus* L.). *J of Apiculture Research*, 32(3–4), 135–142.
3. Skinner, J. A. (1987). Abundance and spatial distribution of bees visiting male sterile and male fertile sunflower cultivars in California. *Environmental Entomolog*, 16(4), 922–927.
4. Shakalii, S. M., Bahan, A. V., & Barabolia, O. V. (2019). Produktivnist hibrydiv soniashnyka zalezno vid hustoty posivu ta shyryny mizhriad [Productivity of sunflower hybrids depending on sowing density and row spacing]. *Naukovi dopovidi NUBIP Ukrayiny* [Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine], 15(5), 24–33 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31548/dopovidi2019.05.003>
5. Trotsenko, V. I. (2001). Sonyashnyk: selektsiya, nasinnytstvo, tekhnolohiya vyroshchuvannya [Sunflower: breeding, seedproduction, cultivation, technology]. Sumy: Univer. Knyha [in Ukrainian].
6. Polyakov, O. I. (2011). Ahrotekhnichni i bioklimatychni osoblyvosti formuvannia urozhainosti i yakosti nasinnia soniashnyku, soi, lonu, kunzhutu, ryzhiiu, molochaiu v Pivdennomu Stepu Ukrainy [Agrotechnical and bioclimatic features of the formation of yield and quality of sunflower, soybean, flax, sesame, red clover, milk thistle seeds in the Southern Steppe of Ukraine] (Candidate's thesis). Dnipropetrovsk [in Ukrainian].
7. Kulynych, I. M., & Senchuk, T. Yu. (2021). Bdzholozapylennia yak instrument otrymannia yakisnoho posivnoho materialu ta silskohospodarskoi produktsii [Beepollination as a tool for obtaining high-quality seed material and agricultural products]. *Suchasni napriamy ta dosiahnennia selektsii i nasinnytstva silskohospodarskykh kultur* [Current trends and achievements in crop breeding and seed production. Proceeding Scie.-Prart. Internet-Conf.]. Poltava: PSAU, 78–80 [in Ukrainian].
8. Hrechka, H., & Senchuk, T. (2020). Osoblyvosti florospetsializatsii ukrainskykh bdzhil u lisostepovii zoni Ukrainy [Peculiarities of floral specialization of Ukrainian bees in the forest-steppe zone of Ukraine]. *Bdzhilnytstvo Ukrainy* [Beekeeping in Ukraine], 1(5), 7–14 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.46913/beekeepingjournal.2020.5.01>
9. Weidenmuller, A. & Tautz, J. (2002). In-Hive Behavior of Pollen Foragers (*Apis mellifera*) in Honey Bee Colonies Under Conditions of High and Low Pollen Need. *Etology*, 108, 205–221. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0310.2002.00759x>
10. Markushyn, M. M., Markushyna, Ye. M., Peterson, N. V., & Melnykov, M. M. (2006). *Fiziolohiya roslyn* [Plant Physiology]. Vinnytsya: Nova Knyha [in Ukrainian].
11. Kopylchuk, H. P. (2008). Zahalna tsytolohiya [General cytology]. Chernivtsi: Ruta [in Ukrainian].
12. Redko, V. V. (1994). Osoblyvosti ontogenezu ta formuvannia produktyvnosti tsukrovyykh buryakiv i sonyashnyku [Peculiarities of ontogenesis and formation of productivity of sugar beet and sunflower]. Kyiv: UkrIHTEL [in Ukrainian].
13. Andriienko, O. C., & Zhuzha, O. A. (2016). Prychyny nevypovnenosti nasinnia ta koshyka soniashnyku [Reasons for incomplete sunflower seeds and baskets]. *Propozytsiya*, 3,

60–68 [in Ukrainian].

14. Endress, P. K. (2011). Angiosperm ovules: diversity, development, evolution. *Annals of Botany*, 107, 1465–1489 [in English].

15. Kirichenko, V. V. (2005). Seleksiya i semenovodstvo podsolnechnika (*Helianthus annuus* L.) [Breeding and seed production of sunflower (*Helianthus annuus* L.)]. Kharkiv [in Russian].

16. Seetharam, A., & Satyanarayana, A. R. (1983). Method of hybrid seed production in sunflower (*Helianthus annuus* L.). I. Effect of parental ratios and method of pollination on hybrid seed yield and its attributes, *Seed Research*, 11(1), 1–7.

17. Markova, N. V. (2014). Agroekologichni aspekty vyroshchuvannya gibrydiv sonyashnyka v umovakh Pivdenного Stepu Ukrayiny [Agroecological aspects of growing sunflower hybrids in the conditions of the southern steppe of Ukraine]. *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomor'ia* [Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science]. Mykolayiv: MNAU, 1(77), 133–139 [in Ukrainian].

18. Parker, F. D. (1981). Sunflower Pollination: Abundance, Diversity and Seasonality of Bees and Their Effect on Seed Yields. *J of Apicultural Research*, 20(1), 49–61.

19. Tkach, I. D., Hyrka, A. D., Bochevar, O. V. & Tkach, Yu. I. (2018). Ahrotekhnichni zakhody pidvyshchennya urozhaynosti nasinnya sonyashnyka v umovakh Stepu Ukrayiny [Agrotechnical measures to increase sunflower seed yield in the conditions of the Ukrainian Steppe]. *Zernovi kultury* [Grain Crops], 2(1), 44–45 [in Ukrainian].
<https://doi.org/10.31867/2523-4544/0006>

20. Yeshenko, V. O., Kopytko, P. H., Opryshko, V. P., & Kostohryz, P. V. (2005). Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii [Fundamentals of scientific research in agronomy] / ed. V. O. Yeshenka. Kyiv: Diya [in Ukrainian].

INFLUENCE OF POLLINATION ACTIVITY OF HONEY BEES ON THE YIELD AND QUALITY OF SUNFLOWER SEEDS

G. G. Dimchia

State Institution Institute of Grain Crops NAAS,
str. Vladimir Vernadskyi, 14, Dnipro, 49009, Ukraine,

Bees, in addition to producing the main most valuable food product – honey, carry out a huge amount of work on pollination of agricultural crops, including sunflower, as a result of which they significantly increase its yield and oil yield per unit area, which is of important national economic importance in terms of strengthening food security and export potential of Ukraine. The main factor determining the level of sunflower yield is the provision of flowers with cross-pollination. The tubular flowers of sunflower are arranged in such a way that, as a rule, the process of self-pollination is excluded. There is data in the literature on the possible transition of sunflower flowers to partial self-pollination under adverse conditions, but such a phenomenon is completely excluded in areas of sunflower hybridization due to the absolute absence of pollen in the flowers of the mother lines of arrow forms. **The purpose** of the research was to study and substantiate the feasibility of using honey bees as a mandatory agrotechnical technique for pollination of parental lines in sunflower hybridization areas. **Methods.** Field - observation of plant growth and development phases; laboratory - determination of seed quality and crop structure; mathematical and statistical – variance analysis of research results. **Results.** It was found that in the sunflower hybridization plots, honey bees actively fed on flowering baskets of the maternal and paternal lines from 10 a.m. to 6 p.m. At this time, the number of bees on baskets exceeded the average during the day by 6–23 %. Observations of the behavior of more than 1,000 bees showed that 88–91% of their flights occurred within one paternal line, and 62–75 % within one row. Of all the flights of bees during their flight-harvesting work in the hybridization plot, only 9–12 % were carried out between plants of the paternal lines. The data obtained indicate that with an increase in the duration of the delay in pollination of baskets, their empty graininess also increases rapidly. Delaying sunflower pollination in hybridization plots for 11 days resulted in a significant reduction in the number of achenes in the mother line baskets to the level of permanently isolated plants. **Conclusions.** Improving the pollination conditions of the parental lines by increasing the number of honey bees in the sunflower hybridization area contributed to an increase in the yield of the F1 hybrid offspring by more than 15 % and an increase in the oil content in the achenes by 1.2–1.6 %.

Keywords: honey bees, sunflower, pollination, binding, productivity, oiliness.

For citation (APA Style):

Dimchia, G. G. (2026). Vplyv zapylivualnoi aktyvnosti medonosnykh bdzhil na vrozhaunist ta yakist nasinnia soniashnyka [Influence of pollination activity of honey bees on the yield and quality of sunflower seeds]. *Svynarstvo i Ahropromyslove Vyrobnystvo* [Pig Breeding and Agroindustrial Production]. Poltava, 7(85), 31–41 [in Ukrainian]. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7\(85\)3](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7(85)3)

Використання штучного інтелекту (ШІ):

Автори рукопису засвідчують, що у процесі проведення дослідження та підготовки цього рукопису для виконання будь-яких завдань не використовували жодних інструментів або сервісів генеративного ШІ, перелічених у Таксономії делегування завдань генеративному ШІ (GAIDeT, 2025). Усі етапи роботи виконані виключно авторами.

Відомості про авторів:

Дімчя Георгій Георгійович, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, лабораторія тваринництва, Державна установа Інститут зернових культур НААН

UDC 575.22:636.082:636.4(477)

GENETICS IN PIG BREEDING: A REVIEW OF UKRAINIAN RESEARCH IN INTERNATIONAL SCIENTIFIC PUBLICATIONS

M. Yu. Peka

V. N. Karazin Kharkiv National University
4 Svobody Sq, Kharkiv, Ukraine, 61022
<https://ror.org/03ftejk10>

Peka M. Yu. ✉

pekapoltava@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0612-1164>

Manuscript was received/

Рукопис надійшов

16.04.2026

Received after review/

Після рецензування

28.04.2026

Accepted for printing/

Прийнято до друку

22.06.2026

Available online/

Доступно онлайн

30.06.2026

Declaration of conflicts of interest/

Декларування конфлікту інтересів:

Not necessary/

Не потрібно

Ethical approval/

Етичне схвалення:

Not applicable/

Не застосовується



Attribution Licens 4.0 International
(CC BY 4.0)



Objective. The aim of this study was to systematically analyze publications on pig genetics authored by Ukrainian researchers and indexed in the Scopus database, with emphasis on identifying the main research directions, methodological approaches, frequently studied genetic polymorphisms, and pig breeds. An additional objective was to assess how Ukrainian research in pig breeding genetics is represented within the international scientific space. **Methods.** A systematic literature search was conducted in the Scopus database. The selection process included identification, screening of titles and abstracts, and eligibility assessment based on full-text analysis. Inclusion criteria comprised original research articles and reviews focused on pig genetics with at least one Ukrainian-affiliated author. Exclusion criteria included conference abstracts, studies not directly related to pig genetics and those violating ethical standards. Data analysis focused on genetic markers, breeds, traits studied, and methodological approaches. **Results.** The initial search yielded 126 records, of which 39 publications met the inclusion criteria after screening and eligibility assessment. The dataset demonstrated thematic heterogeneity, with 29 studies directly addressing molecular genetic variability, predominantly through analysis of single nucleotide polymorphisms. The most frequently studied gene was *MC4R*, followed by *RYR1*, *ESR1*, *PRLR*, *LEP*, and *LEPR*. Research was primarily conducted on Ukrainian Large White pigs, with limited representation of other breeds. The main areas of investigation included growth traits, reproductive performance, and meat quality characteristics. Methodologically, the majority of studies employed PCR-based approaches, especially PCR-RFLP, while genome-wide approaches such as sequencing and GWAS were absent. The analysis also indicated a relatively small number of Scopus-indexed publications compared to the broader range of national research. **Conclusions.** Ukrainian research in pig genetics, as represented in internationally indexed literature, is characterized by a focus on candidate and causal gene polymorphisms and marker-assisted selection. However, its international visibility remains limited, and methodological approaches lag behind current global trends. Future development requires both the adoption of genome-wide technologies and increased integration into international scientific publishing to enhance the accessibility and impact of Ukrainian research.

Keywords: pig genetics, pig breeding, Ukraine, polymorphism, SNP, marker-assisted selection, candidate genes, Scopus, PCR-RFLP.

Для цитування (за ДСТУ 8302:2025):

Пека М. Ю. Genetics in Pig Breeding: a Review of Ukrainian Research in International Scientific Publications. *Свинарство і агропромислове виробництво* : міжвідом. темат. наук. зб. / Ін-т свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2026. Вип. 7(85). С. 42–57. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7\(85\)4](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7(85)4)

Introduction. The intensification of animal production systems in the context of global food security has positioned genetic improvement as a central determinant of efficiency, sustainability, and product quality in livestock industries. In pig breeding, advances in molecular genetics have enabled a transition from phenotype-driven selection toward genotype-informed strategies, thereby accelerating genetic gain and enhancing the precision of breeding programs [1, 2]. Among these approaches, the identification and utilization of DNA polymorphisms, the development of reliable genotyping platforms, and the implementation of marker-assisted selection (MAS) have become important tools [3]. While genomic selection has emerged as a dominant paradigm in leading breeding systems worldwide [4–8], its adoption remains uneven, particularly in countries where infrastructural, financial, and institutional constraints limit large-scale genomic integration.

Within this global landscape, Ukrainian research in pig genetics represents a distinctive case shaped by both strong scientific traditions in animal breeding [9] and systemic challenges affecting the visibility and dissemination of research outputs. Historically, Ukrainian scientists have contributed to the study of genetic polymorphisms associated with economically important traits in pigs, including growth performance, meat quality, and reproductive efficiency. These investigations have primarily relied on candidate gene approaches, with particular attention to polymorphic variants in genes such as *MC4R*, *RYR1*, *ESR1*, *PRLR*, and others. The application of polymerase chain reaction (PCR)-based methods, restriction fragment length polymorphism (RFLP) analysis, and related genotyping techniques has enabled the characterization of allelic diversity within both local and commercial pig breeds [10–12].

Despite these efforts, the international visibility of Ukrainian research in this domain remains limited. A substantial proportion of scientific findings has traditionally been disseminated through national journals and other locally oriented publication channels that are not indexed in major international databases. As a result, the global scientific community has only partial access to the Ukrainian body of research. Publications indexed in Scopus constitute a key interface through which Ukrainian studies become accessible to an international readership, effectively shaping the external perception of national research activity in pig genetics.

In this context, the present systematic review is designed to address several interrelated objectives. First, it **aims** to identify and systematize Scopus-indexed publications authored by Ukrainian researchers that focus on the genetics of pigs. The review seeks to characterize the spectrum of studied genetic polymorphisms, the methodological approaches employed for genotyping, and the extent to which MAS is represented. Particular emphasis is placed on determining which pig breeds have been investigated, how frequently specific candidate genes and polymorphisms appear in the literature, and how research efforts are distributed across different scientific groups and institutions.

In addition, the review aims to examine how Ukrainian research in pig genetics is presented within the international scientific space. By focusing exclusively on Scopus-indexed publications, it seeks to delineate the subset of studies that are visible to researchers who do not have access to Ukrainian-language sources. This approach is intended to provide a structured basis for evaluating the thematic priorities, methodological orientations, and scope of

Ukrainian contributions as they are communicated to a global audience. Through these objectives, the review is positioned to contribute to a clearer understanding of both the content and the international representation of Ukrainian research in pig breeding genetics.

Methods. The methodology of this systematic review was designed to ensure transparent, reproducible, and targeted identification of internationally visible publications on pig genetics authored by Ukrainian researchers. The primary source of bibliographic data was the Scopus database, and the search strategy was constructed to capture publications at the intersection of pig breeding and genetics while simultaneously limiting results to those affiliated with Ukrainian institutions and published after 1990. The final search string was formulated as: TITLE-ABS-KEY((pig OR swine OR porcine OR boar OR sow OR piglet OR gilt) AND (gene OR genetic OR genome OR genotyping OR polymorphism OR mutation)) AND AFFILCOUNTRY(Ukraine) AND PUBYEAR > 1990 AND PUBYEAR < 2026

The analysis was conducted in several sequential stages, conceptually aligned with standard systematic review workflows [13–15]. At the identification stage, all records retrieved from the database were compiled. During the initial screening stage, titles and abstracts were evaluated to exclude publications not directly related to pig genetics. In the subsequent eligibility assessment, full-text articles were examined, where necessary, to confirm their relevance to the objectives of the review. Inclusion criteria encompassed original research articles and reviews focused on pig genetics that included at least one author affiliated with a Ukrainian institution. Exclusion criteria comprised conference abstracts, studies unrelated to pig genetics, and articles violating ethical standards. Following the selection process, the final dataset of publications was subjected to data analysis.

1. Structure of the literature dataset and its content

The search query yielded 122 unique scientific publications (after removal of two duplicates identified in the Scopus database), while four additional publications were identified in the Scopus database through manual review of the author profiles of researchers included in the original dataset; these records were not retrieved in the initial search due to missing country information in the Scopus metadata. Following title and abstract screening, 52 publications were retained, while the remaining records were excluded due to lack of relevance. Excluded studies primarily focused on other biological objects (e.g., humans or guinea pigs), belonged to unrelated scientific domains in which pigs were only indirectly mentioned, or addressed aspects of pig production not related to genetics (e.g., infectious diseases). Subsequent full-text assessment, including evaluation of content relevance and compliance with ethical standards, resulted in 39 publications deemed eligible for further analysis.

The final dataset exhibited notable heterogeneity in both scope and research focus. Specifically, three publications [16–18] addressed pig genetic resources in a broad context, one study focused on cytogenetics [19], and two publications represented reviews of individual pig genes [20, 21]. Two studies investigated gene expression at the mRNA level [22, 23], while the other two [24, 25] were exclusively *in silico* analyses without laboratory research. The remaining

29 publications constituted molecular genetic studies of pig genetic variability. Within this subset, one study [26] examined microsatellite loci, one focused on mitochondrial DNA [27], and one presented a comparative study of pig somatotropin forms coded by different genes [28], while the majority (26 studies) investigated single nucleotide polymorphisms (SNPs) in one or several genes [29–51].

2. Main directions of genetic research in pig breeding in Ukraine

Publications investigating genetic variability in pigs within the framework of population and association studies are of particular relevance. A substantial proportion of these studies focuses on the distribution of SNPs in candidate and causal genes across different pig breeds and their associations with economically important traits. Consolidated information on the genes studied by Ukrainian research groups (as well as Ukrainian scientists participating in international collaborations), the pig breeds analyzed, and the productive traits evaluated is presented in Table 1.

Table 1. Main studied genes, pig breeds and associations with productive traits

Gene	Breed	Studied associations with productive traits	Source
CTSB	Ukrainian Large White, English Large White, Large Black, Landrace, Ukrainian Steppe Spotted, Ukrainian Steppe White, Myrhorod, Poltava Meat, Meishan, Pietrain	N/A (population study)	[10]
	Ukrainian Large White	Meat quality parameters	[11]
CTSD	Ukrainian Large White	Meat quality parameters	[12]
CTSF	Ukrainian Large White	Meat quality parameters	[12]
CTSK	Ukrainian Large White, English Large White, Large Black, Landrace, Ukrainian Steppe Spotted, Ukrainian Steppe White, Myrhorod, Poltava Meat, Meishan, Pietrain	N/A (population study)	[10]
	Ukrainian Large White	Meat quality parameters	[11]
CTSL	Ukrainian Large White, English Large White, Large Black, Landrace, Ukrainian Steppe Spotted, Ukrainian Steppe White, Myrhorod, Poltava Meat, Meishan, Pietrain	N/A (population study)	[10]
	Ukrainian Large White	Meat quality parameters	[11]
CTSS	Ukrainian Large White, English Large White, Large Black, Landrace, Ukrainian Steppe Spotted, Ukrainian Steppe White, Myrhorod, Poltava Meat, Meishan, Pietrain	N/A (population study)	[10]
	Ukrainian Large White	Meat quality parameters	[11]
ESR1	Ukrainian Large White	Reproductive traits	[29]
	Ukrainian Large White, English Large White, Large Black, Landrace, Ukrainian Steppe Spotted, Ukrainian Steppe White, Myrhorod, Poltava Meat, Meishan, Pietrain	N/A (population study)	[10]
	Myrhorod, Poltava Meat	Reproductive traits, selection indices	[30]
FUT1	Ukrainian Meat Breed	N/A (population study)	[31]
	Ukrainian Large White	Growth traits, backfat thickness	[32]

Continuation of the tabl.

Gene	Breed	Studied associations with productive traits	Source
GH	Ukrainian Large White, Myrhorod	N/A (methodological study)	[33]
	Ukrainian Large White, English Large White, Large Black, Landrace, Ukrainian Steppe Spotted, Ukrainian Steppe White, Myrhorod, Poltava Meat, Meishan, Pietrain	N/A (population study)	[10]
GHRH	Ukrainian Large White	Meat quality parameters	[11]
IGF2	Ukrainian Large White, English Large White, Large Black, Landrace, Ukrainian Steppe Spotted, Ukrainian Steppe White, Myrhorod, Poltava Meat, Meishan, Pietrain	N/A (population study)	[10]
	Ukrainian Large White	Meat quality parameters	[12]
LEP	Ukrainian Large White	Growth traits, backfat thickness	[34]
	Ukrainian Large White	Meat quality parameters	[35]
	French Large White, Belgian Large White, French × Belgian crossbreed	N/A (population study)	[36]
LEPR	Ukrainian Large White	Meat quality parameters	[11]
	Ukrainian Large White	Growth traits, backfat thickness	[34]
	Ukrainian Large White	Meat quality parameters	[35]
MC4R	Ukrainian Large White	Backfat thickness	[37]
	Ukrainian Large White, English Large White, Large Black, Landrace, Ukrainian Steppe Spotted, Ukrainian Steppe White, Myrhorod, Poltava Meat, Meishan, Pietrain	N/A (population study)	[10]
	Ukrainian Large White	Growth traits, backfat thickness, selection indices	[38]
	Ukrainian Large White	Growth traits, backfat thickness, selection indices	[39]
	Ukrainian Large White	Growth traits, backfat thickness, blood biochemical parameters	[40]
	Ukrainian Large White	Growth traits, backfat thickness, selection indices	[41]
	Ukrainian Large White	Reproductive traits	[42]
	Myrhorod	N/A (population study)	[43]
	Ukrainian Large White × Landrace crossbreed	Growth traits, backfat thickness	[44]
	N/A	N/A (<i>in silico</i> study)	[24]
MUC4	Ukrainian Meat Breed	N/A (population study)	[31]
NR6A1	N/A	N/A (<i>in silico</i> study)	[24]
PRKAG3	N/A	N/A (<i>in silico</i> study)	[24]
PRLR	Ukrainian Large White, English Large White, Large Black, Landrace, Ukrainian Steppe Spotted, Ukrainian Steppe White, Myrhorod, Poltava Meat, Meishan, Pietrain	N/A (population study)	[10]
	Myrhorod, Poltava Meat	Reproductive traits, selection indices	[30]

Continuation of the tabl.

Gene	Breed	Studied associations with productive traits	Source
<i>RYR1</i>	Ukrainian Large White, Myrhorod, Poltava Meat	Viability of piglets	[46]
	Ukrainian Large White, English Large White, Large Black, Landrace, Ukrainian Steppe Spotted, Ukrainian Steppe White, Myrhorod, Poltava Meat, Meishan, Pietrain	N/A (population study)	[10]
	Landrace	Reproductive traits, selection indices	[47]
	Welsh	Reproductive traits, selection indices	[48]
	Myrhorod	N/A (population study)	[43]
	N/A	N/A (<i>in silico</i> study)	[24]
	French Large White, Belgian Large White, French × Belgian crossbreed	N/A (population study)	[36]
<i>SCD</i>	Duroc	Intramuscular fat content	[49]
<i>SLC11A1 (NRAMP1)</i>	Ukrainian Large White	Growth traits, backfat thickness	[50]
	Ukrainian Large White	Growth traits, backfat thickness	[32]
<i>SYNGR2</i>	N/A	N/A (<i>in silico</i> study)	[24]
<i>TERT</i>	N/A	N/A (<i>in silico</i> study)	[25]
	Ukrainian Large White	N/A (methodological study)	[51]

Note. N/A – not available (corresponding data is not available from the study).

The most extensively studied gene in pigs by Ukrainian researchers is *MC4R* (melanocortin 4 receptor). This gene was addressed in 11 of the studies included in the present review [10, 24, 37–45]. All of these investigations focused on the same SNP, rs81219178 (c.1426G>A), a missense polymorphism resulting in the amino acid substitution D298N in the encoded protein [24]. This variant has been analyzed for associations with a broad spectrum of productive traits, including litter size (total number of piglets born and number born alive), litter weight, birth weight, average daily gain, number of piglets at weaning, litter weight at weaning, age at reaching 100 kg body weight, backfat thickness, body length, selection indices, and certain biochemical blood parameters. Most association studies were conducted in Large White pigs of various origins, although population-level data for this polymorphism are available for a wider range of breeds. Despite inconsistent evidence regarding its association with specific traits, this polymorphism has remained a sustained focus of multiple research groups over time.

Another frequently studied gene is *RYR1* (ryanodine receptor 1) [10, 24, 36, 43, 46–48], particularly the missense polymorphism rs344435545 (g.1843C>T), which results in the R615C substitution in the receptor protein [24]. This variant is widely regarded as causal for Porcine Stress Syndrome and is associated with malignant hyperthermia [46], which underpins its continued research relevance. However, among the Scopus-indexed publications analyzed in this review, only several studies assessed its association with viability of piglets [46], reproductive traits (including number of piglets born alive, total number born, and litter weight), or selection indices [47, 48]. The remaining studies primarily addressed population-genetic distributions or theoretical aspects of this polymorphism [10, 24, 36, 43].

SNPs in the *ESR1* (estrogen receptor 1) and *PRLR* (prolactin receptor) genes have been examined in several studies [29, 30] for their associations with reproductive traits in pigs, including the number of piglets born alive, total number of piglets born, number of piglets at weaning, and litter weight at weaning. These traits are hypothesized to be influenced by genetic variation in the respective loci. Association analyses have been conducted primarily in Ukrainian Large White, Myrhorod, and Poltava Meat breeds [29, 30], with additional population-level data reported for several other breeds [10]. However, the overall strength of evidence supporting these associations remains limited, largely due to constraints on the number of available studies with strong associations.

Polymorphisms in a range of genes have also been investigated in relation to meat quality parameters, including intramuscular fat content, protein, ash, water content, pH, and other physicochemical characteristics of pork [11, 12, 35]. These studies have focused on genes encoding cathepsins (e.g., *CTSB*, *CTSD*, *CTSF*, *CTSK*, *CTSL*, and *CTSS*), as well as *LEP* (leptin) and its receptor *LEPR*, *GHRH* (growth hormone-releasing hormone), and *IGF2* (insulin-like growth factor 2). Notably, these investigations [11–12, 35] have predominantly been conducted in Ukrainian Large White pigs and are largely attributable to a single research group, with results disseminated across multiple publications.

Several additional genes have been addressed in isolated studies. For instance, polymorphisms in *MUC4*, *FUT1*, and *SLC11A1*, which are considered candidates for influencing resistance to infectious diseases, have been investigated in several works [31, 32, 50]. However, these studies primarily report population genetic characteristics or associations with growth traits and backfat thickness, while direct analyses of disease resistance phenotypes remain absent. Similarly, recent studies [24, 25] have employed *in silico* approaches to predict the functional relevance of polymorphisms in genes such as *TERT*, *PRKAG3*, *SYNGR2*, and *NR6A1*. Nevertheless, association studies linking these variants to productive traits in Ukrainian pig populations have not yet been reported in Scopus-indexed publications.

3. Current status of genetic research in pig breeding in Ukraine: issues and prospects

The majority of genetic studies in pig breeding, as represented in Scopus-indexed publications, have been conducted by research groups affiliated with several key scientific institutions. Leading positions are held by the Institute of Pig Breeding and Agroindustrial Production of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (Poltava, Ukraine); Poltava State Agrarian University (Poltava, Ukraine); and the Institute of Grain Crops of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (Dnipro, Ukraine), among others. At the level of individual contributions, the most prolific authors include Balatsky Viktor (14 publications), Saienko Artem (14 publications), Tsereniuk Oleksandr (10 publications), and Vashchenko Pavlo (8 publications), who frequently appear as co-authors in overlapping collaborations.

The vast majority of studies have been conducted on the Ukrainian Large White pig breed, as well as on Large White populations of other geographical origins. Other breeds, including Myrhorod, Landrace, and Poltava Meat pigs, are represented far less frequently. Consequently, most association data are

available for Ukrainian Large White pigs. The principal focus of these studies includes growth performance traits, reproductive characteristics of sows, and meat quality parameters.

A key limitation is the relatively small number of studies available in Scopus-indexed sources. At the same time, analysis of reference lists within these publications indicates that the actual volume of research on pig genetics in Ukraine is substantially larger. A significant proportion of studies appears to have been published in journals not indexed in Scopus, resulting in fragmented international visibility and limited accessibility for the global scientific community. As a consequence, for certain genes and breeds, only population-level studies without association analyses were identified within this review. It is plausible that complementary association studies exist outside the indexed publications or that some research efforts did not progress beyond the population-genetic stage.

A positive trend is the increase in the number of publications in the analyzed dataset during the 2020s, suggesting improved international representation of recent Ukrainian research in pig genetics. However, a major methodological limitation remains evident. Most studies rely on PCR-based approaches, particularly PCR-RFLP. While these methods are suitable for analyzing individual polymorphisms in candidate or causal genes and can support MAS, they are limited in scope [52, 53]. Notably, this methodological framework in pig genetics in Ukraine has remained largely unchanged from the early 2000s to the present.

In contrast, none of the analyzed studies employed sequencing technologies (including Sanger sequencing or next-generation sequencing), microarray-based genotyping, or genome-wide association studies (GWAS), which are standard in contemporary international research [54–58]. This methodological gap constrains the ability to investigate genetic variability at the genome-wide level and limits the implementation of genomic selection approaches, which are generally more effective than marker-assisted strategies [2, 5, 59]. Accordingly, an important prospect for the development of pig genetics research in Ukraine is the transition toward large-scale, genome-wide methodologies. The adoption of advanced genomic tools would enable more comprehensive analyses of genetic architecture and facilitate alignment of Ukrainian research with current international standards in animal breeding science.

Conclusions. This systematic review summarizes pig genetics research conducted by Ukrainian scientists and represented in the Scopus database, reflecting the segment of national research visible to the international scientific community. The analyzed studies are predominantly focused on candidate gene approaches, particularly single nucleotide polymorphisms in genes such as *MC4R*, *RYS1*, *ESR1*, *PRLR*, *LEP*, *LEPR*, and others in relation to growth, reproductive, and meat quality traits. Most investigations are focused on the Ukrainian Large White breed, while the thematic structure of the studies reflects a consistent orientation toward MAS, supported by PCR-based genotyping methodologies.

At the same time, the overall number of Scopus-indexed publications remains relatively small, which constrains the international visibility of Ukrainian research. This limited representation does not fully reflect the actual volume of scientific work conducted within the country, as a substantial proportion of studies is disseminated through non-indexed sources. As a result, the global scientific

community has access only to a partial and potentially fragmented view of Ukrainian research in pig genetics.

Methodologically, the orientation of most studies on individual candidate genes, without integration of genome-wide approaches, including sequencing and GWAS, highlights a gap relative to current global standards and constrains the implementation of genomic selection. Overall, further development of the field requires both methodological advancement toward genome-scale analyses and increased integration into international publication practices to enhance the visibility and impact of Ukrainian research in pig breeding genetics.

REFERENCES

1. Margeta, V., Škorput, D., Djurkin Kušec, I., Kralik, Z., Kušec, G., & Gvozdanović, K. (2025). A Comprehensive Review: Molecular and Genealogical Methods for Preserving the Genetic Diversity of Pigs. *Applied Sci*, 15(6), 3394. <https://doi.org/10.3390/app15063394>
2. Panigrahi, M., Rajawat, D., Nayak, S. S., Bose, A., Bharia, N., Singh, S., Sharma, A., & Dutt, T. (2025). Advancements in Animal Breeding: From Mendelian Genetics to Machine Learning. *Intern J of molecular Sci*, 26(23), 11352. <https://doi.org/10.3390/ijms262311352>
3. Krupa, E., Moravčíková, N., Krupová, Z., & Žáková, E. (2021). Assessment of the Genetic Diversity of a Local Pig Breed Using Pedigree and SNP Data. *Genes*, 12(12), 1972. <https://doi.org/10.3390/genes12121972>
4. Samorè, A. B., Buttazzoni, L., Gallo, M., Russo, V., & Fontanesi, L. (2015). Genomic selection in a pig population including information from slaughtered full sibs of boars within a sib-testing program. *Animal : an Intern J of Animal Biosci*, 9(5), 750–759. <https://doi.org/10.1017/S1751731114002924>
5. Samorè, A. B., & Fontanesi, L. (2016). Genomic selection in pigs: state of the art and perspectives. *Italian J of Animal Sci*, 15(2), 211–232. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1172034>
6. Su, R., Lv, J., Xue, Y., Jiang, S., Zhou, L., Jiang, L., Tan, J., Shen, Z., Zhong, P., & Liu, J. (2025). Genomic selection in pig breeding: comparative analysis of machine learning algorithms. *Genetics, Selection, Evolution : GSE*, 57(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s12711-025-00957-3>
7. Biscarini, F., Nicolazzi, E. L., Stella, A., Boettcher, P. J., & Gandini, G. (2015). Challenges and opportunities in genetic improvement of local livestock breeds. *Frontiers in Genetics*, 6, 33. <https://doi.org/10.3389/fgene.2015.00033>
8. Misztal, I., Aguilar, I., Lourenco, D., Ma, L., Steibel, J. P., & Toro, M. (2021). Emerging issues in genomic selection. *J of Animal Sci*, 99(6), skab092. <https://doi.org/10.1093/jas/skab092>
9. Voitenko, S. L. (2024). Pigs of meat breeds in Ukraine and the need for the revival of pig breeding. *Animal Breeding and Genetics*, 67, 29–45. <https://doi.org/10.31073/abg.67.04>
10. Balatsky, V. N., Saienko, A. M., Pena, R. N., Buslyk, T. V., & Gibolenko, O. S. (2015). Genetic diversity of pig breeds on ten production quantitative traits loci. *Cytology and Genetics*, 49(5), 299–307. <https://doi.org/10.3103/S0095452715050023>
11. Balatsky, V., Bankovska, I., Pena, R. N., Saienko, A., Buslyk, T., Korinnyi, S., & Doran, O. (2016). Polymorphisms of the porcine cathepsins, growth hormone-releasing hormone and leptin receptor genes and their association with meat quality traits in Ukrainian Large White breed. *Molecular Biology Reports*, 43(6), 517–526. <https://doi.org/10.1007/s11033-016-3977-z>
12. Balatsky, V. N., Oliynychenko, Y. K., Buslyk, T. V., Bankovska, I. B., Korinnyi, S. N., Saienko, A. M., & Pochernyaev, K. F. (2021). Associations of QTL Region Genes of Chromosome 2 with Meat Quality Traits and Productivity of the Ukrainian Large White Pig Breed. *Cytology and Genetics*, 55(1), 53–62. <https://doi.org/10.3103/S0095452721010023>
13. Calderon Martinez, E., Ghattas Hasbun, P. E., Salolin Vargas, V. P., García-González, O. Y., Fermin Madera, M. D., Rueda Capistrán, D. E., Campos Carmona, T., Sanchez Cruz, C., & Teran Hooper, C. (2025). A comprehensive guide to conduct a systematic review and meta-analysis in medical research. *Medicine*, 104(33), e41868. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000041868>

14. Brignardello-Petersen, R., Santesso, N., & Guyatt, G. H. (2025). Systematic reviews of the literature: an introduction to current methods. *American J of Epidemiology*, 194(2), 536–542. <https://doi.org/10.1093/aje/kwae232>
15. Randles, R., & Finnegan, A. (2023). Guidelines for writing a systematic review. *Nurse Education Today*, 125, 105803. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2023.105803>
16. Ibatullin, M., Varchenko, O., Svytnous I., Khakhula, B., & Dragan, O. (2019). Organizational and economic bases of pig breeding in Ukraine. *Intern J of Management and Business Research*, 9(1), 59–72.
17. Kramarenko, A. S., Karatieieva, O. I., Liuta, I. M., & Kramarenko, S. S. (2024). Genetic and non-genetic factors influencing piglet stillbirth risk. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 15(4), 875–881. <https://doi.org/10.15421/0224126>
18. Voloshynov, V., Povod, M., Mykhalko, O., Verbelchuk, T., Verbelchuk, S., Koberniuk, V., Lavryniuk, O., & Shcherbatiuk, N. (2024). The efficiency of pigs from different genetic origins under industrial conditions in Ukraine. *Online J of Animal and Feed Research*, 14(4), 225–233. <https://doi.org/10.51227/ojafr.2024.27>
19. Ostapovets, L., & Starodub, L. (2016). Cytogenetical and biotechnological methods for assessing boar reproductive potential. *Bulgarian J of Agricultural Sci*, 22, 123–126.
20. Balatskiĭ, V. N., & Lisovskii, I. L. (1998). The genetic polymorphism of somatotropin. *TSitologija i Genetika*, 32(2), 92–104.
21. Burkina, V., Rasmussen, M. K., Oliinychenko, Y., & Zamaratskaia, G. (2019). Porcine cytochrome 2A19 and 2E1. *Basic and Clinical Pharmacology and Toxicology*, 124(1), 32–39. <https://doi.org/10.1111/bcpt.13121>
22. Guo, L., Miao, Z., Ma, H., & Melnychuk, S. (2020). Effects of maternal vitamin D3 during pregnancy on FASN and LIPE mRNA expression in offspring pigs. *J of Agricultural Sci*, 158(1–2), 128–135. <https://doi.org/10.1017/S0021859620000210>
23. Guo, L., Miao, Z., Ma, H., & Melnychuk, S. (2020). Effects of maternal vitamin D3 concentration during pregnancy on adipogenic genes expression and serum biochemical index in offspring piglets. *J of Animal and Feed Sci*, 29(2), 125–131. <https://doi.org/10.22358/jafs/124041/2020>
24. Peka, M., & Balatsky, V. (2024). Bioinformatic approach to identifying causative missense polymorphisms in animal genomes. *BMC Genomics*, 25(1). <https://doi.org/10.1186/s12864-024-11126-z>
25. Peka, M., Balatsky, V., Saienko, A., & Tsereniuk, O. (2023). Bioinformatic analysis of the effect of SNPs in the pig TERT gene on the structural and functional characteristics of the enzyme to develop new genetic markers of productivity traits. *BMC Genomics*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12864-023-09592-y>
26. Pochernayev, K. K., Kiyntsa, K. I., Telegeev, G. D., Dybkov, M. V., & Malyuta, S. S. (1996). M13 phage DNA probe informativity rising at studying pig genome. *Biopolymers and Cell*, 12(3), 64–66. <https://doi.org/10.7124/bc.00042F>
27. Kubejko, J., Clop, A., Balatsky, V., Pochernyaev, K., Eghbalsaid, S., & Amills, M. (2017). Mitochondrial DNA variation in Ukrainian wild boars. *Animal Genetics*, 48(6), 725–726. <https://doi.org/10.1111/age.12592>
28. Balatskiĭ V. N. (1992). Multiple forms of pig somatotropin. *TSitologija i Genetika*, 26(5), 32–36.
29. Balatsky, V. N., Saenko, A. M., & Grishina, L. P. (2012). Polymorphism of the estrogen receptor 1 locus in populations of pigs of different genotypes and its association with reproductive traits of Large White sows. *Cytology and Genetics*, 46(4), 233–237. <https://doi.org/10.3103/S0095452712040020>
30. Matiuk, V. V., Saienko, A. M., Vashchenko, P. A., Slynko, V. H., Fesenko, O. G., Peka, M. Y., & Tsereniuk, O. M. (2025). Association of polymorphisms in estrogen and prolactin receptor genes with reproductive traits in sows of rare breeds. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 33(1), e25033. <https://doi.org/10.15421/0225033>
31. Syrovnev, G. I. (2014). Genetic polymorphism of FUT1 and MUC4 loci in a local population of Ukrainian meat bread pigs. *Cytology and Genetics*, 48(5), 318–322. <https://doi.org/10.3103/S0095452714050119>
32. Sukhno, V. V., Vashchenko, P. A., Saenko, A. M., Zhukorskyi, O. M., Tserenyuk, O. M., & Kryhina, N. V. (2022). Association of Fut1 and Slc11a1 gene polymorphisms with productivity traits of Large White pigs. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 13(3), 225–230. <https://doi.org/10.15421/022229>

33. Balatskiĭ, V. N., & Pocherniaev, K. F. (1995). The polymorphic BsuRI restriction site of the swine growth hormone gene. *TSitologiya i Genetika*, 29(1), 45–48.
34. Balatsky, V., Oliinychenko, Y., Sarantseva, N., Getya, A., Saienko, A., Vovk, V., & Doran, O. (2018). Association of single nucleotide polymorphisms in leptin (LEP) and leptin receptor (LEPR) genes with backfat thickness and daily weight gain in Ukrainian Large White pigs. *Livestock Sci*, 217, 157–161. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.09.015>
35. Balatsky, V. N., Oliinychenko, Y. K., Saienko, A. M., Buslyk, T. V., Bankovska, I. B., Peka, M. Yu., & Doran, O. (2022). Associations of Polymorphisms in Leptin and Leptin Receptor Genes with Meat Quality in Pigs of the Ukrainian Large White Breed. *Cytology and Genetics*, 56(6), 513–525. <https://doi.org/10.3103/S0095452722060020>
36. Bordun, O., Khalak, V., Skliarenko, Y., Gutyj, B., Stadnytska, O., Ilchenko, M., Shevchenko, O., Kibenko, N., & Kravchenko, N. (2025). Evaluation of the Genotypes of Pigs of Different Origins According to the RYR1 and LEP Genes. *Acta Fytotechnica et Zootechnica*, 28(1), 1–6. <https://doi.org/10.15414/afz.2025.28.01.1-6>
37. Lyadskiy, I. K., Getya, A. A., & Pochernyaev, K. F. (2011). Association of the Asp298Asn polymorphism in the mc4r gene with back fat thickness in pigs of the Large White breed. *Cytology and Genetics*, 45(2), 106–109.
38. Kozyr, V., Khalak, V., & Povod, M. (2019). DNA-type results swine for MS4R-gene and its association with productivity. *AgroLife Scientific J*, 8(1), 128–133.
39. Khalak, V. (2020). Fattening and meat qualities of store pigs of large white breed of different intra-breed differentiation by melanocortin-4 receptor gene (MC4R). *Scientific Horizons*, 23(9), 30–37. [https://doi.org/10.48077/scihor.23\(9\).2020.30-37](https://doi.org/10.48077/scihor.23(9).2020.30-37)
40. Khalak, V., Horchanok, A., Kuzmenko, O., Lytvyschenko, L., Prysiashniuk, N., & Bordun, A. (2021). Interior profile of young pigs of different genotypes and the use of its components for early prediction of quantitative characters. *AgroLife Scientific J*, 10(2), 92–98. <https://doi.org/10.17930/AGL2021211>
41. Khalak, V., Voloshchuk, V., Gutyj, B., Zasucha, L., Onyshchenko, A., Ilchenko, M., Ofilenko, N., Pokhyl, V., Pundyk, V., Bezalychna, O., & Stadnytska, O. (2023). Young pig fattening and meat quality due to varying formation intensities in early ontogenesis and two genotypes of the melanocortin receptor 4 (Mc4r) gene. *Veterinarska Stanica*, 54(6), 613–624. <https://doi.org/10.46419/vs.54.6.10>
42. Zhukorskyi, O. M., Tsereniuk, O. M., Sukhno, T. V., Saienko, A. M., Polishchuk, A. A., Chereuta, Y. V., Shaferivskyi, B. S., & Vashchenko, P. A. (2023). The influence of genotype and feeding level of gilts on their further reproductive performance. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 14(2), 312–318. <https://doi.org/10.15421/022346>
43. Tsereniuk, O. M., Vashchenko, P. A., Khokhlov, A. M., Tsybenko, V. H., Shostia, G. M., Saenko, A. M., Peka, M. Y., & Zhukorskyi, O. M. (2023). Comparative characteristics of polymorphisms of melanocortin 4 and ryanodine 1 receptor genes of Myrhorod pigs before and after the African swine fever outbreak. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 14(4), 601–608. <https://doi.org/10.15421/022387>
44. Vashchenko, P. A., Zhukorskyi, O. M., Saenko, A. M., Khokhlov, A. M., Usenko, S. O., Kryhina, N. V., Sukhno, T. V., & Tsereniuk, O. M. (2023). The influence of feeding level on the growth of pigs depending on their genotype. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 14(1), 112–117. <https://doi.org/10.15421/022317>
45. Khalak, V., Bordun, O., Skliarenko, Y., Gutyj, B., Zasukha, L., Horchanok, A., Kuzmenko, O., & Prisyazhnyuk, N. (2025). Study of Polymorphism of the MC4R Locus in Pigs of the Large White Breed. *Acta Fytotechnica et Zootechnica*, 28(4), 282–287. <https://doi.org/10.15414/afz.2025.28.04.282-287>
46. Balatskiĭ, V. N., & Metlitskaia, E. N. (2001). DNA diagnosis of porcine stress syndrome and RYR1 genotype association with viability of young pigs. *TSitologiya i genetika*, 35(3), 43–49.
47. Tsereniuk, O. M., Bobrytska, O. M., Miroshnikova, O. S., & Danchuk, O. V. (2020). DNA-type results of Landrace sows for RYR1-gene and its association with productivity. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 11(3), 431–437. <https://doi.org/10.15421/022066>
48. Zhukorskyi, O. M., Tsereniuk, O. M., Vashchenko, P. A., Khokhlov, A. M., Chereuta, Y. V., Akimov, O. V., & Kryhina, N. V. (2022). The effect of the ryanodine receptor gene on the reproductive traits of Welsh sows. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 13(4), 367–372. <https://doi.org/10.15421/022248>

