

The state of erythropoiesis in piglets under the influence of iron and germanium nanoparticles

O. Kovalchuk¹ | V. Tomchuk¹ | V. Danchuk¹ | V. Karpovsky²

Article info

Correspondence Author

O. Kovalchuk

E-mail:

kovalchuk.azalea@gmail.com

¹ National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Heroiv Oborony Str.15,
building 3, Kyiv, 03041,
Ukraine

² Odesa State Agrarian University,
13 Panteleymonivska Str.,
Odesa, 65000,
Ukraine

Citation: 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. doi: 10.31210/spi2024.27.03.09

The relevance of the conducted research is due to the lack of information in the available literature regarding the impact of iron and germanium nanoparticles on the state of erythropoiesis in piglets. The aim of the study was to determine the effect of administering iron and germanium nanoparticles to sows on the number of erythrocytes, hemoglobin content, and hematocrit index in their piglets. The experiment was conducted on 24 sows of the large white breed, aged 2–3 years, divided into two groups (control and experimental). The sows in the experimental group were given a complex of iron nanoparticle compounds (3 mg/day) and germanium (0.01 mg/day) for ten days, starting ten days before farrowing. Blood samples from five piglets born to the sows in the experimental group were taken on the second, seventh, and twenty-first days of life. The effect of postnatal adaptation on the number of erythrocytes in the blood of piglets during the experiment was $F = 534.6 > FU = 4.49$ ($P < 0.001$), hemoglobin content was $F = 55.5 > FU = 4.49$ ($P < 0.001$), and hematocrit index was $F = 11.1 > FU = 4.49$ ($P < 0.004$). A significant effect of administering iron and germanium nanoparticles to sows on the number of erythrocytes in the blood was found ($F = 11.7 > FU = 4.49$; $P < 0.004$). Administering iron and germanium nanoparticles to sows had a significant effect on the number of erythrocytes ($\eta^2_\chi = 0.74$; $P < 0.01$), hemoglobin content ($\eta^2_\chi = 0.83$; $P < 0.001$), and hematocrit index ($\eta^2_\chi = 0.75$; $P < 0.01$) in the blood of 2-day-old piglets. When sows were given iron and germanium nanoparticles for ten days before farrowing, the number of erythrocytes in the blood of their 2-day-old piglets was 12.8% higher ($P < 0.001$), hemoglobin content was 14.3% higher ($P < 0.001$), and hematocrit index was 14.5% higher ($P < 0.05$) compared to the control group. Thus, iron and germanium nanoparticles may play an important role in improving erythropoiesis in piglets. Prospects for further research consist in the development of modern methods of increasing the productivity and resistance of sows with the help of metal nanoparticles.

Keywords: pigs, metal nanoparticles, erythrocytes, hemoglobin.

Стан еритропоезу в організмі поросят за дії наносполук феруму та германію

O. O. Ковальчук¹ | В. А. Томчук¹ | В. О. Данчук¹ | В. В. Карповський²

¹ Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна

² Одеський державний аграрний університет,
м. Одеса, Україна

Актуальність проведених досліджень обумовлена відсутністю у доступній літературі відомостей щодо впливу наночастинок феруму та германію на стан еритропоезу у поросят. Метою роботи було встановити вплив задавання наночастинок феруму та германію свиноматкам на кількість еритроцитів, вміст гемоглобіну та показник гематокриту у отриманих від них поросят. Експеримент проведено на 24 свиноматках великої білої породи, віком 2–3 роки, яких було розділено на дві групи (контрольна і дослідна). 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. Матеріалом для досліджень слугували зразки відібрані крові від 5 поросят отриманих від свиноматок дослідних груп на другу, сьому і двадцять першу добу життя. Вплив постнатальної адаптації на кількість еритроцитів в крові поросят протягом експерименту становив – $F = 534,6 > FU = 4,49$ ($P < 0,001$), вміст гемоглобіну – $F = 55,5 > FU = 4,49$ ($P < 0,001$) та показник гематокриту відповідно – $F = 11,1 > FU = 4,49$ ($P < 0,004$). Встановлено достовірний вплив задавання наносполук феруму і германію свиноматкам на кількість еритроцитів і крові ($F = 11,7 > FU = 4,49$; $P < 0,004$). Задавання наносполук феруму та германію свиноматкам має достовірний вплив на кількість еритроцитів ($\eta^2_\chi = 0,74$; $P < 0,01$), вміст гемоглобіну ($\eta^2_\chi = 0,83$; $P < 0,001$) та показник гематокриту ($\eta^2_\chi = 0,75$; $P < 0,01$) в крові 2-добових поросят. За задавання свиноматкам протягом 10 діб до опоросу наночастинок феруму і германію кількість еритроцитів у крові отриманих від них 2-добових поросят була на 12,8% ($P < 0,001$), вміст гемоглобіну на 14,3% ($P < 0,001$), а показник гематокриту на 14,5% ($P < 0,05$) більше відповідно до показників поросят контрольної групи. Отже, наносполук феруму та германію можуть відігравати важливу роль у покращенні гемопоезу у поросят.

