

## БІОТЕХНОЛОГІЯ ТА БІОІНЖЕНЕРІЯ

УДК 636.087.72

**ЦЕХМІСТРЕНКО О.С.**

**БІТЮЦЬКИЙ В.С.**

**ЦЕХМІСТРЕНКО С.І.**

**МЕЛЬНИЧЕНКО О.М.**

*Білоцерківський національний аграрний університет*

**ТИМОШОК Н.О.**

**СПІВАК М.Я.**

*Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАНУ*

### **ВИКОРИСТАННЯ НАНОЧАСТИНОК МЕТАЛІВ ТА НЕМЕТАЛІВ У ПТАХІВНИЦТВІ**

Узагальнено дані світової та вітчизняної літератури щодо особливостей кумуляції наночастинок мікроелементів в організмі, їх впливу на метаболізм, редокс-процеси та продуктивність птиці. Акцентовано увагу на токсичності різних форм і джерел розглянутих елементів, їх взаємовплив на біодоступність, антагонізм та швидкість виведення з організму. Необхідність у дослідженні особливостей використання наночастинок та їх ефективності у виробництві продукції тваринництва постійно зростає. Наведено докази позитивного застосування наноформ елементів (цинку, срібла, селену, церію, заліза) у раціонах різних видів сільськогосподарської птиці завдяки їх метаболічній, антимікробній дії, впливу на перетравлення та регуляцію роботи кишечника. Проаналізовані дані свідчать, що наночастинок металів та неметалів у тваринництві є альтернативою кормовим антибіотикам задля антибактеріальної дії, підвищення продуктивності тварин та птиці, можуть активізувати метаболізм шляхом стимулювання діяльності гормонів, оптимізувати імунну відповідь організму, індукувати синтез металотіонеїнів та сприяти зростанню коефіцієнта конверсії корму. Встановлено, що наночастинок металів та неметалів у разі потрапляння до кишечника знижують мінеральний антагонізм, що сприяє підвищенню ефективності травлення. Встановлено зміни прооксидантно-оксидантного статусу крові тварин за використання досліджуваних наночастинок та зміни показників гомеостазу, що є позитивним для домашньої птиці через підвищення продуктивності, інтенсифікацію виробництва яєць, їх ваги та швидкості запліднення інкубаційних яєць. Встановлено вплив наночастинок на редокс-гомеостаз та процеси пероксидного окиснення ліпідів та протеїнів. Аргументовано використання нанорозмірних препаратів для використання у біології, медицині, ветеринарії, сільському господарстві та необхідність подальших досліджень для вивчення всіх можливих механізмів біологічної дії наноструктур.

**Ключові слова:** мікроелементи, наночастинок, птиця, живлення, срібло, цинк, селен, діоксид церію.

**doi:** 10.33245/2310-9289-2019-150-2-113-130

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень.** Нанотехнологія є міждисциплінарною галуззю науки, яка базується на інноваційних концепціях і фундаментальних дослідженнях і включає синтез, характеристику і застосування наноматеріалів. Наноматеріали (НМ) – це нанооб'єкти, які мають розмірний діапазон від 1 до 100 нм хоча би в одному вимірі, та демонструють унікальні хімічні та фізичні властивості, включаючи велике відношення поверхні / об'єму [40, 99].

Нанометровий розмір матеріалу показує властивості, відмінні від основного матеріалу та ізолюваних атомів [13]. Нанотехнології широко використовують у фізиці, хімії, інженерії, медицині та, останнім часом, у сільському господарстві [14, 75]. Попри поширеність наноструктур (наномолекул) у природі (білки, ДНК, поліцукри, віруси) [13], їх виготовлення є інноваційним щодо створення матеріалів та елементів зі зміною морфології, текстури та підвищеної стабільності на молекулярному рівні [101], що сприяє виробництву, переробці, зберіганню, транспортуванню, відстеженню та безпеці харчових продуктів [40, 75].

**Метою огляду** є опис використання біогенних наночастинок у комбікормах для птиці та з'ясування їх механізму дії на організм з обґрунтуванням використання у сільському господарстві для підвищення продуктивності галузі.

