

2025

SCIENTIFIC

Progress & Innovations



Vol. 28
Nº3



Scientific Progress & Innovations

УДК 001

До 2022 року журнал виходив під назвою «Вісник Полтавської державної аграрної академії». У 2023 році журнал перереєстровано та перейменовано на «Scientific Progress and Innovation»

Засновник, редакція, видавець:

Полтавський державний аграрний університет.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції:
Серія ДК № 7933 від 13.09.2023 року

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації:
Серія КВ № 25459-15399 ПР від 09.03.2023 року

Рік заснування: 1998

Мова видання:
українська, англійська

Рекомендовано до друку та поширення через мережу Інтернет Вченою радою Полтавського державного аграрного університету
(протокол № 1 від 23 вересня 2025 року)

Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення № 1554
Ідентифікатор медіа – R30-03924

Науковий журнал включено до категорії Б Переліку наукових фахових видань України,

у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та доктора філософії з сільськогосподарських, ветеринарних та технічних наук (наказ Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020 р. та № 866 від 02.07.2020 р.)

101 – Екологія; 162 – Біотехнології та біоінженерія;
201 – Агрономія; 202 – Захист і карантин рослин;
204 – Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва; 211 – Ветеринарна медицина;
212 – Ветеринарна гігієна, санітарія і експертиза;
208 – Агроінженерія

Журнал представлено у міжнародних наукометричних базах даних, репозитаріях та пошукових системах:

Index Copernicus International, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), Directory of open access scholarly resources (ROAD), Національна бібліотека України імені В.І.Вернадського, Національна наукова сільськогосподарська бібліотека НААН, Scientific & Scholarly Research Database (Scilit), Dimensions, Open Ukrainian Citation Index (OUCI), Google Scholar, Fatcat, Wikidata, Crossref, Електронний репозитарій Полтавського державного аграрного університету

Адреса редакції:

Полтавський державний аграрний університет,
36003, вул. Сковороди, 1/3, м. Полтава, Україна
e-mail: visnyk@pdau.edu.ua
http://www.pdau.edu.ua
https://doi.org/10.31210

UDC 001

Until 2022, the journal was published under the name "Bulletin of Poltava State Agrarian Academy". In 2023, the journal was re-registered and renamed "Scientific Progress and Innovation"

Founder, Editorial and Publisher:

Poltava State Agrarian University
Certificate of making a publishing house subject to the state register of publishers, manufacturers and distributors of publishing products:
Series DC No. 7933 of September 13, 2023

Certificate of state registration print mass media:
Series KV No. 25459-15399 PR of March 09, 2023

Year of foundation: 1998

Language edition:
Ukrainian, English

Recommended for printing and distribution via the Internet by the Academic Council of Poltava State Agrarian University
(Minutes No. 1 of September 23, 2025)

Decision of the National Council of Television and Radio Broadcasting of Ukraine No. 1554
Media identifier – R30-03924

The scientific journal is included in category B of the List of scientific professional publications of Ukraine, in which the results of thesis papers for Doctor of Sciences, Candidate of Sciences, and Ph.D degrees in agricultural, veterinary, and technical sciences (Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine No. 409 of March 17, 2020 and №886 July 02, 2020)

101 – Ecology; 162 – Biotechnology and Bioengineering;
201 – Agronomy; 202 – Plant Protection and Quarantine;
204 – Technology of Production and Processing of Livestock Products; 211 – Veterinary Medicine;
212 – Veterinary hygiene, sanitation and examination;
208 – Agricultural Engineering

The journal is presented international scientometric databases, repositories and scientific systems:

Index Copernicus International, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), Directory of open access scholarly resources (ROAD), Vernadsky National Library of Ukraine, National Scientific Agricultural Library, Scientific & Scholarly Research Database (Scilit), Dimensions, Open Ukrainian Citation Index (OUCI), Google Scholar, Fatcat, Wikidata, Crossref, Electronic repository of Poltava State Agrarian University

Editorial address:

Poltava State Agrarian University,
36003, 1/3, Skovorody str., Poltava, Ukraine
e-mail: visnyk@pdau.edu.ua
http://www.pdau.edu.ua
https://doi.org/10.31210

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Засновано 10 рудня 1998 р.
Періодичність випуску: 4 рази на рік

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Голова Редакційної ради

В. І. АРАНЧІЙ, к. екон. наук (Україна)

Головний редактор

О. О. ГОРБ, к. с.-г. наук, (Україна)

Заступники голови Редакційної ради

М. С. САМОЙЛІК, д. екон. наук, (Україна)

Т. О. ЧАЙКА, к. екон. наук (Україна)

Заступник головного редактора

П. В. ПИСАРЕНКО, д. с.-г. наук, (Україна)

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ

Редакційна колегія з галузі СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО:

А. ДОЛГАНЬЧУК-ШЬРУДКА, док. габ. (Польща)

А. В. КАЛІНІЧЕНКО, д. с.-г. наук, (Україна, Польща)

І. В. КОРОТКОВА, к. хім. наук (Україна)

В. Ю. КРИКУНОВА, к. хім. наук (Україна)

М. М. МАРЕНИЧ, д. с.-г. наук, (Україна)

Н. М. ОПАРА, к. с.-г. наук, (Україна)

В. М. ПИСАРЕНКО, д. с.-г. наук, (Україна)

А. А. ПОЛЩУК, д. с.-г. наук, (Україна)

С. В. ПОСПЕЛОВ, д. с.-г. наук, (Україна)

М. РАЙФУР, док. габ (Польща)

Т. П. РОМАШКО, к. хім. наук (Україна)

А. О. ТАРАНЕНКО, к. с.-г. наук, (Україна)

А. М. ШОСТЯ, д. с.-г. наук, (Україна)

Редакційна колегія з галузі ВЕТЕРИНАРНА МЕДИЦИНА:

А. А. АНТИПОВ, к. вет. наук (Україна)

В. П. БЕРДНИК, д. вет. н. (Україна)

О. О. БОЙКО, к. біол. наук (Україна)

О. Б. ГРЕБЕНЬ, к. біол. наук (Україна)

В. О. ЄВСТАФ'ЄВА, д. вет. н. (Україна)

Б. П. КИРИЧКО, д. вет. н. (Україна)

Л. М. КОРЧАН, к. вет. наук (Україна)

О. В. КРУЧИНЕНКО, д. вет. наук (Україна)

Т. А. КУЗЬМІНА, к. біол. наук (Україна)

С. М. КУЛИНИЧ, д. вет. н. (Україна)

Т. П. ЛОКЕС-КРУПКА, к. вет. наук (Україна)

В. В. МЕЛЬНИЧУК, д. вет. наук (Україна)

О. Б. ПРИЙМА, к. вет. наук (Україна)

Редакційна колегія з галузі ТЕХНІЧНІ НАУКИ:

О. В. ГОРИК, д. тех. наук (Україна)

І. А. ДУДНИКОВ, к. тех. наук (Україна)

С. Б. КОВАЛЬЧУК, д. тех. наук (Україна)

О. М. КОСТЕНКО, д. тех. наук (Україна)

В. М. САКАЛО, к. тех. наук (Україна)

В. О. СУКМАНОВ, д. тех. наук (Україна)

В. О. ШЕЙЧЕНКО, д. тех. наук (Україна)

Члени Ради почесних членів:

А. БРЗОЗОВСКА, д. екон. наук (Польща)

З. ДАЦКО-ПІКІЄВІЧ, док. габ. (Польща)

О. ПЕРЕХОЖУК, д. екон. наук (Німеччина)

В. М. САМОРОДОВ, заслужений винахідник України (Україна)

Назва, концепція, зміст і дизайн «*Scientific Progress & Innovations*» є інтелектуальною власністю Полтавського державного аграрного університету й охороняється Законом України «Про авторські та суміжні права». Матеріали друкуються мовою оригіналу. У разі передрукування посилання на «*Scientific Progress & Innovations*» є обов'язковим.