49. Solé, E., González-Prendes, R., Oliinychenko, Y., Tor, M., Ros-Freixedes, R., Estany, J., & Pena, R. N. (2022). Transcriptome shifts triggered by vitamin A and SCD genotype interaction in Duroc pigs. *BMC Genomics*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12864-021-08244-3>
50. Vashchenko, P., Saienko, A., Sukhno, V., Tsereniuk, O., Babicz, M., Shkavro, N., Smolucha, G., & Łuszczewska-Sierakowska, I. (2022). Association of NRAMP1 gene polymorphism with the productive traits of the Ukrainian Large White pig. *Medycyna Weterynaryjna*, 78(9). <https://doi.org/10.21521/mw.6698>
51. Saienko, A., Peka, M., Tsereniuk, O., Babicz, M., Kropiwek-Domańska, K., Onyshchenko, A., Vashchenko, P., & Balatsky, V. (2023). Analysis of polymorphism and development of a molecular-genetic system for genotyping by the telomerase reverse transcriptase (TERT) gene. *Biosystems Diversity*, 31(4), 436–443. <https://doi.org/10.15421/012352>
52. Hashim, H. O. & Al-Shuhaib, M. B. (2019). Exploring the Potential and Limitations of PCR-RFLP and PCR-SSCP for SNP Detection: A Review. *Journal of Applied Biotechnology Reports*, 6, 137-144. <https://doi.org/10.29252/JABR.06.04.02>
53. Leite, I. G. C., Benard, G., Cavalcanti, S. C., Bollela, V. R., Del Negro, G. M. B., Martinez, R., Gimenes, V. M. F., & Cocio, T. A. (2024). Comparison between PCR-RFLP and sequencing techniques in the analysis of *Paracoccidioides* spp. biodiversity: limitations and insights into species and variant differentiation. *Mycopathologia*, 189(6), 97. <https://doi.org/10.1007/s11046-024-00902-w>
54. Mekonnen, K. T., Lee, D. H., Beyenssa, B. C., Son, A. Y., Cho, Y. G., & Seo, K. S. (2025). Genome-wide association study identifies genetic variants associated with single-parity reproductive loss in three commercial pig breeds. *BMC Genomics*, 26(1), 1054. <https://doi.org/10.1186/s12864-025-12255-9>
55. Panda, S., Kumar, A., Gaur, G. K., Ahmad, S. F., Chauhan, A., Mehrotra, A., & Dutt, T. (2023). Genome wide copy number variations using Porcine 60K SNP Beadchip in Landilly pigs. *Animal Biotechnology*, 34(6), 1891–1899. <https://doi.org/10.1080/10495398.2022.2056047>
56. Hong, Y., He, X., Wu, D., Ye, J., Zhang, Y., Wu, Z., & Tan, C. (2025). Genome Selection and Genome-Wide Association Analyses for Litter Size Traits in Large White Pigs. *Animals: an open access journal from MDPI*, 15(12), 1724. <https://doi.org/10.3390/ani15121724>
57. Wang, X., Wang, L., Shi, L., Zhang, P., Li, Y., Li, M., Tian, J., Wang, L., & Zhao, F. (2022). GWAS of Reproductive Traits in Large White Pigs on Chip and Imputed Whole-Genome Sequencing Data. *Intern J of Molecular Sci*, 23(21), 13338. <https://doi.org/10.3390/ijms232113338>
58. Du, H., Zhou, L., Liu, Z., Zhuo, Y., Zhang, M., Huang, Q., Lu, S., Xing, K., Jiang, L., & Liu, J. F. (2024). The 1000 Chinese Indigenous Pig Genomes Project provides insights into the genomic architecture of pigs. *Nature Communications*, 15(1), 10137. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-54471-z>
59. Boichard, D., Ducrocq, V., Croiseau, P., & Fritz, S. (2016). Genomic selection in domestic animals: Principles, applications and perspectives. *Comptes Rendus Biologies*, 339(7-8), 274–277. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2016.04.007>

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. A Comprehensive Review: Molecular and Genealogical Methods for Preserving the Genetic Diversity of Pigs / V. Margeta et al. *Applied Sci*. 2025. Vol. 15. Iss. 6. Article 3394. <https://doi.org/10.3390/app15063394>
2. Advancements in Animal Breeding: From Mendelian Genetics to Machine Learning / M. Panigrahi et al. *Intern J. of Molecular Sci*. 2025. Vol. 26. Iss. 23. Article 11352. <https://doi.org/10.3390/ijms262311352>
3. Assessment of the Genetic Diversity of a Local Pig Breed Using Pedigree and SNP Data / E. Krupa et al. *Genes*. 2021. Vol. 12. Iss. 12. Article 1972. <https://doi.org/10.3390/genes12121972>
4. Genomic selection in a pig population including information from slaughtered full sibs of boars within a sib-testing program / A. B. Samorè et al. *Animal: an Intern. J. of Animal Bioscience*. 2015. Vol. 9. Iss. 5. P. 750–759. <https://doi.org/10.1017/S1751731114002924>
5. Samorè A. B., Fontanesi L. Genomic selection in pigs: state of the art and perspectives. *Italian J. of Animal Sci*. 2016. Vol. 15. Iss. 2. P. 211–232. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1172034>

6. Genomic selection in pig breeding: comparative analysis of machine learning algorithms/ R. Su et al. *Genetics, Selection, Evolution : GSE*. 2025. Vol. 57. Iss. 1. Article 13. <https://doi.org/10.1186/s12711-025-00957-3>
7. Challenges and opportunities in genetic improvement of local livestock breeds / F. Biscarini et al. *Frontiers in Genetics*. 2015. Vol. 6. Article 33. <https://doi.org/10.3389/fgene.2015.00033>
8. Emerging issues in genomic selection / I. Misztal et al. *Journal of animal science*. 2021. Vol. 99. Iss. 6. Article skab092. <https://doi.org/10.1093/jas/skab092>
9. Voitenko S. L. Pigs of meat breeds in Ukraine and the need for the revival of pig breeding. *Animal Breeding and Genetics*. 2024. Vol. 67. P. 29–45. <https://doi.org/10.31073/abg.67.04>
10. Genetic diversity of pig breeds on ten production quantitative traits loci / V. N. Balatsky et al. *Cytology and Genetics*. 2015. Vol. 49. Iss. 5. P. 299–307. <https://doi.org/10.3103/S0095452715050023>
11. Polymorphisms of the porcine cathepsins, growth hormone-releasing hormone and leptin receptor genes and their association with meat quality traits in Ukrainian Large White breed / V. Balatsky et al. *Molecular Biology Reports*. 2016. Vol. 43. Iss. 6. P. 517–526. <https://doi.org/10.1007/s11033-016-3977-z>
12. Associations of QTL Region Genes of Chromosome 2 with Meat Quality Traits and Productivity of the Ukrainian Large White Pig Breed / V. N. Balatsky et al. *Cytology and Genetics*. 2021. Vol. 55. Iss. 1. P. 53–62. <https://doi.org/10.3103/S0095452721010023>
13. A comprehensive guide to conduct a systematic review and meta-analysis in medical research / E. Calderon Martinez et al. *Medicine*. 2015. Vol. 104. Iss. 33. Article e41868. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000041868>
14. Brignardello-Petersen R., Santesso N., Guyatt G. H. Systematic reviews of the literature: an introduction to current methods. *American J. of Epidemiology*. 2025. Vol. 194. Iss. 2. P. 536–542. <https://doi.org/10.1093/aje/kwae232>
15. Randles R., Finnegan A. Guidelines for writing a systematic review. *Nurse Education Today*. 2023. Vol. 125. Article 105803. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2023.105803>
16. Organizational and economic bases of pig breeding in Ukraine / M. Ibatullin et al. *Intern. J. of Management and Business Research*. 2019. Vol. 9. Iss. 1. P. 59–72.
17. Genetic and non-genetic factors influencing piglet stillbirth risk / A. S. Kramarenko et al. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2024. Vol. 15. No. 4. P. 875–881. <https://doi.org/10.15421/0224126>
18. The efficiency of pigs from different genetic origins under industrial conditions in Ukraine / V. Voloshynov et al. *Online J. of Animal and Feed Research*. 2024. Vol. 14. Iss. 4. P. 225–233. <https://doi.org/10.51227/ojafr.2024.27>
19. Ostapovets L., Starodub L. Cytogenetical and biotechnological methods for assessing boar reproductive potential. *Bulgarian J. of Agricultural Sci*. 2016. Vol. 22. P. 123–126.
20. Balatskiĭ V. N., Lisovskii I. L. The genetic polymorphism of somatotropin. *TSitologija i Genetika*. 1998. Vol. 32. Iss. 2. P. 92–104.
21. Porcine cytochrome 2A19 and 2E1 / V. Burkina et al. *Basic and Clinical Pharmacology and Toxicology*. 2019. Vol. 124. Iss. 1. P. 32–39. <https://doi.org/10.1111/bcpt.13121>
22. Effects of maternal vitamin D 3 during pregnancy on FASN and LIPE mRNA expression in offspring pigs / L. Guo et al. *J. of Agricultural Sci*. 2020. Vol. 158. Iss. 1–2. P. 128–135. <https://doi.org/10.1017/S0021859620000210>
23. Effects of maternal vitamin D3 concentration during pregnancy on adipogenic genes expression and serum biochemical index in offspring piglets / L. Guo et al. *J. of Animal and Feed Sci*. 2020. Vol. 29. Iss. 2. P. 125–131. <https://doi.org/10.22358/jafs/124041/2020>
24. Peka M., Balatsky V. Bioinformatic approach to identifying causative missense polymorphisms in animal genomes. *BMC Genomics*. 2024. Vol. 25. Iss. 1. <https://doi.org/10.1186/s12864-024-11126-z>
25. Bioinformatic analysis of the effect of SNPs in the pig TERT gene on the structural and functional characteristics of the enzyme to develop new genetic markers of productivity traits / M. Peka et al. *BMC Genomics*. 2023. Vol. 24. Iss. 1. <https://doi.org/10.1186/s12864-023-09592-y>

26. M13 phage DNA probe informativity rising at studying pig genome / K. K. Pochernayev et al. *Biopolymers and Cell*. 1996. Vol. 12. Iss. 3. P. 64–66. <https://doi.org/10.7124/bc.00042F>
27. Mitochondrial DNA variation in Ukrainian wild boars / J. Kubejko et al. *Animal Genetics*. 2017. Vol. 48. Iss. 6. P. 725–726. <https://doi.org/10.1111/age.12592>
28. Balatskiĭ V. N. Multiple forms of pig somatotropin. *Tsitologiya i Genetika*. 1992. Vol. 26. Iss. 5. P. 32–36.
29. Balatsky V. N., Saenko A. M., Grishina L. P. Polymorphism of the estrogen receptor 1 locus in populations of pigs of different genotypes and its association with reproductive traits of Large White sows. *Cytology and Genetics*. 2012. Vol. 46. Iss. 4. P. 233–237. <https://doi.org/10.3103/S0095452712040020>
30. Association of polymorphisms in estrogen and prolactin receptor genes with reproductive traits in sows of rare breeds / V. V. Matiiuk et al. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2025. Vol. 33. No. 1. e25033. <https://doi.org/10.15421/0225033>
31. Syrovnev G. I. Genetic polymorphism of FUT1 and MUC4 loci in a local population of Ukrainian meat bread pigs. *Cytology and Genetics*. 2014. Vol. 48. Iss. 5. P. 318–322. <https://doi.org/10.3103/S0095452714050119>
32. Association of Fut1 and Slc11a1 gene polymorphisms with productivity traits of Large White pigs / V. V. Sukhno et al. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2022. Vol. 13. No 3. P. 225–230. <https://doi.org/10.15421/022229>
33. Balatskiĭ V. N., Pocherniaev K. F. The polymorphic BsuRI restriction site of the swine growth hormone gene. *TSitologiya i Genetika*. 1995. Vol. 29. Iss. 1. P. 45–48.
34. Association of single nucleotide polymorphisms in leptin (LEP) and leptin receptor (LEPR) genes with backfat thickness and daily weight gain in Ukrainian Large White pigs / V. Balatsky et al. *Livestock Sci.* 2018. Vol. 217. P. 157–161. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.09.015>
35. Associations of Polymorphisms in Leptin and Leptin Receptor Genes with Meat Quality in Pigs of the Ukrainian Large White Breed / V. N. Balatsky et al. *Cytology and Genetics*. 2022. Vol. 56. Iss. 6. P. 513–525. <https://doi.org/10.3103/S0095452722060020>
36. Evaluation of the Genotypes of Pigs of Different Origins According to the RYR1 and LEP Genes / O. Bordun et al. *Acta Fytotechnica et Zootechnica*. 2025. Vol. 28. No. 1. P. 1–6. <https://doi.org/10.15414/afz.2025.28.01.1-6>
37. Lyadskiy I. K., Getya A. A., Pochernyaev K. F. Association of the Asp298Asn polymorphism in the mc4r gene with back fat thickness in pigs of the Large White breed. *Cytology and Genetics*. 2011. Vol. 45. Iss. 2. P. 106–109.
38. Kozyr V., Khalak V., Povod M. DNA-type results swine for MS4R-gene and its association with productivity. *AgroLife Scientific J.* 2019. Vol. 8. No. 1. P. 128–133.
39. Khalak V. Fattening and meat qualities of store pigs of large white breed of different intra-breed differentiation by melanocortin-4 receptor gene (MC4R). *Scientific Horizons*. 2020. Vol. 23. No. 9. P. 30–37. [https://doi.org/10.48077/scihor.23\(9\).2020.30-37](https://doi.org/10.48077/scihor.23(9).2020.30-37)
40. Interior profile of young pigs of different genotypes and the use of its components for early prediction of quantitative characters / V. Khalak et al. *AgroLife Scientific J.* 2021. Vol. 10. No. 2. P. 92–98. <https://doi.org/10.17930/AGL2021211>
41. Young pig fattening and meat quality due to varying formation intensities in early ontogenesis and two genotypes of the melanocortin receptor 4 (Mc4r) gene / V. Khalak et al. *Veterinarska Stanica*. 2023. Vol. 54. No. 6. P. 613–624. <https://doi.org/10.46419/vs.54.6.10>
42. The influence of genotype and feeding level of gilts on their further reproductive performance / O. M. Zhukorskyi et al. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2023. Vol. 14. No. 2. P. 312–318. <https://doi.org/10.15421/022346>
43. Comparative characteristics of polymorphisms of melanocortin 4 and ryanodine 1 receptor genes of Myrhorod pigs before and after the African swine fever outbreak / O. M. Tsereniuk et al. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2023. Vol. 14. No. 4. P. 601–608. <https://doi.org/10.15421/022387>
44. The influence of feeding level on the growth of pigs depending on their genotype / P. A. Vashchenko et al. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2023. Vol. 14. No. 1. P. 112–117. <https://doi.org/10.15421/022317>
45. Study of Polymorphism of the MC4R Locus in Pigs of the Large White Breed / V. Khalak et al. *Acta Fytotechnica et Zootechnica*. 2025. Vol. 28. No. 4. P. 282–287. <https://doi.org/10.15414/afz.2025.28.04.282-287>

46. Balatskiĭ V. N., Metlitskaia E. N. DNA diagnosis of porcine stress syndrome and RYR1 genotype association with viability of young pigs. *TSitologija i Genetika*. 2001. Vol. 35. Iss. 3. P. 43–49.
47. DNA-type results of Landrace sows for RYR1-gene and its association with productivity / O. M. Tsereniuk et al. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2020. Vol. 11. No. 3. P. 431–437. <https://doi.org/10.15421/022066>
48. The effect of the ryanodine receptor gene on the reproductive traits of Welsh sows / O. M. Zhukorskyi et al. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2022. Vol. 13. No. 4. P. 367–372. <https://doi.org/10.15421/022248>
49. Transcriptome shifts triggered by vitamin A and SCD genotype interaction in Duroc pigs / E. Solé et al. *BMC Genomics*. 2022. Vol. 23. Iss. 1. <https://doi.org/10.1186/s12864-021-08244-3>
50. Association of NRAMP1 gene polymorphism with the productive traits of the Ukrainian Large White pig / P. Vashchenko et al. *Medycyna Weterynaryjna*. 2022. Vol. 78. Iss. 9. <https://doi.org/10.21521/mw.6698>
51. Analysis of polymorphism and development of a molecular-genetic system for genotyping by the telomerase reverse transcriptase (TERT) gene / A. Saienko et al. *Biosystems Diversity*. 2023. Vol. 31. No. 4. P. 436–443. <https://doi.org/10.15421/012352>
52. Hashim H. O. Al-Shuhaib M. B. Exploring the Potential and Limitations of PCR-RFLP and PCR-SSCP for SNP Detection: A Review. *J. of Applied Biotechnology Reports*. 2019. Vol. 6. P. 137–144. <https://doi.org/10.29252/JABR.06.04.02>
53. Comparison between PCR-RFLP and sequencing techniques in the analysis of *Paracoccidioides* spp. biodiversity: limitations and insights into species and variant differentiation / I. G. C. Leite et al. *Mycopathologia*. 2024. Vol. 189. Iss. 6. Article 97. <https://doi.org/10.1007/s11046-024-00902-w>
54. Genome-wide association study identifies genetic variants associated with single-parity reproductive loss in three commercial pig breeds / K. T. Mekonnen et al. *BMC Genomics*. 2025. Vol. 26. Iss. 1. Article 1054. <https://doi.org/10.1186/s12864-025-12255-9>
55. Genome wide copy number variations using Porcine 60K SNP Beadchip in Landlly pigs / S. Panda et al. *Animal Biotechnology*. 2023. Vol. 34. Iss. 6. P. 1891–1899. <https://doi.org/10.1080/10495398.2022.2056047>
56. Genome Selection and Genome-Wide Association Analyses for Litter Size Traits in Large White Pigs / Y. Hong et al. *Animals : an open access journal from MDPI*. 2023. Vol. 15. Iss. 12. 1724. <https://doi.org/10.3390/ani15121724>
57. GWAS of Reproductive Traits in Large White Pigs on Chip and Imputed Whole-Genome Sequencing Data / X. Wang et al. *Intern. J. of Molecular Sci.* 2022. Vol. 23. Iss. 21. 13338. <https://doi.org/10.3390/ijms232113338>
58. The 1000 Chinese Indigenous Pig Genomes Project provides insights into the genomic architecture of pigs / H. Du et al. *Nature Communications*. 2024. Vol. 15. Iss. 1. Article 10137. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-54471-z>
59. Genomic selection in domestic animals: Principles, applications and perspectives / D. Boichard et al. *Comptes Rendus Biologies*. 2016. Vol. 339. No. 7-8. P. 274–277. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2016.04.007>

ГЕНЕТИКА У СВИНАРСТВІ: ОГЛЯД УКРАЇНСЬКИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У МІЖНАРОДНИХ НАУКОВИХ ПУБЛІКАЦІЯХ

М. Ю. Пека

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
пл. Свободи, 4, м. Харків, Україна, 62022

Мета. Метою цього дослідження було систематично проаналізувати публікації з генетики свиней, написані українськими дослідниками та проіндексовані в базі даних Scopus, з акцентом на визначення основних напрямків досліджень, методологічних підходів, часто досліджуваних генетичних поліморфізмів та порід свиней. Додатковою метою було оцінити, як українські дослідження в галузі генетики свиней представлені в міжнародному науковому просторі.
Методи. Було проведено систематичний пошук літератури в базі даних Scopus. Процес відбору включав ідентифікацію, скринінг назв та анотацій, а також оцінку придатності на основі повнотекстового аналізу. Критеріям включення відповідали оригінальні дослідницькі статті та

огляди, присвячені генетиці свиней, принаймні з одним автором, афілійованим в Україні. Критеріям виключення відповідали тези конференцій, дослідження, що не пов'язані безпосередньо з генетикою свиней, та ті, в яких порушені етичні стандарти. Аналіз даних був зосереджений на генетичних маркерах, породах, досліджуваних ознаках та методологічних підходах. **Результати.** Початковий пошук дав 126 записи, з яких 39 публікацій відповідали критеріям включення після скринінгу та оцінки придатності. Набір даних продемонстрував тематичну гетерогенність, причому 29 досліджень безпосередньо стосувалися молекулярно-генетичної мінливості, переважно аналізу однонуклеотидних поліморфізмів. Найбільш досліджуваним геном був MC4R, за ним слідували RYR1, ESR1, PRLR, LEP та LEPR. Дослідження проводилися переважно на свинях української великої білої породи, з обмеженим представленням інших порід. Основними напрямками дослідження були ознаки росту, репродуктивна здатність та характеристики якості м'яса. Методологічно більшість досліджень використовували підходи на основі ПЛР, особливо ПЛР-ПДРФ, тоді як підходи, спрямовані на повногеномний аналіз, такі як секвенування та GWAS, були відсутні. Аналіз також показав відносно невелику кількість публікацій, проіндексованих у Scopus, порівняно з ширшим спектром національних досліджень. **Висновки.** Українські дослідження в галузі генетики свиней, представлені в міжнародно індексованій літературі, мають фокус на поліморфізми кандидатних та каузальних генів, а також на маркер-асоційовану селекцію. Однак їх міжнародна видимість залишається обмеженою, а методологічні підходи відстають від сучасних світових тенденцій. Майбутній розвиток вимагає як впровадження повногеномних технологій, так і посилення інтеграції в міжнародні наукові публікації для підвищення доступності та впливу українських досліджень.

Ключові слова: генетика свиней, свинарство, Україна, поліморфізм, SNP, маркер-асоційована селекція, кандидатні гени, Scopus, ПЛР-ПДРФ.

For citation (APA Style):

Peka, M. Yu. (2026). Genetics in Pig Breeding: a Review of Ukrainian Research in International Scientific Publications. *Svynarstvo i Ahropromyslove Vyrobynytstvo* [Pig Breeding and Agroindustrial Production]. Poltava, 7(85), 42–57 [in Ukrainian]. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2025-7\(85\)4](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2025-7(85)4)

The use of artificial intelligence (AI):

The authors of this manuscript confirm that, during the course of their research and the preparation of this manuscript, they did not use any generative AI tools or services listed in the Taxonomy for Delegating Tasks to Generative AI (GAIDeT, 2025) to carry out any tasks. All stages of the work were carried out exclusively by the authors.

Information about the authors:

Mykyta Yuriiovych Peka, PhD Student in Biology, Department of Molecular Biology and Biotechnology, School of Biology, V. N. Karazin Kharkiv National University.

УДК 636.4.085.7:634.51

ВПЛИВ КОМПОНЕНТІВ КОРМУ, ОТРИМАНИХ З ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ, НА ПОКАЗНИКИ РОСТУ, ЯКІСТЬ М'ЯСА, АНТИОКСИДАНТНИЙ СТАТУС ТА РЕПРОДУКТИВНІ ЯКОСТІ У СВИНЕЙ

О. С. Сініцин, С. Г. Зінов'єв, М. Л. Пушкіна

Інститут свинарства і агропромислового виробництва НААН
вул. Шведська Могила, 1, м. Полтава, Україна, 36009

<https://ror.org/00r693281>

Сініцин О.
alex.senicen@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0006-5015-902X>
Зінов'єв С. Г. ✉
kvazimodo2077@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3757-3860>
Пушкіна М. Л.
azulaniakris@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5705-2977>

Рукопис надійшов/
Manuscript was received
14.04.2026
Після рецензування/
Received after review
16.05.2026
Прийнято до друку/
Accepted for printing
22.06.2026
Доступно онлайн/
Available online
30.06.2026

Декларування конфлікту
інтересів:
Не потрібно

Етичне схвалення:
Не застосовується



Attribution License 4.0 International
(CC BY 4.0)



Мета. Оцінити вплив кормових компонентів, отриманих з волоських горіхів на організм свиней за допомогою комбінації однофакторних та багатофакторних статистичних підходів для забезпечення інтегрованої біологічної інтерпретації. **Методи.** У цьому дослідженні був оцінений вплив компонентів корму, отриманих з волоських горіхів, включаючи ядра, побічні продукти та відвари перетинки, на показники росту, якість туші та м'яса, антиоксидантний статус, репродуктивні ознаки та показники здоров'я свиней. Було проведено три серії експериментів за участю свиней на відгодівлі, кнурів та поросят на критичних стадіях розвитку. Продуктивні, фізико-хімічні, біохімічні та репродуктивні параметри аналізували за допомогою одно- та двофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA), кореляційного аналізу та дослідницького факторного аналізу. **Результати.** Включення продуктів з волоських горіхів до раціону значно збільшило середньодобовий приріст та покращило склад туші внаслідок зменшення товщини спинного шпигу та збільшення виходу м'яса. Якість м'яса покращилася завдяки підвищеній ніжності, вологоутримувальній здатності та зменшенню втрат при готуванні. Додатки волоських горіхів значно знизили маркери перекисного окиснення ліпідів та покращили активність антиоксидантних ферментів, що свідчить про підвищену окиснювальну стабільність. У кнурів об'єм сперми, концентрація сперматозоїдів, рухливість та загальна кількість життєздатних клітин значно збільшилися, з сильними ефектами взаємодії між раціоном та періодом проведення дослідження. У поросят відвари з перетинки волоських горіхів суттєво знизили частоту діареї та покращили метаболічні показники до та після відлучення. Багатовимірний аналіз виявив три основні фактори — антиоксидантно-окислювальний, продуктивно-метаболічний та репродуктивний — що пояснюють понад 70 % загальної дисперсії. Таким чином, кормові добавки на основі волоських горіхів діють як функціональні модулятори, впливаючи на ріст, якість м'яса, репродуктивну функцію та стан здоров'я тварин через скоординовані метаболічні та антиоксидантні шляхи. **Висновки.** Компоненти корму, отримані з волоських горіхів, значно покращують показники росту, склад туші, якість м'яса, антиоксидантний статус, репродуктивну ефективність та показники здоров'я у свиней. Ці ефекти опосередковуються через скоординовану модуляцію метаболічних та окиснювальних процесів, що підтверджено однофакторним та багатофакторним статистичним аналізом. Побічні продукти та відвари волоських горіхів є перспективними функціональними кормовими інгредієнтами для сталого виробництва свинини. **Ключові слова:** горіх волоський, свині, показники росту, якість м'яса, антиоксидантний статус, репродукція, якість сперми, статистичний аналіз.

Для цитування (за ДСТУ 8302:2025):

Сініцин О. С., Зінов'єв С. Г., Пушкіна М. Л. Вплив компонентів корму, отриманих з волоських горіхів, на показники росту, якість м'яса, антиоксидантний статус та репродуктивні якості у свиней. *Свинарство і агропромислове виробництво* : міжвідом. темат. наук. зб. / Ін-т свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2026. Вип. 7(85). С. 58–73. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7\(85\)5](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7(85)5)

Сучасне свинарство дедалі більше залежить від функціональних кормових інгредієнтів, здатних підвищити продуктивність та здоров'я тварин, а також якість їх продукції, одночасно зменшуючи залежність від синтетичних добавок та хіміотерапевтичних препаратів. Компоненти кормів рослинного походження, багаті на поліненасичені жирні кислоти, фенольні сполуки та антиоксиданти, отримали особливу увагу завдяки їх багатофакторному біологічному впливу [1–5].

Ядра волоського горіха (*Juglans regia* L.) характеризуються високим вмістом ненасичених жирних кислот, токоферолів, поліфенолів та біологічно активних сполук з доведеними антиоксидантними та протизапальними властивостями [6–9]. Попередні дослідження повідомляють про позитивний вплив компонентів, отриманих з волоського горіха, на ліпідний обмін, окиснювальну стабільність та репродуктивну функцію тварин [10–13]. Однак наявні лише обмежені дані з комплексної оцінки продуктивних, біохімічних, репродуктивних та пов'язаних зі здоров'ям свиней реакцій.

Гіпотеза цього дослідження полягала в тому, що включення до раціону годівлі свиней кормових компонентів, отриманих з волоських горіхів, матиме скоординований вплив на показники росту, якість м'яса, антиоксидантний статус, репродуктивні ознаки та показники здоров'я тварин через модуляцію метаболічних та окисно-відновних процесів.

Метою цієї роботи було оцінити вплив кормових компонентів, отриманих з волоських горіхів на організм свиней за допомогою комбінації однофакторних та багатофакторних статистичних підходів для забезпечення інтегрованої біологічної інтерпретації.

Матеріали та методи. Експериментальна частина роботи складалася з трьох серій досліджень, проведених в умовах науково-виробничої лабораторії Інституту свинарства і АПВ НААН.

Усі дослідження виконані відповідно до Міжнародних принципів Європейської конвенції про захист хребетних тварин, які використовуються для експериментів та інших наукових цілей та відповідно до Директиви 2010/63/EU Європейського парламенту і ради європейського союзу від 22 вересня 2010 р. щодо охорони тварин, що використовуються в наукових цілях [14, 15].

При годівлі тварин дослідних груп основні раціони доповнювали ядрами волоських горіхів або екстрактами з перетинок горіхів. Контрольні групи тварин отримували стандартні раціони без додавання продуктів горіхівництва.

У першій серії досліджень визначали вплив відвару з перетинок горіха волоського на продуктивність, частоту проявів діареї та біохімічні показники крові поросят до та після відлучення. Для цього були сформовані дві групи тварин з поросят-сисунів віком 21 день, по 50 голів в кожній. Дослід був проведений у два етапи. На першому етапі вивчали ефективність застосування відвару у підсисний період з 21-го по 28-й день

(за тиждень до відлучення). На другому етапі на тому ж поголів'ї досліджували вплив застосування відвару у період з 29-го по 35-й день (протягом тижня після відлучення).

У другій серії досліджували вплив доповнення раціону волоським горіхом на продуктивність, біохімічних показників крові, морфологічний склад туш та якість м'ясо-сальної продукції, отриманої від свиней миргородської породи. Були сформовані три групи тварин по 20 голів в кожній середньою вагою 55 кг. Свині контрольної групи отримували звичайний раціон. Раціони свиней першої та другої дослідних груп збагачували відповідно 10 % та 20 % нелущених горіхів. Для вивчення м'ясної продуктивності піддослідних свиней після досягнення ними живої маси 100 кг був проведений контрольний забій по 5 голів з кожної групи з подальшим обваловуванням, аналізом морфологічного складу туш і деяких хімічних та біохімічних показників м'язової тканини.

Середньодобовий приріст та коефіцієнт конверсії корму розраховували на основі індивідуальних записів про масу тіла та споживання корму. Якість м'яса оцінювали за рН через 48 годин після забою, м'якістю, вологоутримувальною здатністю та втратами при термічній обробці. Хімічний склад м'яса визначали стандартними методами за вологістю, вмістом сухої речовини, білка, жиру та зольністю. Також аналізували фізико-хімічні властивості шпигу. Вимірювання товщини шпигу проводили *Post mortem* на охолоджених напівтушах свиней на рівні 6–7-го грудного хребця.

Зразки крові та тканин були проаналізовані на показники білкового, ліпідного, вуглеводного та мінерального обміну. Окиснювальний статус оцінювали шляхом вимірювання малонового діальдегіду (МДА), ТБК-активних сполук та маркерів окиснення білків, а також активності антиоксидантних ферментів (супероксиддисмутази, каталази).

У третій серії експериментів вивчали якість спермопродукції кнурів за умов використання у раціоні дробленого ядра горіха волоського. Для дослідної та контрольної груп було відібрано по 3 голови. Дослідження проводили у два етапи — в холодну та теплу пору року методом груп-періодів. Підготовчий період тривав 5 діб, обліковий — 45 діб. Кнури дослідної групи отримували по 50 г дроблених ядер горіха волоського 1 раз на добу (зранку) разом з першою порцією корму. Зразки сперми кнурів оцінювали за об'ємом еякуляту, концентрацією сперматозоїдів, їх рухливістю та відсотком життєздатних клітин. Також визначали біохімічний склад спермальної плазми [16–20].

Для оцінки впливу біологічно активних компонентів горіха волоського на продуктивність, якість туші, м'яса та біохімічні параметри було застосовано однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA). Двофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA) використовувався для оцінки показників якості сперми, при цьому група годівлі та експериментальний період були фіксованими факторами, включаючи їх взаємодію. Розміри ефектів були виражені у вигляді ета-квадрату (η^2).

Частоту діареї у поросят аналізували за допомогою тесту хі-квадрат, а розмір ефекту виражали як коефіцієнти кореляції Крамера.

Коефіцієнти кореляції Пірсона розраховували для дослідження взаємозв'язків між продуктивними, біохімічними, окиснювальними та

репродуктивними змінними. Для інтегративної інтерпретації багатовимірних відповідей використовували факторний аналіз (метод головних компонентів з ротацією варімакс). Різниці вважали значущими при $p < 0,05$ [21–23].

Результати досліджень та їх обговорення. У першій серії досліджень встановлено, що використання відвару перетинок горіха волоського позитивно впливає на діяльність шлунково-кишкового тракту поросят-сисунів та поросят на відлученні, мінімізуючи кількість випадків діареї та підвищуючи середньодобові прирости на 12 %, що очевидно пов'язано з нормалізацією травлення внаслідок бактерицидної та бактеріостатичної дії відвару. Використання препарату на основі перетинок горіха волоського призвело до активації процесів обміну речовин та білків у свиней, підвищення їх імунітету.

Статистичний аналіз даних щодо впливу відвару перетинок горіха волоського на частоту проявів діареї та середньодобові прирости показав:

χ^2 -критерій

для I етапу: $\chi^2 = 7,25$, $p = 0,007$

для II етапу: $\chi^2 = 19,6$, $p < 0,001$

Сила ефекту (Cramer's V): 0,38–0,44 (сильний)

Проведений статистичний аналіз даних щодо впливу відвару перетинок горіху волоського на показники обміну білків крові 35 денних поросят показав наступне:

ANOVA / t-test

Піровиноградна кислота: $p < 0,05$

Глюкоза (35 діб): $p < 0,01$

Ca/P: $p < 0,05$

Ефекти помірні ($\eta^2 \approx 0,20$ – $0,30$).

У другій серії досліджень встановлено, що доповнення раціону годівлі молодняку свиней миргородської породи на відгодівлі волоським горіхом вірогідно збільшило середньодобовий приріст порівняно з тваринами контрольних груп на 2,75–6,91 %, тоді як коефіцієнт конверсії корму хоча і був нижчим, однак ця різниця не була вірогідною. Однофакторний дисперсійний аналіз виявив помірний розмір ефекту, що вказує на біологічно значуще покращення показників росту:

Однофакторний ANOVA тест (фактор: група)

Середньодобовий приріст

$F(2,33) = 3,87$, $p = 0,031$

$\eta^2 = 0,19$ (середній–високий ефект)

Конверсія корму

$F = 2,41$; $p = 0,11 \rightarrow$ статистично незначуще

Таким чином ефект згодовування горіхів проявляється переважно через підвищення приростів, а не через суттєву зміну конверсії корму.

У свиней, яких годували волоськими горіхами, спостерігалось зменшення товщини спинного шпигу, підвищення виходу м'яса та вищі значення індексу Тайлера:

Однофакторний ANOVA тест (фактор: група)

Товщина шпигу: $F = 6,92$, $p = 0,008$, $\eta^2 = 0,36$

Вихід м'яса: $F = 5,84$, $p = 0,014$, $\eta^2 = 0,32$

Маса сала: $F = 7,11$, $p = 0,007$, $\eta^2 = 0,38$

Фізико-хімічний аналіз м'яса продемонстрував покращену ніжність, вищу вологоутримувальну здатність та зменшення втрат при готуванні без суттєвих змін кінцевого pH.

Отримані дані підтверджують комплексний вплив використання горіхів у годівлі свиней на м'ясо-сальні показники тварин.

У третій серії досліджень встановлено, що згодовування кнурам плідникам дробленого ядра горіха волоського позитивно впливає на показники якості спермопродукції кнурів та біохімічний склад плазми сперми. Зміни відбуваються як у холодну пору року, так і у жарку, що може свідчити про позитивну дію дробленого ядра горіха волоського за умов теплового стресу, та дає змогу отримати від одного кнура на 10 спермодоз більше.

Отримані дані підтверджуються проведеним статистичним аналізом:

Двофакторний ANOVA тест

Фактори:

- А – група (контроль / дослід)
- В – час (початок / кінець)

Якість сперми

Взаємодія А×В:

- Об'єм: $F = 18,4$, $p < 0,001$
 - Концентрація: $F = 26,1$, $p < 0,001$
 - Активність: $F = 31,7$, $p < 0,001$
 - Терморезистентна проба: $F = 22,5$, $p < 0,001$
- η^2 для взаємодії: 0,45–0,62 (дуже високий ефект)

Для встановлення ключових взаємозв'язків між досліджуваними параметрами було розраховано коефіцієнти кореляції.

Ключові кореляції:

Змінні	r
Середньодобовий приріст ↔ Вихід м'яса	0,78
Середньодобовий приріст ↔ Товщина шпигу	-0,74
Коефіцієнт конверсії корму ↔ середньодобовий приріст	-0,62
Коефіцієнт конверсії корму ↔ Вихід м'яса	-0,59

Вищі темпи росту були пов'язані з меншою товщиною шпигу та збільшенням виходу м'яса, що вказує на те, що добавка до раціону

волоських горіхів сприяла продуктивній ефективності без надмірного відкладення жиру.

Характеристики туші та якість м'яса

Змінні	p
Вихід м'яса ↔ Ніжність	0,69
Товщина шпигу ↔ Втрати при термічній обробці	0,66
Вихід м'яса ↔ Водоутримувальна здатність	0,71

Таким чином, покращена пісність туші послідовно пов'язується з вищою технологічною якістю м'яса.

Зв'язок окиснювальних маркерів якості та біохімії м'яса

Змінні	p
МДА ↔ Ніжність	-0,73
МДА ↔ Вологоутримувальна здатність	-0,76
Втрати при термічній обробці ↔ МДА	0,68
Антиоксидантні ферменти ↔ МДА	-0,79

Перекисне окиснення ліпідів обернено пропорційне параметрам якості м'яса, що підтверджує роль окиснювальної стабільності у властивостях м'язової тканини після забою.

Біохімічний склад ↔ продуктивні ознаки

Змінні	p
Вміст білка ↔ Середньодобовий приріст	0,71
Холестерин ↔ Внутрішньом'язовий жир	0,64
Білок ↔ Вихід м'яса	0,68

Покращений метаболізм білка при додаванні до раціону волоських горіхів сприяє нарощуванню об'єму м'язової тканини у тварин та позитивно впливає на якість туші.

Маркери перекисного окиснення ліпідів та білків були значно нижчими в дослідних групах, натомість активність антиоксидантних ферментів у цих групах збільшилася. Ці явища характеризувалися значними розмірами ефектів, що свідчить про виражений вплив кормових добавок на основі продуктів горіхівництва на антиоксидантну систему організму.

Двофакторний дисперсійний аналіз виявив значущі взаємодії пари «раціон × період дослідження» для всіх основних показників якості сперми. Додавання до раціону горіхів призвело до збільшення об'єму еякуляту, концентрації сперматозоїдів, їх рухливості та загальної кількості життєздатних сперматозоїдів, особливо наприкінці експериментальних періодів.

Взаємозв'язок між якістю сперми та біохімічними показниками плазми сперми
Характеристики якості сперми

Змінні	p
Об'єм еякуляту ↔ Загальна кількість сперматозоїдів	0,88
Концентрація сперматозоїдів ↔ Рухливість	0,74
Рухливість ↔ Життєздатні сперматозоїди (%)	0,81

Отримані дані свідчать, що об'єм та концентрація сперми є основними детермінантами загального виходу життєздатних сперматозоїдів.

Якість сперми ↔ біохімічний склад спермальної плазми

Змінні	p
Загальний білок ↔ Рухливість сперматозоїдів	0,67
Холестерин ↔ Рухливість	-0,62
Активність АСТ ↔ Рухливість	-0,58

Покращена доступність білка та збалансований ліпідний метаболізм сприяють функціональній активності сперматозоїдів.

Окиснювальний баланс ↔ репродуктивні параметри

Змінні	p
Окиснювальні маркери ↔ Рухливість	-0,75
Антиоксидантні ферменти ↔ Життєздатні сперматозоїди	0,72

Покращення якості спермопродукції тісно пов'язане з посиленням антиоксидантного захисту сперматозоїдів.

Факторний аналіз виявив три основні компоненти — антиоксидантно-окиснювальний, продуктивно-метаболический та репродуктивний, що пояснюють 72,8 % загальної дисперсії (табл. 1).

Таблиця 1. Факторна структура (головні компоненти)

Змінне навантаження	Фактор 1 антиоксидантно- окислювальний	Фактор 2 продуктивно- метаболический	Фактор 3 Репродуктивний
МДА	0,88	-0,22	-0,11
ТБК-активні сполуки	0,85	-0,18	-0,09
СОД	-0,79	0,24	0,18
Середньодобовий приріст	-0,21	0,81	0,33
Вихід м'яса	-0,18	0,78	0,29
Активність сперматозоїдів	-0,31	0,42	0,82

Фактор 1 (антиоксидантно-окиснювальний): 31,4 %

Фактор 2 (продуктивно-метаболический): 24,6 %

Фактор 3 (Репродуктивний): 16,8 %

Всього: 72,8 %

Фактор 1 (антиоксидантно-окислювальний) чітко відокремлює маркери перекисного окиснення ліпідів (МДА, ТБК-активні сполуки), антиоксидантних і функціональних показників (СОД).

Фактор 2 (продуктивно-метаболічний) асоційований із середньодобовими приростами, виходом м'яса та активністю сперматозоїдів.

За критерієм Кайзера, виділено три головні фактори, що сумарно пояснюють ≈ 73 % загальної дисперсії, що є достатнім для біологічної інтерпретації комплексних метаболічних ефектів.

