

**ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА
І ПЕРЕРОБКИ ПРОДУКЦІЇ
ТВАРИННИЦТВА**

Збірник наукових праць

№ 1 (202) 2026

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА І ПЕРЕРОБКИ ПРОДУКЦІЇ ТВАРИНИЦТВА

УДК 636.52/.58:612.44:546.23:620.3

Вплив «зелених» наночастинок селену на концентрацію гормонів щитоподібної залози у курчат-бройлерів**Бітюцький В.С.¹ , Цехмістренко С.І.¹ , Харчишин В.М.¹ ,
Тимошок Н.О.² , Мельниченко О.М.¹ , Веред П.І. , Мельниченко Ю.О.¹ **¹ Білоцерківський національний аграрний університет, Біла Церква, Україна² Інститут мікробіології та вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України, Київ

Бітюцький В.С. E-mail: volodymyr.bituyskiy@btsau.edu.ua



Бітюцький В.С., Цехмістренко С.І., Харчишин В.М., Тимошок Н.О., Мельниченко О.М., Веред П.І., Мельниченко Ю.О. Вплив «зелених» наночастинок селену на концентрацію гормонів щитоподібної залози у курчат-бройлерів. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2026. № 1. С. 6–13.

Bituyskiy V., Tsekhmistrenko S., Kharchyshyn, V., Tymoshok N., Melnychenko O., Onyshchenko L., Melnychenko Yu. The effect of «green» selenium nanoparticles on thyroid hormone concentrations in broiler chickens. «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2026. № 1. PP. 6–13.

Рукопис отримано: 10.02.2026 р.

Прийнято: 23.02.2026 р.

Затверджено до друку: 19.05.2026 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2026-202-1-6-13

ISSN 2310-9289

Селен є ключовим мікроелементом тиреоїдного гомеостазу, оскільки входить до складу селенопротеїнів, зокрема йодтиронін-дейодиназ, які забезпечують перетворення тироксину (Т4) у біологічно активніший трийодтиронін (Т3). Водночас селен характеризується вузьким терапевтичним вікном, що зумовлює актуальність пошуку його форм із вищою біодоступністю та зниженою токсичністю.

Метою дослідження було оцінити вплив біогенних наночастинок селену (SeNPs), синтезованих шляхом «зеленого» мікробіологічного відновлення Na_2SeO_3 із використанням пробіотичної культури *Lactobacillus plantarum*, на концентрації вільних Т3 і Т4, а також коефіцієнт активації (Т3/Т4×100) у крові курчат-бройлерів кросу Cobb-500.

У досліді використано 200 одноденних курчат, розподілених на 5 груп (n=40): контрольну; групу, що отримувала селеніт натрію (0,30 мг Se/кг корму) у поєднанні з пробіотиком; а також три дослідні групи, яким згодовували SeNPs у дозах 0,15; 0,30 і 0,45 мг Se/кг корму разом із пробіотиком. Відбір крові проводили на 21-шу та 42-гу добу. Концентрації вільних Т3 і Т4 визначали методом імуноферментного аналізу (ІФА) із використанням тест-системи «Granum» (Україна). Статистичну значущість оцінювали за t-критерієм Стьюдента (p<0,05).

Встановлено дозозалежне підвищення Т3 та зниження Т4 у всіх групах, що отримували селен, уже на 21-шу добу. На 42-у добу застосування SeNPs у дозі 0,45 мг/кг забезпечувало підвищення коефіцієнта активації до 16,40 порівняно з 5,98 у контролі та 8,36 у групі селеніту натрію. За еквівалентної дози 0,30 мг/кг SeNPs сприяли підвищенню рівня Т3 приблизно на 40 % і зниженню Т4 на 23% порівняно із селенітом натрію.

Отримані результати свідчать про посилення конверсії Т4 у Т3 під впливом біогенних SeNPs, а також про наявність кумулятивного ефекту між 21-ю та 42-ю добами досліді. Оптимальною для практичного застосування визначено дозу 0,30 мг Se/кг корму, яка забезпечує виражений тиреотропний ефект за мінімізації ризику надлишкового накопичення селену.

Виявлена синергія між пробіотиком і наночастинками селену може розглядатися як перспективна платформа для створення функціональних кормових добавок у птахівництві. Показник Т3/Т4 доцільно використовувати як біомаркер ефективності селенового забезпечення бройлерів і для подальшої оптимізації дозування.

