

## ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА І ПЕРЕРОБКИ ПРОДУКЦІЇ ТВАРИНИЦТВА

УДК 636.5.084.52:547.1'123:577.12

**Вплив різних форм селену (селеніту, біогенного наноселену) у комплексі з пробіотиком на метаболічні показники курчат-бройлерів**Демченко О.А.<sup>2</sup> , Бітюцький В.С.<sup>1</sup> , Цехмістренко С.І.<sup>1</sup> ,Тимошок Н.О.<sup>2</sup> , Мельниченко Ю.О.<sup>1</sup> , Цехмістренко О.С.<sup>1</sup> <sup>1</sup> Білоцерківський національний аграрний університет<sup>2</sup> Інститут мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України Бітюцький В.С. E-mail: voseb@ukr.net

Демченко О.А., Бітюцький В.С., Цехмістренко С.І., Тимошок Н.О., Мельниченко Ю.О., Цехмістренко О.С. Вплив різних форм селену (селеніту, біогенного наноселену) у комплексі з пробіотиком на метаболічні показники курчат-бройлерів. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2023. № 1. С. 47–56.

Demchenko O., Bityutskyy V., Tsekhmistrenko S., Tymoshok N., Melnychenko Yu., Tsekhmistrenko O. The influence of different selenium forms (selenite, biogenic nanoselenium) in a complex with a probiotic on the metabolic parameters of broiler chickens. «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2023. № 1. PP. 47–56.

Рукопис отримано: 02.05.2023 р.

Прийнято: 22.05.2023 р.

Затверджено до друку: 25.05.2023 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2023-178-1-47-56

Селен, як важливий мікроелемент, входить до складу селенопротеїнів із властивостями модуляції росту та поліфакторними механізмами дії. Біологічні ефекти Se залежать від дози та хімічної форми, в якій він надходить до організму. Наночастинки селену мають унікальні характеристики, зокрема малий розмір, велику площу поверхні, розчинність і поліфункціональність. Включення функціоналізованих фітонутрієнтами наночастинок у корми доцільно завдяки розчинності, захисту від окислення та ферментативної деградації, збільшенню часу перебування та підвищенню біодоступності. Біогенні наночастинки селену, отримані методами «зеленого» синтезу за участю мікроорганізмів та рослинних екстрактів, біосумісні та менш токсичні, у порівнянні з неорганічними сполуками селену. Це дослідження було спрямовано на вивчення впливу різних форм селену в комплексі з пробіотиком (*L. plantarum*) на метаболічні процеси в організмі курчат-бройлерів, щоб забезпечити експериментальну основу щодо ефективного використання селеновмісних кормових добавок. Загалом 200 одноденних курчат-бройлерів кросу Кобб–500 методом рандомізації було розподілено на чотири групи: К (ПК), селеніт натрію (0,3 мг Se/кг корма) + пробіотик (*L. plantarum*) (2 група); біогенний наноселен (0,3 мг Se/кг корма + *L. Plantarum*) (3 група); нанобіокон'югат селену з флавоноїдами лушпиння цибулі (0,3 мг Se/кг корма + *L. Plantarum*) (4 група). Добавки селену та наноселену в комплексі з пробіотиком підвищували вміст у сироватці крові білка, у 3-ій та 4-ій групах ця різниця була вірогідною ( $p < 0,05$ ). У порівнянні з контролем, активність лужної фосфатази у всіх дослідних групах підвищувалась, проте у бройлерів 4-ї групи збільшення було вірогідним ( $p < 0,05$ ). Вміст загальних ліпідів, сечової кислоти та активність амінотрансаміназ вірогідно не відрізнялися у дослідних групах. Вміст креатиніну у сироватці крові та ТБК-активних продуктів у печінці птиці 3-ї та 4-ї груп був менший ( $p < 0,05$ ), проте кількість відновленого глутатіону (GSH) у тканинах печінки був ймовірно більшим. Встановлено, що наночастинки селену, синтезовані за участю зелених технологій, нетоксичні, біосумісні, мають антиоксидантні та гепатопротекторні властивості. Одержані результати є важливим орієнтиром щодо використання синтезованих інноваційним «зеленим» методом кон'югантів наноселену з флавоноїдами лушпиння цибулі в комплексі з пробіотичним штамом лактобактерій (*L. Plantarum*), як функціональної кормової добавки для поліпшення метаболічних процесів організму бройлерів, та можуть бути включені до складу кормових добавок для птиці.

**Ключові слова:** нанотехнології, наночастинки селену, «зелений» синтез, кверцетин, лушпиння цибулі, бройлери, кров, печінка, біохімічні показники.

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень.** Селен є важливою дієтичною добавкою та важливим мікроелементом, що входить до складу селенопротеїнів із властивостями модуляції росту та поліфакторними механізмами дії. Однак традиційні сполуки селену зазвичай мають вузьке поживне або терапевтичне вікно з низьким ступенем поглинання та вузькі межі безпеки, залежно від дози та хімічної форми, в якій вони надходять в організм. У навколишньому середовищі селен, хімічним символом якого є Se, існує в різних ступенях окиснення ( $2-$ ,  $0$ ,  $2+$ ,  $4+$ ,  $6+$ ) та у таких формах, як селенат ( $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ ), селеніт ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ), селенометіонін (SeMet), селеноцистеїн (SeCys) і нульвалентний Se ( $\text{Se}^0$ ) [13, 24, 27, 48].

Біологічні та токсикологічні ефекти Se як в антропогенному, так і в природному середовищах залежать від конкретного хімічного стану [26]. Нульовий ступінь окиснення Se ( $\text{Se}^0$ ) виявлений у наночастинках селену (SeNP), демонструє нижчу токсичність і чудову біодоступність, у порівнянні з іншими ступенями окиснення  $\text{Se}^{6+}$ ,  $\text{Se}^{4+}$  і  $\text{Se}^{2-}$  [37, 46]. Розроблення екологічно чистого і маловартісного методу синтезу наночастинок має важливе значення.

Завдяки останнім досягненням у нанотехнологіях нано-Se привернув широку увагу, оскільки він демонструє високу біологічну активність і низьку токсичність, що робить його ідеальною добавкою Se та поглиначем вільних радикалів [21]. Екологічна чистота виробництва наноструктур, застосування яких зростає значними темпами, є актуальною проблемою сьогодення.

Для синтезу наночастинок фізичними та хімічними методами необхідно використовувати відновлювальні агенти, які мають високу реакційну та токсичну дію, тобто вони є екологічно небезпечними та економічно вартісними. «Зелений» синтез залучає біооб'єкти, такі як бактерії, гриби, водорості, віруси та рослини. Такі «біонанофабрики» є доступними унікальними структурами, екологічно ефективними, та мають високу селективну здатність трансформувати окремі елементи в нульвалентний стан з утворенням наночастинок [41].