Кореляційний аналіз виявив сильні негативні зв'язки між показниками продуктивності та маркерами перекисного окиснення ліпідів ($r = -0,65 \dots -0,74$), а також позитивні кореляції між середньодобовим приростом, рівнем білкового обміну і репродуктивними параметрами ($r = 0,58 \dots 0,71$), що підтверджує антиоксидантно-опосередкований механізм дії кормових добавок на основі горіха.

Проведене нами дослідження демонструє, що включення до раціону свиней продуктів, отриманих з волоських горіхів має багатогранний біологічний вплив, який охоплює показники росту, якість м'яса, антиоксидантний статус та репродуктивну функцію тварин. Спостережувані реакції статистично підтверджуються результатами одно- та двофакторного дисперсійного аналізу, кореляційним аналізом та дослідницьким факторним аналізом, що вказує як на прямі, так і на інтегративні механізми дії.

Збільшення середньодобового приросту, що спостерігалось в експериментальних групах, було статистично значущим, тоді як коефіцієнт конверсії корму демонстрував лише тенденцію до покращення. Ця закономірність свідчить про те, що добавки волоських горіхів переважно стимулюють анаболічні та метаболічні процеси, а не змінюють ефективність використання корму як такої. Розміри ефекту від помірного до сильного ($\eta^2 \approx 0,19 \dots 0,27$) вказують на біологічно значущі зміни, що узгоджується з публікаціями, які описують посилений ріст у свиней, раціони годівлі яких були збагачені біоактивними рослинними ліпідами та поліфенолами [24–26].

Кореляційний аналіз додатково підтверджує цей висновок, оскільки середньодобовий приріст демонстрував сильний позитивний зв'язок з показниками білкового метаболізму та негативний зв'язок з маркерами перекисного окиснення ліпідів. Ці результати свідчать про те, що покращення показників росту може бути опосередковане зниженням оксидативного стресу та підвищенням метаболічної стабільності, а не лише збільшенням споживання енергії.

Продукти з волоських горіхів у раціоні значно покращили склад туші, про що свідчить зменшення товщини спинного шпигу, збільшення виходу м'яса та вищі значення індексу Тайлера. Значні розміри ефекту, отримані для цих ознак ($\eta^2 > 0,30$), свідчать про послідовний зсув у бік фенотипу більш пісної туші. Такі ефекти особливо актуальні для сучасних систем свинарства, де вихід пісного м'яса є основним економічним фактором [27, 28].

Покращення таких характеристик м'яса тварин дослідних груп як м'якість, вологоутримувальна здатність, а також зменшення втрат при готуванні м'яса без суттєвих змін кінцевого рН свідчить про те, що

використання продуктів горіхівництва позитивно вплинуло на структурні та технологічні властивості м'язової тканини, а не на післязабійні гліколітичні процеси. Подібні ефекти були зареєстровані для раціонів, що містять багаті на антиоксиданти рослинні матеріали, які стабілізують мембрани клітин м'язів та зменшують окиснення білка під час післязабійного дозрівання [29].

Одним із найбільш виражених ефектів додавання до раціону волоських горіхів була модуляція оксидативного статусу. Значне зниження рівня малонового діальдегіду, що супроводжується підвищенням активності антиоксидантних ферментів, свідчить про помітне ослаблення процесів перекисного окиснення ліпідів. Сильні розміри ефекту ($\eta^2 > 0,40$) та стійкі негативні кореляції між оксидативними маркерами та продуктивними ознаками підкреслюють центральну роль антиоксидантних механізмів.

Факторний аналіз додатково підтвердив цю інтерпретацію, причому перший головний компонент чітко представляє антиоксидантно-окислювальну вісь. Відокремлення маркерів оксидативного стресу від продуктивних та репродуктивних параметрів у факторному просторі свідчить про те, що оксидативний баланс є ключовим регулятором, який впливає на численні фізіологічні результати.

Двофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA) виявив дуже значну взаємодію між раціоном та експериментальним періодом для всіх основних показників якості сперми. Покращення об'єму еякуляту, концентрації сперматозоїдів, рухливості та загальної кількості життєздатних сперматозоїдів було пов'язане зі значними розмірами ефекту ($\eta^2 > 0,50$), що вказує на сильний та залежний від часу вплив згодовування горіхів кнурам.

Позитивні кореляції між активністю сперматозоїдів та метаболічними параметрами, поряд з негативними зв'язками з маркерами оксидативного стресу, свідчать про те, що покращення репродуктивної функції може бути результатом поліпшеного окисно-відновного гомеостазу та позитивного впливу на цілісність мембран сперматозоїдів. Враховуючи високий вміст поліненасичених жирних кислот у продуктах з волоських горіхів, ці результати узгоджуються з концепцією, що ліпіди та антиоксиданти синергійно підтримують сперматогенез та функціональність сперматозоїдів [30–32].

Помітне зниження частоти діареї серед поросят, які отримували відвар з перегородок волоських горіхів, підкреслює потенціал цього фітогенного втручання як функціональної альтернативи традиційним профілактичним стратегіям. Значний вплив, що спостерігається щодо частоти діареї, разом із покращенням метаболізму глюкози та мінерального балансу, свідчить про посилення адаптивних можливостей у критичні періоди відлучення.

Біохімічні аналізи виявили помірні, але послідовні зрушення в бік покращення енергетичного та білкового обміну, що свідчить про те, що біоактивні сполуки, отримані з волоських горіхів, можуть підтримувати структурно-функціональну цілісність кишківника та системну регуляцію метаболізму у молодих тварин.

Комбіноване використання кореляційних матриць та факторного аналізу забезпечує інтегративний погляд на біологічний вплив добавок волоських горіхів. Було визначено три основні фактори – антиоксидантно-окислювальний, продуктивно-метаболічний та репродуктивний – які разом пояснюють понад 70 % загальної дисперсії. Ця багатовимірна структура підкреслює, що спостережувані покращення не є ізольованими явищами, а радше взаємопов'язаними реакціями, зумовленими посиленою метаболічною та окисно-відновною регуляцією.

Загалом, результати наших досліджень свідчать, що компоненти корму, отримані з волоських горіхів, діють як функціональні модулятори, впливаючи на ріст, якість м'яса, репродуктивну функцію та стан здоров'я через скоординовані метаболічні та антиоксидантні шляхи (рис. 1).

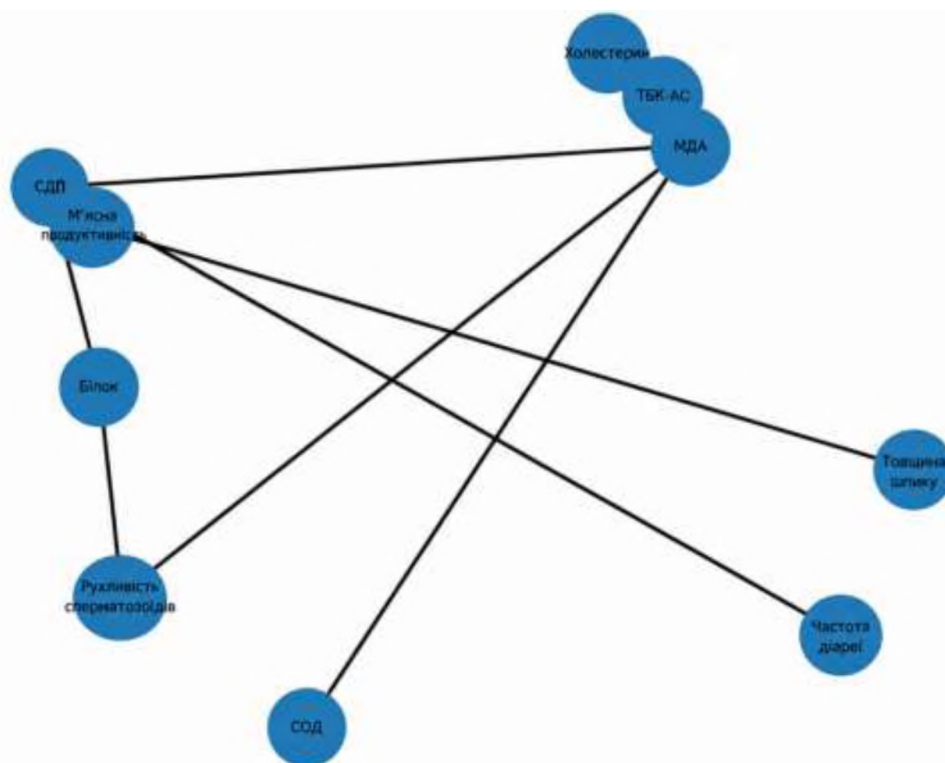


Рис. 1. Кореляційна мережа, що ілюструє взаємозв'язки ($|r| \geq 0,60$) між продуктивними ознаками (середньодобовий приріст, вихід м'яса, товщина спинного жиру), показниками метаболізму (білок), маркерами окисного стресу (МДА, ТБК-активні сполуки), антиоксидантним захистом (СОД), репродуктивною здатністю (рухливість сперматозоїдів) та станом здоров'я (частота діареї).

Центральне положення МДА та ТБК-активних сполук у мережі підкреслює їх роль як ключових негативних регуляторів продуктивних і репродуктивних показників, що цілком узгоджується з результатами інших авторів [33, 34]. Середньодобові прирости та вихід м'яса формують продуктивний кластер, позитивно пов'язаний з обміном білків і негативно – з окисативним стресом та кількістю випадків діареї. Рухливість сперматозоїдів асоційована з обміном білків і антиоксидантним захистом, що підтверджує зв'язок між редокс-гомеостазом і репродуктивною функцією. Мережевий підхід узгоджується з результатами факторного

аналізу, демонструючи інтегрований характер дії кормових компонентів на основі горіха волоського.

Висновки. Компоненти корму, отримані з волоських горіхів, значно покращують показники росту, склад туші, якість м'яса, антиоксидантний статус, репродуктивну функцію та показники здоров'я у свиней. Ці ефекти опосередковуються через скоординовану модуляцію метаболічних та окиснювальних процесів, що підтверджено однофакторним та багатофакторним статистичним аналізом. Побічні продукти та відвари волоських горіхів є перспективними функціональними кормовими інгредієнтами для сталого виробництва свинини.

Розроблені фітозасоби та кормові добавки на основі продуктів перероблення горіха волоського можуть бути рекомендовані для використання у системах органічно орієнтованого свинарства як природна альтернатива синтетичним стимуляторам росту та профілактичним антибактеріальним препаратам.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Rossi B., Toschi A., Piva A., Grilli E. Single components of botanicals and nature-identical compounds as a non-antibiotic strategy to ameliorate health status and improve performance in poultry and pigs. *Nutrition Research Reviews*. 2020. Vol. 33. Iss. 2. P. 218–234. <https://doi.org/10.1017/S0954422420000013>
2. Kuralkar P., Kuralkar S.V. Role of herbal products in animal production – An updated review. *J. of Ethnopharmacology*. 2021. Vol. 278. Article 114246. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114246>
3. Wang J., Deng L., Chen M., Che Yu., Li L., Zhu L., Chen G., Feng T. Phytogenic feed additives as natural antibiotic alternatives in animal health and production: A review of the literature of the last decade. *Animal Nutrition*. 2024. Vol. 17. P. 244–264. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2024.01.012>
4. Kumar M., Kumar V., Roy D., Kushwaha R., Vaiswani S. Application of herbal feed additives in animal nutrition-a review. *International J. of Livestock Research*. 2014. Vol. 4. Iss. 9. P. 1–8. <https://doi.org/10.5455/ijlr.20141205105218>
5. Lillehoj H., Liu Y., Calsamiglia S. et al. Phytochemicals as antibiotic alternatives to promote growth and enhance host health. *Vet Res*. 2018. Vol. 49. Article 76. <https://doi.org/10.1186/s13567-018-0562-6>
6. Muradoglu F., Oguz H. I., Yildiz K., Yilmaz H. Some chemical composition of walnut (*Juglans regia* L.) selections from Eastern Turkey. *African J. of Agricultural Research*. 2010. Vol. 5. Iss. 17. P. 2379–2385.
7. Carrera-Chávez J. M. et al. Effect of Moringa oleifera seed extract on antioxidant activity and sperm characteristics in cryopreserved ram semen. *J. of Applied Animal Research*. 2020. Vol. 48. Iss. 1. P. 114–120. <https://doi.org/10.1080/09712119.2020.1741374>
8. Jofré I., Cuevas M., de Castro L. S. et al. Antioxidant Effect of a Polyphenol-Rich Murtilla (*Ugni molinae* Turcz.) Extract and Its Effect on the Regulation of Metabolism in Refrigerated Boar Sperm. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2019. Article 2917513. 15 p. <https://doi.org/10.1155/2019/2917513>
9. Sobeh M., Hassan S. A., Hassan M. A. E., Khalil W. A., Abdelfattah M. A. O., Wink M., Yasri A. A Polyphenol-Rich Extract From *Entada abyssinica* Reduces Oxidative Damage in Cryopreserved Ram Semen. *Front. Vet. Sci*. 2020. Vol. 7. Article 604477. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.604477>
10. Muzolf-Panek, M., Zaworska-Zakrzewska, A., Czech, A., Lisiak, D., Kasprowicz-Potocka, M. Antioxidative Status and Meat Quality Traits as Affected by Dietary Supplementation of Finishing Pigs with Natural Phenolics. *Antioxidants*. 2024. Vol. 13. Iss. 11. Article 1362. <https://doi.org/10.3390/antiox13111362>
11. Сініцин О. Вплив екстракту перетинки горіха волоського на продуктивність, частоту проявів діареї та біохімічні показники крові поросят. *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2025. № 116. С. 248–261. <https://doi.org/10.37000/abbsl.2025.116.17>

12. Сініцин О. Якість спермопродукції кнурів за умови використання в раціоні горіха волоського. *Вісник аграрної науки*. 2025. № 10. С. 80–87. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202510-09>
13. Сініцин О. Вплив згодовування горіху волоського на продуктивність, морфологічний склад туш та якість м'ясо-сальної продукції отриманої від свиней миргородської породи. *Науково-технічний бюлетень Інституту тваринництва НААН* Харків, 2025. No 135. С. 145–161. <https://doi.org/10.32900/2312-8402-2025-135-145-160>
14. European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and other Scientific Purposes (ETS No. 123) (Strasbourg, 18.03.1986). Verkhovna Rada Ukrainy: zakonodavstvo Ukrainy [Official site of Verkhovna Rada of Ukraine: Legislation of Ukraine]. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_137#Text [in Ukrainian].
15. Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes (Text with EEA relevance). Official Journal of the European Union. 2010. L 276/33. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:276:0033:0079:en:PDF>
16. Dovidnyk z povnotsinnoi hodivli silskohospodarskykh tvaryn [Handbook of complete feeding of farm animals] / I. I. Ibatullin (ed.), M. I. Bashchenko, O. M. Zhukorskyi. Kyiv : Ahrarna Nauka, 2016 [in Ukrainian].
17. Інструкція із штучного осіменіння свиней. Київ: Аграрна наука, 2003. 56с.
18. Лабораторні методи досліджень у біології, тваринництві та ветеринарній медицині : довідник / В. В. Влізло, Р. С. Федорук, І. Б. Ратич та ін.; за ред. В. В. Влізла. Львів: Сполом, 2012. 764 с.
19. Методологія та організація наукових досліджень у тваринництві: посіб. / І. І. Ібатуллин та ін.; за ред. І. І. Ібатуліна, О. М. Жуковського; НААН, Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. Київ: Аграрна наука, 2017. 328 с.
20. Методологія та організація наукових досліджень у тваринництві: навчальний посібник / О. І. Соболев, В. М. Недашківський, Р. А. Петришак та ін.; за ред. О. І. Соболева. Біла Церква: ТОВ «Білоцерківдрук», 2022. 256 с.
21. Glantz S. A. Primer of Biostatistics: 7-th ed. The McGraw-Hill Companies, 2012. 327 p.
22. Gorsuch R. L. Factor Analysis: Classic Edition (2nd ed.). Routledge, 2014. <https://doi.org/10.4324/9781315735740>
23. Костюк В. О. Прикладна статистика: навч. посібник / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 191 с.
24. Idriceanu L., Mironeasa S., Gheorghe A., Lefter N. A., Iuga M., Grigore D. M., Habeanu M. Effects of the extruded linseed and walnut meal on some quality characteristics of longissimus dorsi and semitendinosus muscle of pigs. *Scientific Papers. Series D. Animal Sci.* 2020. Vol. LXIII. № 1. URL: <https://animalsciencejournal.usamv.ro/index.php/scientific-papers/past-issues?id=701>
25. Wang J., Jia M., Zhang Q., Yan X., Guo Y., Wang L., Xing B. Walnut Green Husk Extract Enhances Antioxidant, Anti-Inflammatory, and Immune Functions by Regulating Gut Microbiota and Metabolites in Fattening Pigs. *Animals (Basel)*. 2025. Vol.15. Iss. 16. Article 2395. <https://doi.org/10.3390/ani15162395>
26. Yang Z., Wang Y., He T., Ziema B. G., Wu L., Sun Z., Sun W., Tang Z. Effects of Dietary Yucca Schidigera Extract and Oral Candida utilis on Growth Performance and Intestinal Health of Weaned Piglets. *Front Nutr.* 2021. Vol. 26. Iss. 8. Article 685540. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.685540>
27. Баньковська І. Б., Волощук В. М., Подобєд Л. І., Смилов С. Ю. Модель оптимізації виробництва якісної свинини в сучасних умовах товарного свинарства. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*. 2016. № 250. С. 114–124.
28. Шанта Е. І., Шаферівський Б. С. Основні аспекти формування м'ясної продуктивності свиней. Актуальні питання технології продукції тваринництва: зб. матеріалів IX Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф., (м. Полтава, 05 груд. 2024 р.) Полтава, 2024. С. 62–64. URL: <https://dspace.pdau.edu.ua/handle/123456789/17732>
29. Seoni E., Battacone G., Ampuero Kragten S., Dohme-Meier F., Bee G. Impact of increasing levels of condensed tannins from sainfoin in the grower-finisher diets of entire

male pigs on growth performance, carcass characteristics, and meat quality. *Animal*. 2021. Vol. 15. Iss. 2. Article100110. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100110>

30. Diaz R., Torres M. A., Bravo S., Sanchez R., Sepulveda N. Determination of fatty acid profile in ram spermatozoa and seminal plasma. *Andrologia*. 2016. Vol. 48. P. 723–726. <https://doi.org/10.1111/and.12506>

31. Strzezek J., Fraser L., Kuklińska M., Dziekońska A., Lecewicz M. Effects of dietary supplementation with polyunsaturated fatty acids and antioxidants on biochemical characteristics of boar semen. *Reproductive biology*. 2004. Vol. 4. Iss. 3. P. 271–287.

32. Macias G. B., Gonzalez F. L., Ortega F. C. et al. Fatty acids and plasmalogens of the phospholipids of the sperm membranes and their relation with the post-thaw quality of stallion spermatozoa. *Theriogenology*. 2011. Vol. 75. P. 811–818. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.10.021>

33. Шостя А. М., Сарнавська І. В., Маховий О. Г., Шпирна І. Г., Самовик А. В. Вплив хелату цинку та вітамінів антиоксидантної дії на якість спермопродукції та стан прооксидантно-антиоксидантного гомеостазу у кнурів-плідників. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій. Серія «Сільськогосподарські науки»*. Львів, 2025. Т. 27. № 102. С. 243–250. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-a10235>

34. Shostya A., Siabro A. Effects of copper citrate on physiological-biochemical parameters of ejaculate of sire boars. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2022. Vol. 13. Iss. 2. P. 121–129. <https://doi.org/10.15421/022217>

REFERENCES

1. Rossi, B., Toschi, A., Piva, A., & Grilli, E. (2020). Single components of botanicals and nature-identical compounds as a non-antibiotic strategy to ameliorate health status and improve performance in poultry and pigs. *Nutrition Research Reviews*, 33(2), 218–234. <https://doi.org/10.1017/S0954422420000013>

2. Kuralkar, P., & Kuralkar, S. V. (2021). Role of herbal products in animal production – An updated review. *J of Ethnopharmacology*, 278, 114246. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114246>

3. Wang, J., Deng, L., Chen, M., Che, Yu., Li, L., Zhu, L., Chen, G., & Feng, T. (2024). Phytogetic feed additives as natural antibiotic alternatives in animal health and production: A review of the literature of the last decade. *Animal Nutrition*, 17, 244–264. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2024.01.012>

4. Kumar, M., Kumar, V., Roy, D., Kushwaha, R., & Vaiswani, S. (2014). Application of herbal feed additives in animal nutrition-a review. *International J of Livestock Research*, 4(9), 1–8. 10.5455/ijlr.20141205105218

5. Lillehoj, H., Liu, Y., Calsamiglia, S., Fernandez-Miyakawa, M. E., Chi, F., Cravens, R. L., Oh, S., & Gay, Cyril G. (2018). Phytochemicals as antibiotic alternatives to promote growth and enhance host health. *Vet Res.*, 49, 76. <https://doi.org/10.1186/s13567-018-0562-6>

6. Muradoglu, F., Oguz, H. I., Yildiz, K., & Yilmaz, H. (2010). Some chemical composition of walnut (*Juglans regia* L.) selections from Eastern Turkey. *African J. of Agricultural Research*, 5(17), 2379–2385.

7. Carrera-Chávez, J. M., Jiménez-Aguilar, E. E., Acosta-Pérez, T. P., Núñez-Gastélum, J. A., Quezada-Casasola, A., Escárcega-Ávila, A. M., ... Orozco-Lucero, E. (2020). Effect of *Moringa oleifera* seed extract on antioxidant activity and sperm characteristics in cryopreserved ram semen. *J of Applied Animal Research*, 48(1), 114–120. <https://doi.org/10.1080/09712119.2020.1741374>

8. Jofré, I., Cuevas, M., de Castro, L. S., de Agostini Losano, J. D., Torres, M. A., Alvear, M. ... Fernando, R. (2019). Antioxidant Effect of a Polyphenol-Rich Murtilla (*Ugni molinae* Turcz.) Extract and Its Effect on the Regulation of Metabolism in Refrigerated Boar Sperm. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2917513. <https://doi.org/10.1155/2019/2917513>

9. Sobeh, M., Hassan, S. A., Hassan, M. A. E., Khalil, W. A., Abdelfattah, M. A. O., Wink, M., & Yasri, A. (2020). A Polyphenol-Rich Extract From *Entada abyssinica* Reduces Oxidative Damage in Cryopreserved Ram Semen. *Front. Vet. Sci.*, 7, 604477. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.604477>

10. Muzolf-Panek, M., Zaworska-Zakrzewska, A., Czech, A., Lisiak, D., & Kasprzowicz-Potocka, M. (2024). Antioxidative Status and Meat Quality Traits as Affected by Dietary Supplementation of Finishing Pigs with Natural Phenolics. *Antioxidants*, 13(11), 1362. <https://doi.org/10.3390/antiox13111362>
11. Sinitsyn, O. (2025). Vplyv ekstraktu peretynok horikhu voloskoho na produktyvnist, chastotu proiaviv diarei ta biokhimichni pokaznyky krovi porosiat [Effect of walnut webbing extract on productivity, frequency of diarrhoea and biochemical parameters of piglets blood]. *Ahrarnyi visnyk Prychornomoria* [Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral], 116, 248–261 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.37000/abbsl.2025.116.17>
12. Sinitsyn, O. (2025). Yakist spermoproduktsii knuriv za umovy vykorystannia v ratsioni horikha voloskoho [The quality of sperm production of boars, subject to the use of walnuts in the diet]. *Bulletin of Agricultural Sci.*, 10, 80–87 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202510-09>
13. Sinitsyn, O. (2025). Vplyv zghodovuvannia horikhu voloskoho na produktyvnist, morfolohichni sklad tush ta yakist miaso-salnoi produktsii otrymanoї vid svynei myrhorodskoi porody [Influence of walnut feeding on productivity, morphological composition of carcasses and quality of meat and fat products obtained from mirgorod pigs]. *Naukovo-tekhnichniy biuleten Instytutu tvarynnytstva NAAN* [Scientific and technical bulletin of Livestock farming Institute of NAAS of Ukraine]. Kharkiv, 135, 145–160 [in Ukrainian] <https://doi.org/10.32900/2312-8402-2025-135-145-160>
14. European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and other Scientific Purposes (ETS No. 123) (Strasbourg, 18.03.1986). Verkhovna Rada Ukrainy: zakonodavstvo Ukrainy [Official site of Verkhovna Rada of Ukraine: Legislation of Ukraine] [in Ukrainian]. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_137#Text
15. Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes (Text with EEA relevance). Official Journal of the European Union. 2010. L 276/33. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:276:0033:0079:en:PDF>
16. Ibatullin I. I. (Ed.), Bashchenko, M. I., & Zhukorskyi, O. M. (2016). Dovidnyk z povnotsinnoi hodivli silskohospodarskykh tvaryn [Handbook of complete feeding of farm animals]. Kyiv: Ahrarna Nauka [in Ukrainian].
17. Instruktisiia iz shtuchnoho osimeninnia svynei [Instructions for the artificial insemination of pigs] (2003). Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].
18. Vlizlo, V. V., Fedoruk, R. S., Ratych, I. B. et al. (2012). Laboratorni metody doslidzhen u biologii, tvarynnytstvi ta veterynarii medytsyni [Laboratory research methods in biology, animal husbandry and veterinary medicine]. Lviv: Spolom [in Ukrainian]
19. Ibatullin, I. I. (2017). Metodolohiia ta orhanizatsiia naukovykh doslidzhen u tvarynnytstvi [Methodology and organisation of scientific research in animal husbandry]. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian]
20. Soboliev, O. I., Nedashkivskyi, V. M., Petryshak, R. A. et al. (2022). Metodolohiia ta orhanizatsiia naukovykh doslidzhen u tvarynnytstvi [Methodology and Organisation of Scientific Research in Animal Husbandry]. Bila Tserkva: TOV «Bilotserkivdruk» [in Ukrainian]
21. Glantz, S. A. (2012). Primer of Biostatistics: 7-th ed. The McGraw-Hill Companies
22. Gorsuch, R. L. (2014). Factor Analysis: Classic Edition (2nd ed.). Routledge <https://doi.org/10.4324/9781315735740>
23. Kostiuk, V. O. (2015). Prykladna statystyka [Applied statistics]. Kharkiv: KhNUMH im. O. M. Beketova [in Ukrainian]
24. Idriceanu, L., Mironeasa, S., Gheorghe, A., Lefter, N. A., Iuga, M., Grigore, D. M., & Haneanu, M. (2020). Effects of the extruded linseed and walnut meal on some quality characteristics of longissimus dorsi and semitendinosus muscle of pigs. *Scientific Papers. Series D. Animal Sci.*, LXIII(1). Retrieved from: <https://animalsciencejournal.usamv.ro/index.php/scientific-papers/past-issues?id=701>
25. Wang, J., Jia, M., Zhang, Q., Yan, X., Guo, Y., Wang, L., & Xing, B. (2025). Walnut Green Husk Extract Enhances Antioxidant, Anti-Inflammatory, and Immune Functions by Regulating Gut Microbiota and Metabolites in Fattening Pigs. *Animals (Basel)*, 15(16), 2395. <https://doi.org/10.3390/ani15162395>

26. Yang, Z., Wang, Y., He, T., Zieme, B. G., Wu, L., Sun, Z., Sun, W., & Tang, Z. (2021). Effects of Dietary Yucca Schidigera Extract and Oral Candida utilis on Growth Performance and Intestinal Health of Weaned Piglets. *Front Nutr.*, 26(8), 685540. [10.3389/fnut.2021.685540](https://doi.org/10.3389/fnut.2021.685540)
27. Bankovska, I. B., Voloshchuk, V. M., Podobied, L. I., & Smyslov, S. Yu. (2016). Model optymizatsii vyrobnytstva yakisnoi svynyny v suchasnykh umovakh tovarnoho svynarstva [Модель оптимізації виробництва якісної свинини в сучасних умовах товарного свинарства]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktsii tvarynnystva* [Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: Technology of Production and Processing of Livestock Products], 250, 114–124 [in Ukrainian]
28. Шанта Е. І., Шаферівський Б. С. Основні аспекти формування м'ясної продуктивності свиней. Актуальні питання технології продукції тваринництва : зб. матеріалів IX Всеукр. наук.–практ. інтернет конф., (м. Полтава, 05 грудня 2024 р.) Полтава, 2024. С. 62–64. [in Ukrainian] Retrieved from <https://dspace.pdau.edu.ua/handle/123456789/17732>
29. Seoni, E., Battaccone, G., Ampuero Kragten S., Dohme-Meier, F., & Bee, G. (2021). Impact of increasing levels of condensed tannins from sainfoin in the grower-finisher diets of entire male pigs on growth performance, carcass characteristics, and meat quality. *Animal*, 15(2), 100110. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100110>
30. Diaz, R., Torres, M. A., Bravo, S., Sanchez, R., & Sepulveda, N. (2016). Determination of fatty acid profile in ram spermatozoa and seminal plasma. *Andrologia*, 48, 723–726. <https://doi.org/10.1111/and.12506>
31. Strzezek, J., Fraser, L., Kuklińska, M., Dziekońska, A., & Lecewicz, M. (2004). Effects of dietary supplementation with polyunsaturated fatty acids and antioxidants on biochemical characteristics of boar semen. *Reproductive biology*, 4(3), 271–287.
32. Macias, G. B., Gonzalez, F. L., Ortega, F. C., Morillo, R. A., Gallardo, B. J., Rodriguez, M. H., ... Peña, F. J. (2011). Fatty acids and plasmalogens of the phospholipids of the sperm membranes and their relation with the post-thaw quality of stallion spermatozoa. *Theriogenology*, 75, 811–818. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.10.021>
33. Shostya, A. M., Samavskaya, I. V., Mahoviy, O. H., Shpyrna, I. H., & Samovyk, A. V. (2025). Vplyv khelatu tsynku ta vitaminiv antyoksydantnoi dii na yakist spermoproduktsii ta stan prooksydantno-antyoksydantnoho homeostazu u knuriv-plidnykiv [The effect of zinc chelate and antioxidant vitamins on the quality of sperm production and the state of pro-oxidant-antioxidant homeostasis in breeding boars]. *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterinarnoi medytsyny ta biotekhnolohii. Seriya «Silskohospodarski nauky»* [Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series «Agricultural Sciences»], 27(102), 243–250 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-a10235>
34. Shostya, A., & Siabro, A. (2022). Effects of copper citrate on physiological-biochemical parameters of ejaculate of sire boars. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 13(2), 121–129. <https://doi.org/10.15421/022217>

INFLUENCE OF FEED COMPONENTS RECEIVED FROM WALNUTS ON GROWTH INDEXES, MEAT QUALITY, ANTIOXIDANT STATUS AND REPRODUCTIVE QUALITIES IN PIGS

O. S. Sinitsyn, S. H. Zinoviev, M. L. Pushkina

Institute of Pig Breeding and Agroindustrial Production NAAS

1 Shvedska Mohyla Str., Poltava, Ukraine, 36009

<https://ror.org/00r693281>

Objective. To evaluate the effects of feed components received from walnuts on the body of pigs using a combination of univariate and multivariate statistical approaches to provide an integrated biological interpretation. **Methods.** In this study it was evaluated the effects of feed components received from walnuts, including kernels, by-products, and membrane decoctions, on growth indexes, carcass and meat quality, antioxidant status, reproductive traits, and health indexes in pigs. Three series of experiments were conducted using fattening pigs, boars, and piglets at critical stages of the development. The productive, physicochemical, biochemical, and reproductive parameters were analyzed using one- and two-factor analysis of variance (ANOVA), correlation analysis, and exploratory factor analysis.

Results. The inclusion of walnut products in the diet significantly increased the average daily gain and improved the carcass composition due to reduce the back fat thickness and increased meat yield. Meat quality improved due to the increased tenderness, moisture retention, and reduced cooking losses. Walnut supplementations significantly reduced markers of lipid peroxidation and improved antioxidant enzyme activity, indicating the increased oxidative stability. In boars, sperm volume, spermatozoa concentration, motility, and total viable cell count were significantly increased, with strong interaction effects between diet and study period. In piglets, walnut husk decoction significantly reduced diarrhea indexes and improved metabolic parameters before and after weaning. Multivariate analysis revealed three main factors – antioxidant-oxidative, productive-metabolic, and reproductive—explaining over 70 % of the total variance. Thus, walnut-based feed additives act as functional modulators, influencing growth, meat quality, reproductive function, and animal health through coordinated metabolic and antioxidant pathways.

Conclusions. Feed components received from walnuts significantly improve growth indexes, carcass composition, meat quality, antioxidant status, reproductive efficiency and health indexes in pigs. These effects are mediated through the coordinated modulation of metabolic and oxidative processes, as confirmed by univariate and multivariate statistical analysis. Walnut by-products and decoctions are promising functional feed ingredients for the sustainable pork production.

Keywords: walnut, pigs, growth index, meat quality, antioxidant status, reproduction, sperm quality, statistical analysis.

For citation (APA Style):

Sinitsyn, O. S., Zinoviev, S. H., & Pushkina, M. L. (2026). Vplyv komponentiv kormu, otrymanykh z voloskykh horikhiv, na pokaznyky rostu, yakist miasa, antyoksydantnyi status ta reproduktyvni yakosti u svynei [Influence of feed components received from walnuts on growth indexes, meat quality, antioxidant status and reproductive qualities in pigs]. *Svynarstvo i Ahropromyslove Vyrobnystvo* [Pig Breeding and Agroindustrial Production]. Poltava, 7(85), 58–73 [in Ukrainian]. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7\(85\)2](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7(85)2)

Використання штучного інтелекту (ШІ):

Автори заявляють про використання генеративного ШІ у процесі дослідження та підготовки рукопису. Відповідно до таксономії GAIDeT (2025), наведені нижче завдання були делеговані інструментам генеративного ШІ за повного людського нагляду: оцінювання новизни дослідження та виявлення прогалин; візуалізація: резюмування тексту. Використаний інструмент генеративного ШІ: ChatGPT-5.

Відомості про авторів:

Сініцин Олексій Сергійович, аспірант, Інститут свинарства і агропромислового виробництва НААН

Зінов'єв Сергій Георгійович, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, в. о. завідувача лабораторії екологічної безпеки у тваринництві, Інститут свинарства і агропромислового виробництва НААН

Пушкіна Марія Львівна, молодша наукова співробітниця, лабораторія інноваційних технологій та експериментальних тваринницьких об'єктів, Інститут свинарства і агропромислового виробництва НААН

УДК 636.4.082.26:575.21

ФЕНОТИПОВА КОНСОЛІДАЦІЯ ДВОПОРОДНИХ СВИНОМАТОК ЗА ПОЄДНАННЯ З КНУРАМИ ПОРОДИ ДЮРОК

О. М. Церенюк¹, В. О. Скрипник¹, О. В. Акімов², О. В. Кольчик²

¹Інститут свинарства і агропромислового виробництва НААН
вул. Шведська Могила, 1, м. Полтава, Україна, 36013

<https://ror.org/00r693281>

²Національний науковий центр «Інститут експериментальної і клінічної ветеринарної медицини», вул. Григорія Сковороди 83, м. Харків, Україна, 61023

<https://ror.org/04prq1595>

Церенюк О. М.
tserenyuk@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-4797-9685>
Скрипник В. О.
skrypnykvo@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0008-4819-5325>
Акімов О. В.
akimov.kharkiv@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1938-0459>
Кольчик О. В.
kolchik-elena@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0003-0497-2512>

Рукопис надійшов/
Manuscript was received
16.04.2026
Після рецензування/
Received after review
05.05.2026
Прийнято до друку/
Accepted for printing
22.06.2026
Доступно онлайн/
Available online
30.06.2026

Декларування конфлікту інтересів:
Не потрібно

Етичне схвалення:
Не застосовується



Attribution Licens 4.0 International
(CC BY 4.0)



Мета. Дослідити фенотипову консолідацію та варіабельність показників відтворної здатності двопорідних свиноматок за поєднання з кнурами породи дюрок. **Методи.** Були сформовані чотири групи двопорідних свиноматок від поєднання порід уельс × полтавська м'ясна (I група), полтавська м'ясна × уельс (II група), уельс × велика біла (III група), полтавська м'ясна × велика біла (IV група) по 15 голів у кожній. Маток цих чотирьох груп поєднували з кнурами породи дюрок. На основі одержаних абсолютних показників розраховували коефіцієнти фенотипової консолідації по кожній окремій групі. Біометричну обробку одержаних даних проводили за загальноприйнятими методиками. **Результати.** Встановлено неоднорідність показників, які відображають фенотипову консолідацію за відтворною здатністю свиноматок різних поєднань. Загальна кількість поросят при народженні, кількість живих поросят та маса гнізда при відлученні мали від'ємні значення коефіцієнтів фенотипової консолідації за усіма поєднаннями. При цьому найменш консолідованою була III група тварин за показниками загальної кількості поросят при народженні та числа живих поросят, а за масою гнізда при відлученні – II група. Показник середньої маси одного поросяти при відлученні, навпаки, відзначався протилежними значеннями коефіцієнтів фенотипової консолідації. Так, свиноматки різних поєднань мали позитивні значення коефіцієнта K₁, який знаходився в межах від +1,888 до +2,304 одиниць, а коефіцієнт K₂ був від'ємним й перебував в межах від -1,069 до -0,568 одиниці. За показником середньої маси одного поросяти при відлученні кращою консолідованістю вирізнялися матки III групи. **Висновки.** Встановлено, що такі показники як загальна кількість поросят при народженні, багатоплідність та маса гнізда при відлученні мали від'ємні значення коефіцієнтів фенотипової консолідації за усіма дослідженими поєднаннями. Показник середньої маси одного поросяти при відлученні відзначався протилежними значеннями коефіцієнтів фенотипової консолідації: свиноматки різних поєднань мали позитивні значення коефіцієнта K₁ й від'ємні – коефіцієнта K₂. Розрахунок коефіцієнта варіації також підтвердив високу консолідацію за показником середньої маси одного поросяти при відлученні. **Ключові слова:** свині, відтворна здатність, поєднання порід, дюрок, фенотипова консолідація, варіабельність.

Для цитування (за ДСТУ 8302:2025):

Церенюк О. М., Скрипник В. О., Акімов О. В., Кольчик О. В. Фенотипова консолідація двопорідних свиноматок за поєднання з кнурами породи дюрок. *Свинарство і агропромислове виробництво* : міжвідом. темат. наук. зб. / Ін-т свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2026. Вип. 7(85). С. 74–81. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7\(85\)6](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7(85)6)

Вступ. Свинарство, як зазначають більшість науковців [1, 2] – є однією з основних галузей тваринництва в Україні яка впливає на продовольчу безпеку держави, забезпечуючи населення м'ясною продукцією. Ріст та розвиток цієї галузі відбувається користуючись з певних біологічних особливостей свиней, однією з яких є багатоплідність [3, 4].

Відтворювальна здатність свиноматок належить до ключових селекційно-господарських ознак, що визначають економічну ефективність свинарства. Саме такі показники як багатоплідність, великоплідність, збереженість поросят, молочність свиноматок та вирівняність гнізда безпосередньо впливають на кількість та якість одержаного молодняку який буде добре пристосований до промислових умов утримання [5, 6]. Крім того, однією з основних вимог промислового ведення свинарства є фенотипова консолідація свиноматок за показниками відтворення, на що обов'язково звертають увагу селекціонери у племінній роботі [7, 8].

Фенотипова консолідація характеризує ступінь однорідності тварин у межах певної групи за господарсько корисними ознаками. Високий рівень консолідації свідчить про стабільність прояву ознак і кращу прогнозованість результатів відтворення [9]. Водночас варіабельність відображає межі мінливості показників і дає змогу оцінити резерви подальшого селекційного поліпшення [10].

Оцінка фенотипової консолідації має важливе значення під час відбору ремонтного молодняку та формування маточного стада. Але слід зазначити, що показники відтворювальної здатності свиноматок належать до ознак із низьким рівнем успадкування, на які значний вплив мають паратипові фактори [11, 12]. Проте доведено, що розмір гнізда позитивно корелює з його масою як при народженні, так і при відлученні поросят, тоді як середня вага при народженні негативно пов'язана з кількістю новонароджених поросят [13, 14]. Відповідно у практиці свинарства оптимальним є таке поєднання, за якого тварини мають достатню однорідність за певними відтворювальними ознаками, але не втрачають генетичного потенціалу для вдосконалення.

Саме тому вивчення питання фенотипової консолідації та варіабельності показників відтворної здатності свиноматок різних поєднань є актуальним та має практичне значення у селекційному процесі.

Мета роботи полягала у дослідженні фенотипової консолідації та варіабельності показників відтворної здатності двопорідних свиноматок за поєднання з кнурами породи дюрок.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження були проведені на базі свинарської товарної ферми ФОП «Скрипник В.О.» Лозівського району Харківської області за загальними принципами проведення досліджень [15]. Було сформовано чотири групи двопорідних свиноматок від поєднання порід уельс (У) х полтавська м'ясна (ПМ) (I група), ПМ х У (II група), У х велика біла (ВБ) (III група), ПМ х ВБ (IV група) по 15 голів в кожній. Маток цих чотирьох груп поєднували з кнурами породи дюрок. З врахуванням наявного у господарстві відсотка плідно спарованих свиноматок для досліджень відбирали більшу кількість маток з подальшим формуванням груп з числа перших 15 голів з підтвердженою поросністю на 28-й день після осіменіння за допомогою ультразвукового приладу

діагностики поросності свиноматок. Всі свиноматки були осіменені штучно в один період, мали нормовану даванку відповідних комбікормів згідно з фізіологічними періодами. Усі комбікорми згодовували у сухому вигляді за умов вільного доступу тварин до води. Свиноматок утримували індивідуально у різні фізіологічні періоди з дотриманням відповідних температурних режимів тощо. Оцінювали такі основні показники відтворної здатності свиноматок як загальне число порослят при народженні, кількість живих порослят, маса гнізда при відлученні та середня маса одного поросляти. На основі одержаних абсолютних показників розраховували коефіцієнти фенотипової консолідації (K_1 та K_2) по кожній окремій групі за методикою Ю. П. Полупана [16].

Для статистичного аналізу даних використовували програму Microsoft Excel. Біометричну обробку одержаних даних проводили за загальноприйнятими методиками [17, 18].

Результати дослідження та їх обговорення. Результатами наших досліджень встановлено неоднорідність показників які відображають фенотипову консолідацію за відтворною здатністю свиноматок різних поєднань (табл. 1).

Таблиця 1. Фенотипова консолідація та варіабельність показників відтворної здатності свиноматок

Показники		Група тварин			
		I	II	III	IV
		УхПМхД	ПМхУхД	УхВБхД	ПМхВБхД
Порослят при народженні, всього	K_1	-0,229	-0,321	-0,733	-0,544
	K_2	-0,681	-0,783	-1,173	-1,037
В тому числі живих	K_1	-0,290	-0,221	-0,589	-0,221
	K_2	-0,834	-0,798	-1,214	-0,835
Маса гнізда при відлученні	K_1	-0,729	-0,995	-0,914	-0,799
	K_2	-0,753	-1,021	-0,928	-0,822
Середня маса одного поросляти при відлученні	K_1	+2,151	+1,888	+2,304	+2,300
	K_2	-0,802	-1,069	-0,568	-0,647

Такі показники як загальна кількість порослят при народженні й кількість живих порослят та маса гнізда при відлученні мали від'ємні значення коефіцієнтів фенотипової консолідації за усіма поєднаннями. При цьому найменш консолідованою була III група тварин за загальною кількістю порослят при народженні й кількістю живих порослят, а за масою гнізда при відлученні – II група.