Ключові слова: свині, наносполук металів, еритроцити, гемоглобін.

Бібліографічний опис для цитування: Ковальчук О. О., Томчук В. А., Данчук В. О., Карповський В. В. Стан еритропоезу в організмі поросят за дії наносполук феруму та германію. *Scientific Progress & Innovations*. 2024. № 27 (3). С. 55–59.

Вступ

Новонароджені поросята проходять складний перехідний постнатальний період, під час якого їх органи та системи адаптуються до нових умов життя [2]. Одним із важливих аспектів цього періоду є забезпечення достатньої кількості кисню для тканин та органів, що вимагає ефективної оксигенотransпортної системи, яка включає кров та її компоненти [6]. Загалом, стан оксигенотransпортної функції крові в новонароджених поросят є складною та динамічною системою [14], яка підлягає активним змінам та адаптаціям у перехідний період після народження [19]. Дослідження цієї системи є важливим аспектом для збільшення знань про фізіологію поросят та розвиток стратегій для покращення їхнього здоров'я та виживання [1, 9, 18].

У новонароджених поросят є значні відмінності в анатомії та фізіології порівняно з дорослими особинами. Наприклад, їх респіраторна система ще не повністю розвинена, а серце працює підвищеними темпами. Це створює виклики для ефективного перехідного періоду та підкреслює важливість досліджень, спрямованих на збільшення знань про їхню фізіологію [15].

Наукові дослідження показують, що у новонароджених поросят низький рівень гемоглобіну і гематокриту, що може впливати на їхню здатність до перенесення кисню. Також рівень еритроцитів та інші параметри крові можуть бути нижчими порівняно з дорослими особинами [7]. Це становить виклики для їхнього здоров'я та адаптації до середовища. Проте оксигенотransпортна система новонароджених поросят демонструє вражаючу здатність до адаптації та компенсації. Деякі дослідження показують, що навіть при низьких рівнях гемоглобіну та інших параметрів крові, поросята можуть успішно пристосовуватися до нестачі кисню, збільшуючи кількість кровотоку до важливих органів [8].

Ферум відіграє провідну роль у обміні кисню в організмі. Він входить у склад гемоглобіну і міоглобіну, що відіграє ключову роль у синтезі еритроцитів та ефективному транспорті і зберіганні кисню [13]. У процесі еритропоезу залізо бере участь у синтезі гему в кровотворних клітинах кісткового мозку. Потім гем з'єднується з глобіном, утворюючи Hb, який транспортує кисень з легенів до тканин. Міоглобін, присутній у м'язових тканинах, отримує кисень від гемоглобіну та зберігає його для окисних потреб організму [10].

Встановлено, що у венозній крові германій більше локалізований в еритроцитах [12]. Недостатнє надходження германію з кормами може знижувати рівень імунного захисту організму та продуктивність тварин [16]. Германій бере участь у транспорті кисню в організмі, запобігаючи розвитку гіпоксії на тканинному рівні [17]. Така дія германію особливо важлива для тканин, органів і систем, найбільш чутливих до нестачі O₂, таких як серце, ЦНС, нирки, печінка [5]. Германій підвищує здатність кисню інгібувати утворення та нейтралізувати дію пероксидів.

Мета дослідження

Метою наших досліджень було встановити ступінь і характер впливу задавання наносполук феруму та германію на окремі показники ліпідного обміну в організмі свиноматок.