Крім цього, було доведено, що біогенні SeNPs – безпечні. Отже, біогенні SeNPs набувають інтересу, і нещодавні експерименти показали, що вони кращі, ніж синтетичні SeNPs і навіть інші органічні та неорганічні види Se, які використовувалися в минулому [21, 29, 38, 40]. Нині біогенні SeNPs набувають все більшого значення в медицині через їх високу терапевтичну цінність. SeNPs синтезують фі-

зичними, хімічними та біогенними методами. У порівнянні з іншими підходами (фізичними та хімічними), SeNPs, отримані біогенними методами, – більш стабільні та не агрегують через покриття біомолекул. Отже, додаткові стабілізуювальні агенти не потрібні [43, 44]. Використання фізичних та хімічних процесів синтезу вимагає високих температур, низького pH і небажаних хімічних речовин [22], що може зробити наночастинок токсичними та ризикованими для застосування людиною. Біогенні SeNPs містять нетоксичний матеріал і є безпечними для використання. Вони також є екологічно чистими та не мають токсичного впливу на природну екосистему [33]. Мікробами, які беруть участь у біогенному синтезі, є бактерії, гриби, водорості, актинобактерії та дріжджі [41]. Завдяки останнім досягненням у нанотехнологіях, нано-Se, отриманий методами «зеленої хімії», привернув широку увагу, оскільки він демонструє високу біологічну активність і низьку токсичність, що робить його ідеальною добавкою Se та поглиначем вільних радикалів [21].

Таким чином, враховуючи широкі можливості, які пропонують нанотехнології в діагностиці, лікуванні та профілактиці багатьох захворювань, SeNPs є корисними інструментами в дослідженнях з винятковими перевагами як потенційні терапевтичні засоби, з підвищеною біодоступністю, покращеним націлюванням та ефективністю проти окислювального стресу та розладів, опосередкованих запаленням [6]. З огляду на потребу в розробці екологічно чистих, недорогих, простих і високоефективних біомедичних агентів, які також можуть поєднуватися з тераностичними цілями та виявляти незначні побічні ефекти, біогенним SeNPs нині приділяється особлива увага [42, 39, 48].

Синтез наночастинок рослинного походження має численні переваги, включаючи масштабованість, біосумісність і медичне застосування. Таким чином, наночастинок рослинного походження, отримані з легкодоступних рослинних матеріалів, підходять для задоволення високого попиту на наночастинок для застосування в біомедичній, сільськогосподарській та екологічній сферах [2, 14]. Актуальним є синтез, що здійснюється за допомогою відходів агровиробництва, зокрема рослинних, при цьому процес синтезу не тільки стає «зеленим», а й екологічно чистим. Одним з таких рослинних відходів є лушпиння цибулі [17].

Цибулеве лушпиння містить у 20 разів більше кверцетину та глікозидів кверцетину,

ніж їстівна частина. Фенольні сполуки лушпиння цибулі містять кверцетин 4'-О-глюкозид і кверцетин, а також інші глікозиди кверцетину, ціанідин 3-О-глюкозид та низку продуктів деградації та окиснення кверцетину. Встановлено, що кверцетин має подвійний антиоксидантний потенціал, діючи спочатку у своїй неокисненій формі як поглинач активних форм кисню, а надалі, у разі окиснення, через окремі свої прооксидантні метаболіти підсилює антиоксидантні реакції. Останнім часом інтенсивно проводять дослідження із «зеленого» синтезу наночастинок золота [31], срібла [4, 34], оксиду заліза [5] з використанням як відновника та стабілізатора флавоноїдів лушпиння цибулі.

Таким чином, біогенні методи мають більшу перевагу перед методами хімічного відновлення через їх більш високу біосумісність, біоактивність та меншу цитотоксичність. Використання рослинних екстрактів більш вигідно, в порівнянні з бактеріальним шляхом, оскільки містить в собі довготривалі процедури культивування і витрати на підтримку клітинних культур [12].

**Мета дослідження.** Наші дослідження спрямовано на дослідження впливу різних форм селену, зокрема селеніту, біогенного наноселену, синтезованого за участі бактерій та нанобіокон'югатів селену з флавоноїдами лушпиння цибулі, в комплексі з пробіотиком на метаболічні показники організму курчат-бройлерів.

**Матеріал і методи дослідження.** Наночастинки біогенного наноселену, синтезованого за участю бактерій та нанобіокон'югатів селену з флавоноїдами лушпиння цибулі, були синтезовані спільно з науковцями відділу проблем інтерферону та імуномодуляторів Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України та у лабораторії НДІ екології та біотехнології БНАУ. У дослідженнях використовували флавоноїди екстракту лушпиння цибулі як природні та доступні відновники для забезпечення стабільності наночастинок селену й біодоступності утворених нанокон'югатів.

Науково-господарські експерименти щодо встановлення ефективності використання різних форм селену в комплексі з пробіотиком на метаболічні показники курчат-бройлерів проводили в умовах віварію. Дослідження було виконано із використанням методу груп аналогів [2].

Для досліджу відібрали 200 голів добових курчат-бройлерів кросу Кобб-500, яких розділили за принципом аналогів на 4 групи – контрольну і три дослідні, по 50 голів у кожній.

Для курчат-бройлерів усіх груп було забезпечено однакові умови мікроклімату, які задовольняли чинні зоогігієнічні норми. Експеримент тривав 42 доби. Піддослідну птицю годували повнораціонними комбікормами: передстартер, стартер, гровер і фінішер, згідно зі схемою досліду. Склад та поживність комбікорму впродовж досліду змінювались, залежно від віку курчат-бройлерів. Бройлери першої (контрольної) групи одержували повнораціонні комбікорми для курчат-бройлерів (ПК). До комбікорму дослідних груп птиці за багатоступеневого змішування додавали селеніт натрію + пробіотик (*L. plantarum*) (2 група), біогенний наноселен (0,3 мг Se/кг корма + *L. plantarum* (3 група) та нанобіокон'югат селену з флавоноїдами лушпиння цибулі (0,3 мг Se/кг корма + *L. plantarum* (4 група). Дозування пробіотику+ *L. plantarum* та препаратів Селену відповідало встановленим ефективним кількостям, за попередніми науковими дослідженнями, і становило 0,2 кг кормової про біотичної добавки/т комбікорму та 0,3 мг Se/кг корму.

Відбір крові та зважування курчат-бройлерів проводили після завершення експерименту (42-а доба). Кров для дослідження відбирали методом прижиттєвої пункції підкрильної вени. Для біохімічних досліджень застосовували тест-набори НВП «Філісіт Діагностика» (Україна). У сироватці крові визначали вміст загального білка біуретовою реакцією [28], загальних ліпідів, сечової кислоти [1], активність лужної фосфатази [23], аланінамінотрансферази (АлАТ) та аспартатамінотрансферази (АсАТ) [32].