Ключові слова: наночастинки селену, зелений синтез, пробіотики, гормони щитоподібної залози, курчата-бройлери, трийодтиронін, тироксин, *Lactobacillus plantarum*, коефіцієнт активації, дейодинази.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Селен є незамінним мікроелементом, що відіграє ключову роль у численних фізіологічних процесах в організмі людини і тварин. Він входить до складу щонайменше 25 селенопротеїнів, зокрема глутатіонпероксидази і тіоредоксинредуктази, які забезпечують антиоксидантний захист клітин. Селен є критично важливим для підтримання імунно-ендокринного гомеостазу та регуляції сигнальних шляхів. Особливе значення цей мікроелемент має для функціонування щитоподібної залози, у тканинах якої його концентрація є однією з найвищих в організмі [1].

Щитоподібна залоза характеризується високим вмістом селену, необхідного для синтезу та метаболізму тиреоїдних гормонів. Селенопротеїни, зокрема йодотироніндейодинази (DIO1, DIO2, DIO3), беруть участь в активації та деактивації гормонів щитоподібної залози, забезпечуючи регуляцію метаболічних процесів в організмі. Дефіцит селену гальмує конверсію тироксину (Т4) у більш біологічно активний трийодтиронін (Т3), що супроводжується накопиченням Т4 і зниженням рівня Т3 та може призводити до розвитку гіпотиреозу і формування зоба [2].

Доведено, що застосування селеновмісних добавок модулює апоптотичні процеси у фолікулярних клітинах щитоподібної залози, відіграючи важливу роль у захисті тиреоцитів від оксидативного пошкодження [3].

Хоча селен характеризується численними біологічно корисними властивостями, він має вузьке терапевтичне вікно [4]. Перевищення рекомендованого рівня споживання може призводити до розвитку селенозу, який проявляється розладами шлунково-кишкового тракту, випадінням волосся, ламкістю нігтів, підвищеною втомлюваністю, а у тяжких випадках – неврологічними порушеннями. У зв'язку з цим пошук форм селену з оптимальним профілем безпеки та біодоступності є актуальним науковим завданням [5].

В останні роки наночастинки селену (SeNPs) привертають значну увагу як перспективна терапевтична та нутрієнтна платформа.

Порівняно з неорганічними (селеніт, селенат) та органічними (селенометіонін) формами, SeNPs характеризуються нижчою токсичністю, вищою біодоступністю та здатністю до ефективної доставки селену до клітин-мішеней, особливо після функціоналізації активними лігандами [6, 7]. Завдяки унікальним поверхневим властивостям SeNPs проявляють виражену антиоксидантну та імунотулювальну активність [8, 9].

Перспективним напрямком є «зелений» синтез SeNPs із використанням пробіотичних мікроорганізмів [10]. Пробиотичні бактерії, зокрема *Lactobacillus plantarum*, здатні відновлювати селенові солі до елементарного (Se⁰) з утворенням наночастинок, стабілізованих біомолекулами – білками та полісахаридами, що забезпечує їхню підвищену стабільність, біосумісність і біодоступність [11]. Показано, що біогенні SeNPs, синтезовані штамом *L. casei* 393, характеризуються вираженими антиоксидантними властивостями, нижчою цитотоксичністю порівняно із селенітом натрію та селенометіонітом і сприяють зменшенню оксидативного пошкодження клітин кишкового епітелію [11]. Також встановлено здатність *Bacillus clausii* трансформувати селеніт натрію в біогенний нано-Se, що відкриває перспективи створення селеновмісних пробіотичних препаратів на його основі [12].

Застосування селенових добавок асоціюється зі зниженням рівня антитіл до тиреопероксидази у пацієнтів з аутоімунним тиреоїдитом, покращенням ультразвукових показників щитоподібної залози та якості життя [13, 14]. Окрім того, доведено, що селен модулює апоптотичні процеси у фолікулярних клітинах щитоподібної залози, підкреслюючи його протекторну роль на клітинному рівні [3].

Водночас дослідження впливу біогенно синтезованих SeNPs на регуляцію тиреоїдних гормонів у птиці залишаються обмеженими. Так, Słupczyńska et al. [15] продемонстрували значну залежність тиреоїдного статусу від мінерального живлення у молодих курей, тоді як Rehman et al. [16] встановили позитивний вплив наноселену у поєднанні

з манан-олігосахаридами на продуктивність і морфо функціональний стан кишківника бройлерів, що підтверджує перспективність комплексних кормових добавок на основі SeNPs.

Наявність зазначених прогалин у знаннях зумовлює актуальність проведення подальших досліджень у цьому напрямі.

