

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

Correspondence Author

O. Kovalchuk

E-mail:

kovalchuk.azalea@gmail.com

¹ National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Heroiv Defence Str., 15, Kyiv,
03041, Ukraine² Odesa State Agrarian University,
Panteleimonivska Str., 13, Odesa,
6500, Ukraine³ Poltava State Agrarian University,
Skovoroda Str., 1/3, Poltava,
36000, Ukraine**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/spi2025.28.03.28

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 ($P \leq 0.05$). 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

О. О. Ковальчук¹ | В. А. Томчук¹ | В. О. Данчук¹ | В. В. Карповський² | П. В. Карповський¹ | В. В. Мельничук³¹ Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна² Одеський державний аграрний університет,
м. Одеса, Україна³ Полтавський 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 днів 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 неестерифікованих жирних кислот. Статистичну обробку даних здійснювали за допомогою однофакторного та двофакторного дисперсійного аналізу ($P \leq 0.05$). Встановлено, що у 2-добових поросят дослідної групи рівень лактату в плазмі крові зріс на 24,1 % ($P < 0.001$), співвідношення лактат/піруват знизилося на 26,0 % ($P < 0.001$), водночас концентрації глюкози та неестерифікованих 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 неестерифікованих 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 молока, 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 нанокомплексів 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).

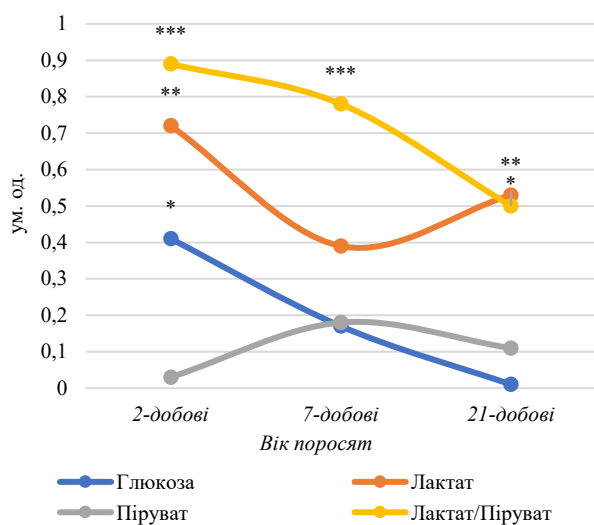


Рис. 1. Вплив (η^2_χ) задавання наносполук феруму та германію свиноматкам на вміст глюкози, лактату, пірувату та відношення лактат/піруват в плазмі крові поросят

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 $\pm$ 0,03	1,22 $\pm$ 0,02**
7-добові	1,26 $\pm$ 0,03	1,49 $\pm$ 0,05**
21-добові	1,40 $\pm$ 0,03	1,58 $\pm$ 0,06*
Вміст ЗХ, ммоль/л		
2-добові	2,14 $\pm$ 0,04	2,35 $\pm$ 0,03**
7-добові	2,59 $\pm$ 0,04	2,7 $\pm$ 0,05*
21-добові	2,90 $\pm$ 0,06	3,0 $\pm$ 0,04
Вміст НЕЖК, мкмоль/л		
2-добові	187,4 $\pm$ 1,7	175,3 $\pm$ 2,1**
7-добові	153,6 $\pm$ 6,7	140,4 $\pm$ 3,4
21-добові	182,8 $\pm$ 7,5	182,0 $\pm$ 5,6

Примітки: * – $P<0,05$; ** – $P<0,01$; *** – $P<0,001$ показники достовірні 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 3X ($\eta^2=0,54$; $P<0,01$) в плазмі крові 2-добових поросят. З 2-ї до 7-ї доби життя поросят цей вплив на вміст ТАГ посилюється ($\eta^2=0,71$; $P<0,01$), на вміст 3X послаблюється ($\eta^2=0,45$; $P<0,05$), а на вміст НЕЖК стає недостовірним – $\eta^2=0,32$ (рис. 2). У 21-добових поросят задавання наносполук металів свиноматкам чинило достовірний вплив лише на вміст ТАГ в крові ($\eta^2=0,57$; $P<0,05$).

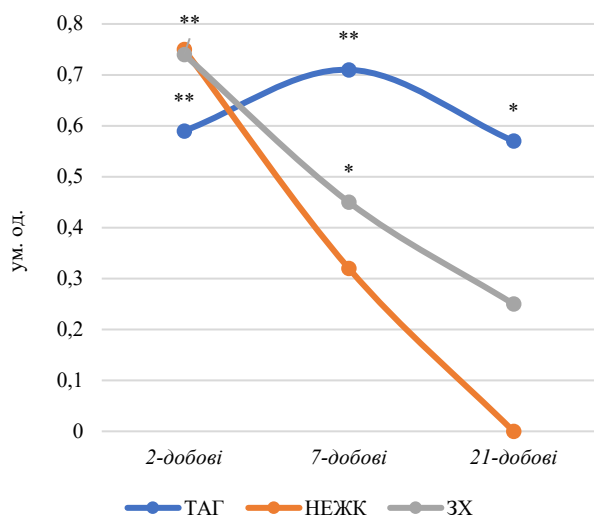


Рис. 2. Вплив (η^2) задавання наносполук феруму та германію свиноматкам на показники ліпідного обміну в плазмі крові поросят.
Примітки: * – $P<0,05$; ** – $P<0,01$.

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

обміну вуглеводів та ліпідів в крові молочних поросят (табл. 3). Так, доведено достовірний вплив задавання наносполук свиноматкам на вміст лактату ($F=13,6 > F_{U=4,49}$; $P<0,02$) та відношення лактату до пірувату ($F= 24,2 > F_{U=4,49}$; $P<0,001$). 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 задавання наносполук феруму і германію свиноматкам. Зокрема вплив постнатальної адаптації на вміст глюкози становив – $F= 6,5 > F_{U=4,49}$ ($P<0,021$), лактату – $F= 14,1 > F_{U=4,49}$ ($P<0,002$) та пірувату відповідно – $F= 9,3 > F_{U=4,49}$ ($P<0,008$). За аналізу вмісту метаболітів вуглеводного обміну в крові поросят достовірної міжфакторної взаємодії між задаванням наночасток феруму і германію свиноматкам та постнатальною адаптацією отриманих від них поросят не встановлено.

Встановлено достовірний вплив задавання наносполук феруму і германію свиноматкам на окремі показники обміну ліпідів в крові отриманих від них поросят (табл. 4). Зокрема, доведено достовірний вплив задавання наносполук свиноматкам на вміст ТАГ ($F= 28,8 > F_{U=4,49}$; $P<0,001$) та 3X ($F= 8,5 > F_{U=4,49}$; $P<0,01$). 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 задавання наносполук феруму і германію свиноматкам, зокрема вплив постнатальної адаптації на вміст 3X становив – $F= 37,0 > F_{U=4,49}$ ($P<0,001$), НЕЖК – $F= 43,5 > F_{U=4,49}$ ($P<0,001$) та ТАГ – $F= 8,7 > F_{U=4,49}$ ($P<0,009$).

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 ($F = 8,5-28,8$; $FU = 4,49$; $P < 0,01-0,001$). 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., & Ratych, I. B. (2012). *Laboratorni metody doslidzhen u biolohii, tvarynytstvi ta veterynarnii 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.