Редакція залишає за собою право на редагування текстів, яке не змінює позиції автора.

Автор несе відповідальність за фактичний виклад матеріалу.

SCIENTIFIC JOURNAL

Year of establishment: Since December 10, 1998.
Publication frequency: 4 times a year

EDITORIAL BOARD

Chief of Editorial Council

V. I. ARANCHIY, Cand. Econ. Sci. (Ukraine)

Editor-in-chief

O. O. GORB, Cand. Agr. Sci. (Ukraine)

Deputy Head of Editorial Council

M. S. SAMOILIK, Dr. Econ. Sci. (Ukraine)

T. O. CHAIKA, Cand. Econ. Sci. Professor (Ukraine)

Deputy Chief Editor

P. V. PYSARENKO, Dr. Agr. Sci. (Ukraine)

MEMBERS OF THE EDITORIAL COUNCIL

Editorial board in the field of AGRICULTURE:

A. DOLHANCZUK-SRODKA, Dr. hab. (Poland)

A. V. KALINICHENKO, Dr. Econ. Sci. (Ukraine, Poland)

I. V. KOROTKOVA, Cand. Chem. Sci. (Ukraine)

V. YU. KRYKUNOVA, Cand. Chem. Sci. (Ukraine)

M. M. MARENYCH, Dr. Agr. Sci. (Ukraine)

N. M. OPARA, Cand. Agr. Sci. (Ukraine)

V. M. PYSARENKO, Dr. Agr. Sci. (Ukraine)

A. A. POLISHCHUK, Dr. Agr. Sci. (Ukraine)

S. V. POSPIELOV, Dr. Agr. Sci. (Ukraine)

M. RAJFUR, Dr. hab. (Poland)

T. P. ROMASHKO, Cand. Chem. Sci. (Ukraine)

A. O. TARANENKO, Cand. Agr. Sci. (Ukraine)

A. M. SHOSTIA, Dr. Agr. Sci. (Ukraine)

Editorial Board in the field of VETERINARY MEDICINE:

A. A. ANTIPOV, Cand. Vet. Sci. (Ukraine)

V. P. BERDNYK, Dr. Vet. Sci. (Ukraine)

O. O. BOYKO, Cand. Biol. Sci. (Ukraine)

O. B. GREBEN, Cand. Biol. Sci. (Ukraine)

V. O. YEVSTAFIEVA, Dr. Vet. Sci. (Ukraine)

B. P. KYRYCHKO, Dr. Vet. Sci. (Ukraine)

L. M. KORCHAN, Cand. Vet. Sci. (Ukraine)

O. V. KRUCHYNYENKO, Dr. Vet. Sci. (Ukraine)

T. A. KUZMINA, Cand. Biol. Sci. (Ukraine)

S. M. KULYNYCH, Dr. Vet. Sci. (Ukraine)

T. P. LOKES-KRUPKA, Cand. Vet. Sci. (Ukraine)

V. V. MELNYCHUK, Dr. Vet. Sci. (Ukraine)

O. B. PRIJMA, Cand. Vet. Sci. (Ukraine)

Editorial Board in the field of TECHNICAL SCIENCES:

O. V. HORYK, Dr. Tech. Sci. (Ukraine)

I. A. DUDNIKOV, Cand. Tech. Sci. (Ukraine)

S. B. KOVALCHUK, Dr. Tech. Sci. (Ukraine)

O. M. KOSTENKO, Dr. Tech. Sci. (Ukraine)

V. M. SAKALO, Cand. Tech. Sci. (Ukraine)

V. O. SUKMANOV, Dr. Tech. Sci. (Ukraine)

V. O. SHEICHENKO, Dr. Tech. Sci. (Ukraine)

Members of Council:

A. BRZOZOWSKA, Dr. Econ. Sci. (Poland)

Z. DACKO-PIKIEWICZ, Dr. hab. (Poland)

O. PEREKHOZHUK, Dr. Econ. Sci. (Germany)

V. M. SAMORODOV, Honored inventor of Ukraine (Ukraine)

The title, conception, content, and design of the “*Scientific Progress & Innovations*” are intellectual property of Poltava State Agrarian University and are protected by the Law of Ukraine “On Copyright and Related Rights.” Materials are published in original language. In case of reprinting, the reference to the “*Scientific Progress & Innovations*” is compulsory.

Editorial stuff reserves the right to edit the texts without changing author's attitude.

The author is responsible for the factual account of material.