Показник середньої маси одного поросляти при відлученні, навпаки, відзначався протилежними значеннями коефіцієнтів фенотипової консолідації. Так, свиноматки різних поєднань мали позитивні значення коефіцієнта K_1 , який знаходився в межах від +1,888 до +2,304 одиниць, а коефіцієнт K_2 мав від'ємні значення, перебуваючи в межах від -1,069 до -0,568 одиниць. За показником середньої маси одного поросляти при відлученні кращою консолідованістю характеризувалися тварини III групи, тоді як II група маток була найменш консолідованою.

З метою оцінки варіабельності кожного з оцінених показників за різних варіантів поєднань порід були розраховані коефіцієнти варіації (табл. 2).

Таблиця 2. Коефіцієнт варіації показників відтворної здатності свиноматок, %

Показники	Група тварин			
	I	II	III	IV
	УхПМхД	ПМхУхД	УхВБхД	ПМхВБхД
Поросят при народженні, всього	9,62	10,92	15,85	14,13
В тому числі живих	10,47	10,06	13,71	10,48
Маса гнізда при відлученні	6,45	8,38	7,71	6,95
Середня маса одного поросяти при відлученні	4,52	5,70	3,57	3,84

Найвище значення коефіцієнта варіації за загальною кількістю народжених поросят та кількістю живих поросят мала III група тварин. Разом із тим для усіх досліджуваних груп значення коефіцієнтів варіації за цими показниками перебували в межах середньої мінливості, тобто $C_v=10-20\%$. За показниками маси гнізда при відлученні та середньої маси одного поросяти при відлученні значення коефіцієнтів варіації були менше ніж 10% , тобто мали низьку варіабельність. Найменші значення коефіцієнтів варіації спостерігалися за показником середньої маси одного поросяти при відлученні змінюючись від $3,57\%$ в III групі до $5,70\%$ – в II групі. Тобто за цим показником свиноматки були найбільш консолідованими, що підтверджується й даними розрахунків коефіцієнтів фенотипової консолідації.

Висновки.

1. Визначено, що такі показники як загальна кількість поросят при народженні, кількість живих поросят та маса гнізда при відлученні мали від'ємні значення коефіцієнтів фенотипової консолідації за усіма дослідженими породними поєднаннями.

2. Показник середньої маси одного поросяти при відлученні відзначався протилежними значеннями коефіцієнтів фенотипової консолідації: свиноматки усіх досліджених поєднань мали позитивні значення коефіцієнта K_1 , тоді як коефіцієнт K_2 мав від'ємні значення.

3. Розрахунок коефіцієнта варіації також підтвердив високу консолідацію за показником середньої маси одного поросяти при відлученні.

Перспективи подальших досліджень. У подальших дослідженнях слід провести оцінку прояву ефекту гетерозису за відтворювальними показниками з метою встановлення кращих поєднань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Волощук В. М. Стан і перспективи розвитку галузі свинарства. *Вісник аграрної науки*. 2014. № 2. С. 17–20 [in Ukrainian].
2. Юрченко О. С., Бондарська О. М., Лукаш В. Я., Калітаєв К. К., Коваленко О. А. Стан вітчизняного свинарства. Проблеми та перспективи. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. Кам'янець-Подільський, 2024. № 42. С. 53–63. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-1.8>
3. Лихач В. Я., Лихач А. В. Технологічні інновації у свинарстві : монографія. Київ: НУБІП України, 2020. 290 с.

4. Халак В. І., Бордун О. М., Гутий Б. В., Волощук М. В., Онищенко А. О., Маслов В. І. Відтворювальні якості свиноматок великої білої породи французької селекції та їх оцінка за деякими математичними моделями. *Свинарство і агропромислове виробництво* : міжвідом. темат. наук. зб. / Ін-т свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2024. Вип. 3(81). С. 129–143. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2024-3\(81\)9](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2024-3(81)9)
5. Nowak B, Mucha A, Moska M, Kruszyński W. Reproduction Indicators Related to Litter Size and Reproduction Cycle Length Among Sows of Breeds Considered Maternal and Paternal Components Kept on Medium-Size Farms. *Animals (Basel)*. 2020. Vol. 10. Iss. 7. Article 1164. <https://doi.org/10.3390/ani10071164>
6. Войтенко С. Л., Петренко М. О., Шаферівський Б. С., Каруна Т. І. Племінне свинарство України: виклики часу. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. No 26(3). С. 81–86. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.15>
7. Бордун О. М., Халак В. І., Гутий Б. В., Ільченко М. О., Шаферівський Б. С. Відтворювальні якості та рівень їх фенотипової консолідації у свиноматок різних типів адаптації. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. Кам'янець-Подільський, 2024. № 44. С. 20–27. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-3.3>
8. Халак В. І. Відтворювальні якості свиноматок різних типів адаптації та рівень їх фенотипної консолідації. *Розведення і генетика тварин*. 2022. Вип. 64. С. 164–172. <https://doi.org/10.31073/abg.64.15>
9. Хмельничий Л. М., Вечорка В. В. Фенотипова консолідованість корів бурих порід за лінійними ознаками екстер'єрного типу. *Розведення і генетика тварин*. 2020. Вип. 59. С. 168–174. <https://doi.org/10.31073/abg.59.18>
10. Панькова С. М., Гавілей О. В., Полякова Л. Л. Ефективність селекції за варіабельністю маси яєць як засобу підвищення фенотипової консолідованості заводської лінії м'ясо-яєчних курей. *Вісник аграрної науки*. 2025. № 12(873). С. 31–43. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202512-04>
11. Копитець Н. Г. Сучасний стан та тенденції розвитку ринку свинини в Україні. *Економіка АПК*. 2018. № 11. С. 44–54. <https://doi.org/10.32317/2221-1055.201811044>
12. Voshchenko, I., & Povod, M. The dynamics of changes in the productivity of maternal breeds of pigs of English breeding and the heritability of their reproductive traits in the conditions of Ukraine. *Ukrainian J. of Vet. and Agricultural Sci*. 2025. Vol. 8. № 1. С. 27–37. <https://doi.org/10.32718/ujvas8-1.05>
13. Buthelezi, N. L., Mtileni, B., Nephawe, K. A., Idowu, P. A., Modiba, M. C., Mpedi, H., & Mpfu, T. J. The impact of parity, litter size and birth weight variations within a litter on piglet pre-weaning performance. *Czech Journal of Animal Science*. 2024. Vol. 69. Iss. 7. P. 255–268. <https://doi.org/10.17221/36/2024-CJAS>
14. Рівень продуктів перекисного окиснення ліпідів у крові поросят за дії кормової добавки "Силімевіт" / Л. В. Вислоцька та ін. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій. Серія «Сільськогосподарські науки»*. Львів, Т. 23. № 95. С. 154–159. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-a9523>
15. Ібатуллін І. І., Жукорський О. М., Бащенко М. І. Методологія та організація наукових досліджень у тваринництві. Київ: Аграрна наука, 2017. 327 с.
16. Полупан Ю. П. Методи визначення ступеня фенотипної консолідації селекційних груп тварин. *Методики наукових досліджень зі селекції, генетики і біотехнології у тваринництві*. Київ: Аграрна наука, 2005. С. 52–61.
17. Коваленко В. П., Халак В. І. Біометричний аналіз мінливості ознак сільськогосподарських тварин і птиці. Херсон: Oldi-плюс, 2010. 225 с.
18. Петровська І, Салига Ю, Вудмаска І. Статистичні методи в біологічних дослідженнях: навч.-метод. посіб. Київ: Аграрна наука; 2022. 172 с.

REFERENCES

1. Voloshchuk, V. M. (2014). Stan i perspektyvy rozvytku haluzi svynarstva [Current status and prospects for the development of the pig farming sector]. *Visnyk Ahramoi Nauky* [Bulletin of Agricultural Science], 2, 17–20 [in Ukrainian]
2. Yurchenko, O. S., Bondarska, O. M., Lykhach, V. Ya., Kalitaiev, K. K., & Kovalenko, O. A. (2024). Stan vitchyznianoho svynarstva. problemy ta perspektyvy [The state of domestic pig production. problems and prospects]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika,*

ekonomika [Podilian Bulletin: agriculture, engineering, economics], 42, 55–63 [in Ukrainian].
<https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-1.8>

3. Lykhach, V. Ya., & Lykhach, A. V. (2020). Tekhnologichni innovatsii u svynarstvi [Technological innovations in pig farming]. Kyiv: NUBIP [in Ukrainian].

4. Khalak, V. I., Bordun, O. M., Gutyj, B. V., Voloshchuk, V. M., Onyshchenko, A. O., & Maslov, V. I. (2024). Vidtvoriuvalni yakosti svynomatok velykoi biloi porody frantsuzkoi selektsii ta yikh otsinka za deiakymy matematychnymy modeliamy [Reproductive qualities of French selection of the White Large breed of sows and their evaluation according to some mathematical models]. *Svynarstvo i ahropromyslove vyrobnytstvo* [Pig Breeding and Agroindustrial Production]. Poltava, 3(81), 129–143 [in Ukrainian].
[https://doi.org/10.37143/2786-7730-2024-3\(81\)9](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2024-3(81)9)

5. Nowak, B., Mucha, A., Moska, M., & Kruszyński, W. (2020). Reproduction Indicators Related to Litter Size and Reproduction Cycle Length Among Sows of Breeds Considered Maternal and Paternal Components Kept on Medium-Size Farms. *Animals (Basel)*, 10(7), 1164.
<https://doi.org/10.3390/ani10071164>

6. Voitenko, S., Petrenko, M., Shaferivskyi, B., & Karuna, T. (2023). Pleminne svynarstvo Ukrainy: vyklyky chasu [Breeding pig farming of Ukraine: challenges of the time]. *Scientific Progress & Innovations*, 26(3), 81–86. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.15>

7. Bordun, O. M., Khalak, V. I., Gutyj, B. V., Ilchenko, M. O., & Shaferivskyi, B. S. (2024). Vidtvoriuvalni yakosti ta riven yikh fenotypovoi konsolidatsii u svynomatok riznykh typiv adaptatsii [Reproductive qualities and the level of their phenotype consolidation in sows of different types of adaptation]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika* [Podilian Bulletin: agriculture, engineering, economics], 44, 20–27 [in Ukrainian].
<https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-3.3>

8. Khalak, V. I. (2022). Vidtvoriuvalni yakosti svynomatok riznykh typiv adaptatsii ta riven yikh fenotypnoi konsolidatsii [Reproductive qualities of sows of different types of adaptation and the level of their phenotype consolidation]. *Rozvedennia i henetyka tvaryn* [Animal Breeding and Genetics], 64, 164–172 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31073/abg.64.15>

9. Khmelnychiy, L. M., & Vechorka, V. V. (2020). Fenotypova konsolidovanist koriv burykh porid za liniinymy oznakamy eksteriernoho typu [Phenotypic consolidation of brown breeds cows by linear traits of conformation type]. *Rozvedennia i henetyka tvaryn* [Animal Breeding and Genetics], 59, 168–174 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31073/abg.59.18>

10. Pankova S., Havilei O., & Poliakova L. (2025). Efektyvnist selektsii za variabelnistiu masy yaiets yak zasobu pidvyshchennia fenotypovoi konsolidovanosti zavodskoi linii miaso-yaiechnykh kurei [The effectiveness of selection for egg mass variability as a means of increasing phenotypic consolidation of the factory line of meat-egg chickens]. *Visnyk Ahraryoi Nauky* [Bulletin of Agricultural Science], 12(873), 31–43.
<https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202512-04>

11. Kopytets, N. (2018). Suchasnyi stan ta tendentsii rozvytku rynku svynyny v Ukraini [Current state and development trends of the pork market in Ukraine]. *Ekonomika APK*, 11, 44–54. <https://doi.org/10.32317/2221-1055.201811044>

12. Voshchenko, I., & Povod, M. (2025). The dynamics of changes in the productivity of maternal breeds of pigs of English breeding and the heritability of their reproductive traits in the conditions of Ukraine. *Ukrainian J of Vet and Agricultural Sci*, 8(1), 27–37.
<https://doi.org/10.32718/ujvas8-1.05>

13. Buthelezi, N. L., Mtileni, B., Nephawe, K. A., Idowu, P. A., Modiba, M. C., Mpedi, H., & Mpofu, T. J. (2024). The impact of parity, litter size and birth weight variations within a litter on piglet pre-weaning performance. *Czech J of Animal Sci*, 69(7), 255–268.
<https://doi.org/10.17221/36/2024-CJAS>

14. Kramarenko, S. S., Luhovyy, S. I., Lykhach, A. V., Kramarenko, O. S., Lykhach, V. Ya., Kramarenko, S. S., & Kramarenko, A. S. (2018). Riven produktiv peroksydnogo okysnennia lipidiv u krovi porosiat za dii kormovoi dobavky “Sylimevit” [Comparative analysis of reproductive traits and cluster analysis of pigs of different breeds]. *Naukovyy visnyk LNUVMB imeni S. Z. Gzhytskoho* [Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series «Agricultural Sciences»], 20(84), 21–26.
<https://doi.org/10.32718/nvlvet-a9523>

15. Ibatullin, I. I., Zhukorskyi, O. M., & Bashchenko, M. I. (2017). Metodolohiia ta orhanizatsiia naukovykh doslidzhen u tvarynnystvi [Methodology and organisation of scientific research in animal husbandry]. Kyiv: Ahrama nauka [in Ukrainian].
16. Polupan, Yu. P. (2005). Metody vyznachennnia stupenia fenotypnoi konsolidatsii selektsiinykh hrup tvaryn [Methods for determining the degree of phenotypic consolidation in animal breeding groups. *Metodyky naukovykh doslidzhen zi selektsii, henetyky i biotekhnolohii u tvarynnystvi* [Research methodologies in breeding, genetics and biotechnology in animal husbandry. Kyiv: Ahrama nauka, 52–61 [in Ukrainian].
17. Kovalenko, V. P., Khalak, V. I., Nezhlukchenko, T. I., & Papakina, N. S. (2010). Biometrychnyi analiz minlyvosti oznak silskohospodarskykh tvaryn i ptytsi [Biometric analysis of the variability of traits of agricultural animals and poultry]. Kherson: Oldi+ [in Ukrainian].
18. Petrovska, I. R., Salyha, Yu. T., & Vudmaska I. V. (2022). Statystychni metody v biolohichnykh doslidzhenniakh [Statistical methods in biological research: educational and methodological manual]. Kyiv: Agrarian Science [in Ukrainian].

PHENOTYPICAL CONSOLIDATION OF TWO-BREED SOWS FOR THE COMBINATION WITH DUROC BOARS

O. M. Tsereniuk,¹ V. O. Skrypnyk,¹

¹Institute of Pig Breeding and Agroindustrial Production NAAS

1 Shvedska Mohyla St., Poltava, Ukraine, 36013

<https://ror.org/00r693281>

O. V. Akimov,² O. V. Kolchuk²

²National Scientific Center «Institute of Experimental and Clinical Veterinary Medicine»

83 Hryhorii Skovorody str., Kharkiv, Ukraine, 61023

<https://ror.org/04prq1595>

Objective. To study the phenotypic consolidation and variability of reproductive ability indexes of two-breed sows for the combination with Duroc boars. **Methods.** The research was conducted on the basis of the pig farm of the private enterprise "Skrypnyk V.O." in the Lozov district of the Kharkiv region according to the general principles of conducting research. Four groups of two-breed sows were formed from the combination of the breeds Welsh (W) x Poltava Meat (PM) (group I), PM x W (group II), W x Large White (LW) (group III), PM x LW (group IV) with 15 heads each. The sows of these four groups were combined with Duroc boars. Taking into account the percentage of fertile sows available on the farm, a larger number of sows were selected for research, with the subsequent formation of groups from the first 15 heads with confirmed fertility on the 28th day after insemination using an ultrasonic device for diagnosing sow fertility. All sows were artificially inseminated in one period, had a standardized dose of appropriate compound feeds according to physiological periods. All compound feeds were fed in dry form with free access to water. Sows were housed individually during different physiological periods with observance of appropriate temperature regimes, etc. The main indexes of the reproductive ability of sows were evaluated (number of piglets at birth, total, live, litter weight at weaning and average weight of one piglet). Based on the obtained absolute indexes, phenotypic consolidation coefficients (K1 and K2) were calculated for each individual group according to the method of Yu. P. Polupan. Microsoft Excel was used for statistical analysis of data. Biometric processing of the obtained data was carried out according to generally accepted methods. **Results.** The results of our studies determined the heterogeneity of indexes that reflect the phenotypic consolidation of indexes of reproductive ability of sows of different combinations. Such indexes as the number of piglets at birth, including live ones, and the litter weight at weaning had negative values of the coefficients of phenotypic consolidation for all combinations. At the same time, the least consolidated group of animals was the III group in terms of the number of piglets at birth, including live ones, and the II group in terms of the litter weight at weaning. The average mass of one piglet at weaning, on the contrary, was marked by opposite values of the phenotypic consolidation coefficients. Thus, sows of different combinations had positive values of the K1 coefficient, which ranged from +1.888 to +2.304 units, and the K2 coefficient ranged from -1.069 to -0.568 units, i.e. had negative values. According to the index of the average weight of one piglet at weaning, the best consolidation can be noted for group III, and group II, on the contrary, was the least consolidated. In order to assess the variability of each of the estimated indexes of different variants of breed combinations, coefficients of variation were calculated. The highest value of the coefficient of variation was for group III according to the index of the number of total piglets at birth, it should also be noted that for this index and the number of live piglets at birth, sows had the highest values of the coefficients of variation but were within the average variability, i.e. $Cv=10-20\%$. And according to the indexes of the litter weight at weaning and the average mass of one piglet at weaning, the values of the coefficients of variation were less than 10 %, that is, they

had low variability. In addition, according to the index of the average mass of one piglet at weaning, the sows had the lowest values of the coefficients of variation, from 3.57 – group III to 5.70 – group II, respectively, they were the most consolidated, which is confirmed by the obtained data of calculations of the coefficients of phenotypic consolidation. **Conclusions.** As a result of the study, it was found that the number of piglets at birth, including live births, and the litter weight at weaning had negative values of the phenotypic consolidation coefficients for all combinations. The average mass of one piglet at weaning was characterized by opposite values of the phenotypic consolidation coefficients, so, sows of different combinations had positive values of the K1 coefficient, and the K2 coefficient had negative values. The calculation of the coefficient of variation also confirmed the high consolidation of the average mass of one piglet at weaning.

Keywords: pigs, reproductive ability, combination of breeds, Duroc, phenotypic consolidation, variability

For citation (APA Style):

Tsereniuk, O. M., Skrypnyk, V. O., Akimov, O. V., & Kolchuk, O. V. (2026). Fenotypova konsolidatsiia dvoporodnykh svynomatok za poiednannia z knuramy porody diurok [Phenotypical consolidation of two-breed sows for the combination with durok boars]. *Svynarstvo i Ahropromyslove Vyrobnystvo* [Pig Breeding and Agroindustrial Production]. Poltava, 7(85), 74–81 [in Ukrainian]. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7\(85\)6](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7(85)6)

Використання штучного інтелекту (ШІ):

Автори рукопису засвідчують, що у процесі проведення дослідження та підготовки цього рукопису для виконання будь-яких завдань не використовували жодних інструментів або сервісів генеративного ШІ, перелічених у Таксономії делегування завдань генеративному ШІ (GAIDeT, 2025). Усі етапи роботи виконані виключно авторами.

Відомості про авторів:

Церенюк Олександр Миколайович, доктор сільськогосподарських наук, професор, директор, Інститут свинарства і АПВ НААН

Скрипник Віталій Олександрович, аспірант, Інститут свинарства та агропромислового виробництва НААН

Акімов Олександр Валентинович, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, **провідний науковий співробітник** лабораторії вивчення хвороб свиней, ННЦ «Інститут експериментальної і клінічної ветеринарної медицини»

Кольчик Олена Володимирівна, кандидатка ветеринарних наук, старша наукова співробітниця, завідувачка лабораторії вивчення хвороб свиней, ННЦ «Інститут експериментальної і клінічної ветеринарної медицини»

УДК 636.4.082.13:591.512.12:636.084.1

ОЦІНКА АДАПТИВНОЇ ЗДАТНОСТІ СВИНЕЙ РІЗНИХ ПОРІД ЗА ПОКАЗНИКАМИ КОРМОВОЇ ПОВЕДІНКИ

Д. А. Ярошук, А. В. Лихач, В. Я. Лихач

Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Горіхуватський шлях, 19, м. Київ, 03041, Україна
<https://ror.org/0441cbj57>

Ярошук Д. А.
d.yaroshchuk@nubip.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-2627-9500>
Лихач А. В. ✉
avlykhach@nubip.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-0472-6162>
Лихач В. Я.
vylykhach80@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9150-6730>

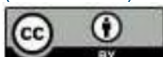
Рукопис надійшов/
Manuscript was received
30.03.2026
Після рецензування/
Received after review
15.04.2026
Прийнято до друку/
Accepted for printing
22.06.2026
Доступно онлайн/
Available online
30.06.2026

Декларування конфлікту інтересів:
Не потрібно

Етичне схвалення:
Не застосовується



Attribution License 4.0 International
(CC BY 4.0)



Актуальність роботи зумовлена необхідністю поєднання продуктивних і етологічних підходів до оцінки тварин у сучасному свинарстві, де ефективність виробництва пов'язується зі здатністю свиней адаптуватися до технологічних умов середовища. **Метою** дослідження є оцінка адаптивної здатності свиней великої білої породи, ландрас і дюрк за показниками кормової поведінки. **Методи.** Експериментальні дослідження проведено у 2023–2024 рр. в умовах СВК агрофірми «Миг-Сервіс-Агро» Миколаївської області на відгодівельному молодняку свиней різних порід загальною чисельністю 30 голів. Тварин утримували за однакових технологічних умов, сухого типу годівлі *ad libitum*, із використанням бункерних самогодівниць та автоматичних напувалок. Реєстрацію поведінкових актів здійснювали методом безперервного цілодобового відеоспостереження з подальшим хронометражем у контрольні періоди відгодівлі на 77-му, 92-гу, 102-гу, 127-му, 152-гу і 165-ту добу. Статистичну обробку результатів проводили методом двофакторного дисперсійного аналізу. **Результати.** Встановлено, що кількість прийомів корму за добу є відносно стабільним показником кормової поведінки й не зазнає статистично значущих змін під впливом породної належності, доби відгодівлі та взаємодії цих факторів. Це свідчить про високу залежність даного показника від уніфікованих умов годівлі та утримання. Водночас виявлено виражену динаміку кількості підходів до годівниці, яка достовірно залежала від породи, доби відгодівлі та взаємодії цих факторів. Найвищу інтенсивність кормової поведінки за кількістю підходів до годівниці встановлено на початковому етапі відгодівлі, особливо у свиней великої білої породи, тоді як у подальші вікові періоди відзначено зниження частоти підходів із подальшою функціональною перебудовою на завершальному етапі росту. Свині породи ландрас характеризувалися більш стабільним типом кормової поведінки, а тварини породи дюрк – більш вираженою тенденцією до енергоощадної стратегії споживання корму. **Висновки.** Отримані результати підтверджують, що кількість підходів до годівниці є більш чутливим поведінковим індикатором адаптації свиней до технологічних умов утримання, ніж кількість прийомів корму. Практичне значення роботи полягає у можливості використання показників кормової поведінки для оптимізації фронту годівлі, щільності посадки, формування технологічних груп та підвищення ефективності відгодівлі свиней різних порід у промислових умовах. Зроблено висновок, що при оцінці адаптивної здатності свиней доцільно враховувати етологічні показники, які відображають реакцію тварин на умови середовища та дають змогу більш обґрунтовано управляти технологічним процесом у свинарстві.

Ключові слова: свині, кормова поведінка, адаптивна здатність, порода, відгодівля, етологічні показники, підходи до годівниці, прийоми корму, промислове свинарство.

Для цитування (за ДСТУ 8302:2025):

Ярошук Д. А., Лихач А. В., Лихач В. Я. Оцінка адаптивної здатності свиней різних порід за показниками кормової поведінки. *Свинарство і агропромислове виробництво* : міжвідом. темат. наук. зб. / Ін-т свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2026. Вип. 7(85). С. 82–97. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7\(85\)7](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7(85)7)

Вступ. У сучасних умовах розвитку інтенсивного свинарства питання підвищення ефективності виробництва все тісніше пов'язується не лише з генетичним потенціалом тварин, а й з їхньою здатністю адаптуватися до технологічних умов утримання. В останні роки у світовій науковій спільноті сформувався чіткий тренд до інтеграції поведінкових показників у систему оцінки продуктивності та благополуччя свиней, що відповідає концепції «розумного» тваринництва та європейським вимогам щодо гуманного поводження з тваринами [1, 2].

Кормова поведінка свиней розглядається як один із ключових функціональних індикаторів, що відображає складні взаємозв'язки між фізіологічним станом організму, умовами середовища та соціальною структурою групи. За даними досліджень [3], структура кормової поведінки включає такі показники як кількість прийомів корму, частота підходів до годівниці, тривалість поїдання та швидкість споживання корму, котрі можуть використовуватися для оцінки рівня благополуччя, здоров'я та продуктивності тварин.

Зокрема, дослідження *M. Piles* зі співавторами [4] показали, що характеристики кормової поведінки тісно пов'язані з соціальною ієрархією у групах свиней та їх продуктивністю: домінантні тварини мають пріоритет доступу до корму, тоді як підлеглі змушені адаптувати свою поведінку до менш сприятливих умов. Це підтверджує, що поведінкові показники є важливим інструментом оцінки внутрішньогрупової конкуренції та адаптаційних можливостей тварин.

Водночас результати оглядових досліджень [5] свідчать, що кормова поведінка має складну багатофакторну природу та формується під впливом як внутрішніх (вік, стать, генотип), так і зовнішніх чинників (щільність посадки, конструкція годівниць, тип раціону, мікроклімат). При цьому окремі параметри кормової поведінки можуть демонструвати різну чутливість до цих факторів, що визначає їхню інформативність як адаптаційних індикаторів.

Особливе значення має вивчення динаміки кормової поведінки у процесі росту тварин. Як показано у дослідженнях *Bus* зі співавторами [6], у свиней формуються індивідуальні добові (циркадні) патерни споживання корму, які змінюються з віком і можуть суттєво варіювати між особинами. Це свідчить про те, що адаптація до умов утримання відбувається не лише на груповому, але й на індивідуальному рівні.

Важливим аспектом є також зв'язок кормової поведінки з благополуччям тварин. Сучасні дослідження демонструють, що відхилення у показниках споживання корму можуть бути ранніми маркерами стресу, захворювань або несприятливих умов утримання [7]. Зокрема, встановлено, що такі фактори як тепловий стрес, призводять до зниження частоти прийомів корму та тривалості поїдання, що негативно впливає на продуктивність тварин [8].

Разом з тим, дослідження *de Putte* зі співавторами [9] підкреслюють важливість ранніх етапів формування кормової поведінки, оскільки особливості споживання корму у перші дні після відлучення визначають подальшу продуктивність і адаптацію тварин. Це вказує на довготривалий вплив поведінкових характеристик на ефективність виробництва свинини.

Сучасні технології, зокрема автоматизовані годівниці, системи комп'ютерного зору та алгоритми аналізу великих даних, відкривають нові можливості для детального вивчення кормової поведінки та її використання як інструменту моніторингу стану тварин [10]. У рамках концепції «розумного» тваринництва такі підходи дають змогу здійснювати безперервний контроль за поведінкою свиней та оперативно реагувати на відхилення.

Водночас попри значний прогрес у дослідженні кормової поведінки, питання оцінки адаптивної здатності свиней різних порід за поведінковими показниками залишається недостатньо вивченим. Більшість досліджень зосереджена на продуктивних характеристиках, тоді як етологічні аспекти, особливо у контексті порівняння порід, потребують подальшого поглибленого аналізу.

Особливий інтерес становить диференціація показників кормової поведінки за ступенем їхньої варіабельності. Деякі з них, наприклад кількість прийомів корму, можуть характеризуватися відносною стабільністю, тоді як інші, зокрема кількість підходів до годівниці, є більш чутливими до змін середовища та соціальних факторів [11]. Визначення таких показників має важливе значення для розробки ефективних стратегій управління годівлею, оптимізації фронту годівлі та підвищення рівня благополуччя тварин.

У цьому контексті актуальним є дослідження адаптивної здатності свиней різних порід у процесі відгодівлі з використанням показників кормової поведінки як інтегральних індикаторів їхньої взаємодії з технологічним середовищем. Метою даного дослідження є оцінка адаптивної здатності свиней різних порід за показниками кормової поведінки в умовах промислової технології утримання.

Матеріали та методи досліджень. Експериментальні дослідження проводили протягом 2023–2024 рр. в умовах сільськогосподарського виробничого кооперативу агрофірми «Миг-Сервіс-Агро» Миколаївської області.

Досліджували вплив етологічного фактора (сумісного утримання в станку) на патерни кормової поведінки свиней різних порід: велика біла, ландрас і дюрок. Матеріалом для досліджень слугував відгодівельний молодняк свиней різних порід у кількості 30 голів, який відповідно до результатів плеємної оцінки не був включений до ремонтного поголів'я та використовувався у виробничому циклі відгодівлі. Такий підхід забезпечив репрезентативність вибірки та можливість оцінки поведінкових і продуктивних показників у базових умовах промислового виробництва свинини.

Вивчали кормову поведінку свиней за сухого типу годівлі «*ad libitum*» із використанням бункерних годівниць, що забезпечували постійний і вільний доступ тварин до комбікорму протягом доби. Такий тип годівлі мінімізує регламентований вплив технологічних факторів на ритм

споживання корму.

Реєстрацію поведінкових актів здійснювали методом безперервного відеоспостереження з подальшим хронометражем та аналізом відеозаписів. Відеофіксацію проводили відеореєстраторами *Full HD* 1080p (1920×1080) у форматі *AVI*. Спостереження здійснювали цілодобово (з 7:00 до 7:00 наступної доби) протягом трьох діб поспіль у кожній контрольній точці відгодівлі (77-ма, 92-га, 102-га, 127-ма, 152-га та 165-та доба), які були обрані з урахуванням динаміки росту та змін поведінки свиней у процесі інтенсивної відгодівлі до цільової живої маси 100 кг. Такий підхід відповідає рекомендаціям провідних дослідників щодо серійного моніторингу продуктивних і поведінкових показників у різні фази росту тварин [12, 13], а поетапний контроль у ключових фазах росту дає змогу інтегрувати поведінкові патерни в моделі продуктивності, що є загальноприйнятим підходом у сучасних зоотехнічних дослідженнях [14].

Під час аналізу відеоматеріалів реєстрували наступні показники кормової поведінки:

- кількість прийомів корму за добу – число завершених актів поїдання корму протягом 24 годин. Акт поїдання фіксували у разі, коли тварина підходила до бункерної годівниці, займала положення для годівлі та здійснювала характерні жувальні або ковтальні рухи, утримуючи рило в зоні подачі корму протягом уніфікованого мінімального інтервалу;

- кількість підходів до годівниці за добу – число підходів тварини до бункерної годівниці незалежно від факту споживання корму, включаючи короткочасні або перервані підходи, зумовлені соціальною взаємодією чи конкуренцією у групі. Повторний підхід вважали окремим, якщо тварина переривала контакт із годівницею та відходила від неї, після чого знову поверталася до зони годівлі.

Єдині критерії реєстрації застосовували для всіх порід і вікових періодів, що забезпечувало порівнянність отриманих даних. Для кожної тварини визначали середню добову кількість прийомів корму і підходів до годівниці за результатами спостережень. Узагальнення результатів проводили у розрізі породної належності та контрольних діб відгодівлі [15].

Свиней утримували відповідно до Відомчих норм технологічного проєктування – АПК – 02.05 «Свинарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми)» [16] за температури повітря +17 – +21°C і відносної вологості 60–70 % і вирощували з живої маси 30–33 кг до живої ваги 100 кг.

Відгодівельні тварини споживали 2,8–3,0 кг корму на голову за добу, використовуючи комбікорм комбінованого типу з поживністю 146,7 г/кг сирого протеїну та обмінною енергією 13,411 МДж/кг. Годівля свиней здійснювалась відповідними комбікормами «*grower*» і «*finisher*», що виготовлялися у власному комбікормовому цеху відповідно до стратегій годівлі, розроблених у базовому господарстві. Автоматизована роздача корму здійснювалась за допомогою бункерних самогодівниць, напування проводилося через автоматичні соскові напувалки, вентиляція була припливно-витяжної типу. Свиней розміщували на бетонній щілинній підлозі з площею 0,85 м² на голову. Розподіл за статтю у розрізі порід становив 50 % кастрованих кнурців і 50 % свинок.

Статистичну обробку даних здійснювали методом двофакторного дисперсійного аналізу (*ANOVA*) з оцінкою впливу факторів «порода»,

«доба відгодівлі» та їх взаємодії. Різницю вважали статистично значущою за $P < 0,05$. Всі розрахунки проводили з використанням програми *STATISTICA* (*StatSoft Inc.*) на підставі алгоритмів, що наведені у посібнику [17].

Правила поводження з тваринами в експериментах [18] відповідали європейському законодавству про захист тварин та їх комфорт при утриманні на фермах (Директива Ради ЄС 2008/120 «Про встановлення мінімальних стандартів захисту свиней» від 18.12.2008 р. [19], Директива Європейського Парламенту і Ради ЄС 2010/63 «Про захист тварин, що використовуються для наукових цілей» від 22.09.2010 р. [20] та Наказу Міністерства економіки України «Про затвердження вимог до благополуччя сільськогосподарських тварин під час їх утримання» від 18.02.2021 р.) [21].

Результати дослідження та їх обговорення. Кормова поведінка свиней, зокрема кількість прийомів корму за добу, є важливим показником, що відображає адаптацію тварин до умов утримання, рівень конкуренції у групі та особливості реалізації продуктивного потенціалу. Результати двофакторного дисперсійного аналізу показали, що породна належність не мала статистично значущого впливу на кількість прийомів корму за добу. Аналогічно, вплив доби відгодівлі також виявився недостовірним ($F = 0,98$; $P = 0,427$), що свідчить про відсутність вираженої вікової динаміки частоти кормових актів у досліджуваній період, а, отже, зі збільшенням живої маси змінюється не стільки частота кормових актів, скільки їх структурні характеристики, зокрема тривалість одного акту поїдання та обсяг спожитого корму за один підхід, що узгоджується з результатами інших досліджень [22].

Крім того, взаємодія факторів «порода × доба» була статистично недостовірною ($F = 0,98$; $P = 0,457$), що вказує на подібний характер змін цього показника у свиней різних порід упродовж відгодівлі. Отримані результати свідчать, що кількість прийомів корму за добу у свиней різних порід не зазнає статистично значущих змін під впливом породної належності, віку та їх взаємодії. Така відносна стабільність показника узгоджується з результатами низки досліджень, у яких зазначено, що частота кормових актів є відносно консервативною характеристикою, яка формується переважно під впливом технології годівлі та режиму доступу до корму [23, 24].

Разом з тим, візуалізація (рис. 1) динаміки прийомів корму свинями різних порід на відповідну добу відгодівлі свідчить, що кількість прийомів корму досягає піку на 92 добу для трьох досліджуваних порід свиней і становить для великої білої породи – 8,83 раза, ландрас – 8,52 раза, дюрок – 8,40 раза.

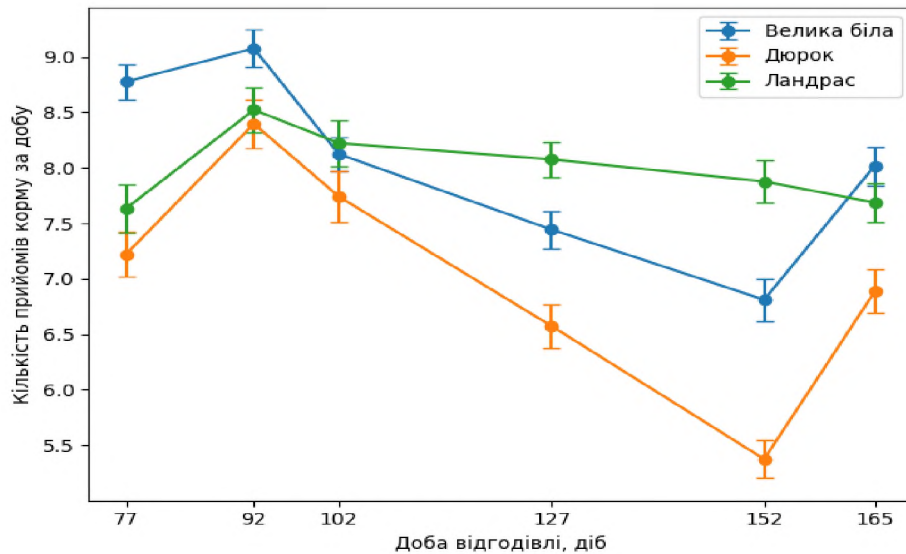


Рис. 1. Динаміка кількості прийомів корму за добу свинями різних порід упродовж відгодівлі

Примітка: за результатами двофакторного дисперсійного аналізу статистично значущого впливу породи, доби відгодівлі та їх взаємодії не встановлено ($P > 0,05$). *Джерело:* авторська розробка.

Виявлена динаміка кількості прийомів корму за добу у свиней різних порід має комплексне біологічне і технологічне пояснення. Подібні закономірності описані у роботах інших авторів, які пов'язують підвищення частоти кормових актів із періодом активної адаптації молодняку, формуванням соціальної ієрархії та високою харчовою мотивацією тварин [25]. Пік частоти підходів до годівниці на 92-гу добу відгодівлі, зафіксований у всіх досліджуваних порід, імовірно пов'язаний з періодом активної адаптації молодняку до умов відгодівлі та стабілізації ієрархічних відносин у групах. У цей час тварини характеризуються підвищеною руховою активністю та високою харчовою мотивацією, що зумовлює часті, але відносно короткі акти поїдання корму.

Після цього моменту інтенсивність процесу прийому корму тваринами знижується, досягаючи свого мінімуму на 152-гу добу відгодівлі (відповідно для порід велика біла – 6,81 раза; ландрас – 7,88 раза; дюрка – 5,37 раза), що є фізіологічно закономірним і відображає перехід тварин до більш економічного типу кормової поведінки.

У міру збільшення живої маси та зниження рухової активності свині починають споживати більші порції корму за один акт, зменшуючи загальну кількість підходів до годівниці. Одночасно зростає частка часу, витраченого на відпочинок, що узгоджується з установленими в попередньому підрозділі віковими змінами етологічних показників. Подальше зниження частоти кормових актів узгоджується з переходом тварин до більш енергетично ефективної стратегії споживання корму, за якої зменшується рухова активність і збільшується обсяг корму за один акт поїдання [26].

А далі на 165-ту добу відгодівлі кількість прийомів корму свинями великої білої породи й породи дюрка стрімко збільшується, відповідно до 8,02 раза і 6,88 раза, що пов'язане з особливостями завершального етапу відгодівлі. У цей період тварини демонструють зростання метаболічних потреб, узалежнених з інтенсивним накопиченням тканин, що супроводжується частішими підходами до годівниці. Для великої білої

породи, яка характеризується більшою руховою активністю та для дюрків, які мають високий апетит і добру конверсію корму, це проявляється у вираженому зростанні частоти прийомів корму.

Натомість у свиней породи ландрас на 165-ту добу відгодівлі спостерігається поступове зменшення кількості прийомів корму порівняно зі 152-ю добою (до 7,69 раза). Це може бути зумовлено стабільнішим типом поведінки та схильністю цієї породи до зниження кормової активності на завершальних етапах відгодівлі за умов відсутності стресових чинників.

Таким чином, встановлені коливання кількості прийомів корму за добу мають адаптивний характер і відображають вікові, породні та функціональні особливості організму свиней, а не статистично значущі міжпородні відмінності, що повністю узгоджується з результатами двофакторного дисперсійного аналізу.

Відсутність статистично значущих відмінностей за кількістю прийомів корму не суперечить наявності функціональних і поведінкових особливостей різних порід, а навпаки підкреслює, що цей показник є менш чутливим до генетичних відмінностей, ніж, наприклад, індекси рухової активності, тривалість відпочинку або показники продуктивності. Таким чином, кількість прийомів корму за добу може розглядатися як стабільний компонент кормової поведінки, що формується під впливом технологічних умов утримання та організації годівлі.

На відміну від кількості прийомів корму, частота підходів до годівниці розглядається як більш чутливий індикатор, що відображає не лише харчову мотивацію, але й рівень соціальної конкуренції та доступність корму, що підтверджується даними інших досліджень [24, 27]. На відміну від кількості прийомів корму, цей показник більш чутливо реагує на зміни у внутрішньогруповій взаємодії та фізіологічному стані тварин, що зумовлює доцільність його детального статистичного аналізу.

Результати двофакторного дисперсійного аналізу показали статистично значущий вплив усіх досліджуваних факторів. Так, породна належність мала високодостовірний вплив на кількість підходів до годівниці ($F = 247,48$; $P < 0,001$), що свідчить про наявність чітко виражених міжпородних відмінностей у характері реалізації кормової поведінки. Доба відгодівлі також достовірно впливала на досліджуваний показник ($F = 117,37$; $P < 0,001$), підтверджуючи наявність вираженої вікової динаміки. Крім того, встановлено статистично значущу взаємодію факторів «порода $\times$ доба відгодівлі» ($F = 25,40$; $P < 0,001$), що вказує на різноспрямовані зміни кількості підходів до годівниці у свиней різних порід упродовж відгодівлі. Отримані результати узгоджуються з даними про генетичну зумовленість поведінкових патернів у свиней, відповідно до яких різні породи характеризуються специфічними стратегіями кормової активності [4].

Як свідчать дані, наведені на рисунку 2, кількість підходів до годівниці у свиней різних порід упродовж відгодівлі зазнавала виражених змін залежно від доби відгодівлі та породної належності.

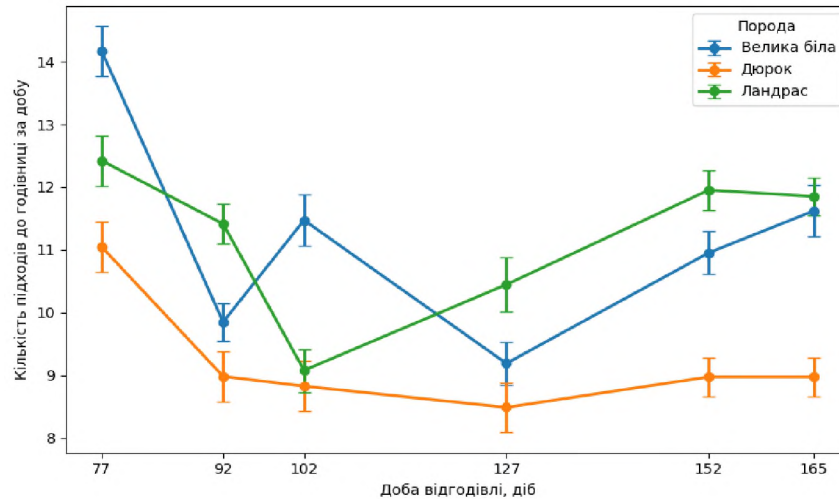


Рис. 2. Динаміка кількості підходів до годівниці для свиней різних порід упродовж відгодівлі

Примітка: встановлено статистично значущий вплив породи, доби відгодівлі та їх взаємодії ($P < 0,001$; двофакторний дисперсійний аналіз). *Джерело:* авторська розробка.

На початковому етапі спостережень (77-ма доба) свині великої білої породи характеризувалися найвищою кількістю підходів до годівниці, що в середньому становило 14,2 раза за добу, тоді як у тварин породи ландрас цей показник дорівнював 12,8 раза, а у дюроків – 10,9 раза за добу. Саме цей період можна вважати піковим щодо інтенсивності кормової поведінки.