Вміст глутатіону (GSH) у гомогенаті печінки визначали за рівнем утворення тіонітрофенільного аніона за взаємодії HS-груп глутатіону з 5,5'-дитіобіс-2-нітробензойною кислотою [19]. Концентрацію ТБК-активних продуктів у гомогенатах печінки виражали у нмоль МДА/г тканини [16].

Під час проведення досліджень дотримувалися загальних принципів біоетики, законодавчих норм та вимог, згідно з положенням «Європейської конвенції про захист хребетних тварин, що використовуються для дослідних та наукових цілей» (Страсбург, 1986) та «Загальних етичних принципів експериментів на тваринах» (Україна, 2001). Результати досліджень опрацьовували за стандартними статистичними методами у програмі Microsoft Excel.

**Результати дослідження та обговорення.** Біохімічний аналіз крові є стандартним способом оцінки стану здоров'я птиці, оскільки зміни показників можуть надати інформацію про інтенсивність метаболізму, стан окремих їх органів та якість раціону (табл. 1).

Таблиця 1 – Біохімічні показники крові курчат-бройлерів ( $M \pm m$ ,  $n=5$ ).

Показники	Група			
	1(К)	2	3	4
Загальний білок, г/дм <sup>3</sup>	31,2±1,17	33,9±1,25	37,4±1,31*	39,8±1,46*
Загальні ліпіди, г/дм <sup>3</sup>	5,18±0,61	5,14±0,32	5,09±0,40	5,28±0,43
Сечова кислота, мкмоль/дм <sup>3</sup>	312,1±25,6	302,9±17,1	298,8±18,1	285,8±21,5
Креатинін, мкмоль/дм <sup>3</sup>	170,6±5,29	168,6±7,10	158,3±5,86	154,1±3,35*
АлАТ, мкмоль/год×см <sup>3</sup>	2,52±0,21	2,73±0,17	2,32±0,14	2,12±0,19
АсАТ, мкмоль/год×см <sup>3</sup>	14,3±0,92	15,5±0,64	13,1±1,06	12,4±0,89
Лужна фосфатаза, мкмоль/хв×дм <sup>3</sup>	1332,7±104,7	1382,9±147,9	1567,2±136,5	1948,6±112,2*

**Примітка:** \* вірогідність різниць показників, у порівнянні з контролем: \* –  $p < 0,05$ .

Важливим показником для діагностики захворювань, пов'язаних з порушенням обміну речовин, є вміст загального білка у сироватці крові. За результатами дослідження встановлено, що його кількість у контрольній групі була вірогідно нижчою ( $p \leq 0,05$ ), ніж у 3-й та 4-й групах птиці. Ці зміни можуть свідчити про посилення білкового обміну в дослідних групах бройлерів.

Вміст загальних ліпідів у сироватці крові птиці контрольної групи складав  $5,18 \pm 0,61$  г/дм<sup>3</sup>, а у дослідних –  $5,14 \pm 0,32$  г/дм<sup>3</sup>,  $5,09 \pm 0,40$  г/дм<sup>3</sup> та  $5,28 \pm 0,43$  г/дм<sup>3</sup> у відповідних групах, тобто не мав вірогідної різниці.

Стан печінки, яка є центральною «лабораторією» організму, можна характеризувати за активністю амінотрансфераз (АлАТ, АсАТ) у сироватці крові. Оцінюючи активності трансaminaз встановили, що їх значення перебували у межах фізіологічної норми та мали тенденцію до зменшення.

Концентрації загального білка разом з рівнями АлАТ і АсАТ у крові та профілем ліпідів є надійними індикаторами функцій печінки і тісно пов'язані зі ступенем порушення ліпідного обміну в печінці [9, 50].

Згодовування курчатам-бройлерам у складі комбікормів різних форм селену у комплексі з пробіотиком, супроводжувалось тенденцією до зменшення вмісту сечової кислоти у крові. У піддослідних групах цей показник склав  $302,9 \pm 17,1$  мкмоль/дм<sup>3</sup> (2-а група) і  $298,8 \pm 18,1$  мкмоль/дм<sup>3</sup> (3-я група), та  $285,8 \pm 21,5$  (4-а група), що нижче за показники контрольної групи ( $312,1 \pm 25,6$ ). Це свідчить про оптимізацію біл-

кового обміну та відсутність токсичного впливу досліджуваних препаратів на нирки бройлерів дослідних груп. У птахів і рептилій сечова кислота є основним кінцевим продуктом білкового обміну, синтезується в печінці і виводиться нирковими каналцями. Як прооксидант сечова кислота може опосередковувати утворення реактивних радикалів через ланцюгову реакцію, що призводить до стану високого окисдативного стресу. Такому стану сприяють ліпідні молекули, зокрема ліпіди низької щільності, які є сприйнятливими до окиснення, направлено на мембрани, а не на клітинні компоненти. Таким чином, перемикання між антиоксидантною та прооксидантною активністю сечової кислоти залежить від її мікрооточення та швидкості генерації радикалів [30]. Найбільш оптимальною вважається кількість сечової кислоти у сироватці крові птахів не більше  $360$  мкмоль/дм<sup>3</sup>. Концентрація сечової кислоти в крові відображає екскреторну функціональну здатність проксимальних каналців нирок [35]. Відомо, що пошкодження нирок і аномальна катаболічна активність супроводжуються підвищеними концентраціями у крові сечовини, сечової кислоти та креатиніну [20]. Сечовина крові може бути використана як життєво важливий індикатор для оцінки потреби в амінокислотах або ефективності їх використання курчатами-бройлерами. Сироваткова сечовина виявляє інтенсивність метаболізму амінокислот, причому вищий катаболізм амінокислот пов'язаний з більшою концентрацією сечовини [18]. Зниження вмісту сечовини у сироватці може бути пов'язано з більш високим викорис-

танням та подальшим зменшенням катаболізму амінокислот [11, 25, 47].

Нашими дослідженнями встановлена тенденція до зниження вмісту сечової кислоти у крові, що може свідчити про посилене використання та синтез білка у курчат-бройлерів, яким згодовували комбікорми з додаванням наноселену в комплексі з пробіотиками. Відомо, що пошкодження нирок і аномальна катаболічна активність супроводжуються підвищеними концентраціями сечовини в крові, сечової кислоти та креатиніну [15].

Підвищення рівня сечової кислоти в крові (гіперурикемія) у птахів, є результатом зниження ниркової екскреції сечової кислоти як послідовності пошкодження нирок. Деякі дослідники підкреслювали роль ниркових змін у підвищенні рівня сечовини крові та сечової кислоти [36].

Креатинін, продукт життєдіяльності, що утворюється в результаті катаболізму фосфокреатину, фільтрується в основному нирками. Відбувається певна канальцева реабсорбція креатиніну, але це компенсується приблизно еквівалентним ступенем канальцевої секреції. Будь-які зміни рівня креатиніну в крові пов'язані з виведенням і, отже, відображають функцію нирок.