Котелевич В. А., Пінський О. В., Гуральська С. В., Гончаренко В. В., Буднік Т. С. Ветеринарно-санітарна оцінка якості та безпеки продовольчої сировини і харчових продуктів в Житомирській області у 2024 році	175	Kotelevych V., Pinsky O., Huralska S., Honcharenko V., Budnik T. Veterinary and sanitary assessment of the quality and safety of food raw materials and products in the Zhytomyr region, 2024
Панасова Т. Г., Киричко Б. П. Особливості лікування молочних корів за субклінічного ендометриту	181	Panasova T., Kyrychko B. The peculiarities of dairy cows' treatment for subclinical endometritis
Ковальчук О. О., Томчук В. А., Данчук В. О., Карповський В. В., Карповський П. В., Мельничук В. В. Вуглеводнево-ліпідний обмін в організмі поросят за дії наносполук феруму та германію	187	Kovalchuk O., Tomchuk V., Danchuk V., Karpovskiy V., Karpovskiy P., Melnychuk V. Carbohydrate-lipid metabolism in piglets exposed to iron and germanium nano-compounds
Петруненко А. П. Випробування акарицидної активності сучасних хімічних засобів відносно імаго кліщів <i>Dermanyssus gallinae</i> у лабораторних умовах	193	Petrushenko A. Testing the acaricidal activity of modern chemical agents against <i>Dermanyssus gallinae</i> mites in laboratory conditions
Корчан Л. М., Корчан М. І. Підвищення якості і ефективності зажиттєвого кількісного гельмінтолароскопічного дослідження дрібної рогатої худоби на наявність легеневих нематодозів	198	Korchan L., Korchan M. Raising the quality and effectiveness of lifetime quantitative helminthic and larvoscopy examination of small ruminants for the presence of lung nematodoses
Вус У. М., Гутій Б. В., Сачук Р. М., Кушнір В. І. Вивчення токсичності препарату "Девівіт Карнітин" за тривалого внутрішньошлункового застосування	205	Vus U., Gutyi B., Sachuk R., Kushnir V. Study of the toxicity of the drug "Devivit Carnitine" during prolonged intragastric administration
Бучковська Г. А., Віщур О. І., Мельничук В. В., Четет О. М., Горбатюк О. І., Рубленко І. О., Піщанський О. В., Баланчук Л. В., Жовнір О. М. Ідентифікація <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> , виділених від перепелів, та відбір перспективних штамінів за основними типовими властивостями	210	Buchkovska H., Vishchur O., Melnychuk V., Chechet O., Gorbatiuk O., Rublenko I., Pishchanskyi O., Balanchuk L., Zhovnir O. Identification of <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> isolated from quails and selection of promising strains based on the main typical properties
Киричко Б. П., Дмитренко Н. І., Шепель К. Ю., Панасова Т. Г. Порівняльна ефективність методів лікування собак, хворих на піодермію	217	Kyrychko B., Dmytrenko N., Shepel K., Panasova T. Comparative effectiveness of treatment methods for dogs suffering from pyoderma
Козачок В. В., Яценко І. В. Загальні організаційні положення з питань призначення та проведення судово-ветеринарної експертизи за ушкодження тварин гострими знаряддями	222	Kozachok V., Yatsenko I. General organizational provisions concerning the set and conduct of forensic veterinary expert examinations in case of animal injuries inflicted with sharp-pointed instruments
Калюжний Н. В., Кручиненко О. В. Поширення бабезіозу собак та фактори ризику в місті Полтава, Україна	234	Kaliuzhnyi N., Kruchynenko O. The spread of canine babesiosis and risk factors in the city of Poltava, Ukraine.
Кот Т. Ф., Гуральська С. В., Сокульський І. М., Заїка С. С., Ковальчук Ю. В., Гришук Г. П., Євтух Л. Г. Сучасні методи візуалізації у вивченні та діагностиці захворювань молочних залоз тварин	239	Kot T., Huralska S., Sokulskiy I., Zaika S., Kovalchuk Yu., Gryshchuk G., Yevtikh L. Modern methods of visualization in the study and diagnostics of animal mammary glands diseases
Первий А. О., Євстаф'єва В. О. Зміни біохімічних показників сироватки крові у інвазованих токсоскарами котів за різних показників інтенсивності інвазії	245	Perviy A., Yevstafieva V. Changes in blood serum biochemical indicators in toxocares infested cats with different indicators of invasion intensity
Білий Д. Д., Склярів П. М., Масюк Д. М., Самойлюк В. В., Лещова М. О., Вакулик В. В., Маслюк С. М. Аналітична оцінка схем знеболювання за стоматологічних хвороб у собак	250	Bilyi D., Skliariv P., Masiuk D., Samoiliuk V., Lieshchova M., Vakulik V., Masliuk S. Analytical evaluation of anesthesia regimens for dental diseases in dogs
Супруненко К. В., Дмитренко Н. І., Карішева Л. П., Слинько В. Г. Вплив внутрішньом'язового введення препарату «Тривіт» на вміст білків у сироватці крові кобил за дефіциту у раціоні поживних нутрієнтів	256	Suprunenko K., Dmytrenko N., Karysheva L., Slynko V. The effect of intramuscular administration of "Tryvit" preparation on protein content in the blood serum of mares in case of nutrients' deficit in the ration
Нікітан А. Д. Діагностична ефективність проведення пасивної флоатації при дипілідіозі собак	262	Nikitan A. Diagnostic effectiveness of conducting passive flotation in case of canine dipylidiasis
Кручиненко О. В., Замазій А. А., Петренко М. О., Лавріненко І. В., Хиль А. М. Порівняння антимікробної активності рослинних настоянок та хімічних дезінфікуючих засобів	267	Kruchynenko O., Zamazyi A., Petrenko M., Lavrinenko I., Khyi A. Comparison of antimicrobial activity of plant tinctures and chemical disinfectants
Рудяшко В. С. Поширення поєднаної патології печінки і нирок у собак в місті Полтава	272	Rudyashko V. Spread of combined liver and kidney pathology in dogs in the city of Poltava
Дмитренко Н. І., Канівець Н. С., Кравченко С. О., Карішева Л. П., Зарийський С. М., Дев'ятко О. С. Діагностика дерматитів та застосування препаратів на рослинній основі у лікуванні собак	277	Dmytrenko N., Kanivets N., Kravchenko S., Karysheva L., Zarytskyi S., Deviatko O. Diagnostics of dermatites and use of plant-based preparations in the treatment of dogs
Криворученко Д. О. Зміни в сироватці крові інвазованих собак за різнокомпонентних мікстинвазій	285	Kryvoruchenko D. Changes in the blood serum of dogs infested with different components' mixed invasions
Киричко Б. П., Шепель К. Ю. Особливості анестезіологічного забезпечення й техніки хірургічних втручань у щурів	290	Kyrychko B., Shepel K. Peculiarities of anesthetic provision and techniques of surgical interventions in rats
Аль-Масуді Х. Н. Антиоксидантні властивості L-карнітину за умови експериментального токсичного ураження кролів ацетамінофеном (парацетамолом)	295	Al-Masoudy H. N. Antioxidant effect of L-carnitine on experimentally induced acute toxic lesion of rabbits with Acetaminophen (paracetamol)
Климаєв А. Р. Біохімічні показники сироватки крові корів за наявності гнійних уражень в ділянці пальця	300	Klymas A. Biochemical indicators of cows' blood serum at lesions in the hoof area
Махді Х. Т. Протективні властивості спиртового екстракту листя <i>Moringa oleifera</i> за умови експериментального токсикозу щурів хлоридом алюмінію	305	Mahdi H. T. Protective efficacy of ethanolic <i>Moringa oleifera</i> leaf extract against aluminum chloride-induced toxicity in male rats
Делейчук О. П., Кравченко С. О. Поширення патології печінки та нирок у котів у м. Полтава	311	Deleichuk O., Kravchenko S. Spread of kidney and liver pathology in cats in the city of Poltava
Євстаф'єва В. О., Коляка М. А., Мельничук В. В., Канівець Н. С. Ефективність зажиттєвої копрооскопії при лабораторній діагностиці нематодозів травного тракту курей	315	Yevstafieva V., Koliaka M., Melnychuk V., Kanivets N. Efficacy of lifetime coproscopy at laboratory diagnostics of the digestive tract nematodoses of chickens
Аль-Нуаймі А. Дж., Махді З. С., Рахі Т. С., Імамз Н. А. А., Джавад М. Н. Вплив бісфенолу на гематологічні показники та концентрацію репродуктивних гормонів у самців кролів місцевих порід	320	Al-Nuaimi A. J., Mahdi, Z. S., Rahi, T. S., T., Imams, N. A. A., & Jawad, M. N. The effect of bisphenol on blood parameters and reproductive physiology status in male local breed rabbits
Передера Р. В., Арістова О. В. Лікування окремих хірургічних випадків у коней в умовах кіно-спортивного комплексу Ірландії	324	Peredera R., Aristova O. Treatment of separate surgical cases in horses in the conditions of horse sports complex of Ireland
Мельничук В. В., Гаврик Б. А. Ефективність способу виготовлення мікропрепаратів з білих <i>Ctenocephalides felis</i> , що паразитують у котів	331	Melnychuk V., Havryk B. The efficacy of the method for producing micro-preparations from <i>Ctenocephalides felis</i> fleas, which parasitize on cats