Зафіксоване на 92-гу добу відгодівлі зниження кількості підходів до годівниці у свиней усіх досліджуваних порід слід розглядати не в абсолютному вимірі, а у контексті динаміки кормової поведінки на попередніх та наступних етапах відгодівлі. Попри те, що абсолютні значення цього показника залишалися відносно високими (відповідно для порід велика біла – 9,8 раза, дюрок – 9,0 раз, ландрас – 11,6 раза за добу), саме на цьому етапі спостерігалось припинення зростання або початок стабілізації частоти підходів до годівниці.

Для свиней порід велика біла й дюрок зниження кількості підходів до годівниці на 92-гу добу, ймовірно, пов'язане із завершенням активної фази адаптації до умов утримання та годівлі. На ранніх етапах відгодівлі тварини характеризуються підвищеною руховою активністю і частими підходами до годівниці, що обумовлено формуванням соціальної ієрархії та високою харчовою мотивацією. Надалі, у міру стабілізації внутрішньогрупових взаємин, потреба у частих, імпульсивних підходах зменшується, що проявляється у певному зниженні їх кількості.

Водночас у свиней породи ландрас на 92-гу добу відгодівлі скорочення числа підходів до годівниці було менш вираженим і залишалося на відносно високому рівні (11,6 раза за добу). Це може бути зумовлено більшою рухливістю та вищою чутливістю цієї породи до соціальних і технологічних стимулів, що підтримує підвищену частоту підходів, навіть після завершення адаптаційного періоду. Крім того, для ландрасів характерна більша варіабельність кормової поведінки, що узгоджується з їх етологічним профілем.

Таким чином, зниження кількості підходів до годівниці на 92-гу добу відгодівлі відображає перехід свиней від адаптаційно-активного до більш стабільного типу кормової поведінки, а не зниження інтенсивності

споживання корму загалом. Це пояснює, чому навіть за умов зменшення кількості підходів абсолютні значення показника залишалися високими, особливо у свиней породи ландрас.

Слід зазначити, що виявлене зниження кількості підходів до годівниці на 92-гу добу відгодівлі має відносний характер і відображає стабілізацію кормової поведінки тварин після завершення адаптаційного періоду, а не зменшення рівня споживання корму.

В період зі 102-ї до 127-ї доби відгодівлі у свиней усіх досліджуваних порід відбувалися спрямовані зміни кількості підходів до годівниці, які мали як спільні, так і породоспецифічні особливості. Загальною тенденцією для всіх порід у цей період було подальше зниження частоти підходів до годівниці, що відображає перехід тварин до більш стабільного та економного типу кормової поведінки.

У свиней великої білої породи в зазначений інтервал спостерігалось помірне зниження кількості підходів до годівниці. Якщо на 102-гу добу цей показник залишався відносно високим, то на 127-му добу він зменшився, що свідчить про зниження рухової активності та скорочення кількості імпульсивних кормових актів. Така динаміка узгоджується з віковими змінами поведінки, коли збільшення живої маси та стабілізація соціальної структури групи зумовлюють перехід до рідших, але більш тривалих підходів до годівниці.

У свиней породи ландрас збільшується частота підходів до годівниці у період зі 102-ї до 127-ї доби, що свідчить про стабілізацію кормової поведінки тварин даної породи в середній фазі відгодівлі. Вищий рівень рухливості й чутливість до соціальних стимулів підтримували порівняно високу частоту підходів до годівниці, навіть за умов загального вікового зниження активності.

Для свиней породи дюрк у зазначений період характерним було зменшення кількості підходів до годівниці. Це зумовлено флегматичним типом поведінки тварин даної породи та їх схильністю до триваліших, але рідших актів поїдання корму. У міру росту живої маси дюрки швидше переходять до енергетично ефективної стратегії кормової поведінки, що проявляється у зниженні частоти підходів до годівниці вже на середньому етапі відгодівлі.

Отже, період зі 102-ї до 127-ї доби відгодівлі є фазою поведінкової стабілізації, коли кількість підходів до годівниці у свиней великої білої породи й дюрк зменшується внаслідок вікових змін, зниження рухової активності та оптимізації процесу споживання корму. Водночас відмінності між породами свідчать про збереження генетично зумовлених особливостей кормової поведінки, що підтверджує доцільність урахування породного чинника при оцінці етологічних показників у період відгодівлі.

Зафіксоване на 152-гу добу відгодівлі незначне підвищення кількості підходів до годівниці у свиней усіх досліджуваних порід порівняно з попереднім періодом має адаптивний і функціонально обумовлений характер. Дана зміна не суперечить загальній тенденції до зниження рухової активності з віком, а відображає короточасну перебудову кормової поведінки на завершальних етапах інтенсивного росту.

У цей період у свиней відбувається зміна співвідношення між тривалістю та частотою кормових актів. Збільшення живої маси й

зростання метаболічних потреб організму зумовлюють необхідність більш гнучкого режиму споживання корму, що може реалізовуватися через частіші, але менш тривалі підходи до годівниці. Внаслідок цього загальна кількість підходів дещо зростає, навіть за умов збереження або зниження загального часу, витраченого на поїдання корму.

Крім того, 152-га доба відгодівлі може розглядатися як перехідний етап між стабілізованою фазою росту та фінальним періодом відгодівлі, коли тварини реагують на зміну внутрішніх фізіологічних стимулів, зокрема на коливання енергетичного балансу. У таких умовах спостерігається тимчасове підвищення харчової мотивації, що проявляється у збільшенні кількості підходів до годівниці.

Важливо зазначити, що дане підвищення має незначний характер і не виходить за межі довірчих інтервалів, що свідчить про відсутність різких порушень у кормовій поведінці та підтверджує її адаптивну стабільність. Подібна реакція була характерною для всіх досліджуваних порід, що вказує на загальний віковий механізм регуляції кормової активності, незалежний від породної належності.

Таким чином, дещо вищі значення кількості підходів до годівниці на 152-гу добу відгодівлі відображають функціональну перебудову кормової поведінки свиней у відповідь на зміну фізіологічних потреб організму, а не посилення загальної інтенсивності споживання корму.

Зазначимо, що 165-та доба відгодівлі характеризується зміною напрямку динаміки кількості підходів до годівниці та набуттям цієї ознакою вираженого породоспецифічного характеру. Порівняно зі 152-ю добою, у свиней великої білої породи та породи ландрас спостерігається помітне збільшення кількості підходів до годівниці, тоді як у тварин породи дюрк цей показник залишається стабільним. Зростання кількості підходів до годівниці на завершальному етапі відгодівлі пов'язують із перебудовою енергетичного обміну та підвищенням метаболічних потреб організму, що також підтверджено іншими дослідженнями [9].

Зокрема, у свиней великої білої породи кількість підходів до годівниці на 165-ту добу зростає до 11,8 раза за добу, що свідчить про активізацію кормової поведінки на завершальному етапі відгодівлі. Подібна тенденція, хоча й менш виражена, відмічається й у свиней породи ландрас. Така динаміка може бути пов'язана зі зростанням енергетичних і метаболічних потреб організму наприкінці періоду інтенсивного росту, що стимулює частіші підходи до годівниці, навіть за умов зниження загальної рухової активності.

Загалом, зміни кормової поведінки на 165 добу відгодівлі слід розглядати як адаптивну реакцію організму свиней на завершальний етап росту, коли відбувається перебудова регуляції енергетичного балансу. Для окремих порід ця перебудова реалізується через збільшення частоти підходів до годівниці, тоді як для інших – через стабілізацію цього показника. Саме така різноспрямована реакція зумовлює статистично значущу взаємодію факторів «порода × доба відгодівлі», встановлену за результатами двофакторного дисперсійного аналізу ($P < 0,001$).

Таким чином, кількість підходів до годівниці є високочутливим поведінковим індикатором, що відображає як породні, так і вікові особливості свиней на відгодівлі, а також їх взаємодію. Виявлені

закономірності мають важливе практичне значення для оптимізації фронту годівлі, щільності посадки та формування груп у промисловому свинарстві.

Узагальнюючи вищевикладене, дослідження кормової поведінки свиней різних порід на відгодівлі засвідчило, що кількість прийомів корму за добу є відносно стабільним показником, який не зазнає статистично значущих змін під впливом породної належності, віку тварин та їхньої взаємодії. Це свідчить про сильну детермінацію даного параметра умовами годівлі та утримання, а не генетичними особливостями. Натомість кількість підходів до годівниці виявилася високочутливим індикатором, який суттєво варіює залежно від породи, доби відгодівлі та їх взаємодії, що підтверджується значущими результатами дисперсійного аналізу ($P < 0,001$).

Поведінкові зміни, що спостерігалися протягом відгодівлі, мають адаптивний характер і зумовлені як внутрішніми біологічними потребами організму (зміни рухової активності, метаболізму, енергетичного балансу), так і зовнішніми факторами середовища (організація годівлі, соціальна структура груп). Кожна порода демонструвала характерну динаміку кормової поведінки: велика біла порода – з активною участю на завершальному етапі відгодівлі; ландрас – з відносно стабільною частотою підходів; дюрок – із тенденцією до енергоощадної стратегії споживання корму.

Таким чином, для оптимального управління годівлею і благополуччям тварин у промисловому свинарстві доцільно враховувати не лише продуктивні, але й поведінкові показники, зокрема кількість підходів до годівниці, як інформативний показник адаптації свиней до технологічних умов утримання.

Висновки. Встановлено, що кількість прийомів корму за добу у свиней різних порід не зазнає статистично значущих змін під впливом породної належності, доби відгодівлі та їх взаємодії, що свідчить про стабільність даного показника за умов уніфікованої технології утримання. Це підтверджує його низьку чутливість до генетичних і вікових факторів та домінантний вплив організації годівлі. Натомість кількість підходів до годівниці є високочутливим поведінковим індикатором, який достовірно залежить від породи, доби відгодівлі та їх взаємодії ($P < 0,001$). Виявлено, що на початковому етапі відгодівлі свині характеризуються максимальною інтенсивністю кормової поведінки, яка знижується у період поведінкової стабілізації та частково зростає на завершальному етапі росту. Встановлені зміни мають адаптивний характер і відображають перебудову енергетичного обміну і поведінкових реакцій тварин у процесі відгодівлі. Породні особливості проявляються у різній стратегії реалізації кормової поведінки: велика біла порода характеризується підвищеною активністю, ландрас – стабільністю, дюрок – енергоощадною поведінкою. Отже, кількість підходів до годівниці доцільно використовувати як інформативний показник адаптивної здатності свиней для оптимізації технологічних параметрів утримання у промисловому свинарстві.

Перспективи подальших досліджень. Перспективним напрямом подальших досліджень є вивчення взаємозв'язку показників кормової поведінки з продуктивністю свиней, зокрема середньодобовими приростами та конверсією корму. Доцільним є використання технологій *precision livestock farming* для індивідуального моніторингу поведінкових патернів у режимі реального часу. Важливим є також дослідження впливу

технологічних факторів утримання на формування кормової поведінки свиней різних генотипів. Подальші роботи мають бути спрямовані на інтеграцію етологічних показників у системи управління виробництвом для підвищення ефективності та благополуччя тварин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Gebert J., Kuhne F. Welfare, behavior, and housing conditions of pigs, considering the basic attitudes of pig farmers in Germany. *Frontiers*. 2025. Vol. 6. Article 1651310. <https://doi.org/10.3389/fanim.2025.1651310>
2. Živković V., Nasser H.-R. Advancing precision livestock farming in pigs through markerless pose estimation: a comparison between DeepLabCut and SLEAP. *Animal Frontiers*. 2026. Vol. 16. Iss. 2. P. 63–71. <https://doi.org/10.1093/af/vfaf052>
3. Bus J. D., Boumans I. J. M. M., Webb L. E., Bokkers E. A. M. The potential of feeding patterns to assess generic welfare in growing-finishing pigs. *Applied Animal Behaviour Sci.* 2021. Vol. 241. Article 105383. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105383>
4. Piles M., Tusell L., Mora M., Garcia-Baccino C., Cudrey D., Hassenfratz C., Mercat M.-J., David I. Feeding behaviour in group-housed growing-finishing pigs and its relationship with growth and feed efficiency. *Vet Sci.* 2025. Vol. 12(2). Article 168. <https://doi.org/10.3390/vetsci12020168>
5. Fornós M., Sanz-Fernández S., Jiménez-Moreno E., Carrión D., Gasa J., Rodríguez-Estévez V. The feeding behaviour habits of growing-finishing pigs and its effects on growth performance and carcass quality: a review. *Animals*. 2022. Vol. 12(9). Article 1128. <https://doi.org/10.3390/ani12091128>
6. Bus J. D., Boumans I. J. M. M., Engel J., te Beest D. E., Webb L. E., Bokkers E. A. M. Circadian rhythms and diurnal patterns in the feed intake behaviour of growing-finishing pigs. *Science Report.* 2023. Vol. 13. Article 16021. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42612-1>
7. Bus J. D., Boumans I. J. M. M., te Beest D. E., Webb L. E., Bokkers E. A. M. Exploring individual responses to welfare issues in growing-finishing pig feeding behaviour. *Animal*. 2024. Vol. 18. Iss. 6. Article 101192. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101192>
8. Bus J. D., de Mol R. M., Webb L. E., Bokkers E. A. M., Boumans I. J. M. M. Co-occurrence of sudden feeding behaviour deviations and welfare issue onsets in growing-finishing pigs. *Porcine Health Management.* 2025. Vol. 11. Iss. 1. Article 44. <https://doi.org/10.1186/s40813-025-00456-3>
9. de Putte T. V., van Kerschaver C., Hostens M., Degroote J. Investigating the development of piglet feeding behaviour during the immediate postweaning phase using computer vision. *Animal*. 2025. Vol. 19. Iss. 6. Article 101524. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2025.101524>
10. Kim M. Ju., Choi Yo. H., Lee J.-Nam., Sa S. Ji., Cho H.-Ch. A deep learning-based approach for feeding behavior recognition of weanling pigs. *J. of Animal Sc. and Technol.* 2021. Vol. 63. Iss. 6. P. 1453–1463. <https://doi.org/10.5187/jast.2021.e127>
11. Adrien F., Kapun A., Eckert F., Holland E.-M., Staiger M., Götz S., Gallmann E. Monitoring trough visits of growing-finishing pigs with UHF-RFID. *Computers and Electronics in Agriculture.* 2018. Vol. 144. P. 144–153. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.11.036>
12. Edwards S. A. Feeding systems for k-line and organic pig production. *Pig News and Information.* 2002. Vol. 23. № 2. P. 31–36.
13. Whittemore C. T., Kyriazakis I. Whittemore's Science and Practice of Pig Production. Book. 3rd ed. Oxford : Blackwell Publishing, 2006. 685 p. URL : <https://content.e-bookshelf.de/media/reading/L-597778-ea3b600c71.pdf> (дата звернення: 05.12.2025).
14. Ладика В. І., Хмельничий Л. М., Повод, М. Г. Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва: підручник для аспірантів. Одеса : Олді+, 2023. 244 с.
15. Howie J. A., Tolkamp B. J., Avendaño S., Kyriazakis I. A novel flexible method to split feeding behaviour into bouts. *Applied Animal Behaviour Sci.* 2009. Vol. 116. Iss. 2–4. P. 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.09.005>
16. Відомчі норми технологічного проектування Свинарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми), ВНТП-АПК – 02.05. Київ: Мінагрополітики України, 2005. 98 с. URL: https://lugdpss.gov.ua/images/bezpechnist_veterynariya/Svynarski-pidpryyemstva-

VNTP-APK-02.05.pdf (дата звернення: 05.12.2025).

17. Крамаренко С. С., Луговий С. І., Лихач А. В., Крамаренко О. С. Аналіз біометричних даних у розведенні та селекції тварин : навч. посіб. Миколаїв : МНАУ, 2019. 211 с.
18. Біоетика, біобезпека і благополуччя у тваринництві : навч. посіб. / Р. А. Санжара та ін. Київ-Дніпро: НУБіП України-ДДАЕУ, 2025. 203 с.
19. Council Directive 2008/120/EC of 18 December 2008 laying down minimum standards for the protection of pigs (Codified version). *Official J. of the European Union*. L 47. 18.2.2009. P. 5–13.
20. Council Directive 2010/63/EC of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes. *Official J. of the European Union*. L 276/33. 22.09.2010. P. 15–47.
21. Про затвердження вимог до благополуччя сільськогосподарських тварин під час їх утримання: наказ Мін-ва розвитку економіки, торгівлі та сіл. госп-ва України № 224 від 08.02.2021, зареєстрований від 18.02.2021 Мін-вом Юстиції України № 206/35828.
22. Romero H. H. S. The impact of insulin sensitivity and feeding behavior on nutrient utilization and body composition of finishing pigs. Thesis. Canada, 2022. 155 p. URL: <https://corpus.ulaval.ca/server/api/core/bitstreams/fe2a977a-934b-4aa7-b1f6-dbcf98bf196d/content> (дата звернення: 05.12.2025).
23. Andretta I., Pomar C., Kipper M., Hauschild L., Rivest J. Feeding behavior of growing–finishing pigs reared under precision feeding strategies. *J. of Animal Sci.* 2016. Vol. 94. Iss. 7. P. 3042–3050. <https://doi.org/10.2527/jas.2016-0392>
24. Maselyne J., Saeys W., Van Nuffel A. Review: Quantifying animal feeding behaviour with a focus on pigs. *Physiology and Behavior*. 2015. Vol. 138. P. 37–51. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2014.09.012>
35. Blavi L., Solà-Oriol D., Llonch P., López-Vergé S., Martín-Orúe S. M., Pérez J. F. Management and feeding strategies in early life to increase piglet performance and welfare around weaning: A Review. *Animals*. 2021. Vol. 11. Iss. 2. Article 302. <https://doi.org/10.3390/ani11020302>
26. Jia M. L., Zhang H., Xu J., Su Y., Zhu W.Y. Feeding frequency affects the growth performance, nutrient digestion and absorption of growing pigs with the same daily feed intake. *Livestock. Science*. 2021. Vol. 250. Article 9. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104558>
27. Maselyne J., Saeys W., de Ketelaere B., Mertens K., Vangeyte J., Hessel E., Millet S., van Nuffel A. Validation of a high frequency radio frequency identification (HF RFID) system for registering feeding patterns of growing-finishing pigs. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2014. Vol. 102. P. 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.12.015>

REFERENCES

1. Gebert, J., & Kuhne, F. (2025). Welfare, behavior, and housing conditions of pigs, considering the basic attitudes of pig farmers in Germany. *Frontiers*, 6, 1651310. <https://doi.org/10.3389/fanim.2025.1651310>
2. Živković, V., & Nasser, H.-R. (2026). Advancing precision livestock farming in pigs through markerless pose estimation: a comparison between DeepLabCut and SLEAP. *Animal Frontiers*, 16(2), 63–71. <https://doi.org/10.1093/af/vfaf052>
3. Bus, J. D., Boumans, I. J. M. M., Webb, L. E., & Bokkers, E. A. M. (2021). The potential of feeding patterns to assess generic welfare in growing-finishing pigs. *Applied Animal Behaviour Sci.*, 241, 105383. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105383>
4. Piles, M., Tusell, L., Mora, M., García-Baccino, C., Cudrey, D., Hassenfratz, C., Mercat, M.-J., & David, I. (2025). Feeding behaviour in group-housed growing-finishing pigs and its relationship with growth and feed efficiency. *Vet Sci.*, 12(2), 168. <https://doi.org/10.3390/vetsci12020168>
5. Fornós, M., Sanz-Fernández, S., Jiménez-Moreno, E., Carrión, D., Gasa, J., & Rodríguez-Estévez, V. (2022). The feeding behaviour habits of growing-finishing pigs and its effects on growth performance and carcass quality: a review. *Animals*, 12(9), 1128. <https://doi.org/10.3390/ani12091128>
6. Bus, J. D., Boumans, I. J. M. M., Engel, J., te Beest, D. E., Webb, L. E., & Bokkers, E. A. M. (2023). Circadian rhythms and diurnal patterns in the feed intake behaviour of

growing-finishing pigs. *Sci Report*, 13, 16021. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42612-1>

7. Bus, J. D., Boumans, I. J. M. M., te Beest, D. E., Webb, L. E., & Bokkers, E. A. M. (2024). Exploring individual responses to welfare issues in growing-finishing pig feeding behaviour. *Animal*, 18(6), 101192. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101192>

8. Bus, J. D., de Mol, R. M., Webb, L. E., Bokkers, E. A. M., & Boumans, I. J. M. M. (2025). Co-occurrence of sudden feeding behaviour deviations and welfare issue onsets in growing-finishing pigs. *Porcine Health Management*, 11(1), 44. <https://doi.org/10.1186/s40813-025-00456-3>

9. de Putte, T. V., van Kerschaver, C., Hostens, M., & Degroote, J. (2025). Investigating the development of piglet feeding behaviour during the immediate postweaning phase using computer vision. *Animal*, 19(6), 101524. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2025.101524>

10. Kim, M. Ju., Choi, Yo. H., Lee, J.-Nam., Sa, S. Ji., & Cho, H.-Ch. (2021). A deep learning-based approach for feeding behavior recognition of weanling pigs. *J of Animal Sci and Technol.*, 63(6), 1453–1463. <https://doi.org/10.5187/jast.2021.e127>

11. Adrion, F., Kapun, A., Eckert, F., Holland, E.-M., Staiger, M., Götz, S., & Gallmann, E. (2018). Monitoring trough visits of growing-finishing pigs with UHF-RFID. *Computers and Electronics in Agriculture*, 144, 144–153. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.11.036>

12. Edwards, S. A. (2002). Feeding systems for k-line and organic pig production. *Pig News and Information*, 23(2), 31–36.

13. Whittemore, C. T., & Kyriazakis, I. (2006). Whittemore's Science and Practice of Pig Production. Book. 3rd ed. Oxford : Blackwell Publishing. URL: <https://content.e-bookshelf.de/media/reading/L-597778-ea3b600c71.pdf> (дата звернення: 05.06.2025).

14. Ladyka, V. I., Khmelnychy, L. M., & Povod, M. H. (2023). Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktii tvarynnystva: pidruchnyk dlia aspirantiv [Technology of Production and Processing of Livestock Products: A Textbook for Postgraduate Students]. Odesa : Oldi+ [in Ukrainian].

15. Howie, J. A., Tolkamp, B. J., Avendaño, S., & Kyriazakis I. (2009). A novel flexible method to split feeding behaviour into bouts. *Applied Animal Behaviour Sci.*, 116(2–4), 101–109. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.09.005>

16. Vidomchi normy tekhnolohichnoho proektuvannia Svynarski pidprijemstva (kompleksy, fermi, mali fermi), VNTP-APK – 02.05 [Sectoral standards for technical design: Pig farms (complexes, farms, smallholdings), VNTP-APK – 02.05] (2005). Kyiv: Minahropolityky Ukrainy, URL: https://lugdpss.gov.ua/images/bezpechnist_veterynariya/Svynarski-pidprijemstva-VNTP-APK-02.05.pdf (date of access: 05.12.2025).

17. Kramarenko S. S., Luhovyi S. I., Lykhach A. V., Kramarenko O. S. (2019). Analiz biometrychnykh danykh u rozvedenni ta selektsii tvaryn [Analysis of biometric data in animal breeding and selection]. Mykolaiv: MNAU [in Ukrainian].

18. Sanzhara R. A. Et al. (2025). Bioetyka, biobezpeka i blahopoluchchia u tvarynnystvi [Bioethics, biosafety and animal welfare]. Kyiv-Dnipro: NUBiP– DDAEU [in Ukrainian].

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

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

21. Pro zatverdzhennia vymoh do blahopoluchchia silskohospodarskykh tvaryn pid chas yikh utrymannia [On the approval of welfare requirements for farm animals during their rearing]: Order of the Ministry of Economic Development, Trade and Rural Development of Ukraine No. 224 of 8 February 2021, registered by the Ministry of Justice of Ukraine on 18 February 2021 under No. 206/35828.

22. Romero, H. H. S. (2022). The impact of insulin sensitivity and feeding behavior on nutrient utilization and body composition of finishing pigs: Thesis. Canada. URL: <https://corpus.ulaval.ca/server/api/core/bitstreams/fe2a977a-934b-4aa7-b1f6-dbcf98bf196d/content> (дата звернення: 05.06.2026).

23. Andretta, I., Pomar, C., Kipper, M., Hauschild, L., & Rivest, J. (2016). Feeding behavior of growing–finishing pigs reared under precision feeding strategies. *J. of Animal Sci.*,

94(7), 3042–3050. <https://doi.org/10.2527/jas.2016-0392>

24. Maselyne, J., Saeys, W., & Van Nuffel, A. (2015). Review: Quantifying animal feeding behaviour with a focus on pigs. *Physiology and Behavior*, 138, 37–51. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2014.09.012>

35. Blavi, L., Solà-Oriol, D., Lluch, P., López-Vergé, S., Martín-Orúe, S. M., & Pérez, J. F. (2021). Management and feeding strategies in early life to increase piglet performance and welfare around weaning: A Review. *Animals*, 11(2), 302. <https://doi.org/10.3390/ani11020302>

26. Jia, M. L., Zhang, H., Xu, J., Su, Y., & Zhu, W.Y. (2021). Feeding frequency affects the growth performance, nutrient digestion and absorption of growing pigs with the same daily feed intake. *Livestock. Sci*, 250, 9. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104558>

27. Maselyne, J., Saeys, W., de Ketelaere, B., Mertens, K., Vangeyte, J., Hessel, E., Millet, S., van Nuffel, A. (2014). Validation of a high frequency radio frequency identification (HF RFID) system for registering feeding patterns of growing-finishing pigs. *Computers and Electronics in Agriculture*, 102, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.12.015>

ASSESSMENT OF ADAPTIVE CAPACITY IN DIFFERENT PIG BREEDS BASED ON FEEDING BEHAVIOR PARAMETERS

D. Yaroshchuk, A. Lykhach, V. Lykhach

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,

19 Horikhuvatskyi shliakh, Kyiv, 03041, Ukraine

<https://ror.org/0441cbj57>

The relevance of the study is determined by the need to combine productive and ethological approaches to animal evaluation in modern pig production, where production efficiency is increasingly associated not only with the genetic potential of animals but also with their ability to adapt to technological environmental conditions. **The aim** of the study was to assess the adaptive capacity of Large White, Landrace, and Duroc pigs using feeding behavior parameters, in particular the number of daily feeding events and the number of daily visits to the feeder. **Methods.** Experimental studies were carried out in 2023–2024 at the agricultural production cooperative “Mig-Servis-Agro” in the Mykolaiv region on 30 growing-finishing pigs of different breeds. The animals were kept under identical technological conditions, with dry ad libitum feeding, using hopper self-feeders and automatic nipple drinkers. Behavioral acts were recorded by continuous 24-hour video monitoring followed by time-budget analysis during the control periods of fattening on days 77, 92, 102, 127, 152, and 165. Statistical processing of the results was performed using two-way analysis of variance with evaluation of the effects of breed, fattening day, and their interaction. **Results.** It was established that the number of daily feeding events was a relatively stable indicator of feeding behavior and did not undergo statistically significant changes under the influence of breed, fattening day, or the interaction of these factors. This indicates a strong dependence of this trait on standardized feeding and housing conditions. At the same time, a pronounced dynamic was found for the number of visits to the feeder, which significantly depended on breed, fattening day, and the interaction of these factors. The highest intensity of feeding behavior in terms of visits to the feeder was observed at the initial stage of fattening, especially in Large White pigs, whereas in subsequent age periods a decrease in visit frequency was recorded, followed by functional restructuring at the final stage of growth. Landrace pigs were characterized by a more stable type of feeding behavior, whereas Duroc pigs showed a more pronounced tendency toward an energy-saving feeding strategy. **Conclusions.** The obtained results confirm that the number of visits to the feeder is a more sensitive behavioral indicator of pigs' adaptation to technological housing conditions than the number of feeding events. The practical significance of the study lies in the possibility of using feeding behavior indicators to optimize feeder space, stocking density, and group formation and to improve the efficiency of fattening pigs of different breeds under industrial conditions. It was concluded that when assessing the adaptive capacity of pigs, it is advisable to take into account not only productive traits but also ethological indicators that reflect the animals' response to environmental conditions and allow more substantiated management of technological processes in pig production.

Keywords: pigs, feeding behavior, adaptive capacity, breed, fattening, ethological indicators, feeder visits, feeding events, industrial pig production

For citation (APA Style):

Yaroshchuk, D., Lykhach, A., & Lykhach, V. (2026). Assessment of adaptive capacity in different pig breeds based on feeding behavior parameters. *Svynarstvo i Ahropromyslove Vyrobnystvo* [Pig Breeding and Agroindustrial Production]. Poltava, 7(85), 82–97 [in Ukrainian]. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7\(85\)7](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7(85)7)

Використання штучного інтелекту (ШІ):

Автори заявляють про використання генеративного ШІ у процесі дослідження та підготовки рукопису. Відповідно до таксономії GAIDeT (2025), наведені нижче завдання були делеговані інструментам генеративного ШІ за повного людського нагляду: ошук і спистематизація літератури; використаний інструмент генеративного ШІ: Gemini.

Відомості про авторів:

Ярошук Дмитро Анатолійович, здобувач вищої освіти наукового ступеня Доктор філософії, кафедра прикладної біології, розведення та генетики тварин факультет тваринництва та водних біоресурсів, Національний університет біоресурсів і природокористування України

Лихач Анна Василівна, докторка сільськогосподарських наук, професорка, професорка кафедри прикладної біології, розведення та генетики тварин факультет тваринництва та водних біоресурсів, Національний університет біоресурсів і природокористування України

Лихач Вадим Ярославович, доктор сільськогосподарських наук, професор завідувач кафедри технологій у тваринництві факультет тваринництва та водних біоресурсів, Національний університет біоресурсів і природокористування України

**ВЕТЕРИНАРНА МЕДИЦИНА, БІОБЕЗПЕКА ТА
БЛАГОПОЛУЧЧЯ ТВАРИН
VETERINARY MEDICINE, BIOSAFETY AND ANIMAL WELFARE**

УДК 636.4.09:616-007/.43:591

**АНАЛІЗ СПАДКОВОЇ СХИЛЬНОСТІ ДО ГРИЖ У СВИНЕЙ ЗА
РЕЗУЛЬТАТАМИ ОЦІНКИ ПОТОМСТВА КНУРІВ-ПЛІДНИКІВ**

**М. П. Чорнозуб, О. В. Ємельяненко, О. І. Соболев,
О. А. Порошинська, В. І. Козій**

*Білоцерківський національний аграрний університет
пл. Соборна, 8/1, м. Біла Церква, Київська обл., Україна, 09117
<https://ror.org/041bgnt86>*

Чорнозуб М. П. ✉
chornozub72@btsau.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0003-0282-8824>
Ємельяненко О. В.
emel_79@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0003-4907-6324>
Соболев О. І.
sobolev_a_i@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0003-3239-0560>
Порошинська О. А.
oksana.poroshynska@btsau.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-9882-1963>
Козій В. І. ✉
vasyl.koziy@btsau.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0003-1364-9047>

Рукопис надійшов/
Manuscript was received
08.04.2026
Після рецензування/
Received after review
01.05.2026
Прийнято до друку/
Accepted for printing
22.06.2026
Доступно онлайн/
Available online
30.06.2026

Декларування конфлікту інтересів:
Не потрібно

Етичне схвалення:
*Схвалено Етичним комітетом БНАУ
(протокол № 1 від 31.05.2023 р., висновок № 2)*



Attribution License 4.0 International (CC BY 4.0)



Метою дослідження був аналіз спадкової схильності до гриж у свиней на основі оцінки потомства кнурів-плідників у виробничих умовах. **Методи.** Дослідження проводилися протягом 2022–2025 років у виробничих умовах у господарствах Київської області. Проаналізовано 7500 голів молодняку, отриманого від п'яти кнурів різного генетичного походження. Діагностику гриж здійснювали клінічним методом. Оцінювали загальну частоту грижосійства та частку пахвинно-мошонкових гриж. Статистичний аналіз включав використання χ^2 -критерію Пірсона, а також розрахунок відносного ризику (RR) та відношення шансів (OR). **Результати.** Встановлено, що загальна частота грижосійства становила 22,4 %, при цьому показники значно варіювали залежно від кнура-плідника – від 3,3 до 41,2 %. Найвищу частоту гриж виявлено у потомства гібридного кнура термінальної лінії Оптимус, тоді як найнижчі показники характерні для чистопородних кнурів ландрас та йоркшир. Пахвинно-мошонкові грижі становили понад 80 % усіх випадків. Виявлено достовірну залежність частоти гриж від походження потомства (χ^2 , $p < 0,001$). Відносний ризик розвитку патології у потомства окремих плідників досягав 10,6, а відношення шансів – 17,2. **Висновки.** Отримані результати свідчать про наявність вираженого спадкового складника у формуванні гриж у свиней та підтверджують доцільність використання оцінки потомства для виявлення небажаних генетичних ознак. Результати можуть бути використані для удосконалення селекційної роботи з метою зниження поширеності даної патології. **Ключові слова:** свині, грижі, грижосійство, спадковість, кнури-плідники, селекція, пахвинно-мошонкові грижі.

Для цитування (за ДСТУ 8302:2025):

Чорнозуб М. П., Ємельяненко О. В., Соболев О. І., Порошинська О. А., Козій В. І. Аналіз спадкової схильності до гриж у свиней за результатами оцінки потомства кнурів-плідників. *Свинарство і агропромислове виробництво* : міжвідом. темат. наук. зб. / Ін-т свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2026. Вип. 7(85). С. 98–106. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7\(85\)8](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7(85)8)

Вступ. Грижі у свиней, зокрема пахвинні та пахвинно-мошонкові, належать до поширених хірургічних патологій у промисловому свинарстві, що мають значний вплив на економічну ефективність виробництва. Вони супроводжуються зниженням приростів живої маси, підвищенням вибракування молодняку, витратами на лікування та ризиком загибелі тварин. За даними різних досліджень, частота виявлення гриж у свиней може коливатися в широких межах – від 0,5 % до понад 20 %, залежно від породи, умов утримання та генетичних особливостей популяції [1, 2].

Сучасні уявлення про етіологію гриж у свиней є поліфакторними та включають як чинники зовнішнього середовища, так і генетичні компоненти. До не генетичних факторів відносять умови утримання, рівень годівлі, травматизацію, інфекційні процеси та особливості внутрішньоутробного розвитку [3]. Водночас численні дослідження вказують на суттєву роль спадковості у формуванні схильності до розвитку гриж, зокрема через порушення розвитку сполучної тканини, дефекти закриття пахвинного каналу та зміни у регуляції ембріонального розвитку [4, 5].

Генетична зумовленість грижоносійства у свиней підтверджується результатами селекційних досліджень, у яких показано, що коефіцієнт успадковування цієї ознаки може варіювати в межах 0,1–0,4. Це свідчить про можливість ефективного добору плідників за даним показником [4, 6]. Крім того, встановлено асоціації між виникненням гриж і певними генетичними маркерами, що відкриває перспективи використання молекулярно-генетичних підходів у селекції [5].

Особливе значення для практики має оцінка впливу кнурів-плідників на частоту прояву гриж у потомства. Саме такий підхід дає змогу непрямо оцінити генетичну схильність до патології та виявити лінії з підвищеним ризиком її прояву. У виробничих умовах це є ключовим елементом профілактики, оскільки виключення з відтворення плідників із небажаними генетичними ознаками сприяє зниженню поширеності патології в популяції.

Разом із тим, попри наявність значної кількості експериментальних та молекулярно-генетичних досліджень, питання практичної оцінки спадкової схильності до гриж у свиней у виробничих умовах залишається недостатньо висвітленим. Зокрема, обмежено представлені роботи, що базуються на аналізі великих масивів даних потомства конкретних кнурів-плідників із використанням статистичних підходів до оцінки ризику.

У зв'язку з цим, **метою даного дослідження** є аналіз спадкової схильності до гриж у свиней на основі оцінки частоти грижоносійства у потомства різних кнурів-плідників у виробничих умовах. Отримані результати матимуть практичне значення для удосконалення селекційної роботи у свинарстві та можуть бути використані для зниження поширеності хірургічної патології у промислових умовах.

Матеріали та методи дослідження. Дослідження проводили протягом 2022–2025 років у виробничих умовах у господарствах Київської області. Об'єктом дослідження було потомство, отримане від п'яти кнурів-

плідників різного генетичного походження: кнура синтетичної термінальної лінії Оптимус, двопородного гібрида гемпшир × дюрок, чотирипородного гібрида й чистопородних кнурів ландрас та йоркшир.

Загалом було проаналізовано 7500 голів молодняку. Вибірка формувалася за принципом суцільного обліку приплоду зазначених кнурів у межах господарств без попереднього відбору, що дало змогу мінімізувати селекційні упередження та відповідає підходам, прийнятим у ветеринарно-епізоотологічних дослідженнях [7].

Діагностику гриж здійснювали за загальноприйнятими клінічними методами, включаючи огляд і пальпацію пахвинної ділянки та мошонки. Реєстрацію патології проводили за наявності характерного випинання в ділянці пахвинного каналу або мошонки, зі збільшенням її розміру, що узгоджується із клінічними підходами до діагностики гриж у свиней [1].

Отримані дані систематизували у вигляді абсолютних (кількість голів) та відносних (відсоток у межах групи потомства відповідного кнура-плідника) показників. Для оцінки статистичної значущості відмінностей між групами використовували критерій χ^2 (Пірсона), який є стандартним методом аналізу категоріальних даних у біомедичних дослідженнях [8]. Для кількісної оцінки ступеня ризику розвитку гриж залежно від генетичного походження потомства застосовували показники відносного ризику (RelativeRisk, RR) та відношення шансів (OddsRatio, OR), що широко використовуються у ветеринарній епідеміології для оцінки асоціацій між фактором і ознакою [7].

Інтерпретацію отриманих результатів здійснювали з урахуванням сучасних уявлень про поліфакторну природу гриж у свиней, зокрема ролі генетичних і зовнішніх чинників [3, 9]. Статистичні розрахунки виконували з використанням стандартних біометричних підходів. Критичний рівень значущості приймали на рівні $p < 0,05$.

Дослідження проведено відповідно до положень Європейської конвенції про захист хребетних тварин, що використовуються для експериментальних та інших наукових цілей (Official Journal of the European Union L276/33, 2010), а також згідно із Законом України «Про захист тварин від жорстокого поводження» від 28.03.2006 р. № 27, ст. 230, та наказом Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України № 249 від 01.03.2012 р. «Про затвердження Порядку проведення науковими установами дослідів, експериментів на тваринах». Проведення досліджень було схвалено Етичним комітетом Білоцерківського національного аграрного університету (протокол № 1 від 31.05.2023 р., висновок № 2).

Результати дослідження та їх обговорення. У результаті проведених досліджень встановлено суттєву варіабельність частоти грижоносійства серед потомства різних кнурів-плідників (табл. 1). Загалом серед 7500 досліджених голів молодняку грижі були виявлені у 1678 тварин, що становить 22,4 %. При цьому частка пахвинно-мошонкових гриж становила 1432 випадки, або 19,1 % від загальної чисельності дослідженого поголів'я та 85,3 % від усіх зареєстрованих гриж.

Таблиця 1. Частота грижозойства у потомства кнурів-плідників різного походження

Порода плідника	Кількість дослідженого потомства, гол.	Виявлено грижозойців		У т.ч. із пахвинно-мошонковими грижами	
		гол.	%	гол.	%
гібрид термінальної лінії Оптімус	2000	824	41,2	732	36,6
2-породний гібрид (гемпшир × дюрорк)	1800	459	25,5	390	21,7
4-породний гібрид	1500	315	21,0	264	17,6
чистопорідний ландрас	1200	47	3,9	25	2,1
чистопорідний йоркшир	1000	33	3,3	21	2,1

Найвищі показники грижозойства встановлено у потомства гібридного кнура Оптімус, де загальна частота патології становила 41,2 %, причому у 88,8 % випадків (рис. 1) ці грижі належали до пахвинно-мошонкових, що свідчить не лише про високу загальну поширеність патології у потомків цього плідника, а й про домінування саме цієї її форми. Отримані результати істотно перевищують середній рівень у вибірці та вказують на виражену схильність потомства цього плідника до розвитку гриж.

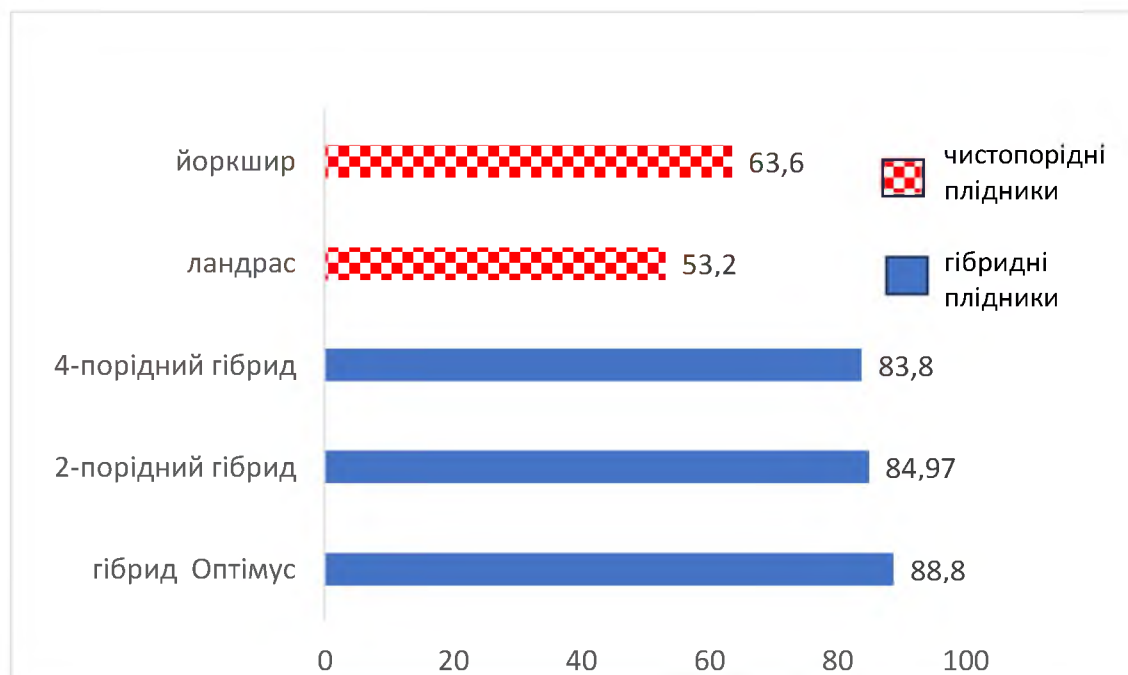


Рис 1. Відсоток пахвинно-мошонкових гриж від загальної кількості гриж, виявлених у потомства плідників різних порід

У потомства гібридного плідника гемпшир × дюрорк частота грижозойства становила 25,5 %, що також перевищує середній показник по вибірці. Частка пахвинно-мошонкових гриж у цій групі дорівнювала 21,7 %. Порівняно з попередньою групою такий рівень патології є суттєво

нижчим, однак залишається відносно високим, що є підставою для віднесення даного кнур до групи підвищеного ризику.

У потомства чотирипородного гібридного плідника частота грижозносійства становила 21,0 %, що є близьким до середнього значення у дослідженій популяції. Частка пахвинно-мошонкових гриж становила 17,6 % (264 випадки). Таким чином, даний кнур займає проміжне положення за рівнем прояву патології, що може свідчити про помірний вплив генетичних факторів.

Найнижчі показники грижозносійства зафіксовано у потомства чистопородних кнурів. Зокрема, у потомства кнура породи ландрас загальна частота грижозносійства становила 3,9 %, а пахвинно-мошонкові грижі були виявлені у 25 поросят (2,1 %). Аналогічно низький рівень досліджуваної патології виявлено й у потомства кнура породи йоркшир, де ці показники становили відповідно 3,3 % та 2,1 %.