**Характеристика методів синтезу наночастинок.** Наночастинок (НЧ) можуть бути синтезовані методом «знизу-вгору», що ґрунтується на хімічному відновленні мінеральних сполук

(ріст та зародження атомів мінералу, утворення кластерів), або методом «зверху-вниз», за механохімічного диспергування, термічного випаровування за обробки плазмою, лазером та конденсації вихідного матеріалу у вакуумі, електроерозії, літографії [75]. Методи одержання НЧ надає їм нові характеристики, що дає змогу поділити їх на неорганічні, органічні, емульсійні та наноглинисті [33].

Для того, щоб усунути недоліки фізичних та хімічних методів синтезу наноструктур, нині інтенсивно розвиваються технології зеленого синтезу [1, 91, 107]. Зелений синтез є екологічно чистою альтернативою традиційним методам синтезу і спрямований на зниження токсичних складових, що використовуються у цих методах [45, 69]. Протягом останнього десятиліття доведено, що різні біологічні системи, включаючи рослини, водорості, бактерії, гриби можуть відновлювати йони неорганічних металів у відповідні наночастинки редукуючими речовинами: білками, ферментами і низькомолекулярними метаболітами, які містяться в цих організмах [1, 25 84, 91].

Перевага наночастинок, синтезованих методами «зеленої» хімії, полягає в тому, що біоресурси (рослини, гриби, дріжджі, бактерії) містять велику різноманітність біомолекул, які створюють оболонку синтезованих НЧ. Це додатково забезпечує стабільність і біосумісність клітин із «зеленими» наночастинками [46]. Екодружні методи одержання наночастинок мають ряд переваг, таких як наявність дешевого матеріалу, низька токсичність, простота та короткі терміни виробництва, безпека, можливість регуляції необхідного обсягу продукції, придатність для великомасштабного виробництва [83].

Біонанотехнологічні методи в останні роки активно запроваджують як альтернативний, ефективний, дешевий і екологічно безпечний спосіб отримання наноструктур із заданими властивостями, створюючи привабливу альтернативу традиційним методам синтезу наночастинок [25]. В Україні нині активно проводять фундаментальні та прикладні дослідження з нанотехнології, створюють нові наноматеріали, які використовуються в різних галузях: промисловості, енергетиці, медицині, ветеринарії, сільському господарстві [1, 4, 5, 6, 18, 97, 98, 99].

**Загальний вплив наночастинок на організм.** Сьогодні галузь птахівництва відчуває значні проблеми, пов'язані з інфекційними захворюваннями, які уповільнюють темпи зростання і призводять до економічних втрат. Наразі використовують вакцини і антибіотики для боротьби з патогенними мікроорганізмами, однак безвідповідальне їх використання може становити небезпеку для здоров'я споживачів. Таким чином, наявна потреба в альтернативних методах захисту птиці та поліпшення якості отриманої продукції може бути вирішена за рахунок нанотехнологій [3].

Наночастинки різних мінералів використовують у птахівництві, зокрема срібло [30, 102], оксид цинку [28, 108], діоксид церію [18, 98], мідь [42, 67, 103], залізо [61, 80], селен [18, 19, 110] та ін. Через недостатню кількість знань потенціал нанотехнологій у птахівництві ще не повністю використано [101]. Мінеральні сполуки мають низьку біодоступність для тварин. Наночастинки можуть знижувати мінеральний антагонізм у кишечнику, що призводить до модуляції механізмів всмоктування. Вони здатні оптимізувати імунну відповідь організму птахів та підвищувати ефективність травлення, що сприяє ефективній годівлі [33] та зменшенню випадків ранньої ембріональної смертності [75].

Наноматеріали як біосенсори застосовують для отримання інформації про перебіг різних видів обміну в тканинах та клітинах, а ультрачутливе встановлення вмісту поживних речовин, їх метаболітів та активності біологічно-активних сполук значно поліпшують розуміння характеру взаємодії цих речовин [75, 99], їх біодоступності та, в подальшому, харчової оцінки отриманої продукції.