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.

Свиням 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.

Свиням контрольної групи наносполук не задавали.

Матеріалом для досліджень слугували зразки відібрані крові від 5 поросят отриманих від свиноматок дослідних груп на другу, сьому і двадцять першу добу життя. Кров для дослідження отримували з краніальної порожнистої вени в пробірці антикоагулянтами KF + Na₂ EDTA. У всіх зразках крові, у навчально-науковій лабораторії ветеринарно-діагностичних досліджень кафедри біохімії і фізіології тварин імені академіка М. Ф. Гулого, проводили визначення кількості еритроцитів, вмісту гемоглобін та показника гематокриту загально-прийнятими методами [20].

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

Відомо, що постнатальна адаптація поросят супроводжується розвитком окисного стресу та фізіологічною анемією, яка пов'язана з заміною фетальних еритроцитів на постнатальні червоні кров'яні тілця [4]. Встановлено, що дводобові поросята контрольної групи мають відносно низьку кількість еритроцитів і вміст гемоглобіну в крові, що характерно для цих тварин на даному етапі онтогенезу, зокрема, кількість еритроцитів в їх крові становила 3,48±0,06 Т/л, вміст гемоглобіну 63,4±1,0 г/л, а показник гематокриту відповідно 23,5±0,5 % (*табл. 1*).

Таблиця 1

Кількість еритроцитів, вміст гемоглобіну та показник гематокриту крові поросят ($M \pm m, n=5$)

Вік поросят, діб	Групи тварин	
	контрольна	дослідна
Кількість еритроцитів, Т/л		
2-добові	3,48±0,06	3,92±0,09***
7-добові	3,95±0,08	4,07±0,07
21-добові	5,59±0,10	6,00±0,09*
Вміст гемоглобіну, г/л		
2-добові	63,4±1,0	72,5±1,3***
7-добові	78,5±1,7	80,5±1,3
21-добові	91,9±2,5	96,6±2,9
Показник гематокриту, %		
2-добові	23,5±0,5	26,88±0,6**
7-добові	37,5±1,1	37,9±0,5
21-добові	41,4±1,4	42,1±1,9

Примітки: * – $P<0,05$; ** – $P<0,01$; *** – $P<0,001$ – порівняно до контрольної групи.

Однак уже до 7-ї доби життя у крові поросят контрольної групи кількість еритроцитів збільшується на 13,7 % ($P<0,001$), вміст гемоглобіну в крові на 23,8 % ($P<0,001$) та показник гематокриту на 59,8 % ($P<0,001$). Надалі, з 7-ї до 21-ї доби життя поросят згадані гематологічні показники крові продовжують зростати, зокрема, кількість еритроцитів збільшується ще на 41,3 % ($P<0,001$), вміст гемоглобіну в крові на 17,0 % ($P<0,001$) та показник гематокриту на 10,2 % ($P<0,05$).

Германій відомий своїми потенційними імуномодулюючими та антиоксидантними властивостями. Серед відомих факторів впливу наносполук германію на гемопоез [17] слід відмітити підвищення активності еритропоєтину, антиоксидантна дія та покращення імунного статусу завдяки імуномодулюючим властивостям [16]. У той же час, ферум є важливим компонентом гемоглобіну [13],

а наносполуки феруму мають потенціал покращувати еритропоєз через покращення засвоєння заліза [3, 10], стимуляцію клітин кісткового мозку та захисту від оксидативного стресу [11].

За задавання свиноматкам протягом 10 діб до опоросу наночастинок феруму і германію відмічено покращення гематологічних показників крові отриманих від них поросят, зокрема, кількість еритроцитів в їх крові була на 12,8 % ($P<0,001$), вміст гемоглобіну на 14,3 % ($P<0,001$), а показник гематокриту на 14,5 % ($P<0,05$) більше відповідно до показників поросят контрольної групи. З 2-ї до 7-ї доби життя у крові поросят дослідної групи кількість еритроцитів збільшується на 3,8 %, вміст гемоглобіну в крові на 11,1 % ($P<0,01$) та показник гематокриту на 41,1 % ($P<0,001$). Відмітимо, що у 7-добових поросят дослідної групи згадані гематологічні показники перестають достовірно відрізнятися від таких у поросят контрольної групи на даному етапі досліджень. Надалі, з 7-ї до 21-ї доби життя у крові поросят дослідної групи кількість еритроцитів збільшується ще на 47,2 % ($P<0,001$), вміст гемоглобіну в крові на 19,9 % ($P<0,001$) та показник гематокриту на 11,1 % ($P<0,05$). У крові 21-добових поросят дослідної групи лише кількість еритроцитів у крові достовірно більше на 7,3 % ($P<0,05$) від такої у поросят контрольної групи на даному етапі досліджень.