Хвостенко Д. В., Горбенко О. В.
Вплив конструктивних параметрів приводу комбайна на продуктивність збирання зерна кукурудзи

236

Khvostenko D., Gorbenko O.
The influence of combine drive design parameters on corn grain harvesting efficiency

Carbohydrate-lipid metabolism in piglets exposed to iron and germanium nano-compounds

O. Kovalchuk¹ | V. Tomchuk¹ | V. Danchuk¹ | V. Karpovskiy² | P. Karpovskiy¹ | V. Melnychuk³

Article info

Citation: Kovalchuk, O., Tomchuk, V., Danchuk, V., Karpovskiy, V., Karpovskiy, P., & Melnychuk, V. (2025). Carbohydrate-lipid metabolism in piglets exposed to iron and germanium nano-compounds. *Scientific Progress & Innovations*, 28(3), 187–192. doi: 10.31210/spi2025.28.03.28Correspondence Author
O. Kovalchuk
E-mail:
kovalchuk.azalea@gmail.com¹National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Heroiv Defence Str., 15, Kyiv,
03041, Ukraine²Odesa State Agrarian University,
Panteleimonivska Str., 13, Odesa,
6500, Ukraine³Poltava State Agrarian University,
Skovoroda Str., 1/3, Poltava,
36000, Ukraine

A complex assessment was carried out to evaluate the effects of iron and germanium nano-compounds on energy metabolism in sows and the post-natal adaptation of their piglets. The objective was to determine how administering daily doses of iron (3 mg) and germanium (0.01 mg) nano-compounds to sows starting 10 days before farrowing influences carbohydrate and lipid metabolism indicators in the blood of their offspring. For this purpose, 24 sows of Large White breed were equally divided into the experimental and control groups (n=12). Piglet blood from the two groups was sampled on the 2, 7, and 21 day of life to determine the concentrations of glucose, lactate, pyruvate and non-esterified fatty acids (NEFA). The statistical processing was conducted using one-factor and two-factor ANOVA (P≤0.05). It was found that in 2-day-old piglets from the experimental group, the level of lactate increased by 24.1 % (P<0.001), the lactate/pyruvate ratio decreased by 26.0 % (P<0.001), and at the same time glucose and NEFA concentrations fell by 5.3-6.5 % (P=0.05–0.01), while triacylglycerol (TAG) and total cholesterol rose by 9.3-9.8 % (P<0.01). Seven-day-old piglets displayed a 16.9 % reduction in lactate/pyruvate ratio (P<0.001) accompanied by the increased pyruvate content, and 21-day-old piglets showed moderate increases in both lactate and pyruvate with a significant decrease in their ratio (P<0.05). Lipid metabolism in 7-day-old piglets was marked by 16.7-22.3 % increases in TAG and cholesterol levels in blood plasma (P<0.001), whereas NEFA content tended to decline. Two-factor ANOVA confirmed statistically significant nano-compound effects on lactate content (F=13.6; P<0.01, TAG (F=28.8; P<0.001), cholesterol (F=8.5; P<0.01), and lactate/pyruvate ratio in blood plasma (F=24.2; P<0.001). The results indicate an activation of carbohydrate and lipid metabolism in sows under the influence of iron and germanium nano-compounds, as well as improved metabolic readiness of piglets for post-natal adaptation. This opens up prospects for the use of these nano-complexes to enhance the productivity and resilience of pig stock.

Keywords: pigs, iron nano-compounds, germanium nano-compounds, carbohydrate metabolism, lipid metabolism, post-natal adaptation.

Вуглеводнево-ліпідний обмін в організмі поросят за дії наносполук феруму та германію

O. O. Ковальчук¹ | В. А. Томчук¹ | В. О. Данчук¹ | В. В. Карповський² | П. В. Карповський¹ | В. В. Мельничук³¹Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна²Одеський державний аграрний університет,
м. Одеса, Україна³Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна

У ході дослідження було проведено комплексну оцінку впливу наносполук феруму та германію на енергетичний метаболізм свиноматок і постнатальну адаптацію їх поросят. Метою роботи стало визначення ефекту введення свиноматкам за 10 діб до опоросу добової дози наносполук феруму (3 мг) та германію (0,01 мг) на показники вуглеводного та ліпідного обміну в крові отриманого приплоду. Для цього 24 свиноматок породи велика біла було рівномірно розподілено на дослідну й контрольну групи (n=12). Кров поросят дослідної та контрольної груп відбирали на 2-гу, 7-му та 21-шу добу життя для визначення концентрацій глюкози, лактату, пірувату, загального холестеролу, триацилгліцеролів та неетерифікованих жирних кислот. Статистичну обробку даних здійснювали за допомогою однофакторного та двофакторного дисперсійного аналізу (P≤0,05). Встановлено, що у 2-добових поросят дослідної групи рівень лактату в плазмі крові зріс на 24,1 % (P<0,001), співвідношення лактат/піруват знизилось на 26,0 % (P<0,001), водночас концентрації глюкози та неетерифікованих жирних кислот зменшилися на 5,3–6,5 % (P=0,05–0,01); вміст триацилгліцеролів і загального холестеролу підвищився на 9,3–9,8 % (P<0,01). У 7-добових поросят визначено зниження відношення лактат/піруват на 16,9 % (P<0,001) із наступним підвищенням вмісту пірувату в плазмі крові, у 21-добових – помірне збільшення лактату та пірувату за достовірного зменшення їх співвідношення (P<0,05). Ліпідний обмін у 7-добових поросят характеризувався підвищенням в плазмі крові рівня триацилгліцеролів і холестеролу на 16,7–22,3 % (P<0,001), тоді як вміст неетерифікованих жирних кислот демонстрував тенденцію до зниження. Двофакторний аналіз підтвердив статистично значущий вплив наносполук на вміст лактату (F=13,6; P<0,01), триацилгліцеролів (F=28,8; P<0,001), холестеролу (F=8,5; P<0,01), і відношення лактат/піруват в плазмі крові (F=24,2; P<0,001). Результати свідчать про активізацію вуглеводного й ліпідного обміну у свиноматок під дією наносполук феруму та германію та про покращення метаболічної готовності поросят до постнатальної адаптації. Це відкриває перспективи застосування даних нанокомплексів для підвищення продуктивності та резистентності поголів'я свиней.

Ключові слова: свині, наносполуки заліза, наносполуки германію, вуглеводний обмін, ліпідний обмін, постнатальна адаптація.**Бібліографічний опис для цитування:** Ковальчук О. О., Томчук В. А., Данчук В. О., Карповський В. В., Карповський П. В., Мельничук В. В. Вуглеводнево-ліпідний обмін в організмі поросят за дії наносполук феруму та германію. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. № 28 (3). С. 187–192.