Встановлено, що у сироватці крові курчат-бройлерів 4 дослідної групи (згодовували корм з нанокон'югатом селену з флавоноїдом кверцетином) активність лужної фосфатази, достовірно, перевищувала показник контролю. Позитивний вплив згодовування комбікорму із добавками кверцетину підтверджуються даними [45], в яких встановлено, що кверцетин, який використовується як харчова добавка для бройлерів, покращує розвиток великогомілкової кістки і активує метаболізм кальцію і фосфору, підвищує активність лужної фосфатази сироватки крові.

Вміст ТБК-активних продуктів у печінці бройлерів 3-ї та 4-ї дослідних груп є вірогідно нижчим, порівняно з контрольною групою (табл. 2). Результати наших досліджень підтверджують дані [8], в яких оцінювалася можлива

підвищувальна ефективність дії наночастинок селену (SeNPs) щодо  $AlCl_3$  індукованого гепаторенального пошкодження у щурів. Лікування SeNPs полегшує гепаторенальну дисфункцію, поповнює ендогенну антиоксидантну систему, знижує експресію каспази-3 та підвищує експресію Bcl-2. Ця гепаторенальна дія може бути зумовлена здатністю SeNPs врівноважувати систему оксидант/антиоксидант, окрім її здатності послаблювати процес апоптозу [8].

Головна роль у захисті клітин від оксидативного стресу належить системі глутатіону. Відновлений глутатіон (GSH) є важливим неферментативним антиоксидантом у клітинах ссавців. GSH може діяти безпосередньо як антиоксидант для захисту клітин від вільних радикалів та прооксидантів, а також як кофактор для антиоксидантних та дезінтоксикаційних ферментів, таких як глутатіонпероксидаза, глутатіон S-трансфераза та гліоксалаза [10].

Глутатіон – важливий ендогенний антиоксидант, що бере участь у численних життєво важливих клітинних функціях, у тому числі, захисті від дії вільних радикалів та активних форм кисню. У ссавців печінка займає центральне місце в метаболізмі GSH, оскільки вона, зазвичай, має найбільшу концентрацію GSH в організмі і може забезпечити ним всі інші тканини за допомогою міжорганної циркуляції, причому у бройлерів вміст печінкового GSH може бути на 25–50 % меншим, ніж у ссавців. Результати проведених нами досліджень вмісту глутатіону у печінці доводять, що вміст GSH у тканинах печінки дослідних груп зростає, вірогідними були зміни у курчат 2-ї та 3-ї дослідних груп.

Позитивний ефект кверцетину на статус GSH висвітлено у дослідженнях [49], згідно з якими встановлено, що кверцетин може модулювати експресію генів, пов'язаних з антиоксидантами для полегшення окиснювального стресу, підвищує рівень GSH і знижує рівень активних форм кисню для запобігання спричиненого токсикантом окисного пошкодження шляхом активації фактору транскрипції-Nrf2 та експресії антиоксидантних ферментів.

Таблиця 2 – Біохімічні показники печінки бройлерів ( $M \pm m$ ,  $n=5$ ).

Показники	Група			
	1(К)	2	3	4
GSH, мкмольGSH/г тканини печінки	3,92±0,15	4,39±0,17	4,82±0,21*	5,12±0,22*
Вміст ТБК-активних продуктів, нмоль МДА /г протеїну	2,92±0,16	2,68±0,19	2,41±0,14*	2,33±0,12*

**Висновки.** Встановлено, що додавання до складу комбікорму бройлерів біокон'югатів селену та кверцетину, одержаних з відходів сільськогосподарського виробництва (лушпиння цибулі), підвищували вміст у сироватці крові білка, активність лужної фосфатази. Вміст ТБК-активних продуктів достовірно знижувався ( $p < 0,05$ ) у бройлерів 3-ї та 4-ї дослідних груп. Активність аспартатамінотрансферази та вміст креатиніну в крові було знижено ( $p < 0,05$ ) у птиці 3-ї та 4-ї дослідних груп. Використання у складі комбікормів наночастинок селену в комплексі з пробіотиком підвищують вміст плутатіону у печінці курчат-бройлерів.

Новизна та перевага запропонованого біокомпозиту в тому, що об'єднують позитивні ефекти фітонутриєнту кверцетину та синтезованих інноваційним «зеленим» методом нанокон'югатів Селену з використанням відходів агропромисловості, що значно зменшує концентрацію флавоноїду та стабілізує його структуру. Синтезовані з відходів агропромисловості (лушпиння цибулі) наночастинок селену, функціоналізовані кверцетином, нетоксичні, біосумісні, мають антиоксидантні властивості та можуть бути включені до складу кормових добавок для тварин та птиці.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Влізло В. В., Федорук Р. С., Ратич І. Б. Лабораторні методи досліджень у біології, тваринництві та ветеринарній медицині: довідник. Львів: Сполум, 2012. 764 с.
2. Кононенко В. К., Ібатулін І. І., Патров В. С. Практикум з основ наукових досліджень у тваринництві. Київ, 2000. 96 с.
3. Цехмістренко, О.С., Бітюцький, В.С., Цехмістренко, С.І. Використання наночастинок металів та неметалів у птахівництві. Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва: Зб. наук. праць, 2019. 2, С. 113–130. <https://doi.org/10.33245/2310-9289-2019-150-2-113-130>
4. Green synthesis, characterization and applications of silver nanoparticle mediated by the aqueous extract of red onion peel/ H.S.T.S.H. Abdullah et al. *Environmental Pollution*. 2021. 271. 116295 p. DOI:10.1016/j.envpol.2020.116295.
5. Abid M. A., Abid D. A., Aziz W. J., Rashid T. M. Iron oxide nanoparticles synthesized using garlic and onion peel extracts rapidly degrade methylene blue dye. *Physica B: Condensed Matter*, 2021. 622. 413277 p. DOI:10.1016/j.physb.2021.413277.
6. Ahmadi M., Ahmadian A., Seidavi A. R. Effect of different levels of nano-selenium on performance, blood parameters, immunity and carcass characteristics of broiler chickens. *Poultry Science Journal*, 2018. 6(1). P. 99–108. DOI:10.22069/psj.2018.13815.1276.
7. Using green biosynthesized lycopene-coated selenium nanoparticles to rescue renal damage in

glycerol-induced acute kidney injury in rats/ A. Al-Brakati et al. *International journal of nanomedicine*, 2021. P. 4335–4349.

8. Al-Kahtani M., Morsy K. Ameliorative effect of selenium nanoparticles against aluminum chloride-induced hepatorenal toxicity in rats. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019. 26(31). P. 32189–32197. DOI:10.1007/s11356-019-06417-y.

9. Attia Y. A., Al-Harthi M. A. Nigella seed oil as an alternative to antibiotic growth promoters for broiler chickens. *Eur. Poult. Sci.* 2015. 79. P. 1612–1919. DOI:10.1399/eps.2015.80.

10. Averill-Bates D. A. The antioxidant glutathione. *Vitamins and Hormones*, 2023. 121. 109–141. DOI:10.1016/bs.vh.2022.09.002.