Мета дослідження. Метою роботи було синтезувати SeNPs методом «зеленого» синтезу за участю пробіотичних мікроорганізмів; охарактеризувати їхні фізико-хімічні властивості, а також оцінити вплив різних доз біогенних SeNPs на концентрацію гормонів щитоподібної залози (Т3, Т4) і коефіцієнт їхньої активації у курчат-бройлерів *in vivo*.

Матеріал і методи дослідження. Дослідження проводили на курчатах-бройлерах кросу Кобб-500. Загалом 200 одноденних курчат методом аналогів було рівномірно розподілено на п'ять груп по 40 особин у кожній. Курчата контрольної групи (1-ша група) отримували базовий раціон без добавок.

Курчата 2-ї групи отримували базовий раціон, доповнений селенітом натрію (0,3 мг Se/кг корму) у поєднанні з пробіотиком (*L. plantarum*). У 3-5-й групах до базового раціону додавали біогенний наноселен у дозах 0,15; 0,30 та 0,45 мг Se/кг корму відповідно у поєднанні з пробіотиком (*L. plantarum*).

Синтез наночастинок селену здійснювали у відділі проблем інтерферону та імуномодуляторів Інституту мікробіології та вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України методом мікробіологічного відновлення шляхом інкубації *Lactobacillus plantarum* у середовищі, збагаченому Na_2SeO_3 . Використовували штами *Lactobacillus plantarum*, здатні засвоювати неорганічні сполуки селену та ферментативно трансформувати їх у наночастинки. Пробіотичну культуру застосовували спільно з відповідними формами селену протягом усього періоду досліду.

Утримання птиці здійснювалося в однакових умовах відповідно до зоогігієнічних норм. Раціон годівлі відповідав стандартним рекомендаціям для кросу Кобб-500 з урахуванням фаз вирощування.

Відбір зразків крові проводили на 21-шу та 42-гу добу вирощування. Концентрації вільного трийодтироніну (Т3) та вільного тироксину (Т4) у плазмі крові визначали методом імуноферментного аналізу (ELISA, конкурентний формат) із використанням тест-систем «Гранум» (Україна). Коефіцієнт активації як відношення $\text{T3/T4} \times 100$.

Статистичну обробку результатів здійснювали із застосуванням методів варіа-

ційної статистики. Дані наведено у вигляді $M \pm m$. Достовірність відмінностей між групами оцінювали за t-критерієм Стьюдента при рівні значущості $p < 0,05$.

Під час проведення експерименту дотримувалися загальноприйнятих принципів біоетики, законодавчих норм і вимог, викладених у «Європейській конвенції про захист хребетних тварин, що використовуються для дослідних та наукових цілей» (Страсбург, 1986), «Загальних етичних принципів експериментів на тваринах» (Україна, 2001), а також відповідно до рішення Етичного комітету Білоцерківського національного аграрного університету з питань поводження з тваринами у наукових дослідженнях (протокол № 6 від 22.05.2018).

Результати дослідження та обговорення. Селен є незамінним компонентом метаболізму тиреоїдних гормонів, виконуючи функцію кофактора трьох ізоформ йодтироніндейодиназ, які каталізують перетворення тироксину (Т4) у більш біологічно активний трийодтиронін (Т3). Трийодтиронін відіграє ключову роль у регуляції численних метаболічних процесів, зокрема росту, розвитку та енергетичного обміну.

У птиці, як і у ссавців, підвищення рівня Se в раціоні супроводжується зростанням концентрації Т3 у плазмі крові та коефіцієнта активації, водночас рівень Т4 має тенденцію до зниження [2, 17].

Результати визначення концентрацій Т3 та Т4 у плазмі крові бройлерів на 21-шу та 42-гу добу експерименту наведено в табл. 1.

Як видно з даних таблиці 1, уже на 21-шу добу застосування селеновмісних добавок зумовило суттєві зміни гормонального статусу птиці. У контрольній групі зафіксовано найнижчий середній рівень Т3 ($1,15 \pm 0,12$ нмоль/л) та найвищу концентрацію Т4 ($33,2 \pm 1,46$ нмоль/л).

У всіх дослідних групах рівень Т3 перевищував контрольні значення, тоді як концентрація Т4 була нижчою порівняно з контролем. Найменш виражений ефект спостерігався у групі, що отримувала селеніт натрію. Водночас застосування наноселену в дозі 0,45 мг/кг забезпечило найвищий рівень Т3 ($1,54$ нмоль/л) та найнижчу концентрацію Т4 ($22,41$ нмоль/л) на 21-шу добу досліду.

На 42-гу добу експерименту відмінності між групами стали більш вираженими. Застосування SeNPs по-різному вплинуло на концентрації тиреоїдних гормонів: у всіх дослідних групах спостерігалось підвищення рівня Т3 та зниження рівня Т4 порівняно з контрольною групою.