Порівняльний аналіз показав, що різниця між максимальним і мінімальним значеннями частоти грижозносійства перевищує 12-кратний рівень, що свідчить про значну неоднорідність досліджуваної популяції за даною ознакою. При цьому потомство гібридних кнурів характеризується суттєво вищими показниками поширеності гриж, порівняно з чистопородними тваринами.

Статистичний аналіз підтвердив достовірність виявлених відмінностей. За результатами χ^2 -критерію встановлено значущу залежність частоти грижозносійства від кнура-плідника ($\chi^2 \approx 670$; $p < 0,001$), що свідчить про не випадковий характер розподілу ознаки. Таким чином, фактор походження має істотний вплив на формування досліджуваної патології.

Додатково встановлено значні відмінності у рівні ризику розвитку гриж між окремими групами потомства. Зокрема, відносний ризик розвитку гриж у потомства кнура-плідника типу Оптимус, порівняно з потомством кнура породи ландрас, становив 10,6, а порівняно з потомством кнура породи йоркшир – 12,5. Відношення шансів (OR) для пари плідників порід Оптимус – ландас становило приблизно 17, що вказує на суттєве зростання ймовірності виникнення патології у потомства окремих плідників. Водночас між потомством двопородного та чотирипородного гібридних плідників відмінності були значно менш вираженими ($RR \approx 1,2$), що свідчить про близький рівень прояву ознаки.

Отримані результати свідчать про наявність вираженої варіабельності грижозносійства у свиней залежно від кнура-плідника, що узгоджується з уявленнями про спадкову природу даної патології. Високі значення ризику та достовірність міжгрупових відмінностей дають змогу розглядати окремих плідників як потенційних носіїв генетичної схильності до розвитку гриж у потомства.

Встановлений діапазон варіації грижозносійства від 3,3 % до 41,2 % є надзвичайно широким і не може бути пояснений виключно впливом факторів зовнішнього середовища з огляду на те, що дослідження проводили у відносно подібних виробничих умовах.

Найбільш показовими є результати, отримані для потомства кнура термінальної лінії Оптимус, у якого зафіксовано максимальну частоту грижозносійства. Такий рівень суттєво перевищує як середній показник по вибірці, так і дані, наведені у більшості літературних джерел, де частота

гриж у свиней зазвичай не перевищує 20–25 % [2]. Це дає змогу розглядати даного плідника як потенційного носія небажаних алелів або комбінацій генів, що зумовлюють підвищену схильність до формування гриж. Подібні результати узгоджуються з даними досліджень, у яких встановлено генетичну асоціацію між окремими лініями свиней та підвищеним ризиком пахвинних гриж [4, 5].

Потомство двопородного та чотирипородного гібридних плідників характеризувалося проміжними значеннями частоти грижоносійства, що може свідчити про комбінований вплив генетичних факторів різного походження. У цьому випадку не виключається ефект адитивної дії генів або часткове маскування небажаних алелів у гетерозиготному стані. Водночас отримані показники залишаються вищими за популяційний середній рівень, що вказує на потенційну наявність генетичних компонентів ризику у використаних гібридних комбінаціях.

Особливої уваги заслуговують результати, отримані для потомства чистопородних кнурів ландрас та йоркшир, у яких виявлена частота грижоносійства була істотно нижчою за показники у групах гібридних плідників, що може свідчити про ефективну селекційну роботу, спрямовану на зниження частоти спадкових патологій у цих породах. Відомо, що тривалий цілеспрямований добір може призводити до зменшення частоти небажаних алелів у популяції, що узгоджується з сучасними даними щодо спадкової природи гриж у свиней та можливості їх селекційного контролю [4, 5].

Важливим аспектом є також структура патології. В усіх досліджених групах переважали пахвинно-мошонкові грижі, частка яких становила понад 80% від загальної кількості випадків. Це узгоджується з сучасними уявленнями про патогенез гриж у свиней, де основну роль відіграють порушення закриття пахвинного каналу та особливості розвитку сім'яного канатика [1]. Висока частка саме цієї форми патології може вказувати на єдину або подібну генетичну основу її формування.

З практичного погляду отримані результати мають важливе значення для організації селекційної роботи. Виявлення кнурів із високим рівнем грижоносійства потомства дає змогу своєчасно проводити їх вибракування або обмежувати їх використання у відтворенні. Водночас використання плідників із низькими показниками цієї патології у потомків може сприяти поступовому зниженню її поширеності у популяції [6].

Результати статистичного аналізу підтверджують клінічні спостереження. Високе значення χ^2 ($p < 0,001$) свідчить про достовірну залежність частоти грижоносійства від кнура-плідника, що дає змогу виключити випадковий характер отриманих відмінностей. Додатково встановлені високі значення відносного ризику (до 10,6) та відношення шансів (до 17,2) підкреслюють суттєву різницю між окремими генотипами за схильністю до розвитку дослідженої патології [7, 8].

Разом із тим слід враховувати, що грижі у свиней мають поліфакторну природу і повністю виключити вплив зовнішніх чинників неможливо. До таких чинників можуть належати умови утримання, рівень годівлі, щільність посадки та інші технологічні аспекти [3, 9]. Однак отримані дані свідчать, що за відносно однакових умов утримання саме генетичний фактор, імовірно, відіграє визначальну роль у варіабельності досліджуваної ознаки.

Таким чином, результати дослідження узгоджуються з сучасними науковими уявленнями про спадкову природу гриж у свиней та підтверджують доцільність використання оцінки потомства як ефективного інструменту виявлення небажаних генетичних характеристик плідників. Це створює підґрунтя для подальшого вдосконалення селекційних програм, спрямованих на зниження поширеності даної патології у свинарстві.

Висновки:

1. Встановлено суттєву варіабельність частоти грижonoсiйства у свиней залежно від кнура-плідника, що підтверджує наявність вираженого спадкового складника у формуванні даної патології. Загальна частота гриж у дослідженій вибірці становила 22,4 %, з коливанням між окремими групами потомства в діапазоні від 3,3 до 41,2 %.

2. Найвищі показники грижonoсiйства зафіксовано у потомства гібридного кнура синтетичної термінальної лінії Оптимус, що свідчить про потенційну наявність у цього плідника генетичних факторів, асоційованих із підвищеним ризиком розвитку гриж. Потомство гібридних кнурів характеризувалося проміжними значеннями, тоді як найнижчі показники грижonoсiйства виявлено у потомства чистопородних кнурів ландрас та йоркшир, що може вказувати на ефективну селекційну роботу в цих породах.

3. Статистичний аналіз підтвердив достовірність виявлених відмінностей (χ^2 , $p < 0,001$), а також значну різницю у рівнях ризику розвитку патології між окремими групами (RR – до 10,6; OR – до 17,2). Це дає змогу розглядати кнурів-плідників як важливий фактор, що визначає частоту грижonoсiйства у потомства.

4. Встановлено, що у структурі патології домінують пахвинно-мошонкові грижі, частка яких перевищує 80% від усіх випадків, що узгоджується з особливостями патогенезу даного захворювання у свиней.

Отримані результати обґрунтовують доцільність використання оцінки потомства як ефективного інструменту виявлення небажаних генетичних характеристик кнурів-плідників та підтверджують необхідність врахування показників грижonoсiйства у селекційній роботі.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження доцільно спрямувати на поглиблене вивчення генетичних механізмів формування грижonoсiйства у свиней із використанням сучасних молекулярно-генетичних підходів, зокрема аналізу асоціацій із генетичними маркерами та геномного профілювання. Перспективним є також визначення коефіцієнтів успадковування для різних форм гриж у конкретних популяціях свиней, що дасть змогу підвищити ефективність селекційних програм. Доцільним є проведення досліджень із залученням більшої кількості плідників і розширення географії господарств для підвищення репрезентативності вибірки.

Окремої уваги потребує вивчення взаємодії генетичних і зовнішніх факторів, зокрема умов утримання, годівлі та технологічних параметрів виробництва, з метою комплексної оцінки ризиків розвитку гриж. Крім того, перспективним напрямом є розробка практичних рекомендацій щодо селекційного відбору кнурів-плідників на основі показників здоров'я потомства, що сприятиме зниженню поширеності хірургічної патології та підвищенню ефективності свинарства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Rutten-Ramos S. C., Deen J. Association between umbilical hernias and genetic line in a swine multiplication herd and methods to differentiate the role of sire in the incidence of umbilical hernias in offspring. *J. Swine Health Prod.* 2006. Vol. 14. № 6. P. 317–322. <https://doi.org/10.54846/jshap/486>
2. Lago L. V., Nery da Silva A., Zanella E. L., Groke Marques M., Peixoto J. O., Da Silva M. V. G. B., Ledur M. C., Zanella R. Identification of Genetic Regions Associated with Scrotal Hernias in a Commercial Swine Herd. *Vet Sci.* 2018. Vol. 5. No. 1. Art. 15. <https://doi.org/10.3390/vetsci5010015>
3. Searcy-Bernal R., Gardner I. A. Effects of and factors associated with umbilical hernias in a swine herd. *J. of the American Vet. Med. Association.* 1994. Vol. 204. No. 10. P. 1660–1664. <https://doi.org/10.2460/javma.1994.204.10.1660>
4. Grindflek E., Moe M., Taubert H. et al. Genome-wide linkage analysis of inguinal hernia in pigs using affected sib pairs. *BMC Genet.* 2006. Vol. 7, Article 25. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-7-25>
5. Du Z.-Q., Zhao X., Vukasinovic N., Rodriguez F., Clutter A. C., Rothschild M. F. Association and haplotype analyses of positional candidate genes in five genomic regions linked to scrotal hernia in commercial pig lines. *PLoS ONE.* 2009. Vol. 4. No. 3. Article e4837. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004837>
6. Sevillano C. A., Lopes M. S., Harlizius B., Hanenberg E. H. A. T., Knol E. F., Bastiaansen J. W. M. Genome-wide association study using deregressed breeding values for cryptorchidism and scrotal/inguinal hernia in two pig lines. *Genetics Selection Evolution.* 2015. Vol. 47. Article 18. <https://doi.org/10.1186/s12711-015-0096-6>
7. Dohoo I., Martin W., Stryhn H. *Veterinary Epidemiologic Research.* 2nd ed. Charlottetown : VER Inc., 2009. 865 p.
8. Petrie A., Sabin C. *Medical Statistics at a Glance.* 3rd ed. Oxford : Wiley-Blackwell, 2009. 180 p.
9. Nowacka-Woszek J. The genetic background of hernia in pigs: A review. *Animal Sci. Papers and Reports.* 2021. Vol. 39. No 1. P. 5–20. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104317>

REFERENCES

1. Rutten-Ramos, S. C., & Deen, J. (2006). Association between umbilical hernias and genetic line in a swine multiplication herd and methods to differentiate the role of sire in the incidence of umbilical hernias in offspring. *J Swine Health Prod.*, 14(6), 317–322. <https://doi.org/10.54846/jshap/486>
2. Lago, L. V., Nery da Silva, A., Zanella, E. L., Groke Marques, M., Peixoto, J. O., Da Silva, M. V. G. B., Ledur, M. C., & Zanella, R. (2018). Identification of Genetic Regions Associated with Scrotal Hernias in a Commercial Swine Herd. *Vet Sci.*, 5(1), 15. <https://doi.org/10.3390/vetsci5010015>
3. Searcy-Bernal, R., & Gardner, I. A. (1994). Effects of and factors associated with umbilical hernias in a swine herd. *J of the American Vet Med Association*, 204(10), 1660–1664. <https://doi.org/10.2460/javma.1994.204.10.1660>
4. Grindflek, E., Moe, M., Taubert, H., Simianer, H., Lien, S., & Moen, Th. (2006). Genome-wide linkage analysis of inguinal hernia in pigs using affected sib pairs. *BMC Genet*, 7, 25. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-7-25>
5. Du, Z.-Q., Zhao, X., Vukasinovic, N., Rodriguez, F., Clutter, A. C., & Rothschild, M. F. (2009). Association and haplotype analyses of positional candidate genes in five genomic regions linked to scrotal hernia in commercial pig lines. *PLoS ONE*, 4(3), e4837. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004837>
6. Sevillano, C. A., Lopes, M. S., Harlizius, B., Hanenberg, E. H. A. T., Knol, E. F., & Bastiaansen, J. W. M. (2015). Genome-wide association study using deregressed breeding values for cryptorchidism and scrotal/inguinal hernia in two pig lines. *Genetics Selection Evolution*, 47, 18. <https://doi.org/10.1186/s12711-015-0096-6>
7. Dohoo, I., Martin, W., & Stryhn, H. (2009). *Veterinary Epidemiologic Research.* 2nd ed. Charlottetown : VER Inc.
8. Petrie, A., & Sabin, C. (2009). *Medical Statistics at a Glance.* 3rd ed. Oxford : Wiley-Blackwell

9. Nowacka-Woszek, J. (2021). The genetic background of hernia in pigs: A review. *Animal Sci Papers and Reports*, 39(1), 5–20. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104317>

ANALYSIS OF HEREDITARY PREDISPOSITION TO HERNIAS IN PIGS BASED ON THE EVALUATION OF OFFSPRING FROM BREEDING BOARS

M. P. Chornozub, O. V. Emelianenko, O. I. Sobolev, O. A. Poroshynska, V. I. Koziy

Bila Tserkva National Agrarian University

8/1 Soborna Square, Bila Tserkva, Kyiv Region, Ukraine, 09117

<https://ror.org/041bgnt86>

The aim of the study was to analyze the hereditary predisposition to hernias in pigs based on the evaluation of offspring from breeding boars under production conditions. **Methods.** Study was conducted on the pig farms in the Kyiv region. A total of 7,500 young pigs obtained from five boars of different genetic backgrounds were analyzed. Hernias were diagnosed using clinical examination methods. The overall incidence of hernias and the proportion of inguinal-scrotal hernias were assessed. Statistical analysis included the Pearson's chi-square (χ^2) test, as well as the calculation of relative risk (RR) and odds ratio (OR). **Results.** It was established that the overall incidence of hernias was 22.4 %, with substantial variation depending on the breeding boar, ranging from 3.3 % to 41.2 %. The highest incidence was observed in the offspring of the hybrid boar OptiMus, whereas the lowest rates were found in the offspring of purebred Landrace and Yorkshire boars. Inguinal-scrotal hernias accounted for more than 80 % of all cases. A statistically significant dependence of hernia incidence on the origin of the offspring was identified (χ^2 , $p < 0.001$). The relative risk of developing hernias in the offspring of certain boars reached 10.6, while the odds ratio reached 17.2. **Conclusions.** The obtained results indicate a pronounced hereditary component in the development of hernias in pigs and confirm the feasibility of using progeny testing to identify undesirable genetic traits. These findings can be applied to improve breeding programs aimed at reducing the prevalence of this pathology.

Keywords: pigs, hernias, hernia prevalence, heredity, breeding boars, selection, inguinal-scrotal hernias.

For citation (APA Style):

Chornozub, M. P., Emelianenko, O. V., Sobolev, O. I., Poroshynska, O. A. & Koziy, V. I. (2026). Analysis of hereditary predisposition to hernias in pigs based on the results of progeny evaluation of breeding boars [Analysis of hereditary predisposition to hernias in pigs based on the evaluation of offspring from breeding boars]. *Svynarstvo i Ahropromyslove Vyrobnystvo* [Pig Breeding and Agroindustrial Production]. Poltava, 7(85), 98–106 [in Ukrainian]. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7\(85\)8](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7(85)8)

Використання штучного інтелекту (ШІ):

Автори заявляють про використання генеративного штучного інтелекту у процесі підготовки рукопису. Окремі завдання були делеговані інструментам генеративного ШІ за повного людського нагляду, зокрема: структуризація тексту, мовно-стилістичне редагування, переклад матеріалів англійською мовою, а також допоміжне формування окремих розділів рукопису. Усі наукові положення, інтерпретація результатів, статистичний аналіз та остаточне формулювання висновків виконані авторами самостійно. Авторі несуть повну відповідальність за зміст статті. Використаний інструмент генеративного ШІ: ChatGPT 5.3.

Відомості про авторів:

Чорнозуб Микола Петрович, кандидат ветеринарних наук, доцент кафедри ветеринарної хірургії та анестезіології Білоцерківського НАУ

Ємельяненко Олександр Володимирович, кандидат ветеринарних наук, доцент кафедри ветеринарної хірургії та анестезіології Білоцерківського НАУ

Соболев Олександр Іванович, доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри технології кормів, кормових добавок і годівлі тварин Білоцерківського НАУ

Порошинська Оксана Андріївна, кандидат ветеринарних наук, доцент кафедри нормальної та патологічної фізіології тварин Білоцерківського НАУ

Козій Василь Іванович, доктор ветеринарних наук, професор, завідувач кафедри нормальної та патологічної фізіології тварин Білоцерківського НАУ

UDC 639.3:615.9:632.952:577.1

MYCOTOXIN CONTAMINATION IN AQUACULTURE SYSTEMS: SOURCES, TOXICOLOGICAL EFFECTS AND IMPLICATIONS FOR FOOD SAFETY

Maryna Yachna¹, Natalia Kurhaluk², Halina Tkaczenko²

¹T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium", Chernihiv, Ukraine
<https://ror.org/024ykzk09>

²Institute of Biology, Pomeranian University in Słupsk, Słupsk, Poland
<https://ror.org/00h8nar58>

Yachna M. ✉
m_yachna@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0003-4587-525X>
Kurhaluk N.
natalia.kurhaluk@upsl.edu.pl
<https://orcid.org/0000-0002-4669-1092>
Tkaczenko H.
halina.tkaczenko@upsl.edu.pl
<https://orcid.org/0000-0003-3951-9005>

Manuscript was received/

Рукопис надійшов

22.03.2026

Received after review/

Після рецензування

13.05.2026

Accepted for printing/

Прийнято до друку

22.06.2026

Available online/

Доступно онлайн

30.06.2026

Declaration of conflicts of interest/

Декларування конфлікту інтересів:

Not necessary/

Не потрібно

Ethical approval/

Етичне схвалення:

Not applicable/

Не застосовується



Attribution Licens 4.0 International
(CC BY 4.0)



Abstract. Mycotoxins are toxic secondary metabolites produced by filamentous fungi that often contaminate plant-based feed ingredients used in aquaculture. The ongoing replacement of fishmeal and fish oil with cereals and oilseeds increases the risk of fish being chronically exposed to multiple mycotoxins. **This review aims** to provide a short overview of mycotoxin contamination in aquaculture systems. This review summarises the occurrence, exposure routes, toxicokinetics, and biological effects of the main regulated mycotoxins, such as aflatoxin B1 (AFB1), deoxynivalenol (DON), zearalenone (ZEN), fumonisins, and ochratoxin A (OTA), as well as emerging compounds, including beauvericin (BEA), enniatins (ENN), and Alternaria toxins. Although environmental factors and post-harvest processes may also contribute, feed is identified as the primary contamination source. Mycotoxins show limited carry-over into fish tissues, with the liver being the main site of accumulation and biotransformation; meanwhile, muscle residues remain relatively low, yet still relevant in terms of food safety. The toxic effects are multifactorial and include oxidative stress, apoptosis, immune dysregulation, endocrine disruption and metabolic disorders. There is increasing evidence highlighting the importance of co-exposure scenarios, where additive or synergistic interactions can enhance toxicity. The study of emerging and modified ('masked') mycotoxins remains insufficient, especially in vivo, which complicates risk assessment. **Conclusions:** Improved monitoring, a better understanding of combined toxicity, and the harmonisation of regulatory limits are essential. The development of effective mitigation strategies is necessary to ensure the sustainability of aquaculture production and food safety, particularly in the context of an increasing reliance on plant-based feeds.

Keywords: mycotoxins; aquaculture; fish health; oxidative stress; carry-over; food safety; mixture toxicity; risk assessment.

Для цитування (за ДСТУ 8302:2025):

Yachna M., Kurhaluk N., Tkaczenko H. Mycotoxin Contamination in Aquaculture Systems: Sources, Toxicological Effects and Implications for Food Safety. *Свинарство і агропромислове виробництво* : міжвідом. темат. наук. зб. / Ін-т свинарства і АПВ НААН. Полтава, 2026. Вип. 7(85). С. 107–135.
[https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7\(85\)9](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7(85)9)

Introduction. Mycotoxins are harmful secondary metabolites produced by filamentous fungi such as *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* and *Alternaria*. While these compounds are not essential for fungal growth, they are

synthesised under favourable environmental conditions, particularly high humidity and temperature [1, 2]. Their biosynthesis is often triggered by plant stress factors, such as drought, insect damage and mechanical injury, which facilitate fungal colonisation in both the field and during storage. Mycotoxins frequently contaminate cereals and plant-derived raw materials used in food and feed production, posing risks to human and animal health. Notable mycotoxins include aflatoxins, ochratoxin A, fumonisins, trichothecenes (e.g. deoxynivalenol and T-2 toxin), and zearalenone. Many of these exhibit hepatotoxic, nephrotoxic, immunosuppressive, teratogenic or carcinogenic properties [3]. Importantly, exposure to mycotoxins is usually chronic and occurs at low doses, which complicates toxicological assessment and risk management strategies.

Globally, it is estimated that 60–80 % of major crops contain detectable levels of mycotoxins, with approximately 20–25 % exceeding the regulatory limits set by the European Union or the Codex Alimentarius for certain compounds [4]. The European Union has set maximum levels for certain mycotoxins in food and feed (e.g. Commission Regulation (EC) No 1881/2006 and Directive 2002/32/EC for undesirable substances in animal feed), reflecting their recognised significance in terms of public health. These regulatory frameworks are continuously updated in response to new toxicological evidence and emerging contamination patterns. In recent decades, climate change, inadequate post-harvest management, and suboptimal storage conditions have contributed to the increasing prevalence of contamination [5]. Rising global temperatures and extreme weather events are expected to alter the geographical distribution of toxigenic fungi, potentially leading to an increased presence of aflatoxins and other heat-related toxins in temperate regions. In addition to well-characterised mycotoxins, modified ('masked') and emerging forms are increasingly being reported, often escaping routine detection [6]. These modified forms may be hydrolysed during digestion, thereby contributing to total dietary exposure and complicating risk assessment. Therefore, advanced analytical techniques, such as LC-MS/MS-based multi-mycotoxin platforms, are increasingly required for accurate exposure assessment.

Aquaculture is one of the fastest-growing food production sectors worldwide, experiencing a marked increase in demand for formulated feeds. The gradual replacement of fishmeal and fish oil with plant-based ingredients such as maize, wheat, barley and soybean meal has introduced new contamination risks [7]. Plant-derived feed ingredients are particularly susceptible to contamination by trichothecenes and fumonisins produced by *Fusarium* species, as well as aflatoxins produced by *Aspergillus* species [8]. Consequently, mycotoxin contamination poses a dual threat, endangering the health and productivity of fish while raising concerns about its presence in edible tissues. Chronic exposure in fish has been linked to reduced growth, an impaired immune response, oxidative stress, and histopathological changes in liver and kidney tissues. It also increases susceptibility to infectious diseases, affecting the sustainability and food safety of aquaculture [9]. Furthermore, fish can serve as sensitive bioindicators of environmental and feed-borne mycotoxin contamination, rendering aquaculture systems valuable for broader ecotoxicological monitoring.

This review aims to provide a short overview of mycotoxin contamination in aquaculture systems. Particular emphasis is placed on the occurrence of mycotoxins, their exposure pathways, toxicokinetics and mechanisms of toxicity in fish. It also aims to evaluate the transfer of both regulated and emerging mycotoxins into fish tissues, and assess the implications for fish health, aquaculture productivity and food safety. Special attention is also given to mixture toxicity, modified ('masked') mycotoxins, and emerging compounds such as beauvericin, enniatins, and *Alternaria* toxins, which are insufficiently characterised and largely unregulated. Finally, this work seeks to identify current knowledge gaps and highlight priorities for future research and regulatory development in the context of the increasing reliance on plant-based feeds in aquaculture.

Routes of mycotoxin contamination in aquaculture. Mycotoxin contamination in aquaculture can occur via three main routes: (i) feed-borne contamination, which is the primary and most significant route; (ii) environmental exposure via contaminated water and sediments; and (iii) post-harvest contamination during the processing and storage of fish products. The relative contribution of each pathway depends on the production system (intensive versus extensive), feed formulation and environmental management practices.

Feed as the primary source. Commercial aquafeeds often contain cereal and plant-based ingredients that are susceptible to natural fungal colonisation. Raw materials such as maize, wheat, barley, soybean meal, and oilseed by-products are favourable substrates for toxigenic fungi, especially when drying and storage conditions are inadequate. Studies report that 75–100 % of compound feeds contain multiple mycotoxins simultaneously [9, 10]. Co-occurrence is common and can result in additive or synergistic toxic effects, even when the concentrations of individual toxins remain below regulatory limits. In freshwater species, wheat inclusion may reach 15–27 % in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets and up to 70 % in cyprinid feeds [11], thereby increasing exposure risk. The increasing use of plant proteins as a substitute for fishmeal in modern aquaculture further increases the likelihood of chronic, low-dose exposure to mycotoxin mixtures. Additionally, variability in the quality of raw materials across global supply chains contributes to inconsistent contamination profiles in commercial aquafeeds.

Within the EU, maximum levels for mycotoxins in aquafeeds are largely unregulated, except for the recommended limit of 10,000 µg/kg for fumonisins [12]. Guidance values also exist for certain toxins, such as deoxynivalenol (DON), zearalenone (ZEN), aflatoxin B1 and ochratoxin A, in complete feedingstuffs for fish. However, legal limits specific to aquaculture remain limited compared to those for terrestrial livestock. This regulatory gap is particularly relevant given the increasing reliance on plant-based feed ingredients in aquaculture systems. Multimycotoxin contamination, particularly involving *Fusarium*-derived toxins such as DON, ZEN, fumonisins, enniatins and beauvericin (BEA), is frequently reported [10, 13]. Emerging mycotoxins, including enniatins and beauvericin, are not routinely regulated despite being increasingly detected in aquafeeds.

Environmental and post-production exposure. Environmental contamination may occur through agricultural runoff or wastewater discharge.

DON and ZEN, for example, have been detected in surface waters [14]. Due to their chemical stability, mycotoxins can persist in aquatic environments and potentially accumulate in sediments, entering aquatic food webs. While bioaccumulation in fish tissues is generally considered to be limited for many mycotoxins, chronic low-level exposure can still occur through continuous contact with contaminated water and the ingestion of particulates. However, data on dermal or mucosal absorption in fish remain scarce. While waterborne exposure is generally considered less significant than dietary intake, it can still contribute to background contamination in intensive aquaculture systems [9].

Post-harvest contamination during the processing and storage of fish products. Post-production contamination may arise during the handling, drying, smoking or storage of fish products. Inadequate hygiene practices, high humidity and poor temperature control can encourage fungal growth on fish and processed products. Fungal genera such as *Aspergillus*, *Penicillium* and *Fusarium* have been identified in processed fish, particularly dried products stored in humid conditions [15–17]. Secondary contamination in such cases may result in the formation of aflatoxins, ochratoxin A or other storage-associated mycotoxins, which pose additional food safety concerns for consumers [9]. Ochratoxin A (OTA) is not well studied in aquatic species, but available data suggest reduced growth, poorer feed conversion, lower survival rates and haematological alterations in exposed fish [18]. Histopathological lesions in the liver and kidney have also been reported [19]. Although shrimp appear to be less sensitive in certain circumstances, higher doses and prolonged exposure can still result in adverse outcomes. This type of contamination is particularly relevant in small-scale and artisanal processing systems, where environmental control and HACCP-based procedures may be limited.

Occurrence and carry-over in freshwater fish. Freshwater fish species are particularly vulnerable to mycotoxin exposure due to the high proportion of cereal-based ingredients in their formulated diets. The main way they are exposed to mycotoxins is through chronic dietary intake, and the way they bioaccumulate them depends on their metabolism, lipid content, age, feeding regime and how long they are exposed to them for. Additionally, environmental and husbandry conditions (e.g. water temperature, dissolved oxygen and stocking density) can indirectly affect the capacity for detoxification and the overall toxicokinetics of fish [20]. Numerous experimental and field studies have investigated the transfer of aflatoxin B1 into edible muscle tissue and metabolically active organs such as the liver. The liver generally serves as the primary target organ for accumulation and biotransformation, whereas muscle tissue typically contains lower residue levels [2, 9].

Aflatoxins. Aflatoxin B1 (AFB1) is the mycotoxin that has been studied most extensively in aquatic species, largely due to its widespread occurrence, particularly in tropical regions, and its well-established hepatotoxic and carcinogenic properties [21]. Its effects have been documented in various species, including rainbow trout [22], Nile tilapia [23–25], channel catfish [26], rohu [27, 28], sea bass [21], gibel carp [29] and beluga [30].

The biological impact of AFB1 varies considerably among species and is closely linked to dietary concentration. Rainbow trout are among the most sensitive species, with tumour development reported at concentrations as low

as 0.4 µg/kg [22, 31], whereas channel catfish appear relatively resistant, exhibiting mainly reduced growth and moderate internal lesions at higher doses [31]. Similarly, European sea bass are sensitive, with acute aflatoxicosis observed at 180 µg/kg (LC₅₀) following short-term exposure [21]. In Nile tilapia and channel catfish, high dietary AFB1 levels (up to 1,880 and 10,000 µg/kg, respectively) reduce growth performance [31, 32], and mortality rates of up to 17% have been reported in tilapia at 2,000 µg/kg [33].

In addition to growth impairment, AFB1 induces a variety of clinical and pathological symptoms, such as cataracts, skin discolouration, lesions, fin erosion, abnormal swimming behaviour and reduced appetite [34]. Haematological disturbances, such as decreased erythrocyte and leukocyte counts and reduced haemoglobin levels, have also been reported [25]. At the cellular level, AFB1 toxicity is strongly associated with oxidative stress, DNA damage and disruption to protein synthesis. These factors collectively contribute to hepatocellular injury and carcinogenesis [34].

In addition to general toxicity, AFB1 can adversely affect reproduction in fish. Although studies are limited, available data indicate reduced ovary weight, fecundity, and egg size in gibel carp [29], as well as a decreased gonadosomatic index, poorer sperm quality, and lower estradiol-17β levels in Nile tilapia following chronic exposure [34]. These findings suggest that AFB1 may impair endocrine regulation and reproductive success, with potential long-term consequences for population dynamics in aquaculture systems (Fig. 1).

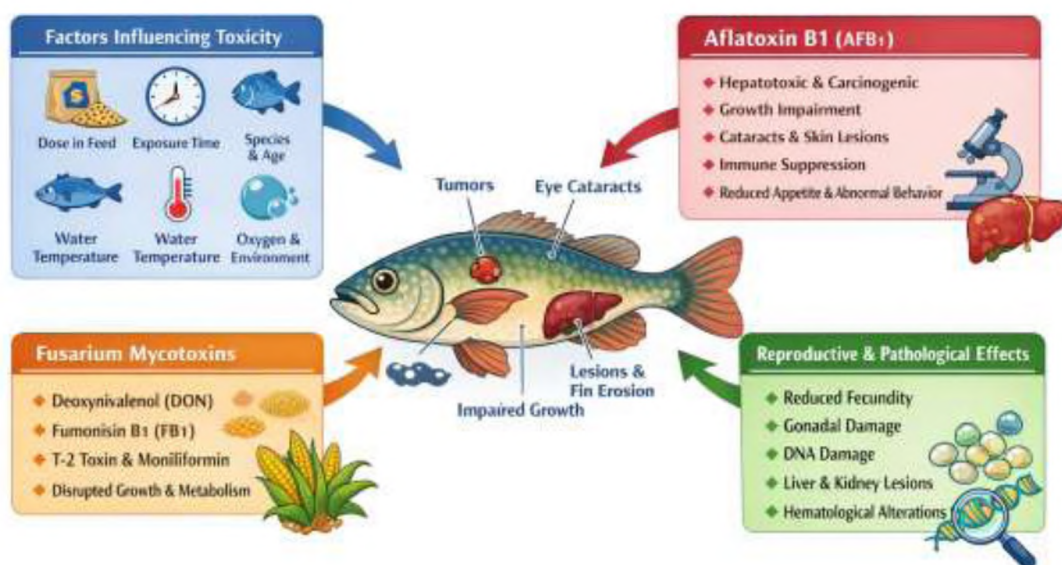


Fig. 1. Mechanisms of mycotoxin toxicity in fish: oxidative stress, metabolic disruption and physiological effects

Following exposure to contaminated feed, AFB1 has been detected in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), African catfish (*Clarias gariepinus*), rohu (*Labeo rohita*) and sterlet sturgeon (*Acipenser ruthenus*) [32, 35–37]. Muscle concentrations have ranged from 0.05 to 78 µg/kg, reflecting differences in species sensitivity, exposure levels, feeding duration, and analytical methodology. Residue levels generally correlate with dietary concentration and exposure time, although depuration may occur after contaminated feed is

withdrawn [38–40]. Documented effects include hepatotoxicity, immunosuppression, reduced growth performance, oxidative stress, and histopathological liver alterations (including vacuolar degeneration and necrosis). Increased mortality has also been observed. AFB1 is metabolised in the fish liver to produce reactive intermediates, including aflatoxin M1, which can also be found in tissues and poses an additional food safety risk [41–43]. Although muscle residue levels are often low, even trace amounts are of toxicological concern due to the recognised carcinogenicity of AFB1. It has been classified as a Group 1 carcinogen by the International Agency for Research on Cancer (IARC). Furthermore, differences in cytochrome P₄₅₀ activity between species may significantly impact the rate of AFB1 bioactivation and detoxification, thereby influencing residue distribution and toxicity outcomes.

Recent experimental studies have provided substantial insight into the toxicological effects of mycotoxins on aquatic organisms. These studies have particularly highlighted the importance of combined exposure scenarios, the molecular mechanisms of toxicity and mitigation strategies. The results of selected experimental studies on mycotoxin toxicity and mitigation strategies in fish are presented in Table 1.

Table 1. Selected experimental studies on mycotoxin toxicity and mitigation strategies in fish

Species / Model	Exposure type	Mycotoxins / Compounds	Key endpoints	Main findings	Study (Year)
Zebrafish (F0 and F1)	Co-exposure (<i>in vivo</i> + multi-omics)	AFB1 + epoxiconazole	Multi-organ toxicity, gene expression, transgenerational effects	Synergistic toxicity; activation of ferroptosis (liver) and apoptosis (ovary); intestinal damage; microbiota disruption; transgenerational effects in F1 embryos	Wang et al., 2025 [44]
<i>Lates calcarifer</i>	Dietary (5 weeks)	Multi-mycotoxins + histamine + rancid fats	Growth, blood biochemistry, histopathology	Reduced growth and survival; haemolysis; hyperkalemia; liver and kidney pathology; diet-specific toxicity patterns	Kwok et al., 2025 [45]
<i>Piaractus mesopotamicus</i>	Dietary + probiotic intervention	AFB1 (0–400 µg/kg)	Liver histology, antioxidant enzymes	AFB1 ≥25 µg/kg caused liver damage and enzyme suppression; probiotic additive mitigated toxicity and restored liver function	Godoy et al., 2024 [46]
Nile tilapia	Dietary (8 weeks)	AFB1 + Se nanoparticles	Oxidative stress, immunity, gene expression	AFB1 induced oxidative stress and immunosuppression; SeNPs restored antioxidant status and improved resistance to infection	Sherif and Zommara, 2024 [47]
Zebrafish embryos	Co-exposure	AFB1 + tebuconazole	LC ₅₀ , gene expression, enzyme activity	Synergistic toxicity; altered antioxidant and apoptotic pathways; AFB1 more toxic than pesticide	An et al., 2024 [48]

Continuation of the tabl.1

Species / Model	Exposure type	Mycotoxins / Compounds	Key endpoints	Main findings	Study (Year)
Grass carp	Dietary	AFB1	Immune response, gene expression	Immunosuppression via NF-κB and TOR pathways; reduced antimicrobial peptides; threshold ~29.48 µg/kg diet	He et al., 2022 [49]
Zebrafish embryos	Co-exposure	AFB1 + FB1	Development, oxidative stress, apoptosis	Combined exposure more toxic than single toxins; endocrine disruption; increased oxidative and apoptotic markers	Di Paola et al., 2022 [50]
<i>Channa argus</i>	Dietary (8 weeks)	AFB1 (0-400 ppb)	ROS/ERS signalling, inflammation, apoptosis	Dose-dependent oxidative stress; ER stress activation; apoptosis and inflammation via ROS-ERS axis	Jiao et al., 2025 [51]

A growing body of evidence suggests that exposure to multiple environmental contaminants, including mycotoxins, can result in synergistic, multi-organ toxicity. For example, Wang et al. [44] showed that exposure to a combination of aflatoxin B1 (AFB1) and epoxiconazole in zebrafish caused severe intestinal damage and altered the gut microbiota. It also activated key molecular pathways, including ferroptosis in the liver and apoptosis in the ovaries. Notably, these effects were observed in the F1 generation too, confirming transgenerational toxicity and heritable molecular alterations. Similarly, An et al. [48] reported synergistic developmental toxicity in zebrafish embryos co-exposed to AFB1 and tebuconazole, with significant modulation of antioxidant and apoptotic pathways.

The importance of mixture toxicity is also supported by Di Paola et al. [50], who showed that exposure to a mixture of AFB1 and fumonisin B1 (FB1), even at concentrations that are individually non-toxic, resulted in increased mortality, oxidative stress, apoptosis and endocrine disruption. These findings emphasise that the co-occurrence of mycotoxins poses a significantly greater risk than exposure to a single compound, a scenario that is highly relevant to real-world aquaculture conditions.

In dietary exposure studies, the chronic intake of contaminated feed has consistently been associated with impaired growth, metabolic disturbances and organ pathology. Kwok et al. [45] found that juvenile Asian seabass fed a diet containing multiple mycotoxins (aflatoxin, fumonisin, deoxynivalenol and zearalenon) showed reduced growth, haemolysis, electrolyte imbalance and histopathological lesions in their livers and kidneys. This study also highlighted the interactive effects of mycotoxins, histamines, and lipid peroxidation products, reflecting the complexity of feed contamination.

Mechanistic studies have further elucidated the role of oxidative stress and related signalling pathways in mycotoxin-induced toxicity. Jiao et al. [51] demonstrated that exposure to AFB1 in *Channa argus* triggered a cascade involving the overproduction of reactive oxygen species (ROS), endoplasmic reticulum stress (ERS), inflammation, and apoptosis via the ROS–ERS signalling axis. Similarly, He et al. [49] showed that AFB1 impairs immune

function in grass carp by modulating the NF- κ B and TOR pathways, resulting in decreased antimicrobial defence and increased susceptibility to pathogens. Taken together, these findings indicate that oxidative stress and immune dysregulation are central mechanisms underlying mycotoxin toxicity in fish.

Several studies have also explored strategies to mitigate mycotoxin-induced damage. For example, Godoy et al. [46] demonstrated that probiotic-based additives significantly alleviated AFB1-induced hepatotoxicity in *Piaractus mesopotamicus* by restoring antioxidant enzyme activity and preventing histopathological lesions. Similarly, Sherif and Zommara [47] showed that selenium nanoparticles effectively counteracted oxidative stress and immunosuppression in Nile tilapia exposed to AFB1, enhancing resistance to *Streptococcus agalactiae* infection. These studies highlight the potential of nutritional and functional feed additives as practical tools for managing mycotoxin risk in aquaculture.

The available evidence suggests that mycotoxin toxicity in fish is a multifactorial process involving oxidative stress, apoptosis, immune dysregulation, and endocrine disruption. This process is often exacerbated by exposure to multiple contaminants. However, despite significant advances, there are still major knowledge gaps regarding long-term low-dose exposure, mixture toxicity and transgenerational effects. These areas should be prioritised in future research.

Zearalenone and other regulated mycotoxins. Zearalenone (ZEN) is a mycotoxin with known oestrogenic activity that has been studied less extensively in fish, but which is linked to reproductive disturbances. In zebrafish, for example, it has been shown to reduce spawning frequency and alter fecundity across generations [52], while higher exposure levels have been associated with developmental abnormalities such as cardiac defects and skeletal deformities [53]. These effects are consistent with ZEN's role as an endocrine disruptor, capable of interfering with hormonal signalling pathways in aquatic organisms.

Low concentrations of ZEN have been detected in the livers and ovaries of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and common carp (*Cyprinus carpio*), although levels in muscle tissue were generally minimal [54–56]. ZEN is known for its oestrogenic activity, and fish appear to be particularly sensitive to endocrine-disrupting compounds due to their reproductive physiology and continuous exposure to the aquatic environment. Reproductive impairment, an altered gonadosomatic index, reduced fecundity, and endocrine-disrupting effects have been observed [54]. Additionally, exposure in the early life stages may lead to long-term effects on gonadal development and reproductive success, even at sublethal concentrations. Other regulated mycotoxins, such as deoxynivalenol (DON) and fumonisins, are primarily associated with reduced feed intake, impaired growth, intestinal damage, and immune modulation rather than significant tissue accumulation [57]. While evidence suggests that many trichothecenes exhibit relatively low bioaccumulation potential in muscle tissue, they can still induce chronic sublethal effects that compromise fish welfare and aquaculture productivity [10].

Recent studies have significantly advanced our understanding of the toxicological effects of major *Fusarium*-derived mycotoxins, particularly ZEN, DON and fumonisins, as well as emerging compounds, in aquatic organisms.

These investigations have revealed a variety of toxicity mechanisms, including neurotoxicity, oxidative stress, immune system disruption and impaired growth and regeneration, which are often exacerbated by exposure to multiple toxins (Table 2).

Table 2. Recent studies on zearalenone (ZEN), deoxynivalenol (DON), fumonisins and emerging mycotoxins in fish

Species / Model	Mycotoxin(s) / Exposure	Experimental design	Key endpoints	Main findings	Study (Year)
Zebrafish larvae	ZEN	Behavioural + <i>in silico</i> + docking	Neurotoxicity, motor function	Reduced locomotion; neuroinflammation via TP53, AKT1, CASP3, MAPK3, NF-κB pathways	Xu et al., 2025 [58]
Zebrafish larvae	ZEN (0-1.5 μM)	Developmental exposure	Regeneration, immunity, ROS	Impaired regeneration; neutrophil dysregulation; oxidative stress; apoptosis	Luo et al., 2025 [59]
Zebrafish embryos	ZEN + hydroxytyrosol	Detoxification study	Development, apoptosis, gene expression	Hydroxytyrosol mitigated ZEN toxicity; reduced apoptosis and cell cycle arrest (p53/FoxO)	Zhang et al., 2024 [60]
Zebrafish + marine fish embryos	ZEN	Metabolomics (HRMAS NMR)	Energy metabolism, oxidative stress	Mitochondrial dysfunction; altered metabolites; oxidative stress biomarkers identified	Annunziato et al., 2023 [61]
Zebrafish embryos	ZEN + trifloxystrobin	Co-exposure	Enzymes, gene expression	Synergistic toxicity; oxidative, immune and endocrine disruption	Cang et al., 2023 [62]
Zebrafish fibroblasts	DON	<i>In vitro</i> mechanistic study	Cell cycle, proliferation	Ribosome binding; cell cycle arrest; impaired DNA replication; mitophagy activation	Duan et al., 2025 [63]
Zebrafish embryos and adults	DON + bacteria	Toxicity + bioremediation	Survival, ROS, histology	DON reduced survival and induced oxidative stress; bacteria showed detoxification potential	Yao et al., 2024 [64]
Rainbow trout	DON + <i>Fusarium</i> toxins	Dietary (8 weeks)	Growth, histology	Additive (not synergistic) toxicity; reduced growth and energy retention	Koletsis et al., 2023 [65]
Gilthead seabream	ENNБ + FB1	Dietary (28 days)	Metabolism, neurotoxicity	ENNБ more toxic; lipid/protein degradation; AChE inhibition (mixture)	Mello et al., 2025 [66]
Grass carp	FB1 (0-8.05 mg/kg)	Dietary (30 days)	Growth, intestine, oxidative stress	Impaired growth; intestinal damage; apoptosis; oxidative stress (Keap1/Nrf2 disruption)	Chen et al., 2025 [67]
Zebrafish embryos	FB1 derivatives	<i>In vivo</i> + binding study	Toxicity ranking	Palmitoyl-FB1 derivatives more toxic than FB1; higher protein binding affinity	Csenki et al., 2023 [68]

ZEN is increasingly recognised as a multisystem toxicant that affects endocrine, neural, and immune pathways. Xu et al. [58] demonstrated that ZEN

exposure significantly reduced the locomotor activity of zebrafish larvae, indicating neurotoxicity. Mechanistically, this effect was associated with the activation of neuroinflammatory pathways involving key molecular targets such as TP53, AKT1, CASP3, MAPK3, and NF- κ B. Complementary molecular docking results confirmed strong binding affinities between ZEN and these proteins, supporting the idea of direct molecular interactions underlying neurotoxicity.