Задавання наносполук феруму та германію свиноматкам має достовірний вплив на кількість еритроцитів ($\eta^2=0,74$; $P<0,01$), вміст гемоглобіну ($\eta^2=0,83$; $P<0,001$) та показник гематокриту ($\eta^2=0,75$; $P<0,01$) в крові 2-добових поросят. Однак, уже до 7-ї доби життя поросят цей вплив стає недостовірним ($\eta^2=0,02-0,16$). Цікаво відмітити встановлений вплив задавання наносполук металів свиноматкам на кількість еритроцитів в крові 21-добових поросят ($\eta^2=0,59$; $P<0,05$), тоді, як впливу на показник гематокриту і вміст гемоглобіну недостовірний (рис. 1).

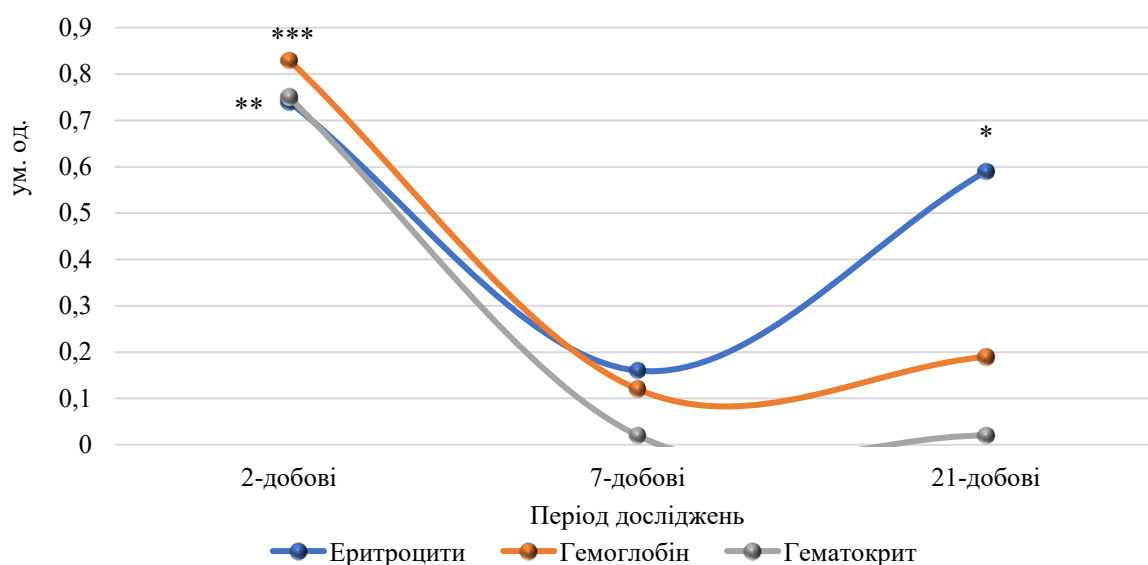


Рис. 1. Вплив (η^2) задавання наносполук феруму та германію свиноматкам на кількість еритроцитів, показник гематокриту та вміст гемоглобіну в крові поросят

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

Проведеними дослідженнями встановлено достовірний вплив задавання наносполук феруму і германію свиноматкам на гематологічні показники отриманих від них поросят (табл. 2), зокрема отримано достовірний вплив наносполук на кількість

еритроцитів і крові ($F= 11,7 > F_{U=4,49}$; $P<0,004$), тоді, як вплив на вміст гемоглобіну та показник гематокриту в крові цих тварин був недостовірний ($F= 0,23-2,9 < F_{U=4,49}$; $P<0,11-0,64$).