Вступ

Основною метою свинарства є забезпечення високої виживаності та оптимального набору ваги новонароджених поросят до відлучення, оскільки це суттєво впливає на їхню адаптацію до нових умов та темпи росту [1]. Пізній передродовий і ранній післяпологовий періоди належать до найбільш енерговитратних у житті свиноматок, адже в цей час відбувається інтенсивна мобілізація ресурсів для синтезу молочива, росту молочної залози та фізіологічних затрат при опоросі [2, 3]. Ключовим субстратом для виробництва молока є глюкоза, синтез якої стимулюється підвищенням рівнів адреналіну й кортизолу в крові до та під час пологів [4]; за нестачі енергопостачання у свиноматок відзначаються затримка розвитку поросят, ускладнення пологів і зниження лактації, що підвищує пренатальну та постнатальну смертність і знижує продуктивність поголів'я [5, 6]. Потреба в глюкозі під час лактації є надзвичайно високою – близько 140 г на виробництво 1 л молока [7] – тому пошук ефективних засобів покращення вуглеводного й ліпідного обміну в організмі свиноматок є вкрай актуальним.

У цьому контексті наносполуки феруму та германію розглядаються як перспективні метаболічні модулятори, здатні підвищувати інтенсивність енергетичного обміну й підтримувати гомеостаз у свиноматок у критичні періоди опоросу та лактації. Ми припускаємо, що застосування цих наноконструкцій сприятиме не лише покращенню виробничих показників самих свиноматок, а й підвищенню резистентності та продуктивності отриманих від них поросят.

Мета дослідження

Мета дослідження – встановити ступінь і характер впливу задавання свиноматкам наносполук феруму та германію на окремі показники вуглеводно-ліпідного обміну в організмі отриманих від них поросят.

Матеріали і методи

Експериментальну частину роботи проведено у ТОВ «Кошет», с. Чапівці, Мукачевського району, Закарпатської області на 24 свиноматках великої білої породи, віком 2–3 роки, яких за принципом аналогів було розділено на дві групи (контрольна і дослідна) по 12 тварин в кожній. Свиноматкам дослідної групи за 10 діб до опоросу, протягом десяти діб випоювали комплекс наносполук мікроелементів феруму – 3 мг/добу та германію – по 0,01 мг/добу. Тваринам контрольної групи наносполуки не задавали. Матеріалом для досліджень слугували зразки крові від 5 поросят отриманих від свиноматок дослідних груп відібрані на 2-гу, 7-му та 21-шу добу життя. Кров для дослідження у поросят отримували з краніальної порожнистої вени. У всіх зразках крові, у навчально-науковій лабораторії ветеринарно-діагностичних досліджень кафедри біохімії і

фізіології тварин імені академіка М. Ф. Гулого, проводили визначення вмісту глюкози, лактату, пірувату, загального холестеролу (ЗХ), триацилгліцеролів (ТАГ) та неестерифікованих жирних кислот (НЕЖК).

Одержані результати піддавали статистичній обробці за допомогою прикладного програмного комплексу «Microsoft Office Excel 2019» (визначали середньоарифметичну величину, її похибку, коефіцієнт кореляції, та проводили одно- та двофакторний дисперсійний аналіз). Результати вважали за достовірні за $P \leq 0,05$.

Експеримент проведено із дотримання вимог ЗУ № 3447–IV від 21.02.06 «Про захист тварин від жорстокого поводження» та узгоджено з принципами «Європейської конвенції з захисту хребетних тварин, що використовуються для експериментальних та наукових цілей» (Страсбург, 1986).

Результати та їх обговорення

Проведеними раніше дослідженнями встановлено, що введення наносполук феруму та германію свиноматкам призводить до стабільного підвищення вмісту церулоплазміну в крові як самих свиноматок, так і отриманих від них поросят [9], суттєво посилює інтенсивність вуглеводного обміну в організмі свиноматок [10], поліпшує показники ліпідного обміну в їх крові [11] та стимулює еритропоез у поросят у ранньому постнатальному періоді [12].

Задавання свиноматкам наночастинок феруму і германію впливало на показники обміну вуглеводів в організмі отриманих від них поросят (*табл. 1*).

Таблиця 1

Вміст глюкози, лактату та пірувату в крові поросят отриманих від свиноматок дослідних груп, ммоль/л ($M \pm m$, $n=5$)

Вік поросят, діб	Групи тварин	
	контрольна	дослідна
Вміст глюкози, ммоль/л		
2-добові	7,58±0,13	7,18±0,14*
7-добові	7,24±0,13	6,96±0,21
21-добові	7,54±0,23	7,62±0,25
Вміст лактату, ммоль/л		
2-добові	2,286±0,087	1,734±0,105**
7-добові	1,892±0,086	1,674±0,064
21-добові	2,162±0,052	1,896±0,085*
Вміст пірувату, ммоль/л		
2-добові	54,8±2,18	56,12±1,862
7-добові	66,34±3,103	70,62±1,783
21-добові	74,18±3,472	77,84±2,354
Відношення лактат/піруват		
2-добові	41,7±0,4	30,9±1,5***
7-добові	28,5±0,4	23,7±0,9***
21-добові	29,4±1,6	24,4±1,2*

Примітки: * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$ показники достовірні відносно аналогічних у контрольній групі.

Так, в крові 2-добових поросят дослідної групи вміст глюкози в плазмі крові був на 5,3 % ($P < 0,05$) менше, а вміст лактату та відношення лактату до пірувату менше відповідно на 24,1 % ($P < 0,001$) та 26,0 % ($P < 0,001$) відповідно до показників поросят контрольної групи.

З 2-ї до 7-ї доби життя у крові поросят дослідної групи вміст глюкози зменшується на 4,5 %, лактату на 11,2 % та відношення лактату до пірувату на 31,6 % ($P < 0,001$). У цей час вміст глюкози та лактату в крові поросят дослідної групи перестає відрізнятися від такого у контрольних тварин. Відмітимо збільшення вмісту пірувату в крові поросят контрольної та дослідної груп з 2- до 7-добового віку відповідно на 21,1 % ($P < 0,001$) та 25,8 % ($P < 0,001$). У 7-добових поросят дослідної групи лише відношення лактату до пірувату достовірно менше на 16,9 % ($P < 0,001$) від такого у тварин контрольної групи. З 7-ї до 21-ї доби життя у крові поросят дослідної групи вміст глюкози в плазмі крові достовірно не змінюється, однак встановлено зростання вмісту лактату на 14,3 % ($P < 0,05$) та пірувату на 11,8 % ($P < 0,01$), при цьому відношення лактату до пірувату не змінилось. Відмітимо, що відношення лактату до пірувату в крові 21-добових поросят дослідної групи достовірно менше (на 16,8 %; $P < 0,05$) від такого у поросят контрольної групи, тоді як інші показники обміну вуглеводів у цих тварин достовірно не різнились.

Задавання наносполук феруму та германію свиноматкам має достовірний вплив на вміст глюкози ($\eta^2_\chi = 0,41$; $P < 0,05$), вміст лактату ($\eta^2_\chi = 0,72$; $P < 0,01$) та відношення лактату до пірувату ($\eta^2_\chi = 0,89$; $P < 0,001$) в плазмі крові 2-добових поросят (рис. 1).