Таблиця 1 – Рівні трийодтироніну (Т3) та тироксину (Т4) у плазмі крові курчат-бройлерів за введення різних форм селену в поєднанні з пробіотиком ($M \pm m, n=5$).

Вік, доба	Групи				
	1 Контроль (ПК)	2 Селеніт Na (0,3 мг) + Пр	3 6-SeNP (0,15 мг) + Пр	4 6-SeNP (0,30 мг) + Пр	5 6-SeNP (0,45 мг) + Пр
Т3, нмоль/л					
21	1,15±0,12	1,21±0,09	1,38±0,12	1,47±0,11	1,54±0,14
42	1,42±0,23	1,85±0,19	2,51±0,14*	2,58±0,17**	2,65±0,11**
Т4, нмоль/л					
21	33,2±1,46	30,41±2,13	24,36±1,85**	22,31±2,12**	22,41±1,58**
42	24,15±1,48	22,31±1,72	19,11±1,23*	17,24±1,12**	16,24±1,34**

Примітка: 6-SeNP – біогенний наноселен; Пр – пробіотик *L. Plantarum*. Різниця вважали статистично вірогідною порівняно з контрольною групою: * – $p \leq 0,05$; ** – за – $p \leq 0,01$.

Біогенний наноселен продемонстрував вищу ефективність порівняно з селенітом натрію. За однакової дози (0,3 мг/кг) рівень Т3 у групі, що отримувала біогенні SeNPs, становив 2,58 нмоль/л проти 1,85 нмоль/л у групі селеніту натрію, тоді як концентрація Т4 дорівнювала 17,24 нмоль/л проти 22,31 нмоль/л відповідно.

Таким чином, наноформа забезпечила приблизно на 40 % вищу концентрацію активного гормону Т3 та на 23 % нижчий рівень Т4 порівняно з неорганічним селенітом. Відповідно, коефіцієнт активації у групі, що отримувала біогенні SeNPs (0,3 мг), становив 15,34 проти 8,36 у групі селеніту натрію, що свідчить про майже двократну різницю [18].

Підвищена ефективність біогенного наноселену зумовлена, насамперед, його вищою біодоступністю та пролонгованим утриманням в організмі. Встановлено, що у бройлерів за умов згодовування наночастинок селену відзначається краща засвоюваність мікроелемента: накопичення селену в тканинах є вищим, тоді як його екскреція — нижчою порівняно з еквівалентним дозуванням у формі селеніту натрію [19, 20].

Окрім того, бактеріальне походження наночастинок (синтез за участю *Lactobacillus plantarum*) може сприяти їхньому кращому проникненню через слизову кишківника та включенню в метаболічні процеси. Органічна оболонка, сформована в процесі мікробіологічного синтезу і представлена білками та полісахаридами, підвищує стабільність SeNPs і покращує їхню взаємодію з рецепторними структурами ентероцитів [11].

Додавання наноселену позитивно впливає на мікроархітектуру кишківника бройлерів,

що опосередковано сприяє покращенню всмоктування мінеральних речовин, зокрема селену [16].

Проведене дослідження продемонструвало наявність чіткої дозо залежної відповіді біогенного наноселену. Як на 21-шу, так і на 42-гу добу спостерігалася стабільна тенденція до підвищення коефіцієнта $T3/T4 \times 100$ зі збільшенням дози SeNPs (рис. 1).

На 21-шу добу коефіцієнт активації підвищувався від 5,84 % за дози 0,15 мг/кг до 6,94 % за дози 0,45 мг/кг, тоді як у контрольній групі він становив 3,52%. На 42-гу добу різниця між дослідними групами стала більш вираженою: 13,47 → 15,34 → 16,40 відповідно зі збільшенням дози наноселену. Найвища доза SeNPs (0,45 мг/кг) забезпечила коефіцієнт активації, що перевищував контрольний показник у 2,7 раза [18, 20].

Аналогічну дозозалежну закономірність встановили Visha et al. (2020), які досліджували вплив неорганічного, органічного та наноселену у дозах 0,15; 0,3 та 0,6 мг/кг: максимальні значення коефіцієнта активації та рівня Т3 спостерігалися за найвищої дози порівняно з нижчими рівнями [18].

Водночас слід зазначити, що підвищення дози з 0,30 до 0,45 мг/кг супроводжувалося відносно незначним приростом коефіцієнта активації (15,34 → 16,40), що може свідчити про наближення до плато ефективності та можливе насичення ферментативних систем. Це дає змогу припустити, що доза 0,30 мг/кг є оптимальною, оскільки забезпечує виражений тиреоїдний ефект за умови мінімізації потенційного ризику надмірного накопичення селену.