11. Awad E. A., Zulkifli I., Soleimani A. F., Aljuobori A. Effects of feeding male and female broiler chickens on low-protein diets fortified with different dietary glycine levels under the hot and humid tropical climate. *Ital. J. Anim. Sci.* 2017. 16. P. 453–461. DOI:10.1080/1828051X.2017.1291288.

12. Bisht N., Phalswal P., Khanna P. K. Selenium nanoparticles: A review on synthesis and biomedical applications. *Materials Advances*, 2022. 3(3). P. 1415–1431. DOI:10.1039/D1MA00639H.

13. A novel method for the measurement of elemental selenium produced by bacterial reduction of selenite/ K. C. Biswas et al. *J. Microbiol. Methods*. 2011. 86. P. 140–144. DOI:10.1016/j.mimet.2011.04.009.

14. Influence of selenium on redox processes, selenoprotein metabolism and antioxidant status of aquaculture facilities/ V.S. Bityutskyy et al. *Таврійський науковий вісник*, 2020. 114. P. 231–240. DOI:10.32851/2226-0099.2020.114.28.

15. Chaudhari G. R., Kaul L. Effect of castor meal feeding on serum and uric acid concentration in white Leghorn cockerels. *Ind. J. Environ. Toxicol.* 1996. 1. P. 45–47.

16. Dahle L. K., Hill E. G., Holman R. T. The thiobarbituric acid reaction and the autoxidations of polyunsaturated fatty acid methyl esters. *Archives of biochemistry and biophysics*, 1962. 98(2). P. 253–261.

17. Synthesis of functionalized selenium nanoparticles with the participation of flavonoids. *Multidisciplinary academic notes. Theory, methodology and practice/A. Demchenko et al.* In *Proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference*. Tokyo, Japan, 2022. P. 29–35.

18. Uric acid, urea, and ammonia concentrations in serum and uric acid concentration in excreta as indicators of amino acid utilization in diets for broilers/ A.L. Donsbough et al. *Poultry Science*, 2010. 89(2). P. 287–294. DOI:10.3382/ps.2009-00401.

19. Ellman G. L. Tissue sulfhydryl groups. *Archives of biochemistry and biophysics*. 1959. 82(1). P. 70–77.

20. Griffin B. R., Faubel S., Edelstein C. L. Biomarkers of drug-induced kidney toxicity. *Therapeutic drug monitoring*, 2019. 41(2). 213 p. DOI:10.1097/FTD.0000000000000589.

21. Nano-selenium and its nanomedicine applications: a critical review/ B. Hosnedlova et

- al. International journal of nanomedicine, 2018. P. 2107–2128. DOI:10.2147/IJN.S157541.
22. A novel selenium nanoparticles-enhanced chemiluminescence system for determination of dinitrobutylphenol/ M. Iranifam et al. Talanta. 2013. 107. P. 263–269. DOI:10.1016/j.talanta.2012.12.043.
23. Kind P. R. N., King E. J. Estimation of plasma phosphatase by determination of hydrolysed phenol with amino-antipyrine. Journal of Clinical Pathology, 1954. 7(4). 322 p.
24. Lau A.T., Tan H.W., Xu Y.M. Epigenetic effects of dietary trace elements. Curr. Pharmacol. Rep. 2017. 3. P. 232–241. DOI:10.1007/s40495-017-0098-x
25. The effects of low-protein diets and protease supplementation on broiler chickens in a hot and humid tropical environment/ F.L. Law et al. Asian-Australas. J. Anim. Sci. 2018. 31. P. 1291–1300. DOI:10.5713/ajas.17.0581.
26. Lenz M., Lens P. N. The essential toxin: The changing perception of selenium in environmental sciences. Sci. Total Environ. 2009. 407. P. 3620–3633. DOI:10.1016/j.scitotenv.2008.07.056.
27. Selenite reduction by *Shewanella oneidensis* MR-1 is mediated by fumarate reductase in periplasm/ D.-B. Li et al. Sci. Rep. 2014. 4. 3735 p. DOI:10.1038/srep03735.
28. Lowry O. H., Rosenbrough N. I., Farr A. R. Protein measurement with the Folin phenol reagent. J. Biol. Chem., 1951. 193(1). P. 265–275.
29. Maiyo F., Singh M. (2017). Selenium nanoparticles: Potential in cancer gene and drug delivery. Nanomedicine. 12. P. 1075–1089. DOI:10.2217/nmm-2017-0024.
30. Nabavi S. M., Silva A. S. (Eds.). Antioxidants Effects in Health: The Bright and the Dark Side. Academic Press. 2022.
31. Phukan K., Devi R., Chowdhury D. Green synthesis of gold nano-bioconjugates from onion peel extract and evaluation of their antioxidant, anti-inflammatory, and cytotoxic studies. ACS omega, 2021. 6(28). P. 17811–17823. DOI:10.1021/acsomega.1c00861.
32. Reitman S., Frankel S. (1957). A colorimetric method for the determination of serum glutamic oxalacetic and glutamic pyruvic transaminases. American journal of clinical pathology, 1957. 28(1). P. 56–63.
33. Rapid efficient synthesis and characterization of silver, gold, and bimetallic nanoparticles from the medicinal plant *Plumbago zeylanica* and their application in biofilm control/ G.R. Salunke et al. International journal of nanomedicine, 2014. P. 2635–2653. DOI:10.2147/ IJN.S59834.
34. Santhosh A., Theertha V., Prakash P., Chandran S.S. From waste to a value added product: Green synthesis of silver nanoparticles from onion peels together with its diverse applications. Materials Today: Proceedings, 2021. 46. P. 4460–4463. DOI:10.1016/j.matpr.2020.09.680.
35. Scope A., Schwendenwein I. Laboratory evaluation of renal function in birds. Veterinary Clinics: Exotic Animal Practice, 2020. 23(1). P. 47–58.
36. Siller W. G. Renal Pathology of the Fowl. A Review. Avian Pathology, 1981. 10. P. 187–262. DOI:10.1080/03079458108418474.
37. Biosynthesis of selenium nanoparticles by *Pantoea agglomerans* and their antioxidant activity/ S.K. Torres et al. J. Nanoparticle Res. 2012. 14. 1236 p. DOI:10.1007/s11051-012-1236-3.
38. Tóth R. J., Csapó J. The role of selenium in nutrition—A review. Acta Univ. Sapientiae Aliment. 2018. 11. P. 128–144. DOI:10.2478/ausal-2018-0008.
39. Tsekhmistrenko S. I., Bityutskyy V. S., Tsekhmistrenko O. S. Markers of oxidative stress in the blood of quails under the influence of selenium nanoparticles. In Impact of modernity on science and practice. Abstracts of XVIII International Scientific and Practical Conference. Boston, USA, 2020. P. 177–180.
40. Ecological and toxicological characteristics of selenium nanocompounds/ S.I. Tsekhmistrenko et al. Ukrainian Journal of Ecology, 2021. 11(3). P. 199–204. DOI: 10.15421/2021\_163.
41. Bionanotechnologies: synthesis of metals' nanoparticles with using plants and their applications in the food industry: A review/ S. Tsekhmistrenko et al. Journal of microbiology, biotechnology and food sciences, 2021. 10(6). 1513 p. DOI:10.15414/jmbfs.1513.
42. Biogenic Selenium Nanoparticles and Their Anticancer Effects Pertaining to Probiotic Bacteria – A Review/ A. Ullah et al. Antioxidants, 2022. 11(10). 1916 p. DOI:10.3390/antiox11101916.
43. Van Overschelde O., Guisbiers G., Snyders R. Green synthesis of selenium nanoparticles by excimer pulsed laser ablation in water. APL Mater. 2013. 1. 042114. DOI:10.1063/1.4824148.
44. Wadhvani S. A., Shedbalkar U. U., Singh R., Chopade B. A. Biogenic selenium nanoparticles: Current status and future prospects. Appl. Microbiol. Biotechnol. 2016. 100. P. 2555–2566. DOI:10.1007/s00253-016-7300-7.
45. Quercetin regulates calcium and phosphorus metabolism through the Wnt signaling pathway in broilers/ B. Wang et al. Frontiers in Veterinary Science, 2022. 8. 1670 p. DOI:10.3389/fvets.2021.786519.
46. Wang H., Zhang J., Yu H. Elemental selenium at nano size possesses lower toxicity without compromising the fundamental effect on selenoenzymes: Comparison with selenomethionine in mice. Free Radic. Biol. Med. 2007. 42. P. 1524–1533. DOI:10.1016/j.freeradbiomed.2007.02.013.
47. Response of broilers to gradual dietary protein reduction with or without an adequate glycine plus serine level/ W.-W. Wang et al. Ital. J. Anim. Sci. 2020. 19. P. 127–136. DOI:10.1080/ 1828051X.2019.1704634.
48. Biogenic Selenium Nanoparticles in Biomedical Sciences: Properties, Current Trends, Novel Opportunities and Emerging Challenges in Theranostic Nanomedicine/ M.C. Zambonino et al. Nanomaterials, 2023. 13(3). 424 p. DOI:10.3390/nano13030424.
49. Zerín T., Kim Y. S., Hong S. Y., Song H. Y. Quercetin reduces oxidative damage induced by paraquat via modulating expression of antioxidant genes in A549 cells. Journal of Applied Toxicology, 2013. 33(12). P. 1460–1467. DOI:10.1002/jat.2812.