НЧ потрапляють в організм безпосередньо з корму або води та через парентеральне введення нанопрепаратів [92]. Біодоступність їх зазвичай зменшується під час проходження через шлунково-кишкові бар'єри, слизову оболонку кишечника і печінку, а за прямого введення в системний кровообіг парентеральними ін'єкціями біодоступність становить 100 % [31]. Залежно від розміру наночастинки здатні транзитом проходити через травний тракт без поглинання організмом [24], або проникають через кишківник і з током крові надходять до органів і тканин [30, 102]. Фізико-хімічні характеристики НЧ (заряд, розміри, дзета-потенціал, оболонка та розчинність) суттєво впливають на їх руйнування, поглинання, розподіл та виведення [99]. Зокре-

ма, у моногастричних тварин механізм перетворення нанорозмірних препаратів Se в селеніт передбачає, що кишкова мікробіота перетворює нано-Se в селеніт, Se-фосфат або  $H_2Se$ , що зумовлює синтез селенопротеїнів [92].

Наномінерали швидко проникають у тканини, переважно в органи ретикулоендотеліальної системи (РЕС) [31]. Тканинний розподіл наночастинок ZnO залежить від виду тварин та птиці, шляху введення та фізико-хімічних властивостей самих наночастинок ZnO. Нирки та печінка є загальною тканиною-мішенню для нано-ZnO, швидкість виведення якого нирками залежить від швидкості виведення із шлунково-кишкового тракту [24]. Нано-Ag відкладається у внутрішньоклітинних або лізосомальних ділянках [51], використовуючи відновники для осадження срібла у нуль-валентний стан. Zhu et al. [111] провели дослідження біодоступності заліза за допомогою радіоактивно міченого  $^{59}Fe_2O_3$ . У щурів нано- $^{59}Fe_2O_3$  швидко проходять через альвеолярний капілярний бар'єр у системний кровообіг до печінки, селезінки, нирок та тестикулів із системним накопиченням, що позитивно інтерпретується для довгострокових впливів.

У тваринництві та птахівництві досліджують застосування наноматеріалів як кормових добавок, лікарських засобів завдяки підвищеній біодоступності та меншому антагоністичному впливу на компоненти корму в кишечнику [33]. Додавання до раціону бройлерів нано-Zn, нано-Ag, нано-Se, нано-Cu та нано-Fe покращило швидкість росту птиці [14, 62, 80, 103], зменшило окиснювальний стрес через вплив на антиоксидантну систему захисту [14], оптимізувало імунні реакції [103] та позитивно вплинуло на виводимість пташенят [80]. Згодовування наноаквахелатів цинку з вітаміном E нормалізує обмін кальцію та неорганічного фосфору в курок-несучок [2].

**Дія наночастинок цинку.** Цинк належить до поживних компонентів, необхідних для загального обміну речовин [47]. Він діє як кофактор для понад 300 металоензимів [70] і відіграє значну роль в обміні жирів, вуглеводів [16, 27, 60], білків, нуклеїнових кислот, впливає на стан клітинних мембран [44]. Він необхідний для оптимального оперення, росту, розвитку скелета, шкіри та розмноження у птахів [52, 70]. Цинк покращує імунологічні функції та стійкість до хвороб [29, 44, 93], підтримує належну товщину та міцність шкаралупи яєць у яєчних птахів шляхом посилення активності карбоангідрази, що каталізує перетворення  $CO_2 + H_2O$  в  $HCO_3^-$ , який є основним складником яєчної шкаралупи [29]. Нано-Zn є третім найбільш розповсюдженим наноматеріалом завдяки потужній антимікробній активності, ніж звичайні джерела Zn [93]. Більша біодоступність та відмінна антимікробна активність роблять нано-ZnO потенційною альтернативою антибіотикам у кормі птиці [63]. Наночастинки цинку виявили ефективну антибактеріальну активність проти штамів *Salmonella* та *Campylobacter*, притаманних організму птиці [26]. Дослідження впливу різних рівнів та типів наночастинок цинку на інтенсивність росту птахів показали, що додавання нано-ZnO (30, 60, 90 та 120 мг/кг) до раціону птиці покращило споживання корму і сприяло збільшенню маси бройлерів [41, 96], покращило коефіцієнт конверсії кормів ( $P < 0,05$ ) за рахунок додавання нано-ZnO (60 мг/кг) порівняно з контрольним експериментальними раціонами [67]. Однак кращі показники спостерігали за згодовування бройлерам менших доз (40 мг/кг) нано-ZnO, ніж вищих (80 та 120 мг/кг) [95]. Порівнюючи ефективність впливу нанопрепаратів Zn з органічними, неорганічними та хелатними формами Zn, встановлено, що згодовування нано-Zn зменшує споживання корму та зростання маси без впливу на показник конверсії корму [16, 78], а нано-Zn показав позитивні ефекти на параметри туші [60] без суттєвого впливу на відносну вагу лімфоїдних органів.

