
БІОЛОГІЧНА РОЛЬ СЕЛЕНУ ТА ЙОГО ЗНАЧЕННЯ У ЇХ ЖИВЛЕННІ

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

ВСТУП

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1. Біодоступність та метаболізм селену в організмі тварин

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2. Функціональне значення селену у формуванні антиоксидантної відповіді

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Таблиця 2

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Таблиця 4

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

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

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

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

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

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

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

Таблиця 5

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

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

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

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

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

Таблиця 6

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

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

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

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

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

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

Таблиця 7

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

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

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

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

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

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

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

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

Таблиця 8

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

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

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

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

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

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

ВИСНОВКИ

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

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

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

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

АНОТАЦІЯ

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

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

Література

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Information about the authors:

Kovalchuk Iryna Ivanivna,

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

Prodanchuk Olha Volodymyrivna,

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