50. The application of reduced dietary crude protein levels supplemented with additional amino acids in laying ducks/ Y.N. Zhang et al. *Poultry Science*, 2021. 100(4). 100983 p. DOI:10.1016/j.psj.2021.01.006.

#### REFERENCES

- Vlizlo, V. V., Fedoruk, R. S., Ratysh, I. B. (2012). *Laboratorni metody doslidzhen u biologii, tvarynnytstvi ta veterynarnii medytsyni: dovidnyk [Laboratory research methods in biology, animal husbandry and veterinary medicine: a handbook]*. Lviv: Spolom, 764 p. (In Ukrainian).
- Kononenko, V. K., Ibatullin, I. I., Patrov, V. S. (2000). *Praktykum zosnovna ukovykh doslidzhen u tvarynnytstvi [Workshop on the basics of scientific research in animal husbandry]*. Kyiv, 96 p. (In Ukrainian).
- Cehmistrenko, O.S., Bitjuc'kyj, V.S., Cehmistrenko, S.I. (2019). *Vykorystannja nanochastynek metaliv ta nemetaliv u ptahivnytstvi [The use of nanoparticles of metals and non-metals in poultry farming]. Tehnologija vyrobnytva i pererobky produkciï tvarynnytva: zb. nauk. prac' [Technology of production and processing of livestock products: coll. of science works]*. 2, pp. 113–130. (in Ukraine). DOI:10.33245/2310-9289-2019-150-2-113-130
- Abdullah, H.S.T.S.H., Asseri, S.N.A.R.M., Mohamad, W.N.K.W., Kan, S.Y., Azmi, A.A., Julius, F.S.Y., Chia, P.W. (2021). Green synthesis, characterization and applications of silver nanoparticle mediated by the aqueous extract of red onion peel. *Environmental Pollution*, 271, 116295 p. DOI:10.1016/j.envpol.2020.116295.
- Abid, M.A., Abid, D.A., Aziz, W.J., Rashid, T.M. (2021). Iron oxide nanoparticles synthesized using garlic and onion peel extracts rapidly degrade methylene blue dye. *Physica B: Condensed Matter*, 622, 413277 p. DOI:10.1016/j.physb.2021.413277.
- Ahmadi, M., Ahmadian, A., Seidavi, A.R. (2018). Effect of different levels of nano-selenium on performance, blood parameters, immunity and carcass characteristics of broiler chickens. *Poultry Science Journal*, 6(1), pp. 99–108. DOI:10.22069/psj.2018.13815.1276.
- Al-Brakati, A., Alsharif, K.F., Alzahrani, K. J., Kabrah, S., Al-Amer, O., Oyouni, A. A., Abdel Moneim, A.E. (2021). Using green biosynthesized lycopen-coated selenium nanoparticles to rescue renal damage in glycerol-induced acute kidney injury in rats. *International journal of nanomedicine*, pp. 4335–4349.
- Al-Kahtani, M., Morsy, K. (2019). Ameliorative effect of selenium nanoparticles against aluminum chloride-induced hepatorenal toxicity in rats. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(31), pp. 32189–32197. DOI:10.1007/s11356-019-06417-y.
- Atia, Y. A., Al-Harhi, M. A. (2015). Nigella seed oil as an alternative to antibiotic growth promoters for broiler chickens. *Eur. Poult. Sci.* 79, pp. 1612–1919. DOI:10.1399/eps. 2015.80.
- Averill-Bates, D. A. (2023). The antioxidant glutathione. *Vitamins and Hormones*, 121, pp. 109–141. DOI:10.1016/bs.vh.2022.09.002
- Awad, E. A., Zulkifli, I., Soleimani, A. F., Aljuobori, A. (2017). Effects of feeding male and female broiler chickens on low-protein diets fortified with different dietary glycine levels under the hot and humid tropical climate. *Ital. J. Anim. Sci.*, 16, pp. 453–461. DOI:10.1080/1828051X.2017.1291288.
- Bisht, N., Phalswal, P., Khanna, P. K. (2022). Selenium nanoparticles: A review on synthesis and biomedical applications. *Materials Advances*, 3(3), pp. 1415–1431. DOI:10.1039/D1MA00639H.
- Biswas, K. C., Barton, L. L., Tsui, W. L., Shuman, K., Gillespie, J., Eze, C. S. (2011). A novel method for the measurement of elemental selenium produced by bacterial reduction of selenite. *J. Microbiol. Methods*, 86, pp. 140–144. DOI:10.1016/j.mimet.2011.04.009.
- Bityutskyy, V. S., Tsekhmistrenko, S. I., Tsekhmistrenko, O. S., Oleshko, O. A., Heiko, L. M. (2020). Influence of selenium on redox processes, selenoprotein metabolism and antioxidant status of aquaculture facilities. *Taurian Scientific Bulletin*, 114, pp. 231–240. DOI:10.32851/2226-0099.2020.114.28 (In Ukrainian).
- Chaudhari, G. R., Kaul, L. (1996). Effect of castor meal feeding on serum and uric acid concentration in white Leghorn cockerels. *Ind. J. Environ. Toxicol.*, 1, pp. 45–47.
- Dahle, L. K., Hill, E. G., Holman, R. T. (1962). The thiobarbituric acid reaction and the autoxidations of polyunsaturated fatty acid methyl esters. *Archives of biochemistry and biophysics*, 98(2), pp. 253–261.
- Demchenko, A., Bityutskyy, V., Tsekhmistrenko, S., Tsekhmistrenko, O., Kharchyshyn, V. (2022). Synthesis of functionalized selenium nanoparticles with the participation of flavonoids. *Multidisciplinary academic notes. Theory, methodology and practice*. In *Proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference*. Tokyo, Japan, pp. 29–35.
- Donsbough, A. L., Powell, S., Waguespack, A., Bidner, T. D., Southern, L. L. (2010). Uric acid, urea, and ammonia concentrations in serum and uric acid concentration in excreta as indicators of amino acid utilization in diets for broilers. *Poultry Science*, 89(2), pp. 287–294. DOI:10.3382/ps.2009-00401.
- Ellman, G.L. (1959). Tissue sulfhydryl groups. *Archives of biochemistry and biophysics*, 82(1), pp. 70–77.
- Griffin, B. R., Faubel, S., Edelstein, C. L. (2019). Biomarkers of drug-induced kidney toxicity. *Therapeutic drug monitoring*, 41(2), 213 p. DOI:10.1097/FTD.0000000000000589.
- Hosnedlova, B., Kepinska, M., Skalickova, S., Fernandez, C., Ruttkay-Nedecky, B., Peng, Q., Kizek, R. (2018). Nano-selenium and its nanomedicine applications: a critical review. *International journal of nanomedicine*, pp. 2107–2128. DOI:10.2147/IJN.S157541.
- Iranifam, M., Fathinia, M., Rad, T. S., Hanifehpour, Y., Khataee, A. R., Joo, S. W. (2013). A novel selenium nanoparticles-enhanced chemiluminescence system for determination of dinitrobutylphenol. *Talanta*, 107, pp. 263–269. DOI:10.1016/j.talanta.2012.12.043.