Таблиця 2

Двофакторний дисперсійний аналіз гематологічних показників поросят

Фактори впливу	SS	df	MS	F	P-значення	F критичне
Кількість еритроцитів						
Вплив наносполук	0,35	1	0,35	11,68	0,004	4,49
Адаптація	15,82	1	15,82	534,6	$P < 0,001$	4,49
Взаємозв'язок	0,11	1	0,11	3,55	0,078	4,49
Внутрішня	0,47	16	0,03	–	–	–
Всього	16,75	19	–	–	–	–
Вміст гемоглобіну						
Вплив наносполук	56,4	1	56,4	2,9	0,108	4,49
Адаптація	1080,5	1	1080,5	55,49	$P < 0,001$	4,49
Взаємозв'язок	9,2	1	9,2	0,47	0,501	4,49
Внутрішня	311,6	16	19,5	–	–	–
Всього	1457,7	19	–	–	–	–
Показник гематокриту						
Вплив наносполук	1,7	1	1,68	0,23	0,637	4,49
Адаптація	80,8	1	80,8	11,13	0,004	4,49
Взаємозв'язок	0,2	1	0,16	0,02	0,883	4,49
Внутрішня	116,2	16	7,26	–	–	–
Всього	198,8	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.

Поряд з цим, постнатальна адаптація поросят у більшій мірі лімітує гематологічні показники крові поросят ніж задавання наносполук свиноматкам, зокрема вплив постнатальної адаптації на кількість еритроцитів в крові поросят протягом експерименту становив $-F= 534,6 > F_{U=4,49}$ ($P<0,001$), вміст гемоглобіну – $F= 55,5 > F_{U=4,49}$ ($P<0,001$) та показник гематокриту відповідно – $F= 11,1 > F_{U=4,49}$ ($P<0,004$). Відмітимо, що за аналізу гематологічних показників крові поросят отриманих від свиноматок, яким задавали наночастинки феруму і германію міжфакторну взаємодію не встановлено достовірну.

Таким чином, наносполуки феруму та германію можуть відігравати важливу роль у покращенні гемопоезу у поросят, сприяючи їх здоров'ю та виживанню в критичний період після народження.

Висновки

Задавання наносполук феруму та германію свиноматкам впливає на кількість еритроцитів, вміст гемоглобіну та показник гематокриту крові у 2-добових поросят ($\eta^2=0,74-0,83$; $P<0,01$). Так, кількість еритроцитів та вміст гемоглобіну в крові цих тварин більше на 12,8–14,3 % ($P<0,001$), а показник гематокриту на 14,5 % ($P<0,05$) від 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

- Chateauvieux, S., Grigorakaki, C., Morceau, F., Dicato, M., & Diederich, M. (2011). Erythropoietin, erythropoiesis and beyond. *Biochemical Pharmacology*, 82 (10), 1291–1303. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2011.06.045>
- Danchuk, O., Korynevskaya, T., Grigoriev, V., Tsimbalyuk, O., & Masyuk, D. (2021). Topical issues of the adaptability of domestic animals (review). *Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral*, 98, 54–60. <https://doi.org/10.37000/absl.2021.98.09>
- Danchuk, O., Levchenko, A., da Silva Mesquita, R., Danchuk, V., Cengiz, S., Cengiz, M., & Grafov, A. (2023). Meeting contemporary challenges: development of nanomaterials for veterinary medicine. *Pharmaceutics*, 15 (9), 2326. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15092326>
- Ding, H., Yu, X., & Feng, J. (2020). Iron homeostasis disorder in piglet intestine. *Metallomics*, 12 (10), 1494–1507. <https://doi.org/10.1039/d0mt00149j>
- Fedoruk, R. S., Kovalchuk, I. I., Mezentseva, L. M., Tesarivska, U. I., Pylpets, A. Z., & Kaplunenko, V. H. (2022). Germanium compounds and their role in animal body. *The Animal Biology*, 24 (1), 50–60. <https://doi.org/10.15407/animbiol24.01.050>
- Holme Nielsen, C., Bladt Brandt, A., Thymann, T., Obelitz-Ryom, K., Jiang, P., Vanden Hole, C., van Ginneken, C., Pankratova, S., & Sangild, P. T. (2018). Rapid postnatal adaptation of neurodevelopment in pigs born late preterm. *Developmental Neuroscience*, 40 (5–6), 586–600. <https://doi.org/10.1159/000499127>
- Johnson, J. S., & Baumgard, L. H. (2018). Physiology symposium: Postnatal consequences of in utero heat stress in pigs. *Journal of Animal Science*, 97 (2), 962–971. <https://doi.org/10.1093/jas/sky472>