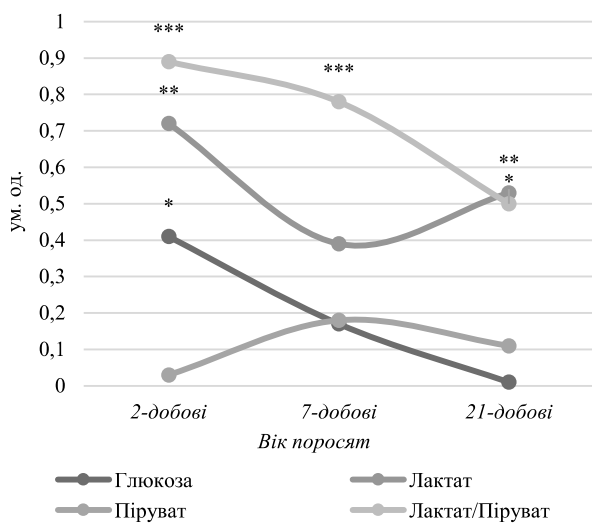


Рис. 1. Вплив (η^2_χ) задавання наносполук феруму та германію свиноматкам на вміст глюкози, лактату, пірувату та відношення лактат/піруват в плазмі крові поросят

Примітки: * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$.

З 2-ї до 7-ї доби життя поросят вплив на вміст глюкози і лактату істотно зменшується та стає недостовірним ($\eta^2_\chi = 0,17-0,39$), а на відношення лактату до пірувату залишається сильним ($\eta^2_\chi = 0,78$; $P < 0,01$). Поряд з цим у 21-добових поросят задавання наносполук феруму та германію свиноматкам достовірно впливає на лактату та відношення лактат/піруват в плазмі крові ($\eta^2_\chi = 0,50-0,53$; $P < 0,001$). Слід відмітити відсутність достовірної сили впливу задавання наносполук металів свиноматкам на вміст

пірувату в крові поросят ($\eta^2_\chi = 0,03-0,18$) протягом усього експерименту.

Можна припустити, що наночастинки феруму, потрапляючи в організм свиноматок, можуть підсилювати утворення активних форм заліза в тканинах і клітинах-мішенях (наприклад, у мітохондріях або лізосомах), стимулюючи утилізацію пірувату через цитратний цикл та електронно-транспортний ланцюг [13], що призводить до зменшення співвідношення лактат/піруват у крові поросят. Одночасно германій може діяти як стимулятор антиоксидантної системи [14–15] і модулювати регуляцію ферментів гліколізу та піруватдегідрогенази, знижуючи накопичення лактату та покращуючи окисне використання глюкози.

Задавання свиноматкам наночастинок феруму і германію впливало на показники обміну ліпідів в організмі отриманих від них поросят (табл. 2).

Таблиця 2

Вміст метаболітів ліпідного обміну в плазмі крові поросят отриманих від свиноматок дослідних груп ($M \pm m$, $n=5$)

Вік поросят, діб	Групи тварин	
	контрольна	дослідна
Вміст ТАГ, ммоль/л		
2-добові	1,11±0,03	1,22±0,02**
7-добові	1,26±0,03	1,49±0,05**
21-добові	1,40±0,03	1,58±0,06*
Вміст ЗХ, ммоль/л		
2-добові	2,14±0,04	2,35±0,03**
7-добові	2,59±0,04	2,7±0,05*
21-добові	2,90±0,06	3,0±0,04
Вміст НЕЖК, мкмоль/л		
2-добові	187,4±1,7	175,3±2,1**
7-добові	153,6±6,7	140,4±3,4
21-добові	182,8±7,5	182,0±5,6

Примітки: * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$ показники достовірно відносно аналогічних у контрольній групі.

В крові 2-добових поросят дослідної групи вміст ТАГ та ЗХ в плазмі крові був відповідно на 9,3 % ($P < 0,01$) та 9,8 % ($P < 0,01$) більшим, а НЕЖК на 6,5 % ($P < 0,01$) меншим відповідно до показників поросят контрольної групи. З 2-ї до 7-ї доби життя у крові поросят дослідної групи вміст ТАГ та ЗХ збільшується відповідно на 22,3 % ($P < 0,001$) та 16,7 % ($P < 0,001$), тоді, як вміст НЕЖК зменшується на 19,9 % ($P < 0,001$). Так, у цей час вміст ТАГ і ЗХ в крові поросят дослідної групи більше відповідно на 17,9 % ($P < 0,01$) та 16,7 % ($P < 0,05$) відповідно до показників поросят контрольної групи. Тоді, як вміст НЕЖК перестає достовірно відрізнятися від такого у контрольних тварин. З 7-ї до 21-ї доби життя у крові поросят дослідної групи вміст ТАГ і ЗХ в плазмі крові показує тенденцію щодо подальшого зростання. Відмітимо, що в крові 21-добових поросят дослідної групи лише вміст ТАГ достовірно менше (на 13,3 %; $P < 0,05$) від такого у поросят контрольної групи, тоді як інші показники обміну ліпідів у цих тварин достовірно не різнились.

Задавання наносполук феруму та германію свиноматкам має достовірний вплив на вміст ТАГ ($\eta^2_\chi = 0,59$; $P < 0,01$), НЕЖК ($\eta^2_\chi = 0,75$; $P < 0,01$)

та ЗХ ($\eta^2_{\chi}=0,54$; $P<0,01$) в плазмі крові 2-добових поросят. З 2-ї до 7-ї доби життя поросят цей вплив на вміст ТАГ посилюється ($\eta^2_{\chi}=0,71$; $P<0,01$), на вміст ЗХ послаблюється ($\eta^2_{\chi}=0,45$; $P<0,05$), а на вміст НЕЖК стає недостовірним – $\eta^2_{\chi}=0,32$ (рис. 2). У 21-добових поросят задоволення наносполук металів свиноматкам чинило достовірний вплив лише на вміст ТАГ в крові ($\eta^2_{\chi}=0,57$; $P<0,05$).

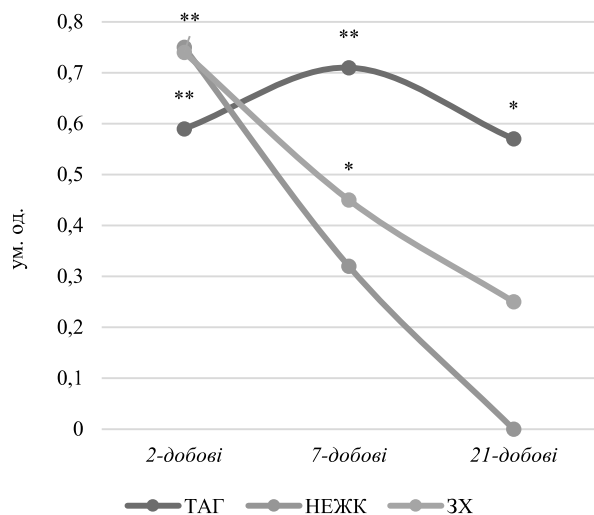


Рис. 2. Вплив (η^2_{χ}) задоволення наносполук феруму та германію свиноматкам на показники ліпідного обміну в плазмі крові поросят.
Примітки: * – $P<0,05$; ** – $P<0,01$.