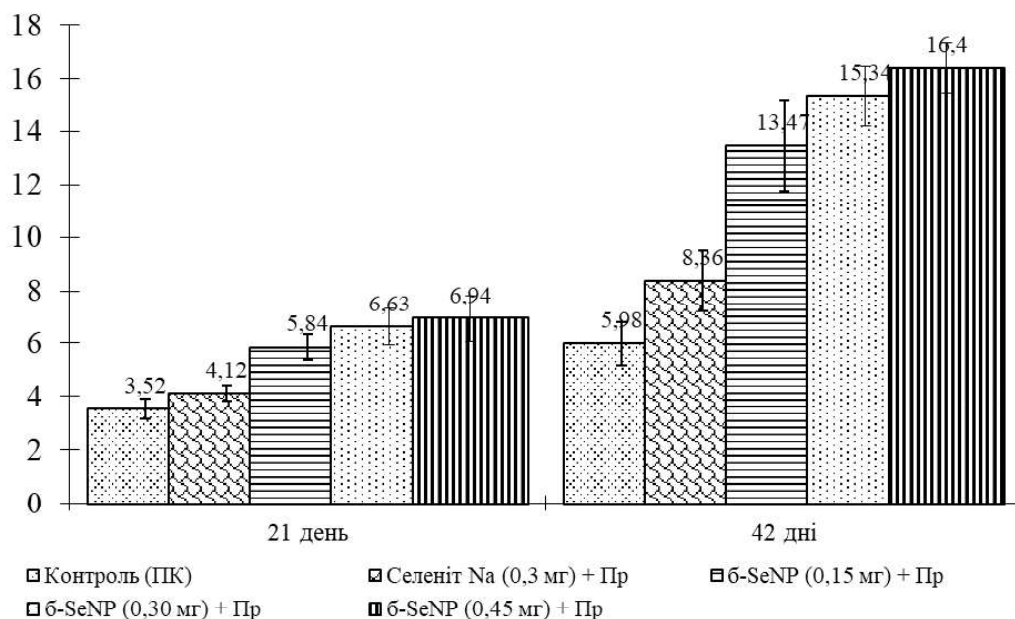


Рис. 1. Динаміка коефіцієнта активації ($T3/T4 \times 100$) у плазмі крові курчат-бройлерів на 21-шу та 42-гу добу.

У період з 21-ї до 42-ї доби у всіх групах спостерігалася закономірна тенденція до підвищення рівня T3 та зниження рівня T4, однак інтенсивність цих змін суттєво відрізнялася між групами. У контрольних курчат за цей період рівень T3 зріс помірно (приблизно на 23%), тоді як концентрація T4 знизилася приблизно на 27%, що зумовило підвищення коефіцієнта активації з 3,52 до 5,98.

Натомість у групах, що отримували наноселену, зміни були більш вираженими. Зокрема, у групі біогенного SeNP у дозі 0,45 мг/кг рівень T3 майже подвоївся (з 1,54 до 2,65 нмоль/л, приріст близько 72%), тоді як концентрація T4 знизилася на 27% (з 22,41 до 16,24 нмоль/л). Відповідно, коефіцієнт активації збільшився більше ніж удвічі (з 6,94 до 16,40).

Таким чином, пролонговане застосування селену у формі наночастинок посилює тиреоїдину відповідь у динаміці, що призводить до максимально виражених міжгрупових відмінностей на завершальному етапі вирощування [17, 20].

Роль пробіотичної культури *Lactobacillus plantarum* у цьому дослідженні є подвійною: по-перше, вона забезпечувала синтез біогенних SeNPs *in situ*; по-друге, сприяла покращенню стану мікробіому кишківника, що позитивно впливало на засвоєння селену [21].

Khan et al. (2021) показали, що застосування селенізованих пробіотиків у бройлерів

підвищує експресію дейодинази DIO2 та рівень T3 в умовах теплового стресу, сприяючи ефективнішій конверсії T4 [22].

Таким чином, виявлений синергізм між про біотичною культурою та наноселеном може пояснювати підвищені значення коефіцієнта активації у дослідних групах.

Отримані значення концентрацій T3 і T4 відповідають референтним діапазонам, наведеним у літературі для бройлерів. За даними Stojević et al. (2000), рівень T3 у 42-добових курчат може варіювати в межах 1,8-3,9 нмоль/л, тоді як концентрація T4 становить 24-38 нмоль/л, що узгоджується з результатами, отриманими у цьому дослідженні [23].