Concurrently, Luo et al. [59] revealed that ZEN disrupts tissue regeneration by altering neutrophil dynamics and inducing oxidative stress. Increased ROS production, apoptosis, and impaired antioxidant defence were found to be associated with delayed fin regeneration and developmental abnormalities. Taken together, these findings suggest that immune dysregulation and redox imbalance are central to ZEN-induced developmental toxicity.

Metabolomics-based evidence further supports these mechanisms. Annunziato et al. [61] identified conserved metabolic alterations in both freshwater and marine fish embryos, including mitochondrial dysfunction, membrane disruption, and impaired energy metabolism. These metabolic signatures could be used as early biomarkers of ZEN exposure in aquaculture and environmental monitoring.

Importantly, mitigation strategies are being explored. Zhang et al. [60] demonstrated that hydroxytyrosol effectively counteracts ZEN-induced developmental toxicity by modulating apoptosis and cell cycle pathways (the p53/FoxO axis), thereby restoring normal growth and behaviour. This highlights the potential of natural antioxidants as protective agents against mycotoxin-induced damage.

Studies on co-exposure confirm that exposure to a combination of mycotoxins and other contaminants can result in enhanced or synergistic toxic effects. For example, Cang et al. [62] reported that the combination of ZEN and the fungicide trifloxystrobin significantly altered the expression of antioxidant enzymes, endocrine markers, and genes related to the immune system in zebrafish embryos. Gene expression changes were notably more pronounced under co-exposure conditions than with individual compounds, emphasising the importance of mixture-based risk assessment approaches.

DON toxicity is primarily associated with the inhibition of protein synthesis and cell proliferation. Duan et al. [63] demonstrated that DON binds directly to ribosomes in zebrafish fibroblasts, leading to impaired DNA replication, cell cycle arrest, and disrupted mitosis. Furthermore, the activation of autophagy and mitophagy pathways indicates a cellular stress response to ribotoxic damage. Rainbow trout are highly sensitive to DON, exhibiting reduced growth, feed intake, and nutrient utilisation even at low concentrations [69], whereas channel catfish demonstrate greater tolerance, with minimal effects observed even at higher dietary levels [70]. DON exposure is often linked to reduced growth performance and feed efficiency [69, 71], though some studies report no significant impact on weight gain [72, 73]. This suggests variability in species responses and experimental conditions.

Further *in vivo* studies confirm its detrimental effects. Yao et al. [64] reported reduced survival rates, intestinal damage, and increased oxidative stress in zebrafish exposed to DON. However, the application of *Achromobacter*

sp. P-9 showed promising biodegradation potential, suggesting that bioremediation strategies could mitigate DON toxicity in aquaculture systems. Koletsis et al. [65] demonstrated that DON and other *Fusarium* toxins have an additive negative effect on the growth performance and feed efficiency of rainbow trout, with no clear evidence of synergistic interactions. These findings suggest that chronic exposure to multiple mycotoxins may cumulatively impair productivity, even in the absence of strong synergism.

Fumonisin B1 (FB1) primarily affects intestinal integrity and sphingolipid metabolism. Chen et al. [67] demonstrated that dietary FB1 impairs growth, disrupts intestinal barrier function, induces oxidative stress, and activates apoptosis in grass carp. These effects were associated with the inhibition of the Keap1/Nrf2 antioxidant pathway and alterations in tight junction proteins, indicating compromised intestinal health and reduced nutrient absorption.

Fumonisin B1 has been shown to disrupt sphingolipid metabolism and act as a cancer promoter in rainbow trout, while also impairing growth and haematological parameters in species such as Nile tilapia and common carp. Similarly, T-2 toxin and MON negatively affect growth, haematological indices and organ integrity in various fish species [74–76]. Many *Fusarium* toxins mechanistically interfere with protein synthesis, lipid metabolism, and intestinal integrity, leading to reduced nutrient absorption and systemic physiological stress.

Emerging evidence also highlights the importance of less-studied mycotoxins. For example, Mello et al. [66] demonstrated that enniatin B (ENNB) had a stronger toxic effect than FB1 on gilthead seabream, causing metabolic disruption and neurotoxicity (acetylcholinesterase inhibition). This finding emphasises the importance of including emerging mycotoxins in regulatory frameworks and risk assessments. Furthermore, Csenki et al. [68] demonstrated that modified fumonisin derivatives (e.g. palmitoyl-FB1) are significantly more toxic than the parent compound, likely due to increased protein binding affinity. This emphasises the importance of considering modified ('masked') mycotoxins in exposure and toxicity evaluations.

These studies collectively demonstrate that mycotoxin toxicity in fish is a multidimensional process involving oxidative stress, inflammation, apoptosis, metabolic disruption, and impaired physiological functions, which is strongly modulated by co-exposure and environmental context. Emerging evidence also emphasises the importance of modified mycotoxins, mixture toxicity and mitigation strategies, all of which are underrepresented in current regulatory frameworks and require further investigation.

Mixtures, emerging toxins and knowledge gaps. Most experimental designs have employed single-toxin fortification under controlled laboratory conditions. However, naturally contaminated feeds typically contain complex mixtures of mycotoxins. This discrepancy limits the ecological and practical relevance of many toxicokinetic and toxicodynamic findings. The potential for additive or synergistic interactions among co-occurring toxins in freshwater species are not well characterised. Furthermore, data on emerging, modified ('masked') or conjugated mycotoxins in freshwater fish tissues are scarce, limiting the ability to conduct a comprehensive risk assessment for consumers [9, 2]. In particular, the role of intestinal microbiota in the

biotransformation of masked mycotoxins is an emerging factor that still needs to be understood better in terms of its influence on internal exposure.

Occurrence in marine fish and products. Compared with freshwater species, fewer studies have addressed the occurrence of mycotoxins in marine aquaculture. However, concerns have been raised about long-term exposure and potential tissue residues due to the rapid growth of marine fish farming and the increasing use of plant-based ingredients in marine aquafeeds. As in freshwater systems, dietary intake remains the primary exposure route. While this shift towards plant-based feed formulations in marine aquaculture reflects global sustainability trends, it simultaneously increases the risk of introducing mycotoxins into production systems that were previously less exposed.

Regulated mycotoxins. Concentrations of AFB1 of up to 4.25 µg/kg were detected in the muscle of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) following experimental dietary exposure [21]. In Atlantic salmon (*Salmo salar*), deoxynivalenol (DON) was distributed across tissues (with concentrations of up to 28.6 µg/kg in the liver), while ochratoxin A (OTA) mainly accumulated in the liver and kidneys [77]. These findings confirm that the liver remains the primary target organ for bioaccumulation and biotransformation, whereas muscle residues are generally lower, yet still of concern to consumers from a toxicological perspective. Species-specific differences in lipid content and metabolic capacity may further influence residue distribution patterns in marine fish.

Market surveillance studies generally report low detection frequencies in commercially available marine fish. However, some investigations have identified OTA levels exceeding 1 µg/kg. Although maximum residue limits (MRLs) for mycotoxins in fish muscle are not harmonised at the EU level, the presence of detectable residues highlights the need for ongoing monitoring, particularly in intensively farmed species. The lack of harmonised regulatory thresholds for fish products complicates risk assessment and may lead to inconsistencies in the evaluation of food safety across different regions.

Chronic dietary exposure to mycotoxins in marine fish has been associated with reduced growth performance, oxidative stress, hepatocellular alterations, and modulation of immune responses, even in the absence of high tissue accumulation [2,9]. While such subclinical effects may not be immediately apparent, they can significantly impact production efficiency and disease resistance in aquaculture systems.

Emerging mycotoxins. Enniatins (ENNA, ENNA1, ENNB and ENNB1) and beauvericin (BEA) have been found in European sea bass, gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and Atlantic salmon. ENNB often exhibited the highest prevalence, with tissue concentrations reaching 119 µg/kg in certain cases [78, 79]. These cyclic hexadepsipeptide compounds are mainly produced by *Fusarium* species and are characterised by ionophoric activity, which can disrupt cellular ion homeostasis. Their lipophilic nature may explain their deposition in fatty tissues, such as those found in salmon. Preliminary toxicological evidence suggests potential cytotoxic, immunomodulatory, and pro-oxidative effects; however, data on these effects in marine fish are limited [9,2]. Furthermore, their frequent co-occurrence with regulated mycotoxins raises concerns about combined toxicity and interactive effects that are not yet fully understood.

Similarly, data on *Alternaria* toxins, such as alternariol (AOH) and alternariol monomethyl ether (AME), in marine fish are extremely limited. Given the increasing presence of *Alternaria*-derived metabolites in plant-based feeds, further research is needed to assess their potential for bioaccumulation and metabolic transformation, as well as the implications for the safety of marine aquaculture products [80,81]. Future studies should also address the transfer of these emerging toxins along the marine food chain and their potential implications for human dietary exposure.

Toxicological profile of emerging mycotoxins. Although there is little in vivo data on fish, extensive in vitro studies provide valuable insight into the toxicity mechanisms of emerging mycotoxins. Most of the available evidence originates from mammalian cell culture models. While these models are not fully representative of aquatic species, they enable the identification of conserved cellular targets, such as mitochondria, oxidative stress pathways, and DNA integrity mechanisms. However, it is important to note that interspecies differences in xenobiotic metabolism, particularly in liver enzyme systems, may significantly influence the extrapolation of these findings to fish. These compounds are often found together in feed, raising concerns about their combined toxicity. This co-occurrence reflects real exposure scenarios in aquaculture and highlights the need for toxicological assessments of mixtures rather than single compounds.

Beauvericin (BEA). Beauvericin is a cyclic hexadepsipeptide that is primarily produced by *Fusarium* species. It exhibits strong cytotoxicity in multiple cell lines, including Caco-2, HepG2, Jurkat T-cells, dendritic cells, and ovarian cells [82–84]. IC₅₀ values generally fall within the low micromolar range (1–12 µM), indicating considerable biological potency. The mechanisms of action include the generation of reactive oxygen species (ROS), lipid peroxidation, apoptosis, cell cycle arrest and mitochondrial dysfunction [85–87]. BEA acts as an ionophore, forming complexes with cations (e.g. Ca²⁺, Na⁺ and K⁺), thereby disrupting cellular ion homeostasis and mitochondrial membrane potential. The EFSA concluded that BEA is not directly genotoxic; the observed DNA damage appears to be a consequence of oxidative stress and indirect mechanisms [88]. Nevertheless, its high lipophilicity may favour bioaccumulation in lipid-rich tissues, which is particularly relevant for certain fish species. However, uncertainties remain regarding chronic low-dose exposure and potential immunomodulatory effects, particularly in scenarios involving co-exposure to other *Fusarium* toxins.

Enniatins (ENNs). Structurally related to BEA, the enniatin family (ENNA, ENNA1, ENNB and ENNB1) exhibits dose- and time-dependent cytotoxicity in intestinal, hepatic, immune and neural cell models [89–91]. ENNA1 generally exhibits the greatest potency. Reported IC₅₀ values range from 2 to 12 µM depending on the cell type and exposure duration. Mechanisms include ROS production, apoptosis induction and disruption of ion homeostasis [92,93]. Like BEA, enniatins exhibit ionophore properties, facilitating transmembrane cation transport and leading to mitochondrial depolarisation, ATP depletion, and activation of the intrinsic apoptotic pathway [94]. Furthermore, evidence suggests that they may modulate inflammatory signalling pathways and impair epithelial barrier integrity in intestinal models [95]. Their ability to cross biological membranes efficiently may enhance their systemic distribution

following dietary exposure. Despite increasing detection in food and feed, maximum levels have not yet been specified in EU legislation due to limited *in vivo* toxicity data and insufficient exposure assessment.

***Alternaria* toxins (AOH and AME).** These toxins, produced by *Alternaria* species, exert cytotoxic effects in both tumour and normal cell lines, including HepG2, Caco-2, GES-1 and PC-3 cells [96–98]. AME is often more potent than AOH. Mechanisms involved include DNA strand breaks, topoisomerase inhibition, activation of the p53-mediated DNA damage response, and oxidative stress [98, 99]. Both AOH and AME have demonstrated genotoxic potential *in vitro*, including clastogenic effects and interference with DNA repair processes. This raises concerns regarding long-term carcinogenic risk [97–99]. Furthermore, there is some suggestion of their potential interaction with endocrine signalling pathways, but this remains insufficiently characterised. However, human bioaccumulation data for *Alternaria* toxins are currently unavailable. Similarly, *in vivo* data in fish are extremely limited, preventing robust characterisation of the risk to aquatic species and consumers. Further toxicokinetic, bioaccumulation and mixture toxicity studies are needed to clarify their safety profile in aquaculture contexts. In particular, integrating omics-based approaches (e.g. transcriptomics and metabolomics) into studies could provide deeper insight into their mechanisms of action.

The toxicological relevance and regulatory oversight of mycotoxins detected in aquaculture can differ substantially depending on whether they are classified as regulated, emerging, or *Alternaria*-derived compounds. The following comparative overview summarises current knowledge gaps, the regulatory status, and evidence of carry-over into fish tissues within the context of the European Union (Table 3).

Table 3. Comparative overview of regulatory status, occurrence, carry-over, and toxicological evidence of regulated and emerging mycotoxins in aquaculture

Aspects	Regulated mycotoxins (AFB1, OTA, DON, ZEN)	Emerging mycotoxins (BEA, ENNs)	<i>Alternaria</i> toxins (AOH, AME)
Regulatory status (EU)	Partially regulated	Not regulated	Not regulated
Occurrence in aquafeed	Frequent	Increasingly reported	Limited data
Carry-over to fish	Documented	Species-dependent	Insufficient data
Toxicity evidence	<i>In vivo</i> and <i>in vitro</i>	Mostly <i>in vitro</i>	Mostly <i>in vitro</i>
Genotoxicity	AFB1: carcinogenic	Limited evidence	DNA damage mechanisms reported
Risk assessment	Partial	Insufficient data	Insufficient data

It highlights the imbalance between the increasing detection of emerging mycotoxins and the limited availability of toxicological and regulatory frameworks that address them.

Mycotoxins such as aflatoxin B1, ochratoxin A, deoxynivalenol and zearalenone are regulated within the European Union, where maximum or guidance levels have been set for them in food and feedstuffs. AFB1 is strictly regulated due to its well-established carcinogenicity, while guidance values exist for DON, ZEN and fumonisins in feedstuffs, including fish feed. In contrast, emerging mycotoxins such as beauvericin and enniatins, as well as *Alternaria* toxins such as AOH and AME, are not currently regulated at the EU level due to

a lack of toxicological and exposure data [2, 9]. This regulatory gap highlights the urgent need for risk assessment frameworks that are harmonised and incorporate emerging contaminants and their combined effects in aquaculture systems.

Conclusions. Contamination of aquaculture feed and fish products by mycotoxins represents an evolving and multifaceted food safety challenge. The growing global dependence on plant-based feed ingredients has exacerbated the risk of exposure to multiple mycotoxins in both freshwater and marine aquaculture systems. Feed remains the main source of contamination, especially given the progressive replacement of fishmeal and fish oil with cereal- and oilseed-derived components.

The carry-over of regulated mycotoxins, especially aflatoxin B₁, ochratoxin A, deoxynivalenol and zearalenone, into fish tissues has been documented. However, residue levels are highly variable and are influenced by species, exposure duration, feed composition and metabolic capacity. The liver is consistently identified as the primary target organ, whereas muscle residues are generally lower, yet still relevant for assessing consumer exposure.

Emerging mycotoxins, including beauvericin and enniatins, are prevalent in aquafeeds and are occasionally detected in fish tissues. However, they remain unregulated at EU level. Their lipophilic and ionophoric properties, combined with evidence of cytotoxicity, oxidative stress induction and mitochondrial dysfunction, raise concerns regarding chronic low-dose exposure and potential mixture effects.

Currently, toxicological evidence is dominated by *in vitro* studies with limited *in vivo* validation in fish models. Long-term feeding trials, toxicokinetic investigations (absorption, distribution, metabolism and excretion) and mixture toxicity assessments are urgently needed to provide robust data for risk characterisation. The occurrence of masked or modified mycotoxins in fish tissues and their potential reconversion to parent toxins during digestion remain largely unexplored, constituting a major research gap.

The absence of harmonised maximum residue limits for mycotoxins in fish and fish products makes regulatory oversight more difficult. Although guidance values exist for certain mycotoxins in feed, the absence of specific limits for edible fish tissues creates a regulatory gap within the farm-to-fork continuum. To support future risk assessments and regulatory decision-making, harmonised monitoring strategies, validated multi-mycotoxin analytical methods (e.g. LC-MS/MS and HRMS) and integrated surveillance programmes are urgently required.

In light of the projected growth in global aquaculture, it is crucial to systematically investigate the occurrence of mycotoxins, their toxicokinetics, their potential for bioaccumulation, and their cumulative dietary exposure, in order to safeguard fish health, ensure the sustainability of the industry, and protect consumers. A coordinated approach that integrates feed control, environmental monitoring, toxicological research and regulatory harmonisation will be critical for the effective, long-term management of risks in the aquaculture sector.

Acknowledgements. The authors wish to sincerely thank CRASP and Elsevier for providing scholarships that enhance the research capacity of Ukrainian Ph.D. students and academics. This support was crucial in enabling

us to conduct the present study at the Institute of Biology, Pomeranian University in Słupsk. We are very grateful for the opportunity to conduct our research in such a stimulating scientific environment, and for the institutional support that contributed greatly to the successful completion of this work.

REFERENCES

1. Omotayo, O. P., Omotayo, A. O., Mwanza, M., & Babalola, O. O. (2019). Prevalence of Mycotoxins and Their Consequences on Human Health. *Toxicological Research*, 35(1), 1–7. <https://doi.org/10.5487/TR.2019.35.1.001>
2. Lorusso, P., Rusco, G., Manfredi, A., Iaffaldano, N., Di Pinto, A., & Bonerba, E. (2025). Emerging Mycotoxins in Aquaculture: Current Insights on Toxicity, Biocontrol Strategies, and Occurrence in Aquafeed and Fish. *Toxins*, 17(7), 356. <https://doi.org/10.3390/toxins17070356>
3. Awuchi, C. G., Ondari, E. N., Ogbonna, C. U., Upadhyay, A. K., Baran, K., Okpala, C. O. R., Korzeniowska, M., & Guiné, R. P. F. (2021). Mycotoxins Affecting Animals, Foods, Humans, and Plants: Types, Occurrence, Toxicities, Action Mechanisms, Prevention, and Detoxification Strategies-A Revisit. *Foods (Basel, Switzerland)*, 10(6), 1279. <https://doi.org/10.3390/foods10061279>
4. Eskola, M., Kos, G., Elliott, C. T., Hajšlová, J., Mayar, S., & Krska, R. (2020). Worldwide contamination of food-crops with mycotoxins: Validity of the widely cited “FAO estimate” of 25 %. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(16), 2773–2789. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1658570>
5. Casu, A., Camardo Leggieri, M., Toscano, P., & Battilani, P. (2024). Changing climate, shifting mycotoxins: A comprehensive review of climate change impact on mycotoxin contamination. *Comprehensive reviews in Food Science and Food Safety*, 23(2), e13323. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13323>
6. Berthiller, F., Crews, C., Dall’Asta, C., De Saeger, S., Haesaert, G., Karlovsky, P., Oswald, I. P., Seefelder, W., Speijers, G., & Stroka, J. (2013). Masked mycotoxins: A review. *Molecular Nutrition & Food Research*, 57(1), 165–186. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201100764>
7. Oliveira, M., & Vasconcelos, V. (2020). Occurrence of Mycotoxins in Fish Feed and Its Effects: A Review. *Toxins*, 12(3), 160. <https://doi.org/10.3390/toxins12030160>
8. Popescu, R. G., Rădulescu, A. L., Georgescu, S. E., & Dinischiotu, A. (2022). Aflatoxins in Feed: Types, Metabolism, Health Consequences in Swine and Mitigation Strategies. *Toxins*, 14(12), 853. <https://doi.org/10.3390/toxins14120853>
9. Vulić, A., Kudumija, N., Šegvić-Bubić, T., & Lešić, T. (2025). Mycotoxins in Fish Aquaculture-Occurrence and Future Perspective. *Foods (Basel, Switzerland)*, 14(24), 4301. <https://doi.org/10.3390/foods14244301>
10. Koletsis, P., Schrama, J. W., Graat, E. A. M., Wiegertjes, G. F., Lyons, P., & Pietsch, C. (2021). The Occurrence of Mycotoxins in Raw Materials and Fish Feeds in Europe and the Potential Effects of Deoxynivalenol (DON) on the Health and Growth of Farmed Fish Species – A Review. *Toxins*, 13(6), 403. <https://doi.org/10.3390/toxins13060403>
11. Pietsch, C., Kersten, S., Burkhardt-Holm, P., Valenta, H., & Dänicke, S. (2013). Occurrence of deoxynivalenol and zearalenone in commercial fish feed: An initial study. *Toxins*, 5(1), 184–192. <https://doi.org/10.3390/toxins5010184>
12. European Commission. (2006). Commission Recommendation 2006/576/EC on the presence of deoxynivalenol, zearalenone, ochratoxin A, T-2 and HT-2 and fumonisins in products intended for animal feeding. *Official J of the European Union*, L229, 7–9.
13. Marín-Sáez, J., Álvarez-Romero, M., López-Ruiz, R., García-Campaña, A. M., Sáez, M. I., Gámiz-Gracia, L., Garrido Frenich, A., & Hernández-Mesa, M. (2025). Simultaneous determination of mycotoxins and pesticides by UHPLC-HRMS in aquaculture feed from intensive farms. *Microchemical J*, 219, 116043. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2025.116043>
14. Waśkiewicz, A., Gromadzka, K., Bocianowski, J., Pluta, P., & Goliński, P. (2012). Zearalenone contamination of the aquatic environment as a result of its presence in crops. *Arhiv za Higijenu Rada i Toksikologiju*, 63(4), 429–434. <https://doi.org/10.2478/10004-1254-63-2012-2183>

15. Deng, Y., Wang, Y., Deng, Q., Sun, L., Wang, R., Wang, X., Liao, J., & Gooneratne, R. (2020). Simultaneous quantification of aflatoxin B₁, T-2 toxin, ochratoxin A and deoxynivalenol in dried seafood products by LC-MS/MS. *Toxins*, 12(8), 488. <https://doi.org/10.3390/toxins12080488>
16. Deng, Y., Wang, Y., Deng, Q., Sun, L., Wang, R., Ye, L., & Gooneratne, R. (2021). Fungal diversity and mycotoxin contamination in dried fish products in Zhanjiang market, China. *Food Control*, 121, 107614. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107614>
17. Meucci, V., Armani, A., Tinacci, L., Guardone, L., Battaglia, F., & Intorre, L. (2021). Natural occurrence of ochratoxin A (OTA) in edible and non-edible tissue of farmed gilthead seabream (*Sparus aurata*) and European seabass (*Dicentrarchus labrax*) sold on the Italian market. *Food Control*, 120, 107537. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107537>
18. Manning, B. B., Li, M. H., Robinson, E. H., Gaunt, P. S., Camus, A. C., & Rottinghaus, G. E. (2003). Response of channel catfish to diets containing T-2 toxin. *J of Aquatic Animal Health*, 15(3), 229–238. <https://doi.org/10.1577/H03-019>
19. Supamattaya, K., Sukrakanchana, N., Boonyaratpalin, M., et al. (2005). Effects of ochratoxin A and deoxynivalenol on growth performance and immune-physiological parameters in black tiger shrimp (*Penaeus monodon*). *Songklanakarin J of Sci and Technology*, 27, 91–99.
20. Pleadin, J., Frece, J., Lešić, T., Zadravec, M., Vahčić, N., Malenica Staver, M., & Markov, K. (2017). Deoxynivalenol and zearalenone in unprocessed cereals and soybean from different cultivation regions in Croatia. *Food additives & Contaminants. Part B, Surveillance*, 10(4), 268–274. <https://doi.org/10.1080/19393210.2017.1345991>
21. El-Sayed, Y. S., & Khalil, R. H. (2009). Toxicity, biochemical effects and residue of aflatoxin B₁ in marine water-reared sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Food and chemical toxicology: an Intern J Published for the British Industrial Biological Research Association*, 47(7), 1606–1609. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.04.008>
22. Nomura, H., Ogiso, M., Yamashita, M., Takaku, H., Kimura, A., Chikasou, M., Nakamura, Y., Fujii, S., Watai, M., & Yamada, H. (2011). Uptake by dietary exposure and elimination of aflatoxins in muscle and liver of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J of Agricultural and Food Chemistry*, 59(9), 5150–5158. <https://doi.org/10.1021/jf1047354>
23. Deng, S.-X., Tian, L.-X., Liu, F.-J., et al. (2010). Toxic effects and residue of aflatoxin B₁ in tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) during long-term dietary exposure. *Aquaculture*, 307(3–4), 233–240. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.07.029>
24. Tuan, N. A., Grizzle, J. M., Lovell, R. T., Manning, B. B., & Rottinghaus, G. E. (2002). Growth and hepatic lesions of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing aflatoxin B₁. *Aquaculture*, 212(1–4), 311–319. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00021-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00021-2)
25. Selim, K. M., El-Hofy, H., & Khalil, R. H. (2014). The efficacy of three mycotoxin adsorbents to alleviate aflatoxin B₁-induced toxicity in *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture International*, 22(2), 523–540. <https://doi.org/10.1007/s10499-013-9661-6>
26. Lumlertdacha, S., Lovell, R. T., Shelby, R. A., Lenz, S. D., & Kempainen, B. W. (1995). Growth, hematology, and histopathology of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fed toxins from *Fusarium Moniliforme*. *Aquaculture*, 130(2–3), 201–218. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)00219-E](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00219-E)
27. Sahoo, P. K., Chattopadhyay, S. K., & Sikdar, A. (1996). Immunosuppressive effects of induced aflatoxicosis in rabbits. *J of Applied Animal Research*, 9(1), 17–26. <https://doi.org/10.1080/09712119.1996.9706100>
28. Mohapatra, S., Sahu, N. P., Pal, A. K., Prusty, A. K., Kumar, V., & Kumar, S. (2011). Haemato-immunology and histo-architectural changes in *Labeo rohita* fingerlings: effect of dietary aflatoxin and mould inhibitor. *Fish Physiology and Biochemistry*, 37(1), 177–186. <https://doi.org/10.1007/s10695-010-9428-1>
29. Huang, Y., Han, D., Xiao, X., et al. (2014). Effect of dietary aflatoxin B₁ on growth, fecundity and tissue accumulation in gibel carp during the stage of gonad development. *Aquaculture*, 428–429, 236–242. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.03.010>
30. Sepahdari, A., Ebrahimzadeh Mosavi, H. A., Sharifpour, I., et al. (2010). Effects of different dietary levels of AFB₁ on survival rate and growth factors of Beluga (*Huso huso*). *Iranian J of Fisheries Sci*, 9(1), 141–150.
31. Jantrarotai, W., & Lovell, R. T. (1990). Subchronic toxicity of dietary aflatoxin B₁ to channel catfish. *J of Aquatic Animal Health*, 2(4), 248–254. [https://doi.org/10.1577/1548-8667\(1990\)002](https://doi.org/10.1577/1548-8667(1990)002)

32. Chávez-Sánchez, M. C., Martínez Palacios, C. A., & Osorio Moreno, I. (1994). Pathological effects of feeding young *Oreochromis niloticus* diets supplemented with different levels of aflatoxin B₁. *Aquaculture*, 127(1), 49–60. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90191-0](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90191-0)
33. El-Banna, R., Teleb, H. M., Hadi, M. M., & Fakhry, F. M. (1992). Performance and tissue residue of tilapias fed dietary aflatoxin. *Vet Medical J*, 40(3), 17–23.
34. Marijani, E., Kigadye, E., & Okoth, S. (2019). Occurrence of Fungi and Mycotoxins in Fish Feeds and Their Impact on Fish Health. *Intern J of Microbiology*, 2019, 6743065. <https://doi.org/10.1155/2019/6743065>
35. Sahoo, P. K., Mukherjee, S. C., Nayak, S. K., & Dey, S. (2001). Acute and subchronic toxicity of aflatoxin B₁ to rohu, *Labeo rohita* (Hamilton). *Indian J of Experimental Biology*, 39, 453–458.
36. Abdel Rahman, A. N., Abdellatief, S. A., & Mahboub, H. H. H. (2017). Protection of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, from aflatoxin B₁ toxicity by dietary supplementation with fennel essential oil and *Saccharomyces Cerevisiae*. *Egyptian J of Aquatic Research*, 43, 235–240.
37. Adeyemo, B. T., Tihamiyu, L. O., Ayuba, V. O., Musa, S., & Odo, J. (2018). Effects of dietary mixed aflatoxin B₁ and fumonisin B₁ on growth performance and haematology of juvenile *Clarias gariepinus* catfish. *Aquaculture*, 491, 190–196.
38. Huang, Y., Han, D., Zhou, X., Yang, Y., Jin, J., Chen, Y., & Xie, S. (2011). Response and recovery of gibel carp from subchronic oral administration of aflatoxin B₁. *Aquaculture*, 319, 89–97.
39. Ayyat, D. M., Abd Rhman, G. A., El-Marakby, H. I., Mahmoud, H. K., & Hessian, A. A. (2013). Reduction of aflatoxin toxicity in Nile tilapia fish. *Egyptian J of Nutrition and Feeds*, 16, 469–479.
40. Hussain, D., Mateen, A., & Gatlin, D. M. (2017). Alleviation of aflatoxin B₁ (AFB₁) toxicity by calcium bentonite clay: Effects on growth performance, condition indices and bioaccumulation of AFB₁ residues in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 475, 8–15.
41. Rajeev Raghavan, P., Zhu, X., Lei, W., Han, D., Yang, Y., & Xie, S. (2011). Low levels of aflatoxin B₁ could cause mortalities in juvenile hybrid sturgeon, *Acipenser ruthenus* ♂ × *A. baeri* ♀. *Aquaculture Nutrition*, 17, e39–e47.
42. Suzy, S. K., Thomas, E. E., Raphael, K. J., Christelle, T. T., Peguy, T. A., & Joseph, T. (2017). Effect of aflatoxin B₁ on growth performance of *Clarias gariepinus* fry (Burchell, 1822) in West Cameroon. *Intern J of Agriculture and Agricultural Research*, 10, 33–41.
43. Gomes, L. A., de Godoy, S. H. S., de Castro Burbarelli, M. F., Chaguri, M. P., de Sousa, R. L. M., & Fernandes, A. M. (2021). Fish feed mycobiota and aflatoxins in round fish tissue. *J of the Sci of Food and Agriculture*, 102, 1391–1396.
44. Wang, R., Zhang, Q., Chen, G., Kou, R., Zhang, C., Wang, Y., Wang, J., Huang, Y., & Chen, C. (2025). Mechanistic insights into ferroptosis and apoptosis pathways: Synergistic effects of multi-organ toxicity and transgenerational effects induced by co-exposure of epoxiconazole and aflatoxin B₁ in zebrafish. *J of Advanced Research*, 77, 155–172. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2025.01.020>
45. Kwok, A., Domingos, J. A., Oh, J., Chan, P., Ong, J. J. L., Nankervis, L., Ling, J., Nichol, R., & Gibson-Kueh, S. (2025). The Pathology and Blood Biochemistry of Juvenile *Lates calcarifer* on Diets Contaminated With Mycotoxins, Histamines and Rancid Fats-A Case Study. *J of Fish Diseases*, 48(9), e14034. <https://doi.org/10.1111/jfd.14034>
46. Godoy, A. C., Ziemniczak, H. M., Fantini-Hoag, L., da Silva, W. V., Ferreira, A. C. V., Saturnino, K. C., Neu, D. H., Gandra, J. R., de Padua Pereira, U., & Honorato, C. A. (2024). The effects of probiotic-based additives on aflatoxin intoxication in *Piaractus mesopotamicus*: a study of liver histology and metabolic performance. *Vet Research Communications*, 48(4), 2281–2294. <https://doi.org/10.1007/s11259-024-10409-w>
47. Sherif, A. H., & Zommara, M. A. (2024). Selenium Nanoparticles Ameliorate Adverse Impacts of Aflatoxin in Nile Tilapia with Special Reference to *Streptococcus agalactiae* Infection. *Biological Trace Element Research*, 202(10), 4767–4777. <https://doi.org/10.1007/s12011-023-04031-1>
48. An, X., Di, S., Wang, X., Cao, C., Wang, D., Chen, L., & Wang, Y. (2024). Combined toxicity of aflatoxin B₁ and tebuconazole to the embryo development of zebrafish (*Danio rerio*). *Chemosphere*, 346, 140612. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140612>

49. He, X. N., Zeng, Z. Z., Wu, P., Jiang, W. D., Liu, Y., Jiang, J., Kuang, S. Y., Tang, L., Feng, L., & Zhou, X. Q. (2022). Dietary Aflatoxin B1 attenuates immune function of immune organs in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) by modulating NF- κ B and the TOR signaling pathway. *Frontiers in Immunology*, 13, 1027064. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.1027064>
50. Di Paola, D., Iaria, C., Capparucci, F., Arangia, A., Crupi, R., Cuzzocrea, S., Spanò, N., Gugliandolo, E., & Peritore, A. F. (2022). Impact of Mycotoxin Contaminations on Aquatic Organisms: Toxic Effect of Aflatoxin B1 and Fumonisin B1 Mixture. *Toxins*, 14(8), 518. <https://doi.org/10.3390/toxins14080518>
51. Jiao, S., Shen, Z., Fang, Q., Liu, X., Hao, Y., Kong, Y., Peng, S., Li, M., & Wang, G. (2025). Dietary aflatoxin B1 exposure induced the inflammation and apoptosis in freshwater fish (*Channa argus*) via disturbing ROS/ERS signaling axis. *Comparative Biochemistry and Physiology. Toxicology & Pharmacology: CBP*, 296, 110227. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2025.110227>
52. Schwartz, P., Thorpe, K. L., Bucheli, T. D., Wettstein, F. E., & Burkhardt-Holm, P. (2010). Short-term exposure to the environmentally relevant estrogenic mycotoxin zearalenone impairs reproduction in fish. *The Sci of the Total Environment*, 409(2), 326–333. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.10.017>
53. Bakos, K., Kovács, R., Staszny, Á., Sipos, D. K., Urbányi, B., Müller, F., Csenki, Z., & Kovács, B. (2013). Developmental toxicity and estrogenic potency of zearalenone in zebrafish (*Danio rerio*). *Aquatic Toxicology (Amsterdam, Netherlands)*, 136–137, 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2013.03.004>
54. Woźny, M., Obremski, K., Jakimiuk, E., Gusiati, M., & Brzuzan, P. (2013). Zearalenone contamination in rainbow trout farms in north-eastern Poland. *Aquaculture*, 416, 209–211.
55. Woźny, M., Dobosz, S., Hliwa, P., Gomułka, P., Król, J., Obremski, K., Blahová, J., Svobodová, Z., Michalik, O., & Ocalewicz, K. (2020). Feed-borne exposure to zearalenone impairs reproduction of rainbow trout. *Aquaculture*, 528, 735522.
56. Pietsch, C., Kersten, S., Valenta, H., Dänicke, S., Schulz, C., Burkhardt-Holm, P., & Junge, R. (2015). Effects of dietary exposure to zearalenone (ZEN) on carp (*Cyprinus carpio* L.). *Toxins*, 7, 3465–3480.
57. Bittner, M., Brzuzan, P., & Woźny, M. (2026). Occurrence of mycotoxins in fish feed and its consequences for aquaculture with special regard to the role of insect products. *Mycotoxin Research*, 42(1), 20. <https://doi.org/10.1007/s12550-025-00628-8>
58. Xu, T., Xiong, Y., Zhou, M., Wang, M., Xing, D., Zhang, J., Wang, B., & Xu, Y. (2025). Zearalenone (ZEN) impairs motor function and induces neurotoxicity via inflammatory pathways: Evidence from zebrafish models and molecular docking studies. *Comparative biochemistry and physiology. Toxicology & Pharmacology: CBP*, 294, 110194. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2025.110194>
59. Luo, R., Wang, B., & Luo, R. (2025). Zearalenone delays tissue regeneration by dysregulating neutrophil balance in zebrafish (*Danio rerio*) larvae. *Comparative biochemistry and physiology. Toxicology & Pharmacology: CBP*, 289, 110105. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2024.110105>
60. Zhang, H. Y., Zhou, X. Q., Jiang, W. D., Wu, P., Liu, Y., Ren, H. M., Jin, X. W., Zhang, R. N., Li, H., Mi, H. F., Zhang, L., & Feng, L. (2024). Reversing Zearalenone Toxicity: The Role of Hydroxytyrosol in Zebrafish. *J of Agricultural and Food Chemistry*, 72(46), 25905–25918. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c05615>
61. Annunziato, M., Bashirova, N., Eeza, M. N. H., Lawson, A., Benetti, D., Stieglitz, J. D., Matysik, J., Alia, A., & Berry, J. P. (2023). High-Resolution Magic Angle Spinning (HRMAS) NMR Identifies Oxidative Stress and Impairment of Energy Metabolism by Zearalenone in Embryonic Stages of Zebrafish (*Danio rerio*), Olive Flounder (*Paralichthys olivaceus*) and Yellowtail Snapper (*Ocyurus chrysurus*). *Toxins*, 15(6), 397. <https://doi.org/10.3390/toxins15060397>
62. Cang, T., Wu, C., Chen, C., Liu, C., Song, W., Yu, Y., & Wang, Y. (2023). Impacts of co-exposure to zearalenone and trifloxystrobin on the enzymatic activity and gene expression in zebrafish. *Ecotoxicology and Environmental safety*, 256, 114860. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114860>
63. Duan, H., Tian, Y., Li, Z., & Han, A. (2025). DON affects the proliferation of zebrafish PAC2 fibroblasts by binding to ribosomes, reducing DNA replication, arresting the cell

cycle and interfering with mitosis. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 303, 118776. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118776>

64. Yao, F., Du, Y., Wang, Y., Wang, L., Zhu, R., Cai, C., Shao, S., & Zhou, T. (2024). Acute toxicity of deoxynivalenol and bioremediation of a highly effective deoxynivalenol degrading *Achromobacter spanius* P-9 on zebrafish embryos and adults. *Chemosphere*, 364, 143111. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143111>

65. Koletsi, P., Wiegertjes, G. F., Graat, E. A. M., de Kool, M., Lyons, P., & Schrama, J. W. (2023). Individual and combined effects of deoxynivalenol (DON) with other *Fusarium* mycotoxins on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growth performance and health. *Mycotoxin Research*, 39(4), 405–420. <https://doi.org/10.1007/s12550-023-00496-0>

66. Mello, F. V., Pereira, C., Özkan, B., Maulvault, A. L., Soares, F., Pousão-Ferreira, P., Fernandes, J. O., Cunha, S. C., Marques, A., & Anacleto, P. (2025). Toxicological Responses of Juvenile Gilthead Seabream to Enniatin B and Fumonisin B1. *Intern J of Molecular Sci*, 26(12), 5676. <https://doi.org/10.3390/ijms26125676>

67. Chen, D., Jiang, W., Wu, P., Liu, Y., Ren, H., Jin, X., Zhou, X., & Feng, L. (2025). Mechanism of fumonisin B1 on growth performance and intestinal structural integrity of juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Animal Nutrition (Zhongguo xu mu shou yi xue hui)*, 21, 193–206. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2024.11.023>

68. Csenki, Z., Bartók, T., Bock, I., Horváth, L., Lemli, B., Zsidó, B. Z., Angeli, C., Hetényi, C., Szabó, I., Urbányi, B., Kovács, M., & Poór, M. (2023). Interaction of Fumonisin B1, N-Palmitoyl-Fumonisin B1, 5-O-Palmitoyl-Fumonisin B1, and Fumonisin B4 Mycotoxins with Human Serum Albumin and Their Toxic Impacts on Zebrafish Embryos. *Biomolecules*, 13(5), 755. <https://doi.org/10.3390/biom13050755>

69. Hooft, J. M., Elmor, A. E. H. I., Encarnação, P., & Bureau, D. P. (2011). Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) is extremely sensitive to the feed-borne *Fusarium* mycotoxin deoxynivalenol (DON). *Aquaculture*, 311(1–4), 224–232. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.11.049>

70. Manning, B. B., Abbas, H. K., Wise, D. J., et al. (2013). The effect of feeding diets containing deoxynivalenol-contaminated corn on channel catfish (*Ictalurus punctatus*) challenged with *Edwardsiella ictaluri*. *Aquaculture Research*, 45, 1782–1786. <https://doi.org/10.1111/are.12123>

71. Tola, S., Bureau, D. P., Hooft, J. M., Beamish, F. W., Sulyok, M., Krska, R., Encarnação, P., & Petkam, R. (2015). Effects of Wheat Naturally Contaminated with *Fusarium* Mycotoxins on Growth Performance and Selected Health Indices of Red Tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*). *Toxins*, 7(6), 1929–1944. <https://doi.org/10.3390/toxins7061929>

72. Sanden, M., Jørgensen, S., Hemre, G. I., Ørnsrud, R., & Sissener, N. H. (2012). Zebrafish (*Danio rerio*) as a model for investigating dietary toxic effects of deoxynivalenol contamination in aquaculture feeds. *Food and chemical toxicology: an Intern J Published for the British Industrial Biological Research Association*, 50(12), 4441–4448. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.08.042>

73. Pietsch, C., Michel, C., Kersten, S., Valenta, H., Dänicke, S., Schulz, C., Kloas, W., & Burkhardt-Holm, P. (2014). *In vivo* effects of deoxynivalenol (DON) on innate immune responses of carp (*Cyprinus carpio* L.). *Food and chemical toxicology: an Intern J Published for the British Industrial Biological Research Association*, 68, 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2014.03.012>

74. Yildirim, M., Manning, B. B., Lovell, R. T., Grizzle, J. M., & Rottinghaus, G. E. (2000). Toxicity of moniliformin and fumonisin B₁ fed singly and in combination in diets for young channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *J of the World Aquaculture Society*, 31(4), 599–608. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2000.tb00909.x>

75. Manning, B. B., Ulloa, R. M., Li, M. H., Robinson, E. H., & Rottinghaus, G. E. (2003). Ochratoxin A fed to channel catfish (*Ictalurus punctatus*) causes reduced growth and lesions of hepatopancreatic tissue. *Aquaculture*, 219(1–4), 739–750. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00033-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00033-4)

76. Tuan, N. A., Manning, B. B., Lovell, R. T., & Rottinghaus, G. E. (2003). Responses of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing different concentrations of moniliformin or fumonisin B₁. *Aquaculture*, 217(1–4), 515–528. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00268-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00268-5)

77. Bernhoft, A., Høgåsen, H. R., Rosenlund, G., Ivanova, L., Berntssen, M. H., Alexander, J., Eriksen, G. H., & Fæste, C. K. (2017). Tissue distribution and elimination of

deoxynivalenol and ochratoxin A in dietary-exposed Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Food Additives & Contaminants: Part A*, 34(7), 1211–1224.