23. Kind, P. R. N., King, E. J. (1954). Estimation of plasma phosphatase by determination of hydrolysed phenol with amino-antipyrine. *Journal of clinical Pathology*, 7(4), 322 p.
24. Lau, A. T., Tan, H. W., Xu, Y. M. (2017). Epigenetic effects of dietary trace elements. *Curr. Pharmacol. Rep.* 3, pp. 232–241. DOI:10.1007/s40495-017-0098-x.
25. Law, F. L., Zulkifli, I., Soleimani, A. F., Liang, J. B., Awad, E. A. (2018). The effects of low-protein diets and protease supplementation on broiler chickens in a hot and humid tropical environment. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.*, 31, pp. 1291–1300. DOI:10.5713/ajas.17.0581.
26. Lenz, M., Lens, P. N. (2009). The essential toxin: The changing perception of selenium in environmental sciences. *Sci. Total Environ.*, 407, pp. 3620–3633. DOI:10.1016/j.scitotenv.2008.07.056.
27. Li, D.-B., Cheng, Y.-Y., Wu, C., Li, W.-W., Li, N., Yang, Z.-C., Tong, Z.-H., Yu, H.-Q. (2014). Selenite reduction by *Shewanella oneidensis* MR-1 is mediated by fumarate reductase in periplasm. *Sci. Rep.* 4, 3735 p. DOI:10.1038/srep03735.
28. Lowry, O. H., Rosenbrough, N. I., Farr, A. R. (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, 193(1), pp. 265–275.
29. Maiyo, F., Singh, M. (2017). Selenium nanoparticles: Potential in cancer gene and drug delivery. *Nanomedicine*, 12, pp. 1075–1089. DOI:10.2217/nmm-2017-0024.
30. Nabavi, S. M., Silva, A. S. (Eds.). (2022). Antioxidants Effects in Health: The Bright and the Dark Side. Academic Press.
31. Phukan, K., Devi, R., Chowdhury, D. (2021). Green synthesis of gold nano-bioconjugates from onion peel extract and evaluation of their antioxidant, anti-inflammatory, and cytotoxic studies. *ACS omega*, 6(28), pp. 17811–17823. DOI:10.1021/acsomega.1c00861.
32. Reitman, S., Frankel, S. (1957). A colorimetric method for the determination of serum glutamic oxalacetic and glutamic pyruvic transaminases. *American journal of clinical pathology*, 28(1), pp. 56–63.
33. Salunke, G. R., Ghosh, S., Santosh Kumar, R. J., Khade, S., Vashisth, P., Kale, T., Chopade, B. A. (2014). Rapid efficient synthesis and characterization of silver, gold, and bimetallic nanoparticles from the medicinal plant *Plumbago zeylanica* and their application in biofilm control. *International journal of nanomedicine*, pp. 2635–2653. DOI:10.2147/IJN.S59834.
34. Santhosh, A., Theertha, V., Prakash, P., Chandran, S.S. (2021). From waste to a value added product: Green synthesis of silver nanoparticles from onion peels together with its diverse applications. *Materials Today: Proceedings*, 46, pp. 4460–4463. DOI:10.1016/j.matpr.2020.09.680.
35. Scope, A., Schwendenwein, I. (2020). Laboratory evaluation of renal function in birds. *Veterinary Clinics: Exotic Animal Practice*, 23(1), pp. 47–58.
36. Siller, W.G. (1981). Renal Pathology of the Fowl. A Review. *Avian Pathology*, 10, pp. 187–262. DOI:10.1080/03079458108418474.
37. Torres, S. K.; Campos, V. L.; León, C. G.; Rodríguez-Llamazares, S. M.; Rojas, S. M.; Gonzalez, M.; Smith, C.; Mondaca, M. A. (2012). Biosynthesis of selenium nanoparticles by *Pantoea agglomerans* and their antioxidant activity. *J. Nanoparticle Res.*, 14, 1236 p. DOI:10.1007/s11051-012-1236-3.
38. Tóth, R. J., Csapó, J. (2018). The role of selenium in nutrition—A review. *Acta Univ. Sapientiae Aliment.* 11, pp. 128–144. DOI:10.2478/ausal-2018-0008.
39. Tsekhmistrenko, S. I., Bityutskyy, V. S., Tsekhmistrenko, O. S. (2020). Markers of oxidative stress in the blood of quails under the influence of selenium nanoparticles. In *Impact of modernity on science and practice. Abstracts of XVIII International Scientific and Practical Conference*. Boston, USA, pp. 177–180.
40. Tsekhmistrenko, S. I., Bityutskyy, V. S., Tsekhmistrenko, O. S., Kharchishin, V. M., Tymoshok, N. O., Demchenko, A. A., Tokarchuk, T. S. (2021). Ecological and toxicological characteristics of selenium nanocompounds. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11(3), pp. 199–204. DOI:10.15421/2021\_163.
41. Tsekhmistrenko, S., Bityutskyy, V., Tsekhmistrenko, O., Merzlo, S., Tymoshok, N., Melnichenko, A., Yakymenko, I. (2021). Bionanotechnologies: synthesis of metals' nanoparticles with using plants and their applications in the food industry: A review. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 10(6), 1513 p. DOI:10.15414/jmbfs.1513.
42. Ullah, A., Mu, J., Wang, F., Chan, M. W. H., Yin, X., Liao, Y., Kazmi, M. R. (2022). Biogenic Selenium Nanoparticles and Their Anticancer Effects Pertaining to Probiotic Bacteria – A Review. *Antioxidants*, 11(10), 1916 p. DOI:10.3390/antiox11101916.
43. Van Overschelde, O., Guisbiers, G., Snyders, R. (2013). Green synthesis of selenium nanoparticles by excimer pulsed laser ablation in water. *APL Mater.*, 1, 042114. DOI:10.1063/1.4824148.
44. Wadhvani, S. A., Shedbalkar, U. U., Singh, R., Chopade, B. A. (2016). Biogenic selenium nanoparticles: Current status and future prospects. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 100, pp. 2555–2566. DOI:10.1007/s00253-016-7300-7.
45. Wang, B., Wang, S., Ding, M., Lu, H., Wu, H., Li, Y. (2022). Quercetin regulates calcium and phosphorus metabolism through the Wnt signaling pathway in broilers. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 1670 p. DOI:10.3389/fvets.2021.786519.
46. Wang, H., Zhang, J., Yu, H. (2007). Elemental selenium at nano size possesses lower toxicity without compromising the fundamental effect on selenoenzymes: Comparison with selenomethionine in mice. *Free Radic. Biol. Med.*, 42, pp. 1524–1533. DOI:10.1016/j.freeradbiomed.2007.02.013.
47. Wang, W.-W., Wang, J., Wu, S.-G., Zhang, H.-J., Qi, G.H. (2020). Response of broilers to gradual dietary protein reduction with or without an adequate glycine plus serine level. *Ital. J. Anim. Sci.*, 19, pp. 127–136. DOI:10.1080/1828051X.2019.1704634.
48. 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 Opportuni-