Ślarczyńska et al. [15] також підтверджують значну варіабельність тиреоїдних показників залежно від складу раціону та джерела мінеральних добавок у молодих курей. Важливо враховувати, що концентрації тиреоїдних гормонів суттєво залежать від методу їхнього визначення: використання методів CLIA та ELISA може призводити до різних абсолютних значень показників [24], тому порівняння результатів доцільно здійснювати переважно в межах одного методологічного підходу.

Висновки. Біогенні наночастинок селену, синтезовані за участю пробіотичної культури *L. plantarum*, чинять виражений стимулювальний вплив на рівень тиреоїдних гормонів у курчат-бройлерів і за ефективністю

перевищують традиційне неорганічне джерело селену – селеніт натрію. Встановлено достовірне підвищення концентрації Т3 та зниження рівня Т4 у плазмі крові в усіх групах, що отримували селен, уже на 21-шу добу вирощування, що свідчить про швидке включення біогенних SeNPs у метаболічні процеси та активацію ферментів йодтиронін-дейодиназ.

Виявлено чіткий дозозалежний ефект біогенного наноселену: підвищення дози від 0,15 до 0,45 мг Se/кг корму супроводжувалося зростанням коефіцієнта активації тиреоїдних гормонів (Т3/Т4×100) від 13,47 до 16,40 на 42-гу добу. Оптимальною визначено дозу 0,30 мг/кг, яка забезпечує виражений фізіологічний ефект за відсутності ознак надмірного накопичення селену.

Зі збільшенням віку птиці (з 21-ї до 42-ї доби) міжгрупові відмінності посилювалися, що свідчить про кумулятивний і пролонгований характер впливу біогенних SeNPs на функціональний стан щитоподібної залози. Наприкінці вирощування коефіцієнт активації у групі, що отримувала SeNP у дозі 0,45 мг/кг, у 2,7 раза перевищував контрольний показник.

Синергічна взаємодія про біотичної культури *L. plantarum* і наноселену сприяє підвищенню біодоступності селену, покращенню стану мікробіому кишківника та посиленню активності дейодиназ, що в сукупності забезпечує більш ефективну регуляцію тиреоїдного гомеостазу.

Перспективи подальших досліджень. Використання пробіотик-синтезованих наночастинок селену (SeNPs) є перспективним напрямом розробки функціональних кормових добавок, спрямованих на регуляцію ендокринного статусу та підвищення продуктивності сільськогосподарської птиці.

Подяки. Автори висловлюють подяку співробітникам відділу проблем інтерферону та імунomodляторів Інституту мікробіології та вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України за сприяння та допомогу в синтезі наночастинок.

Відомості про конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

REFERENCES

1. Gorini, F., Sabatino, L., Pingitore, A., Vassalle, C. (2021). Selenium: an element of life essential for thyroid function. *Molecules*, Vol. 26, no. 23, 7084 p. DOI:10.3390/molecules 26237084.

2. Lin, S.L., Yin, G.S., Miao, H.D., Gao, C.Z., Chen, W.L. (2014). Selenium deficiency inhibits the conversion of T4 to T3 in chicken thyroids. *Biological Trace Element Research*, Vol. 161, no. 3, pp. 263–271. DOI:10.1007/s12011-014-0083-8.

3. Nettore, I.C., De Nisco, E., Desiderio, S. (2017). Selenium supplementation modulates apoptotic processes in thyroid follicular cells. *BioFactors*, Vol. 43, no. 3, pp. 415–423. DOI:10.1002/biof.1351.

4. Tsekhmistrenko, S.I., Bityutsky, V.S., Tsekhmistrenko, O.S., Demchenko, O.A., Tymoshok, N.O., Melnychenko, O.M. (2022). Ecological biotechnologies of "green" synthesis of nanoparticles of metals, metal oxides, metalloids and their use: scientific monograph. Bila Tserkva, 270 p. (In Ukrainian).

5. Singh, S.B.P., Rajeshbhai, P.D., Aishwarya, N., Sejal, P., Pushpa, R. (2023). Selenium nanoparticles mitigating thyroid dysfunction in hexachlorobenzene-induced hypothyroid rats. *Research Journal of Biotechnology*, Vol. 18, no. 9, pp. 146–153.

6. Ferro, C., Florindo, H.F., Santos, H.A. (2021). Selenium nanoparticles for biomedical applications: from development and characterization to therapeutics. *Advanced Healthcare Materials*, Vol. 10, no. 16. DOI:10.1002/adhm.202100598.