8. Knight, L. C., & Dilger, R. N. (2018). Longitudinal effects of iron deficiency anemia and subsequent repletion on blood parameters and the rate and composition of growth in pigs. *Nutrients*, 10 (5), 632. <https://doi.org/10.3390/nu10050632>
9. Kovalchuk, I. I., Slepokura, O. I., Kolomiets, I. A., Kolotnytskiy, V. A., Garmata, L. S., Golovach, P. I., & Kamratska, O. I. (2022). Erythron and protein system in piglets blood under stress influence. *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*, 5 (2), 32–36. <https://doi.org/10.32718/ujvas5-2.05>
10. Liao, F., Yang, W., Long, L., Yu, R., Qu, H., Peng, Y., Lu, J., Ren, C., Wang, Y., & Fu, C. (2024). Elucidating iron metabolism through molecular imaging. *Current Issues in Molecular Biology*, 46 (4), 2798–2818. <https://doi.org/10.3390/cimb46040175>
11. Liu, Z., Wang, M., Zhang, C., Zhou, S., & Ji, G. (2022). Molecular functions of ceruloplasmin in metabolic disease pathology. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy*, 15, 695–711. <https://doi.org/10.2147/dmso.s346648>
12. Lukevics, E., & Ignatovich, L. (2009). Biological Activity of Organogermanium Compounds. *Patai's Chemistry of Functional Groups*. <https://doi.org/10.1002/9780470682531.pat0275>
13. Owaidah, T., Al-Numair, N., Al-Suliman, A., Zolaly, M., Hasanato, R., Al Zahrani, F., Albalawi, M., Bashawri, L., Siddiqui, K., Alalaf, F., Almomen, A., & Sajid, M. R. (2020). Iron deficiency and iron deficiency anemia are common epidemiological conditions in Saudi Arabia: report of the national epidemiological survey. *Anemia*, 2020, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2020/6642568>
14. Prudyus, T., & Kaminskiy, R. (2024). Biochemical and hematological features of the blood parameters of young piglets under the influence of the feed additive "Activo". *Scientific Progress & Innovations*, 27 (1), 107–111. <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.01.18>
15. Quesnel, H., Resmond, R., Merlot, E., Pèrè, M.-C., Gondret, F., & Louveau, I. (2023). Physiological traits of newborn piglets associated with colostrum intake, neonatal survival and preweaning growth. *Animal*, 17 (6), 100843. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100843>
16. Sobolev, O. I., Gutyj, B. V., Sobolieva, S. V., Borshch, O. O., Kushnir, I. M., Petryshak, R. A., Naumyuk, O. S., Kushnir, V. I., Petryshak, O. Y., & Zhelavskiy, M. M. (2020). A Review of germanium environmental distribution, migration and accumulation. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10 (2), 200–208. https://doi.org/10.15421/2020_86
17. Stewart, J. H., Macintosh, D., Allen, J., & McCarthy, J. (2012). Germanium, Tin, and Copper. *Patty's Toxicology*, 355–380. <https://doi.org/10.1002/0471435139.tox033.pub2>
18. Thorn, C. E., Bowman, A. S., & Eckersall, D. (2022). Hematology of Pigs. *Schalm's Veterinary Hematology*, 1019–1025. <https://doi.org/10.1002/9781119500537.ch113>
19. Vanden Hole, C., Ayuso, M., Aerts, P., Van Cruchten, S., Thyman, T., Sangild, P. T., & Van Ginneken, C. (2021). Preterm birth affects early motor development in pigs. *Frontiers in Pediatrics*, 9. <https://doi.org/10.3389/fped.2021.731877>
20. Vlizlo, V. V., (red). (2012). *Laboratory research methods in biology, animal husbandry and veterinary medicine: reference book*. Lviv: SPOLOM.

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. Karpovsky  <https://orcid.org/0009-0003-9848-1411>



2024 Kovalchuk O. et al. 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.