За двофакторним дисперсійним аналізом встановлено достовірний вплив задоволення наносполук феруму і германію свиноматкам на показники

обміну вуглеводів та ліпідів в крові молочних поросят (табл. 3). Так, доведено достовірний вплив задоволення наносполук свиноматкам на вміст лактату ($F=13,6 > FU=4,49$; $P<0,02$) та відношення лактату до пірувату ($F= 24,2 > FU=4,49$; $P<0,001$). Тоді, як вплив на вміст глюкози і пірувату протягом експерименту був недостовірним.

Поряд з цим, постнатальна адаптація поросят мала більший вплив на вміст цих метаболітів в крові ніж задоволення наносполук феруму і германію свиноматкам. Зокрема вплив постнатальної адаптації на вміст глюкози становив – $F= 6,5 > FU=4,49$ ($P<0,021$), лактату – $F= 14,1 > FU=4,49$ ($P<0,002$) та пірувату відповідно – $F= 9,3 > FU=4,49$ ($P<0,008$). За аналізу вмісту метаболітів вуглеводного обміну в крові поросят достовірної міжфакторної взаємодії між задоволенням наночасток феруму і германію свиноматкам та постнатальною адаптацією отриманих від них поросят не встановлено.

Встановлено достовірний вплив задоволення наносполук феруму і германію свиноматкам на окремі показники обміну ліпідів в крові отриманих від них поросят (табл. 4). Зокрема, доведено достовірний вплив задоволення наносполук свиноматкам на вміст ТАГ ($F= 28,8 > FU=4,49$; $P<0,001$) та ЗХ ($F= 8,5 > FU=4,49$; $P<0,01$). Тоді, як вплив на вміст НЕЖК протягом експерименту був недостовірним.

Постнатальна адаптація поросят мала більший вплив на вміст згаданих метаболітів обміну ліпідів в крові ніж задоволення наносполук феруму і германію свиноматкам, зокрема вплив постнатальної адаптації на вміст ЗХ становив – $F= 37,0 > FU=4,49$ ($P<0,001$), НЕЖК – $F= 43,5 > FU=4,49$ ($P<0,001$) та ТАГ – $F= 8,7 > FU=4,49$ ($P<0,009$).

Таблиця 3

Двофакторний дисперсійний аналіз вмісту метаболітів обміну вуглеводів в плазмі крові поросят отриманих від свиноматок дослідних груп

Фактори впливу	SS	df	MS	F	P-значення	F критичне
Вміст глюкози						
Вплив наносполук	0,05	1	0,05	0,281	0,603	4,49
Адаптація	1,152	1	1,152	6,481	0,021	4,49
Взаємозв'язок	0,162	1	0,162	0,911	0,354	4,49
Внутрішня	2,844	16	0,178	–	–	–
Всього	4,208	19	–	–	–	–
Вміст лактату						
Вплив наносполук	0,293	1	0,293	13,6	0,002	4,49
Адаптація	0,303	1	0,303	14,1	0,002	4,49
Взаємозв'язок	0,003	1	0,003	0,134	0,719	4,49
Внутрішня	0,344	16	0,021	–	–	–
Всього	0,943	19	–	–	–	–
Вміст пірувату						
Вплив наносполук	78,8	1	78,8	2,59	0,127	4,49
Адаптація	283,5	1	283,5	9,32	0,008	4,49
Взаємозв'язок	0,48	1	0,48	0,02	0,902	4,49
Внутрішня	486,5	16	30,41	–	–	–
Всього	849,3	19	–	–	–	–
Відношення лактат/піруват						
Вплив наносполук	119,1	1	119,1	24,22	0,001	4,49
Адаптація	2,89	1	2,89	0,59	0,455	4,49
Взаємозв'язок	0,02	1	0,02	< 0,001	0,952	4,49
Внутрішня	78,7	16	4,92	–	–	–
Всього	200,6	19	–	–	–	–

Примітки: SS – сума квадратів; df – кількість рівнів фактора (-1); MS – середнє квадратичне; F – критерій оцінки фактора впливу на залежну змінну; p – достовірність; F критичне – критичне значення фактора впливу.

Таблиця 4

Двофакторний дисперсійний аналіз вмісту метаболітів обміну ліпідів в плазмі крові поросят отриманих від свиноматок дослідних груп

Фактори впливу	SS	df	MS	F	P-значення	F критичне
Вміст ТАГ						
Вплив наносполук	0,208	1	0,208	28,8	< 0,001	4,49
Адаптація	0,062	1	0,062	8,70	0,009	4,49
Взаємозв'язок	0,002	1	0,002	0,336	0,570	4,49
Внутрішня	0,115	16	0,007	–	–	–
Всього	0,389	19	–	–	–	–
Вміст 3X						
Вплив наносполук	0,087	1	0,087	8,45	0,010	4,49
Адаптація	0,380	1	0,380	36,96	< 0,001	4,49
Взаємозв'язок	0,002	1	0,002	0,235	0,634	4,49
Внутрішня	0,165	16	0,010	–	–	–
Всього	0,635	19	–	–	–	–
Вміст НЕЖК						
Вплив наносполук	243,6	1	243,6	1,69	0,212	4,49
Адаптація	6272,9	1	6272,9	43,5	< 0,001	4,49
Взаємозв'язок	191,0	1	191,0	1,32	0,267	4,49
Внутрішня	2307,4	16	144,2	–	–	–
Всього	9015,0	19	–	–	–	–

Примітки: SS – сума квадратів; df – кількість рівнів фактора (-1); MS – середнє квадратичне; F – критерій оцінки фактора впливу на залежну змінну; p – достовірність; F критичне – критичне значення фактора впливу.

Крім цього за аналізу вмісту метаболітів ліпідного обміну в крові поросят достовірної міжфакторної взаємодії між задаванням наночасток феруму і германію свиноматкам та постнатальною адаптацією отриманих від них поросят не встановлено.

Отже, задавання свиноматкам наносполук феруму та германію зумовлює зрушення у ліпідному метаболізмі їх поросят, що проявляється підвищенням рівня триацилгліцеролів та холестеролу при одночасному зниженні вмісту неестерифікованих жирних кислот у ранній постнатальний період. Це може свідчити про більш активне включення жирних кислот у процеси естерифікації та формування запасних ліпідів, що зменшує мобілізацію жирових резервів і стабілізує енергетичний обмін [16]. В подальшому зростання ТАГ і холестеролу в крові поросят дослідної групи може відобразити посилення синтезу ліпідів у печінці та їх транспорт у складі ліпопротеїнів, що узгоджується з підвищеною метаболічною готовністю до росту й розвитку. Таким чином, наносполук феруму й германію діють як модулятори ліпідного обміну, сприяючи формуванню оптимального енергетичного профілю в ранній постнатальний період. Наші дослідження узгоджуються і доповнюють наявні дані, що додавання цитратів наносполук, зокрема германію та феруму, до корму або питної води корегує мінеральний, ліпідний і білковий обмін у свиней, курчат-бройлерів, перепілок і бджіл, що покращує їхню життєздатність і збереженість [17–20].