ties and Emerging Challenges in Theranostic Nanomedicine. *Nanomaterials*, 13(3), 424 p. DOI:10.3390/nano13030424.

49. Zerin, T., Kim, Y. S., Hong, S. Y., Song, H. Y. (2013). Quercetin reduces oxidative damage induced by paraquat via modulating expression of antioxidant genes in A549 cells. *Journal of Applied Toxicology*, 33(12), pp. 1460–1467. DOI:10.1002/jat.2812.

50. Zhang, Y.N., Wang, S., Deng, Y.Z., Huang, X.B., Li, K. C., Chen, W., Zheng, C. T. (2021). The application of reduced dietary crude protein levels supplemented with additional amino acids in laying ducks. *Poultry Science*, 100(4), 100983 p. DOI:10.1016/j.psj.2021.01.006.

### The influence of different selenium forms (selenite, biogenic nanoselenium) in a complex with a probiotic on the metabolic parameters of broiler chickens

Demchenko O., Bityutskyy V., Tsekhmistrenko S., Tymoshok N., Melnychenko Yu., Tsekhmistrenko O.

Selenium, as an important trace element, is part of selenoproteins with growth-modulating properties and multifactorial mechanisms of action. The biological effects of Se depend on the dose and chemical form in which it enters the body. Selenium nanoparticles have unique characteristics, including small size, large surface area, solubility and multifunctionality. The inclusion of phytonutrient-functionalized nanoparticles in feed is expedient due to solubility, protection against oxidation and enzymatic degradation, increased residence time, and increased bioavailability. Biogenic selenium nanoparticles, obtained by "green" synthesis methods with the participation of microorganisms and plant extracts, are biocompatible and less toxic compared to inorganic selenium compounds. This study was aimed at studying the effect of different forms of

selenium in a complex with a probiotic (*L. plantarum*) on metabolic processes in the body of broiler chickens in order to provide an experimental basis for the effective use of selenium-containing feed additives. A total of 200-day-old broiler chickens of the Cobb 500 cross were divided into four groups by the analog method: K (PC), sodium selenite (0.3 mg Se/kg feed) + probiotic (*L. plantarum*) (2<sup>nd</sup> group); biogenic nanoselenium (0.3 mg Se/kg feed + *L. plantarum*) (3<sup>rd</sup> group); nanobioconjugate of selenium with flavonoids of onion peel (0.3 mg Se/kg feed + *L. plantarum*) (group 4). Supplements of selenium and nanoselenium in a complex with a probiotic increased the content of protein in blood serum, in the 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> groups this difference was significant ( $p < 0.05$ ). Compared to the control, the activity of alkaline phosphatase increased in all experimental groups, but in broilers of the 4<sup>th</sup> group, the increase was probable ( $p < 0.05$ ). The content of total lipids, uric acid and activity of aminotransaminases probably did not differ in the experimental groups. The content of creatinine in blood serum and TBC-active products in the liver of birds of the 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup> groups was lower ( $p < 0.05$ ), but the amount of reduced glutathione (GSH) in the liver tissues was probably higher. It has been established that selenium nanoparticles synthesized with the participation of green technologies are non-toxic, biocompatible, have antioxidant and hepatoprotective properties. The obtained results are an important guideline for the use of nanoselenium conjugates synthesized by the innovative "green" method with flavonoids of onion peel in a complex with a probiotic strain of lactobacilli (*L. Plantarum*) as a functional feed additive to improve the metabolic processes of the broiler body and can be included in the composition feed additives for poultry.

**Key words:** nanotechnology, selenium nanoparticles, "green" synthesis, quercetin, onion peel, broilers, blood, liver, biochemical indicators.



Copyright: Демченко О.А. 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:

Демченко О.А.

Бітюцький В.С.

Цехмістренко С.І.

Тимошок Н.О.

Мельниченко Ю.О.

Цехмістренко О.С.

<https://orcid.org/0000-0003-1457-143X>

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

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

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

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

<https://orcid.org/0000-0003-0509-4627>