7. Zambonino, M.C., Quizhpe, E.M., Mouheb, L., Rahman, A., Agathos, S.N., Dahoumane, S.A. (2023). Biogenic selenium nanoparticles in biomedical sciences: properties, current trends, novel opportunities and emerging challenges in theranostic nanomedicine. *Nanomaterials*, Vol. 13, no. 3, 424 p. DOI:10.3390/nano13030424.

8. Au, A., Mojadadi, A., Shao, J.Y., Ahmad, G., Witting, P.K. (2023). Physiological benefits of novel selenium delivery via nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*, Vol. 24, no. 7, 6068 p. DOI:10.3390/ijms24076068.

9. Zhang, T., Qi, M., Wu, Q. (2023). Recent research progress on the synthesis and biological effects of selenium nanoparticles. *Frontiers in Nutrition*, Vol. 10. DOI:10.3389/fnut.2023.1183487.

10. Bityutskyy, V., Tsekhmistrenko, S., Tsekhmistrenko, O., Demchenko, A. (2022). Eco-friendly biotechnology for biogenic nanoselenium production and its use in combination with probiotics in poultry feeding: innovative feeding concepts. The 8th International Scientific and Practical Conference «International Scientific Innovations in Human Life» (Manchester, February 16–18, 2022). Manchester: Cognum Publishing House, 687 p.

11. Xu, C., Qiao, L., Guo, Y., Ma, L., Cheng, Y. (2018). Preparation, characteristics and antioxidant activity of polysaccharides and proteins-capped selenium nanoparticles synthesized by *Lactobacillus casei* ATCC 393. *Carbohydrate Polymers*, Vol. 195, pp. 576–585. DOI:10.1016/j.carbpol.2018.04.110.

12. Tymoshok, N., Demchenko, O., Kharchuk, M., Bityutskyy, V., Tsekhmistrenko, O., Tsekhmistrenko, S. (2025). Study of genus *Bacillus* (*B. clausii*) probiotic bacteria regarding the biogenic extracellular synthesis of selenium nanoparticles. *Microbiological Journal*, Vol. 87, no. 1, pp. 3–12. DOI:10.15407/microbiolj87.01.003.
13. Ventura, M., Melo, M., Carrilho, F. (2017). Selenium and thyroid disease: from pathophysiology to treatment. *International Journal of Endocrinology*. DOI:10.1155/2017/1297658.
14. Wichman, J., Winther, K.H., Bonnema, S.J., Hegedüs, L. (2016). Selenium supplementation significantly reduces thyroid autoantibody levels in patients with chronic autoimmune thyroiditis: a systematic review and meta-analysis. *Thyroid*, Vol. 26, no. 12, pp. 1681–1692. DOI:10.1089/thy.2016.0256.
15. Słupczyńska, M., Jamroz, D., Orda, J., Wiliczekiewicz, A., Kuropka, P., Król, B. (2022). The thyroid hormone and immunoglobulin concentrations in blood serum and thyroid gland morphology in young hens fed with different diets, sources, and levels of iodine supply. *Animals*, Vol. 13, no. 1, 158 p. DOI:10.3390/ani13010158.
16. Rehman, H.F.U., Zaneb, H., Masood, S. (2022). Effect of selenium nanoparticles and mannan oligosaccharide supplementation on growth performance, stress indicators, and intestinal microarchitecture of broilers reared under high stocking density. *Animals*, Vol. 12, no. 21, 2910 p. DOI:10.3390/ani12212910.
17. Schomburg, L. (2012). Selenium, selenoproteins and the thyroid gland: interactions in health and disease. *Nature Reviews Endocrinology*, Vol. 8, no. 3, pp. 160–171. DOI:10.1038/nrendo.2011.174.
18. Visha, P., Kavitha, S., Sakthi, Saravana Pandian T., Vijayarani, K., Sivaseelan, S. (2020). Influence of nanoselenium supplementation on the thyroid hormones and blood biochemical status in broiler chickens. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, Vol. 9, no. 10, pp. 4023–4034. DOI:10.20546/ijemas.2020.910.464.
19. Dalia, A.M., Loh, T.C., Sazili, A.Q., Jahromi, M.F., Samsudin, A.A. (2020). The effect of dietary bacterial organic selenium on broiler growth performance, selenium distribution, antioxidant capacity and immune response. *BMC Veterinary Research*. Vol. 17, 240 p. DOI:10.1186/s12917-020-02357-x.
20. Jianhua, H., Ohtsuka, A., Hayashi, K. (2000). Selenium influences growth via thyroid hormone status in broiler chickens. *British Journal of Nutrition*, Vol. 84, no. 5, pp. 727–732. DOI:10.1017/S0007114500002028.
21. Tymoshok, N.O., Demchenko, O.A., Bityutskyy, V.S., Tsekhmistrenko, S.I., Kharchuk, M.S., Tsekhmistrenko, O.S. (2023). Bionanotechnology of selenite ions recovery into nanoselenium by probiotic strains of lactobacteria and tolerance of lactobacteria to sodium selenite. *Microbiological Journal*, Vol. 85, no. 4, pp. 9–20. DOI:10.15407/microbiolj85.04.009.
22. Khan, Z., Beg, M.A., Nagi, A. (2021). Selenium-enriched probiotics in heat-stressed broilers: effects on antioxidant status and thyroid function. *Acta Veterinaria Eurasia*. Vol. 47, no. 1, pp. 19–28.
23. Stojević, Z., Milinković-Tur, S., Čurčija, K. (2000). Changes in thyroid hormones concentrations in chicken blood plasma during fattening. *Veterinarski Arhiv*. Vol. 70, no. 1, pp. 31–37.
24. Eshratkhan, B., Asad, Zadeh S., Forouzan, V., Pour, Parsa A.A., Ghiasi, Ghalehkandi J. (2011). Comparative study on the determination of serum thyroid hormones by two methods of immunoassay in broiler breeder poultry. *Comparative Clinical Pathology*. Vol. 20, pp. 337–340. DOI:10.1007/s00580-010-0999-0.