Висновки

Встановлено коригуючий вплив задавання наносполук феруму і германію на вуглеводнево-ліпідний обмін, зокрема на вміст лактату, відношення лактату до пірувату, вміст триацилгліцеролів та загального холестеролу ($F = 8,5-28,8 > F_{U=4,49}$; $P < 0,01-0,001$). Так, у крові 2-добових поросят вміст глюкози і

неестерифікованих жирних кислот в плазмі крові був на 5,3–6,5 % ($P < 0,05-0,01$) менше, а вміст лактату, триацилгліцеролів, загального холестеролу та відношення лактату до пірувату на 9,3–26,0 % ($P < 0,01-0,001$) більше відповідно до показників поросят контрольної групи.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробці сучасних способів підвищення продуктивності та резистентності свиноматок за допомогою наночасток металів.

Конфлікт інтересів



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

References

- Romero, M., Calvo, L., Morales, J. I., Rodríguez, A. I., Escudero, R. M., Olivares, Á., & López-Bote, C. (2022). Short- and long-term effects of birth weight and neonatal care in pigs. *Animals*, 12 (21), 2936. <https://doi.org/10.3390/ani12212936>
- Tucker, B. S., Craig, J. R., Morrison, R. S., Smits, R. J., & Kirkwood, R. N. (2021). Piglet viability: A review of identification and pre-weaning management strategies. *Animals*, 11 (10), 2902. <https://doi.org/10.3390/ani11102902>
- Feyera, T., Pedersen, T. F., Krogh, U., Foldager, L., & Theil, P. K. (2018). Impact of sow energy status during farrowing on farrowing kinetics, frequency of stillborn piglets, and farrowing assistance. *Journal of Animal Science*, 96 (6), 2320–2331. <https://doi.org/10.1093/jas/sky141>
- Rizzo, A., Angioni, S., Spedicato, M., Minoia, G., Mutinati, M., Trisolini, C., & Sciorsci, R. L. (2010). Uterine contractility is strongly influenced by steroids and glucose metabolism: an in vitro study on bovine myometrium. *Gynecological Endocrinology*, 27 (9), 636–640. <https://doi.org/10.3109/09513590.2010.507293>
- Farmer, C., & Edwards, S. A. (2022). Review: Improving the performance of neonatal piglets. *Animal*, 16, 100350. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100350>

6. van den Bosch, M., Soede, N., Kemp, B., & van den Brand, H. (2023). Sow nutrition, uterine contractions, and placental blood flow during the peri-partum period and short-term effects on offspring: A review. *Animals*, 13 (5), 910. <https://doi.org/10.3390/ani13050910>
7. Gerritsen, R., Bikker, P., & van der Aar, P. (2010). Glucose metabolism in reproductive sows. *Dynamics in Animal Nutrition*, 99–112. https://doi.org/10.3920/9789086867066_007
8. Vlizlo, V. V., Fedoruk, R. S., & Ratyck, I. B. (2012). *Laboratorni metody doslidzhen u biologii, tvarynytsvi ta veterynarii medytsyni: dovidnyk*. Lviv: Spolom [in Ukrainian]
9. Kovalchuk, O. O., Tomchuk, V. A., Danchuk, V. O., Khymynets, P. S., Gutyj, B. V., Kryvoruchko, D. I., & Karpovsky, V. V. (2023). The influence of iron and germanium nanocompounds on the content of ceruloplasmin in the blood of sows and piglets obtained from them. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 25 (112), 201–205. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11231>
10. Kovalchuk, O. O., Tomchuk, V. A., Danchuk, V. O., Khymynets, P. S., Gutyj, B. V., Kravchuk, S. V., Zhurenko, O. V., Kryvoruchko, D. I., Karpovskiy, V. V., Karpovskiy, P. V., Todoruk, V. B., Hrelia, R. V., & Zhurenko, V. V. (2024). The intensity of carbohydrate metabolism in the body of sows under the action of ferrum and germanium nanocompounds. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 26 (113), 179–183. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11327>
11. Kovalchuk, O., Tomchuk, V., Danchuk, V., Krawchuk, S., & Karpovskiy, V. (2024). Lipid metabolism indicators in sow blood under the influence of iron and germanium nanocompounds. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*, 20 (2). [https://doi.org/10.31548/dopovidi.2\(108\).2024.018](https://doi.org/10.31548/dopovidi.2(108).2024.018)
12. Kovalchuk, O., Tomchuk, V., Danchuk, V., & Karpovsky, V. (2024). The state of erythropoiesis in piglets under the influence of iron and germanium nanoparticles. *Scientific Progress & Innovations*, 27 (3), 55–59. <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.03.09>
13. Obeagu, E. I. (2025). Iron homeostasis and health: understanding its role beyond blood health – a narrative review. *Annals of Medicine & Surgery*, 87 (6), 3362–3371. <https://doi.org/10.1097/ms9.0000000000003100>
14. Menchikov, L. G., & Popov, A. V. (2023). Physiological activity of trace element germanium including anticancer properties. *Biomedicines*, 11 (6), 1535. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11061535>
15. Li, L., Ruan, T., Lyu, Y., & Wu, B. (2017). Advances in effect of germanium or germanium compounds on animals – A review. *Journal of Biosciences and Medicines*, 05 (07), 56–73. <https://doi.org/10.4236/jbm.2017.57006>
16. Ren, Y., Wang, F., Sun, R., Zheng, X., Lin, Y., & Chao, Z. (2025). The connection between lipid metabolism in the heart and liver of wuzhishan pigs. *Biomolecules*, 15 (7), 1024. <https://doi.org/10.3390/biom15071024>
17. Busol, V. O., & Sytnik, M. H. (2013). Vplyv spozhyvannia nanokarboksylativ hermaniiu i zaliza na hematolohichni ta biokhimichni pokaznyky krovi kurchat-broileriv. *Naukovi pratsi Pivdennoho Filialu Natsionalnoho Universytetu Bioresursiv i Pryrodokorystuvannia Ukrainy. Krymskyi Ahrotekhnolohichniy Universytet. Seriya: Veterynarni Nauky*, 151, 160–164. [in Ukrainian]
18. Kikish, I. B., Kovalchuk, I. I., Lesyk, Ya. V., & Kovalska, L. M. (2021). Mineral composition and qualitative indicators of beekeeping products by bee feeding with citrates Co and Ge. *Scientific and Technical Bulletin Of State Scientific Research Control Institute of Veterinary Medical Products and Fodder Additives And Institute of Animal Biology*, 22 (2), 149–155. <https://doi.org/10.36359/scivp.2021-22-2.18>
19. Kuldonashvili, K. V., Sheremeta, V. I., & Kaplunenko, V. G. (2018). Nanoakvahelat germanium affect on the growth of piglets during the prenatal period. *Animal Breeding and Genetics*, 51, 261–266. <https://doi.org/10.31073/abg.51.35>
20. Nischemenko, N., Kaplunenko, V., & Emelianenko, A. (2014). Embryonic development of quails in the incubating eggs processing solution aquachelate germanium. *Scientific Bulletin of the Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences*, 16 (2/2), 258–264.

ORCID

- O. Kovalchuk  <https://orcid.org/0009-0007-2365-3142>
- V. Tomchuk  <https://orcid.org/0000-0002-9009-5554>
- V. Danchuk  <https://orcid.org/0009-0008-3379-822X>
- V. Karpovskiy  <https://orcid.org/0009-0003-9848-1411>
- P. Karpovsky  <https://orcid.org/0009-0002-8113-423X>
- V. Melnychuk  <https://orcid.org/0000-0003-1927-1065>



2025 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.