78. Tolosa, J., Font, G., Mañes, J., & Ferrer, E. (2014). Natural occurrence of emerging *Fusarium* mycotoxins in feed and fish from aquaculture. *J of Agricultural and Food Chemistry*, 62(51), 12462–12470. <https://doi.org/10.1021/jf5036838>

79. Tolosa, J., Font, G., Mañes, J., & Ferrer, E. (2017). Mitigation of enniatins in edible fish tissues by thermal processes and identification of degradation products. *Food and Chemical Toxicology: an Intern J Published for the British Industrial Biological Research Association*, 101, 67–74. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.12.039>

80. Scott, P. M., Zhao, W., Feng, S., & Lau, B. P. (2012). *Alternaria* toxins alternariol and alternariol monomethyl ether in grain foods in Canada. *Mycotoxin Research*, 28(4), 261–266. <https://doi.org/10.1007/s12550-012-0141-z>

81. Marin, D. E., Grosu, I. A., Pistol, G. C., Bulgaru, C. V., Perte, A. M., & Taranu, I. (2024). The Combined Effect of Two *Alternaria* Mycotoxins (Alternariol and Alternariol Monomethyl Ether) on Porcine Epithelial Intestinal Cells. *Agriculture*, 14(9), 1478. <https://doi.org/10.3390/agriculture14091478>

82. Ferrer, E., Juan-García, A., Font, G., & Ruiz, M. J. (2009). Reactive oxygen species induced by beauvericin, patulin and zearalenone in CHO-K1 cells. *Toxicology in vitro: an international journal published in association with BIBRA*, 23(8), 1504–1509. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2009.07.009>

83. Prosperini, A., Juan-García, A., Font, G., & Ruiz, M. J. (2013). Beauvericin-induced cytotoxicity via ROS production and mitochondrial damage in Caco-2 cells. *Toxicology Letters*, 222(2), 204–211. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2013.07.005>

84. Mallebrera, B., Font, G., & Ruiz, M. J. (2014). Disturbance of antioxidant capacity produced by beauvericin in CHO-K1 cells. *Toxicology Letters*, 226(3), 337–342. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2014.02.023>

85. Lin, H. I., Lee, Y. J., Chen, B. F., Tsai, M. C., Lu, J. L., Chou, C. J., & Jow, G. M. (2005). Involvement of Bcl-2 family, cytochrome c and caspase 3 in induction of apoptosis by beauvericin in human non-small cell lung cancer cells. *Cancer Letters*, 230(2), 248–259. <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2004.12.044>

86. Wätjen, W., Debbab, A., Hohlfeld, A., Chovolou, Y., & Proksch, P. (2014). The mycotoxin beauvericin induces apoptotic cell death in H4IIE hepatoma cells accompanied by an inhibition of NF-κB-activity and modulation of MAP-kinases. *Toxicology Letters*, 231(1), 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2014.08.021>

87. Juan-García, A., Tolosa, J., Juan, C., & Ruiz, M. J. (2019). Cytotoxicity, Genotoxicity and Disturbance of Cell Cycle in HepG2 Cells Exposed to OTA and BEA: Single and Combined Actions. *Toxins*, 11(6), 341. <https://doi.org/10.3390/toxins11060341>

88. Knutsen, H. K., Åkesson, A., Bampidis, V., Bodin, L., Chipman, J. K., Degen, G., Hernández-Jerez, A., Hofer, T., Hogstrand, C., Landi, S., ... (2024). Genotoxicity of beauvericin. *EFSA J*, 22, e9031.

89. Meca, G., Font, G., & Ruiz, M. J. (2011). Comparative cytotoxicity study of enniatins A, A₁, A₂, B, B₁, B₄ and J₃ on Caco-2 cells, Hep-G₂ and HT-29. *Food and chemical toxicology: an Intern J Published for the British Industrial Biological Research Association*, 49(9), 2464–2469. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.05.020>

90. Prosperini, A., Juan-García, A., Font, G., & Ruiz, M. J. (2013). Reactive oxygen species involvement in apoptosis and mitochondrial damage in Caco-2 cells induced by enniatins A, A₁, B and B₁. *Toxicology Letters*, 222(1), 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2013.07.009>

91. Fernández-Blanco, C., Font, G., & Ruiz, M. J. (2016). Interaction effects of enniatin B, deoxynivalenol and alternariol in Caco-2 cells. *Toxicology Letters*, 241, 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2015.11.005>

92. Jonsson, M., Jestoi, M., Anthoni, M., Welling, A., Loivamaa, I., Hallikainen, V., Kankainen, M., Lysøe, E., Koivisto, P., & Peltonen, K. (2016). *Fusarium* mycotoxin enniatin B: Cytotoxic effects and changes in gene expression profile. *Toxicology in vitro: an international journal published in association with BIBRA*, 34, 309–320. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2016.04.017>

93. Krug, I., Behrens, M., Esselen, M., & Humpf, H.-U. (2018). Transport of enniatin B and enniatin B1 across the blood–brain barrier and hints for neurotoxic effects in cerebral cells. *PLoS ONE*, 13, e0197406.

94. De Felice, B., Spicer, L. J., & Caloni, F. (2023). Enniatin B1: Emerging Mycotoxin and Emerging Issues. *Toxins*, 15(6), 383. <https://doi.org/10.3390/toxins15060383>
95. Bertero, A., Fossati, P., Tedesco, D. E. A., & Caloni, F. (2020). Beauvericin and Enniatins: *In Vitro* Intestinal Effects. *Toxins*, 12(11), 686. <https://doi.org/10.3390/toxins12110686>
96. den Hollander, D., Holvoet, C., Demeyere, K., De Zutter, N., Audenaert, K., Meyer, E., & Croubels, S. (2022). Cytotoxic Effects of Alternariol, Alternariol Monomethyl-Ether, and Tenuazonic Acid and Their Relevant Combined Mixtures on Human Enterocytes and Hepatocytes. *Frontiers in Microbiology*, 13, 849243. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.849243>
97. Urbanek, K. A., Kowalska, K., Habrowska-Górczyńska, D. E., Koziel, M. J., Domińska, K., & Piastowska-Ciesielska, A. W. (2023). Revealing the Role of Alternariol in the Local Steroidogenesis in Human Prostate Normal and Cancer Cells. *Intern J of Molecular Sci*, 24(11), 9513. <https://doi.org/10.3390/ijms24119513>
98. Lin, H., Jia, B., & Wu, A. (2023). Cytotoxicities of Co-occurring alternariol, alternariol monomethyl ether and tenuazonic acid on human gastric epithelial cells. *Food and chemical toxicology : an Intern J Published for the British Industrial Biological Research Association*, 171, 113524. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2022.113524>
99. Mahmoud, M. M., Abdel-Razek, A. S., Soliman, H. S. M., Ponomareva, L. V., Thorson, J. S., Shaaban, K. A., & Shaaban, M. (2021). Diverse polyketides from the marine endophytic *Alternaria* sp. LV52: Structure determination and cytotoxic activities. *Biotechnology Reports (Amsterdam, Netherlands)*, 33, e00628. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2021.e00628>

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Omotayo O. P., Omotayo A. O., Mwanza M., Babalola O. O. Prevalence of Mycotoxins and Their Consequences on Human Health. *Toxicological Research*. 2019. Vol. 35(1). P. 1–7. <https://doi.org/10.5487/TR.2019.35.1.001>
2. Lorusso P., Rusco G., Manfredi A., Iaffaldano N., Di Pinto A., Bonerba E. Emerging Mycotoxins in Aquaculture: Current Insights on Toxicity, Biocontrol Strategies, and Occurrence in Aquafeed and Fish. *Toxins*. 2025. Vol. 17(7). Article 356. <https://doi.org/10.3390/toxins17070356>
3. Awuchi C. G., Ondari E. N., Ogbonna C. U., Upadhyay A. K., Baran K., Okpala C. O. R., Korzeniowska M., Guiné R. P. F. Mycotoxins Affecting Animals, Foods, Humans, and Plants: Types, Occurrence, Toxicities, Action Mechanisms, Prevention, and Detoxification Strategies-A Revisit. *Foods (Basel, Switzerland)*. 2021. Vol. 10(6). Article 1279. <https://doi.org/10.3390/foods10061279>
4. Eskola M., Kos G., Elliott C. T., Hajšlová J., Mayar S., Krska R. Worldwide contamination of food-crops with mycotoxins: Validity of the widely cited “FAO estimate” of 25 %. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020. Vol. 60(16). P. 2773–2789. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1658570>
5. Casu A., Camardo Leggieri M., Toscano P., Battilani P. Changing climate, shifting mycotoxins: A comprehensive review of climate change impact on mycotoxin contamination. *Comprehensive reviews in food science and food safety*. 2024. Vol. 23(2). Article e13323. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13323>
6. Berthiller F., Crews C., Dall'Asta C., De Saeger S., Haesaert G., Karlovsky P., Oswald I. P., Seefelder W., Speijers G., Stroka J. Masked mycotoxins: A review. *Molecular Nutrition & Food Research*. 2013. Vol. 57(1). P. 165–186. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201100764>
7. Oliveira M., Vasconcelos V. Occurrence of Mycotoxins in Fish Feed and Its Effects: A Review. *Toxins*. 2020. Vol. 12(3). Article 160. <https://doi.org/10.3390/toxins12030160>
8. Popescu R. G., Rădulescu A. L., Georgescu S. E., Dinischiotu A. Aflatoxins in Feed: Types, Metabolism, Health Consequences in Swine and Mitigation Strategies. *Toxins*. 2022. Vol. 14(12). Article 853. <https://doi.org/10.3390/toxins14120853>
9. Vulić A., Kudumija N., Šegvić-Bubić T., Lešić T. Mycotoxins in Fish Aquaculture-Occurrence and Future Perspective. *Foods (Basel, Switzerland)*. 2025. Vol. 14(24). Article 4301. <https://doi.org/10.3390/foods14244301>
10. Koletsi P., Schrama J. W., Graat E. A. M., Wiegertjes G. F., Lyons P., Pietsch C. The Occurrence of Mycotoxins in Raw Materials and Fish Feeds in Europe and the Potential

Effects of Deoxynivalenol (DON) on the Health and Growth of Farmed Fish Species – A Review. *Toxins*. 2021. Vol. 13(6). Article 403. <https://doi.org/10.3390/toxins13060403>

11. Pietsch C., Kersten S., Burkhardt-Holm P., Valenta H., Dänicke S. Occurrence of deoxynivalenol and zearalenone in commercial fish feed: An initial study. *Toxins*. 2013. Vol. 5(1). P. 184–192. <https://doi.org/10.3390/toxins5010184>

12. European Commission. Commission Recommendation 2006/576/EC on the presence of deoxynivalenol, zearalenone, ochratoxin A, T-2 and HT-2 and fumonisins in products intended for animal feeding. *Official J of the European Union*. 2006. L229, 7–9.

13. Marín-Sáez J., Álvarez-Romero M., López-Ruiz R., García-Campaña A. M., Sáez M. I., Gámiz-Gracia L., Garrido Frenich A., Hernández-Mesa M. Simultaneous determination of mycotoxins and pesticides by UHPLC-HRMS in aquaculture feed from intensive farms. *Microchemical J.* 2025. Vol. 219. Article 116043. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2025.116043>

14. Waśkiewicz A., Gromadzka K., Bocianowski J., Pluta P., Goliński P. Zearalenone contamination of the aquatic environment as a result of its presence in crops. *Arhiv za Higijenu Rada i Toksikologiju*. 2012. Vol. 63(4). P. 429–434. <https://doi.org/10.2478/10004-1254-63-2012-2183>

15. Deng Y., Wang Y., Deng Q., Sun L., Wang R., Wang X., Liao J., Gooneratne R. Simultaneous quantification of aflatoxin B1, T-2 toxin, ochratoxin A and deoxynivalenol in dried seafood products by LC-MS/MS. *Toxins*. 2020. Vol. 12(8). Article 488. <https://doi.org/10.3390/toxins12080488>

16. Deng Y., Wang Y., Deng Q., Sun L., Wang R., Ye L., Gooneratne R. Fungal diversity and mycotoxin contamination in dried fish products in Zhanjiang market, China. *Food Control*. 2021. Vol. 121. Article 107614. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107614>

17. Meucci V., Armani A., Tinacci L., Guardone L., Battaglia F., Intorre L. Natural occurrence of ochratoxin A (OTA) in edible and non-edible tissue of farmed gilthead seabream (*Sparus aurata*) and European seabass (*Dicentrarchus labrax*) sold on the Italian market. *Food Control*. 2021. Vol. 120. Article 107537. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107537>

18. Manning B. B., Li M. H., Robinson E. H., Gaunt P. S., Camus A. C., Rottinghaus G. E. Response of channel catfish to diets containing T-2 toxin. *J of Aquatic Animal Health*. 2003. Vol. 15(3). P. 229–238. <https://doi.org/10.1577/H03-019>

19. Supamattaya K., Sukrakanchana N., Boonyaratpalin M., et al. Effects of ochratoxin A and deoxynivalenol on growth performance and immune-physiological parameters in black tiger shrimp (*Penaeus monodon*). *Songklanakarin J of Sci and Technology*. 2005. Vol. 27. P. 91–99.

20. Pleadin J., Frece J., Lešić T., Zadavec M., Vahčić N., Malenica Staver M., Markov K. Deoxynivalenol and zearalenone in unprocessed cereals and soybean from different cultivation regions in Croatia. *Food additives & Contaminants. Part B, Surveillance*. 2017. Vol. 10(4). Article 268–274. <https://doi.org/10.1080/19393210.2017.1345991>

21. El-Sayed Y. S., Khalil R. H. Toxicity, biochemical effects and residue of aflatoxin B(1) in marine water-reared sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Food and chemical toxicology: an Intern J Published for the British Industrial Biological Research Association*. 2009. Vol. 47(7). P. 1606–1609. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.04.008>

22. Nomura H., Ogiso M., Yamashita M., Takaku H., Kimura A., Chikasou M., Nakamura Y., Fujii S., Watai M., Yamada H. Uptake by dietary exposure and elimination of aflatoxins in muscle and liver of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J of Agricultural and Food Chemistry*. 2011. Vol. 59(9). P. 5150–5158. <https://doi.org/10.1021/jf1047354>

23. Deng S.-X., Tian L.-X., Liu F.-J., et al. Toxic effects and residue of aflatoxin B1 in tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) during long-term dietary exposure. *Aquaculture*. 2010. Vol. 307(3–4). P. 233–240. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.07.029>

24. Tuan N. A., Grizzle J. M., Lovell R. T., Manning B. B., Rottinghaus G. E. Growth and hepatic lesions of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing aflatoxin B1. *Aquaculture*. 2002. Vol. 212(1–4). P. 311–319. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00021-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00021-2)

25. Selim K. M., El-Hofy H., Khalil R. H. The efficacy of three mycotoxin adsorbents to alleviate aflatoxin B1-induced toxicity in *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture International*. 2014. Vol. 22(2). P. 523–540. <https://doi.org/10.1007/s10499-013-9661-6>

26. Lumlertdacha S., Lovell R. T., Shelby R. A., Lenz S. D., Kemppainen B. W. Growth, hematology, and histopathology of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fed toxins from

- Fusarium Moniliforme*. *Aquaculture*. 1995. Vol. 130(2–3). P. 201–218. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)00219-E](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00219-E)
27. Sahoo P. K., Chattopadhyay S. K., Sikdar A. Immunosuppressive effects of induced aflatoxicosis in rabbits. *J of Applied Animal Research*. 1996. Vol. 9(1). P. 17–26. <https://doi.org/10.1080/09712119.1996.9706100>
28. Mohapatra S., Sahu N. P., Pal A. K., Prusty A. K., Kumar V., Kumar S.. Haemato-immunology and histo-architectural changes in *Labeo rohita* fingerlings: effect of dietary aflatoxin and mould inhibitor. *Fish Physiology and Biochemistry*. 2011. Vol. 37(1). P. 177–186. <https://doi.org/10.1007/s10695-010-9428-1>
29. Huang Y., Han D., Xiao X., et al. Effect of dietary aflatoxin B1 on growth, fecundity and tissue accumulation in gibel carp during the stage of gonad development. *Aquaculture*. 2014. Vol. 428–429. P. 236–242. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.03.010>
30. Sepahdari A., Ebrahimzadeh Mosavi H. A., Sharifpour I. et al.. Effects of different dietary levels of AFB₁ on survival rate and growth factors of Beluga (*Huso huso*). *Iranian J of Fisheries Sci*. 2010. Vol. 9(1). P. 141–150.
31. Jantrarotai W., Lovell R. T. Subchronic toxicity of dietary aflatoxin B₁ to channel catfish. *Journal of Aquatic Animal Health*. 1990. Vol. 2(4). P. 248–254. [https://doi.org/10.1577/1548-8667\(1990\)002](https://doi.org/10.1577/1548-8667(1990)002)
32. Chávez-Sánchez M. C., Martínez Palacios C. A., Osorio Moreno I. Pathological effects of feeding young *Oreochromis niloticus* diets supplemented with different levels of aflatoxin B₁. *Aquaculture*. 1994. Vol. 127(1). P. 49–60. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90191-0](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90191-0)
33. El-Banna R., Teleb H. M., Hadi M. M., Fakhry F. M. Performance and tissue residue of tilapias fed dietary aflatoxin. *Vet Medical J*. 1992. Vol. 40(3). P. 17–23.
34. Marijani E., Kigadye E., Okoth S. Occurrence of Fungi and Mycotoxins in Fish Feeds and Their Impact on Fish Health. *International J of Microbiology*. 2019. Article 6743065. <https://doi.org/10.1155/2019/6743065>
35. Sahoo P. K., Mukherjee S. C., Nayak S. K., Dey S. Acute and subchronic toxicity of aflatoxin B1 to rohu, *Labeo rohita* (Hamilton). *Indian J of Experimental Biology*. 2001. Vol. 39. P. 453–458.
36. Abdel Rahman A. N., Abdellatif S. A., Mahboub H. H. H. Protection of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, from aflatoxin B1 toxicity by dietary supplementation with fennel essential oil and *Saccharomyces Cerevisiae*. *Egyptian J of Aquatic Research*. 2017. Vol. 43. P. 235–240.
37. Adeyemo B. T., Tihamiyu L. O., Ayuba V. O., Musa S., Odo J. Effects of dietary mixed aflatoxin B1 and fumonisin B1 on growth performance and haematology of juvenile *Clarias gariepinus* catfish. *Aquaculture*. 2018. Vol. 491. P. 190–196.
38. Huang Y., Han D., Zhou X., Yang Y., Jin J., Chen Y., Xie S. Response and recovery of gibel carp from subchronic oral administration of aflatoxin B1. *Aquaculture*. 2011. Vol. 319. P. 89–97.
39. Ayyat D. M., Abd Rhman G. A., El-Marakby H. I., Mahmoud H. K., Hessian A. A. Reduction of aflatoxin toxicity in Nile tilapia fish. *Egyptian J of Nutrition and Feeds*. 2013. Vol. 16. P. 469–479.
40. Hussain D., Mateen A., Gatlin D. M. Alleviation of aflatoxin B1 (AFB1) toxicity by calcium bentonite clay: Effects on growth performance, condition indices and bioaccumulation of AFB1 residues in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*. 2017. Vol. 475. P. 8–15.
41. Rajeev Raghavan P., Zhu X., Lei W., Han D., Yang Y., Xie S. Low levels of aflatoxin B1 could cause mortalities in juvenile hybrid sturgeon, *Acipenser ruthenus* ♂ × *A. baeri* ♀. *Aquaculture Nutrition*. 2011. Vol. 17. Article e39–e47.
42. Suzy S. K., Thomas E. E., Raphael K. J., Christelle T. T., Peguy T. A., Joseph T. Effect of aflatoxin B1 on growth performance of *Clarias gariepinus* fry (Burchell, 1822) in West Cameroon. *Intern J of Agriculture and Agricultural Research*. 2017. Vol. 10. P. 33–41.
43. Gomes L. A., de Godoy S. H. S., de Castro Burbarelli M. F., Chaguri M. P., de Sousa R. L. M., Fernandes A. M. Fish feed mycobiota and aflatoxins in round fish tissue. *J of the Sci of Food and Agriculture*. 2021. Vol. 102. P. 1391–1396.
44. Wang R., Zhang Q., Chen G., Kou R., Zhang C., Wang Y., Wang J., Huang Y., Chen C. Mechanistic insights into ferroptosis and apoptosis pathways: Synergistic effects of multi-organ toxicity and transgenerational effects induced by co-exposure of epoxiconazole and

- aflatoxin B1 in zebrafish. *J of Advanced Research*. 2025. Vol. 77. P. 155–172. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2025.01.020>
45. Kwok, A., Domingos, J. A., Oh, J., Chan, P., Ong, J. J. L., Nankervis, L., Ling, J., Nichol, R., & Gibson-Kueh, S. (2025). The Pathology and Blood Biochemistry of Juvenile *Lates calcarifer* on Diets Contaminated With Mycotoxins, Histamines and Rancid Fats-A Case Study. *J of Fish Diseases*, 48(9), e14034. <https://doi.org/10.1111/jfd.14034>
46. Godoy A. C., Ziemniczak H. M., Fantini-Hoag L., da Silva W. V., Ferreira A. C. V., Saturnino K. C., Neu D. H., Gandra J. R., de Padua Pereira U., Honorato C. A. The effects of probiotic-based additives on aflatoxin intoxication in *Piaractus mesopotamicus*: a study of liver histology and metabolic performance. *Vet Research Communications*. 2024. Vol. 48(4). P. 2281–2294. <https://doi.org/10.1007/s11259-024-10409-w>
47. Sherif A. H., Zommara M. A. Selenium Nanoparticles Ameliorate Adverse Impacts of Aflatoxin in Nile Tilapia with Special Reference to *Streptococcus agalactiae* Infection. *Biological Trace Element Research*. 2024. Vol. 202(10). P. 4767–4777. <https://doi.org/10.1007/s12011-023-04031-1>
48. An X., Di S., Wang X., Cao C., Wang D., Chen L., Wang Y. Combined toxicity of aflatoxin B1 and tebuconazole to the embryo development of zebrafish (*Danio rerio*). *Chemosphere*. 2024. Vol. 346. Article 140612. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140612>
49. He X. N., Zeng Z. Z., Wu P., Jiang W. D., Liu Y., Jiang J., Kuang S. Y., Tang L., Feng L., Zhou X. Q. Dietary Aflatoxin B1 attenuates immune function of immune organs in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) by modulating NF-κB and the TOR signaling pathway. *Frontiers in Immunology*. 2022. Vol. 13. Article 1027064. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.1027064>
50. Di Paola D., Iaria C., Capparucci F., Arangia A., Crupi R., Cuzzocrea S., Spanò N., Gugliandolo E., Peritore A. F. Impact of Mycotoxin Contaminations on Aquatic Organisms: Toxic Effect of Aflatoxin B1 and Fumonisin B1 Mixture. *Toxins*. 2022. Vol. 14(8). Article 518. <https://doi.org/10.3390/toxins14080518>
51. Jiao S., Shen Z., Fang Q., Liu X., Hao Y., Kong Y., Peng S., Li M., Wang G. Dietary aflatoxin B1 exposure induced the inflammation and apoptosis in freshwater fish (*Channa argus*) via disturbing ROS/ERS signaling axis. *Comparative biochemistry and physiology. Toxicology & Pharmacology: CBP*. 2025. Vol. 296. Article 110227. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2025.110227>
52. Schwartz P., Thorpe K. L., Bucheli T. D., Wettstein F. E., Burkhardt-Holm P. Short-term exposure to the environmentally relevant estrogenic mycotoxin zearalenone impairs reproduction in fish. *The Sci of the Total Environment*. 2010. Vol. 409(2). P. 326–333. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.10.017>
53. Bakos K., Kovács R., Staszny Á., Sipos D. K., Urbányi B., Müller F., Csenki Z., Kovács B. Developmental toxicity and estrogenic potency of zearalenone in zebrafish (*Danio rerio*). *Aquatic Toxicology (Amsterdam, Netherlands)*. 2013. Vol. 136–137. P. 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2013.03.004>
54. Woźny M., Obremski K., Jakimiuk E., Gusiatiń M., Brzuzan P. Zearalenone contamination in rainbow trout farms in north-eastern Poland. *Aquaculture*. 2013. Vol. 416. P. 209–211.
55. Woźny M., Dobosz S., Hliwa P., Gomułka P., Król J., Obremski K., Blahová J., Svobodová Z., Michalik O., Ocalewicz K. Feed-borne exposure to zearalenone impairs reproduction of rainbow trout. *Aquaculture*. 2020. Vol. 528. Article 735522.
56. Pietsch C., Kersten S., Valenta H., Dänicke S., Schulz C., Burkhardt-Holm P., Junge R. Effects of dietary exposure to zearalenone (ZEN) on carp (*Cyprinus carpio* L.). *Toxins*. 2015. Vol. 7. P. 465–3480.
57. Bittner M., Brzuzan P., Woźny M. Occurrence of mycotoxins in fish feed and its consequences for aquaculture with special regard to the role of insect products. *Mycotoxin Research*. 2026. Vol. 42(1). Article 20. <https://doi.org/10.1007/s12550-025-00628-8>
58. Xu T., Xiong Y., Zhou M., Wang M., Xing D., Zhang J., Wang B., Xu Y. Zearalenone (ZEN) impairs motor function and induces neurotoxicity via inflammatory pathways: Evidence from zebrafish models and molecular docking studies. *Comparative biochemistry and physiology. Toxicology & Pharmacology: CBP*. 2025. Vol. 294. Article 110194. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2025.110194>

59. Luo R., Wang B., Luo R. Zearalenone delays tissue regeneration by dysregulating neutrophil balance in zebrafish (*Danio rerio*) larvae. *Comparative biochemistry and physiology. Toxicology & Pharmacology: CBP*. 2025. Vol. 289. Article 110105. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2024.110105>
60. Zhang H. Y., Zhou X. Q., Jiang W. D., Wu P., Liu Y., Ren H. M., Jin X. W., Zhang R. N., Li H., Mi H. F., Zhang L., Feng L. Reversing Zearalenone Toxicity: The Role of Hydroxytyrosol in Zebrafish. *J of Agricultural and Food Chemistry*. 2024. Vol. 72(46). Article 25905–25918. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c05615>
61. Annunziato M., Bashirova N., Eeza M. N. H., Lawson A., Benetti D., Stieglitz J. D., Matysik J., Alia A., Berry J. P. High-Resolution Magic Angle Spinning (HRMAS) NMR Identifies Oxidative Stress and Impairment of Energy Metabolism by Zearalenone in Embryonic Stages of Zebrafish (*Danio rerio*), Olive Flounder (*Paralichthys olivaceus*) and Yellowtail Snapper (*Ocyurus chrysurus*). *Toxins*. 2023. Vol. 15(6). Article 397. <https://doi.org/10.3390/toxins15060397>
62. Cang T., Wu C., Chen C., Liu C., Song W., Yu Y., Wang Y. Impacts of co-exposure to zearalenone and trifloxystrobin on the enzymatic activity and gene expression in zebrafish. *Ecotoxicology and Environmental safety*. 2023. Vol. 256. Article 114860. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114860>
63. Duan H., Tian Y., Li Z., Han A. DON affects the proliferation of zebrafish PAC2 fibroblasts by binding to ribosomes, reducing DNA replication, arresting the cell cycle and interfering with mitosis. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2025. Vol. 303. Article 118776. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118776>
64. Yao F., Du Y., Wang Y., Wang L., Zhu R., Cai C., Shao S., Zhou T. Acute toxicity of deoxynivalenol and bioremediation of a highly effective deoxynivalenol degrading *Achromobacter spanius* P-9 on zebrafish embryos and adults. *Chemosphere*. 2024. Vol. 364. Article 143111. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143111>
65. Koletsi P., Wiegertjes G. F., Graat E. A. M., de Kool M., Lyons P., Schrama J. W. Individual and combined effects of deoxynivalenol (DON) with other *Fusarium* mycotoxins on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) growth performance and health. *Mycotoxin Research*. 2023. Vol. 39(4). P. 405–420. <https://doi.org/10.1007/s12550-023-00496-0>
66. Mello F. V., Pereira C., Özkan B., Maulvault A. L., Soares F., Pousão-Ferreira P., Fernandes J. O., Cunha S. C., Marques A., Anacleto P. Toxicological Responses of Juvenile Gilthead Seabream to Enniatin B and Fumonisin B1. *Intern J of Molecular Sci*. 2025. Vol. 26(12). Article 5676. <https://doi.org/10.3390/ijms26125676>
67. Chen D., Jiang W., Wu P., Liu Y., Ren H., Jin X., Zhou X., Feng L. Mechanism of fumonisin B1 on growth performance and intestinal structural integrity of juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Animal Nutrition (Zhongguo xu mu shou yi xue hui)*, 2025. Vol. 1. P. 193–206. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2024.11.023>
68. Csenki Z., Bartók T., Bock I., Horváth L., Lemli B., Zsidó B. Z., Angeli C., Hetényi C., Szabó I., Urbányi B., Kovács M., Poór M. Interaction of Fumonisin B1, N-Palmitoyl-Fumonisin B1, 5-O-Palmitoyl-Fumonisin B1, and Fumonisin B4 Mycotoxins with Human Serum Albumin and Their Toxic Impacts on Zebrafish Embryos. *Biomolecules*. 2023. Vol. 13(5). Article 755. <https://doi.org/10.3390/biom13050755>
69. Hooft J. M., Elmor A. E. H. I., Encarnação P., Bureau D. P. Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) is extremely sensitive to the feed-borne *Fusarium* mycotoxin deoxynivalenol (DON). *Aquaculture*. 2011. Vol. 311(1–4). P. 224–232. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.11.049>
70. Manning B. B., Abbas H. K., Wise D. J., et al. The effect of feeding diets containing deoxynivalenol-contaminated corn on channel catfish (*Ictalurus punctatus*) challenged with *Edwardsiella ictaluri*. *Aquaculture Research*. 2013. Vol. 45. P. 1782–1786. <https://doi.org/10.1111/are.12123>
71. Tola S., Bureau D. P., Hooft J. M., Beamish F. W., Sulyok M., Krska R., Encarnação P., Petkam R. Effects of Wheat Naturally Contaminated with *Fusarium* Mycotoxins on Growth Performance and Selected Health Indices of Red Tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus*). *Toxins*. 2015. Vol. 7(6). P. 1929–1944. <https://doi.org/10.3390/toxins7061929>
72. Sanden M., Jørgensen S., Hemre G. I., Ørnsrud R., Sissener N. H. Zebrafish (*Danio rerio*) as a model for investigating dietary toxic effects of deoxynivalenol contamination in aquaculture feeds. *Food and chemical toxicology: an Intern J Published for the British*

Industrial Biological Research Association. 2012. Vol. 50(12). P. 4441–4448. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.08.042>,

73. Pietsch C., Michel C., Kersten S., Valenta H., Dänicke S., Schulz C., Kloas W., Burkhardt-Holm P. *In vivo* effects of deoxynivalenol (DON) on innate immune responses of carp (*Cyprinus carpio* L.). *Food and chemical toxicology: an Intern J Published for the British Industrial Biological Research Association*. 2014. Vol. 68. P. 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2014.03.012>

74. Yildirim M., Manning B. B., Lovell R. T., Grizzle J. M., Rottinghaus G. E. Toxicity of moniliformin and fumonisin B₁ fed singly and in combination in diets for young channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *J of the World Aquaculture Society*. 2000. Vol. 31(4). P. 599–608. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2000.tb00909.x>

75. Manning B. B., Ulloa R. M., Li M. H., Robinson E. H., Rottinghaus G. E. Ochratoxin A fed to channel catfish (*Ictalurus punctatus*) causes reduced growth and lesions of hepatopancreatic tissue. *Aquaculture*. 2003. Vol. 219(1–4). P. 739–750. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00033-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00033-4)

76. Tuan N. A., Manning B. B., Lovell R. T., Rottinghaus G. E. Responses of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing different concentrations of moniliformin or fumonisin B₁. *Aquaculture*. 2003. Vol. 217(1–4). P. 515–528. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00268-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00268-5)

77. Bernhoft A., Høgåsen H. R., Rosenlund G., Ivanova L., Berntssen M. H., Alexander J., Eriksen G. H., Fæste C. K. Tissue distribution and elimination of deoxynivalenol and ochratoxin A in dietary-exposed Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Food Additives & Contaminants: Part A*. 2017. Vol. 34(7). P. 1211–1224.

78. Tolosa J., Font G., Mañes J., Ferrer E. Natural occurrence of emerging *Fusarium* mycotoxins in feed and fish from aquaculture. *J of Agricultural and Food Chemistry*. 2014. Vol. 62(51). P. 12462–12470. <https://doi.org/10.1021/jf5036838>

79. Tolosa J., Font G., Mañes J., Ferrer E. Mitigation of enniatins in edible fish tissues by thermal processes and identification of degradation products. *Food and chemical toxicology: an Intern J Published for the British Industrial Biological Research Association*. 2017. Vol. 101. P. 67–74. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.12.039>

80. Scott P. M., Zhao W., Feng S., Lau B. P. *Alternaria* toxins alternariol and alternariol monomethyl ether in grain foods in Canada. *Mycotoxin Research*. 2012. Vol. 28(4). P. 261–266. <https://doi.org/10.1007/s12550-012-0141-z>

81. Marin D. E., Grosu I. A., Pistol G. C., Bulgaru C. V., Perteu A. M., Taranu I. The Combined Effect of Two *Alternaria* Mycotoxins (Alternariol and Alternariol Monomethyl Ether) on Porcine Epithelial Intestinal Cells. *Agriculture*. 2024. Vol. 14(9). Article 1478. <https://doi.org/10.3390/agriculture14091478>

82. Ferrer E., Juan-García A., Font G., Ruiz M. J. Reactive oxygen species induced by beauvericin, patulin and zearalenone in CHO-K1 cells. *Toxicology in vitro: an international journal published in association with BIBRA*. 2009. Vol. 23(8). P. 1504–1509. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2009.07.009>

83. Prosperini A., Juan-García A., Font G., Ruiz M. J. Beauvericin-induced cytotoxicity via ROS production and mitochondrial damage in Caco-2 cells. *Toxicology Letters*. 2013. Vol. 222(2). P. 204–211. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2013.07.005>

84. Mallebrera B., Font G., Ruiz M. J. Disturbance of antioxidant capacity produced by beauvericin in CHO-K1 cells. *Toxicology Letters*. 2014. Vol. 226(3). P. 337–342. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2014.02.023>

85. Lin H. I., Lee Y. J., Chen B. F., Tsai M. C., Lu J. L., Chou C. J., Jow G. M. Involvement of Bcl-2 family, cytochrome c and caspase 3 in induction of apoptosis by beauvericin in human non-small cell lung cancer cells. *Cancer Letters*. 2005. Vol. 230(2). P. 248–259. <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2004.12.044>

86. Wätjen W., Debbab A., Hohlfeld A., Chovolou Y., Proksch P. The mycotoxin beauvericin induces apoptotic cell death in H4IIE hepatoma cells accompanied by an inhibition of NF-κB-activity and modulation of MAP-kinases. *Toxicology Letters*. 2014. Vol. 231(1). P. 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2014.08.021>

87. Juan-García A., Tolosa J., Juan C., Ruiz M. J. Cytotoxicity, Genotoxicity and Disturbance of Cell Cycle in HepG2 Cells Exposed to OTA and BEA: Single and Combined Actions. *Toxins*. 2019. Vol. 11(6). Article 341. <https://doi.org/10.3390/toxins11060341>

88. Knutsen H. K., Åkesson A., Bampidis V., Bodin L., Chipman J. K., Degen G., Hernández-Jerez A., Hofer T., Hogstrand C., Landi S. Genotoxicity of beauvericin. *EFSA J*, 2024. Vol. 22. Article e9031.
89. Meca G., Font G., Ruiz M. J. Comparative cytotoxicity study of enniatins A, A₁, A₂, B, B₁, B₄ and J₃ on Caco-2 cells, Hep-G₂ and HT-29. *Food and chemical toxicology: an Intern J Published for the British Industrial Biological Research Association*. 2011. Vol. 49(9). P. 2464–2469. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.05.020>
90. Prosperini A., Juan-García A., Font G., Ruiz M. J. Reactive oxygen species involvement in apoptosis and mitochondrial damage in Caco-2 cells induced by enniatins A, A₁, B and B₁. *Toxicology Letters*, 2013. Vol. 222(1). P. 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2013.07.009>
91. Fernández-Blanco C., Font G., Ruiz M. J. Interaction effects of enniatin B, deoxinivalenol and alternariol in Caco-2 cells. *Toxicology Letters*. 2016. Vol. 241. P. 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2015.11.005>
92. Jonsson M., Jestoi M., Anthoni M., Welling A., Loivamaa I., Hallikainen V., Kankainen M., Lysøe E., Koivisto P., Peltonen K. *Fusarium* mycotoxin enniatin B: Cytotoxic effects and changes in gene expression profile. *Toxicology in vitro: an Intern J Published in association with BIBRA*. 2016. Vol. 34. P. 309–320. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2016.04.017>
93. Krug I., Behrens M., Esselen M., Humpf H.-U. Transport of enniatin B and enniatin B1 across the blood–brain barrier and hints for neurotoxic effects in cerebral cells. *PLoS ONE*. 2018. Vol. 13. Article e0197406.
94. De Felice B., Spicer L. J., Caloni F. Enniatin B1: Emerging Mycotoxin and Emerging Issues. *Toxins*. 2023. Vol. 15(6). Article 383. <https://doi.org/10.3390/toxins15060383>
95. Bertero A., Fossati P., Tedesco D. E. A., Caloni F. Beauvericin and Enniatins: *In Vitro* Intestinal Effects. *Toxins*. 2020. Vol. 12(11). Article 686. <https://doi.org/10.3390/toxins12110686>
96. den Hollander D., Holvoet C., Demeyere K., De Zutter N., Audenaert K., Meyer E., Croubels S. Cytotoxic Effects of Alternariol, Alternariol Monomethyl-Ether, and Tenuazonic Acid and Their Relevant Combined Mixtures on Human Enterocytes and Hepatocytes. *Frontiers in Microbiology*. 2022. Vol. 13. Article 849243. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.849243>
97. Urbanek K. A., Kowalska K., Habrowska-Górczyńska D. E., Koziel M. J., Domińska K., Piastowska-Ciesielska A. W. Revealing the Role of Alternariol in the Local Steroidogenesis in Human Prostate Normal and Cancer Cells. *Intern J of Molecular Sci*. 2023. Vol. 24(11). Article 9513. <https://doi.org/10.3390/ijms24119513>
98. Lin H., Ji B., Wu A. Cytotoxicities of Co-occurring alternariol, alternariol monomethyl ether and tenuazonic acid on human gastric epithelial cells. *Food and chemical toxicology : an Intern J Published for the British Industrial Biological Research Association*. 2023. Vol. 171. Article 113524. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2022.113524>
99. Mahmoud M. M., Abdel-Razek A. S., Soliman H. S. M., Ponomareva L. V., Thorson J. S., Shaaban K. A., Shaaban M. Diverse polyketides from the marine endophytic *Alternaria* sp. LV52: Structure determination and cytotoxic activities. *Biotechnology Reports (Amsterdam, Netherlands)*. 2021. Vol. 33. Article e00628. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2021.e00628>

ЗАБРУДНЕННЯ МІКОТОКСИНАМИ В СИСТЕМАХ АКВАКУЛЬТУРИ: ДЖЕРЕЛА, ТОКСИКОЛОГІЧНІ ЕФЕКТИ ТА НАСЛІДКИ ДЛЯ БЕЗПЕКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Марина Ячна¹, Наталія Кургалюк², Галина Ткаченко²

¹Національний університет "Чернігівський колегіум" імені Т.Г. Шевченка, Чернігів, Україна
<https://ror.org/024ykzk09>

²Інститут біології, Поморський університет у Слупську, Слупськ, Польща;
<https://ror.org/00h8nar58>

Анотація. Мікотоксини – це токсичні вторинні метаболіти, що продукуються мікроскопічними (пліснявими) грибами та часто контамінують рослинні компоненти кормів, які використовуються в аквакультурі. Постійна заміна рибного борошна та риб'ячого жиру зерновими й олійними культурами підвищує ризик хронічного впливу на рибу множинних мікотоксинів. Цей огляд має на меті надати стислий аналіз проблеми контамінації

мікотоксинами в системах аквакультури. У роботі узагальнено дані щодо поширення, шляхів надходження, токсикокінетики та біологічних ефектів основних регульованих мікотоксинів, таких як афлатоксин В1, дезоксиніваленон, зеараленон, фумонізиди та охратоксин А, а також нових сполук, зокрема боверицину, енніатинів і токсинів роду *Alternaria*. Хоча фактори довкілля та технологічні процеси також можуть сприяти контамінації, корм визначено як основне джерело забруднення. Мікотоксини характеризуються обмеженим транспортуванням у тканини риб, при цьому печінка є основним місцем їх накопичення та біотрансформації; водночас рівень залишків у м'язах залишається відносно низьким, але все ще важливим з точки зору безпеки харчових продуктів. Токсичні ефекти мають багатобактерний характер і включають оксидативний стрес, апоптоз, порушення імунної регуляції, ендокринні порушення та метаболічні розлади. Зростає кількість доказів, що підкреслюють важливість комбінованого впливу, за якого адитивні або синергічні взаємодії можуть посилювати токсичність. Дослідження нових і модифікованих («маскованих») мікотоксинів залишається недостатнім, особливо в умовах *in vivo*, що ускладнює оцінку ризику. **Висновки:** Покращення моніторингу, глибше розуміння комбінованої токсичності та гармонізація нормативних обмежень є необхідними. Розробка ефективних стратегій мінімізації ризиків є ключовою для забезпечення сталого розвитку аквакультури та безпеки харчових продуктів, особливо в умовах зростаючої залежності від рослинних кормів.

Ключові слова: мікотоксини; аквакультура; здоров'я риб; оксидативний стрес; кумуляція в тканинах; харчова безпека; токсичність сумішей; оцінка ризику

For citation (APA Style):

Yachna, M., Kurhaluk, N., & Tkaczenko, H. (2026). Mycotoxin Contamination in Aquaculture Systems: Sources, Toxicological Effects and Implications for Food Safety. *Svynarstvo i Ahropromyslove Vyrobnystvo* [Pig Breeding and Agroindustrial Production]. Poltava, 7(85), 107–135 [in Ukrainian]. [https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7\(85\)9](https://doi.org/10.37143/2786-7730-2026-7(85)9)

Використання штучного інтелекту (ШІ):

Автори заявляють про використання генеративного ШІ у процесі дослідження та підготовки рукопису. Відповідно до таксономії GAIDeT (2025), наведені нижче завдання були делеговані інструментам генеративного ШІ за повного людського нагляду: переклад, реформатування. Використаний інструмент генеративного ШІ: ChatGPT-5.

Відомості про авторів:

Yachna Maryna, Senior Lecturer in the Department of Biology and Human Health, T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium", Ukraine

Tkaczenko Halyna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Vice-Director of Institute of Biology, Institute of Biology, Pomeranian University in Słupsk, Słupsk, Poland

Kurhaluk Natalia, Doctor of Biological Sciences, Professor, Institute of Biology, Institute of Biology, Pomeranian University in Słupsk, Słupsk, Poland