The effect of «green» selenium nanoparticles on thyroid hormone concentrations in broiler chickens

Bityutskyy V., Tsekhmistrenko S., Kharchyshyn, V., Tymoshok N., Melnychenko O., Onyshchenko L., Melnychenko Yu.

Selenium is a key trace element in thyroid homeostasis, as it is a component of selenoproteins, including iodothyronine deiodinase, which convert thyroxine (T4) into the more biologically active triiodothyronine (T3). At the same time, selenium has a narrow “therapeutic window,” so it is important to find forms with higher bioavailability and lower toxicity. The aim of the study was to evaluate the effect of biogenic selenium nanoparticles (SeNPs), synthesized by “green” microbiological reduction of Na₂SeO₃ with the probiotic culture *Lactobacillus plantarum*, on the concentration of free T3 and T4 and the activation coefficient (T3/T4×100) in the blood of Cobb-500 broiler chickens.

The experiment used 200-day-old chickens divided into 5 groups (n=40): control; sodium selenite 0.30 mg Se/kg feed + probiotic; SeNPs 0.15, 0.30, and 0.45 mg Se/kg feed + probiotic. Blood samples were taken on days 21 and 42; free T3 and T4 were determined by ELISA (Granum test systems, Ukraine), and statistical significance was assessed using Student's t-test (p<0.05).

A dose-dependent increase in T3 and decrease in T4 was observed in all selenium-containing groups as early as day 21. On day 42, SeNPs at a dose of 0.45 mg/kg provided an activation coefficient of 16.40 compared to 5.98 in the control and 8.36 in the selenite group; at an equivalent dose of 0.30 mg/kg, SeNPs increased T3 by approximately 40% and decreased T4 by 23% compared to selenite.

The data obtained indicate an increase in T4→T3 conversion under the action of biogenic SeNPs and a cumulative effect between days 21 and 42. A dose of 0.30 mg Se/kg of feed is considered optimal for

practical use, providing a pronounced thyrotropic effect while minimizing the risk of excessive selenium accumulation; the “probiotic-nanoparticle” synergy is a promising platform for the creation of functional feed additives in poultry farming. The T3/T4 ratio can serve as a biomarker of the effectiveness of se-

lenium supplementation in broilers and for further optimization of dosage.

Keywords: selenium nanoparticles, green synthesis, probiotics, thyroid hormones, broiler chickens, triiodothyronine, thyroxine, *Lactobacillus plantarum*, activation coefficient, deiodinases.



Copyright: Бітюцький В.С. та ін. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Бітюцький В.С.

Цехмістренко С.І.

Харчишин В.М.

Тимошок Н.О.

Мельниченко О.М.

Веред П.І.

Мельниченко Ю.О.

<https://orcid.org/0000-0002-2699-3974>

<https://orcid.org/0000-0002-7813-6798>

<https://orcid.org/0000-0002-3403-3535>

<https://orcid.org/0000-0002-4207-4492>

<https://orcid.org/0000-0001-5462-508X>

<https://orcid.org/0000-0001-6548-4622>

<https://orcid.org/0000-0002-1324-0762>