Нано-ZnO, окрім впливу на показники росту [16, 67, 78, 96], суттєво впливає на сироватковий антиоксидантний статус крові та профіль жирних кислот у птиці [95, 109], посилює активність оксидаз, зменшуючи при цьому рівень вільних радикалів у організмі [95], активує супероксиддисмутазу та каталазу та зменшує концентрацію малонового діальдегіду [35, 78], нормалізує рівень IgY у сироватці крові, загальний вміст лімфоцитів та макрофагів порівняно з контролем [35]. Fathi [28] повідомив про позитивний вплив нано-ZnO (10, 20 та 40 мг/кг) на збільшення маси тіла, конверсію корму та ліпідний профіль сироватки крові у курчат-бройлерів [53].

Нано-цинк має більшу біодоступність за додавання до раціону птиці шляхом заміни неорганічного цинку без кумулятивного ефекту [15]. Заміна неорганічного Zn органічними формами та наночастинками Zn у курей-бройлерів підвищила показники росту, ліпідний профіль плазми крові, титри антитіл (проти вірусу хвороби Ньюкасла) та масу лімфоїдних органів, не впливаю-

чи на концентрацію та активність антиоксидантів [27]. Дослідження показали, що за використання різних джерел цинку (органічних, неорганічних та нано-Zn) накопичення поживних речовин в організмі птахів було однаковим, за винятком Zn, який був вищим у групах, що отримували органічний та нано-Zn. Імунні реакції відносно рівня IgG були подібними за надходження різних джерел цинку, однак рівень гормону росту та активність карбоангідази були кращими у групах, що отримували органічний та нано-Zn [96]. Ibrahim et al. [41] повідомили про успішну заміну неорганічних джерел цинку на Zn-метіонін та нано-Zn, за якої спостерігали вищі показники росту, активності антиоксидантних ферментів та накопичення Zn. Наночастинки цинку, синтезовані різними методами, мають неоднакову активність, найвища з яких проявлялася за «зеленого синтезу», на що вказували вищі темпи росту, імунні функції та більша маса імунних органів [78].

Добавка нано-Zn здійснює позитивний вплив на продуктивність бройлерів за теплового стресу шляхом покращення якості м'яса (органолептичне оцінювання, оцінка pH грудей та стегна) [88], зменшує несприятливий вплив теплового стресу у птахів, допомагає підтримувати показники росту, посилює антиоксидантну відповідь та температурну стійкість [76].

Порівняно зі звичайними джерелами цинку, нано-Zn спричинив найсильніший вплив на біохімічні та господарські показники несучок: швидкість росту, активність АЛТ та вміст глюкози [59], а поєднання із  $\gamma$ -поліглутаміновою кислотою підвищило концентрацію Zn у сироватці крові, товщину яєчної шкаралупи, вміст Zn в шкаралупі, вміст металотіонеїну, IgG та греліну [57]. Нано-Zn зумовлює збільшення маси тіла маточного поголів'я перепелів у віці від 20 до 30 діб, збільшує вагу стегових м'язів [1], сприяє поглинанню та утриманню Zn курами-несучками, що сприяє кращій продуктивності та антиоксидантному статусу [9]. Крім того, спостерігається підвищена активність аланін-амінопептидази в індиків, що отримували нано-Zn [43]. Тимчасом Olgun and Yildiz [67] спостерігали негативний вплив нано-Zn на товщину яєчної шкаралупи та механічні властивості кісток у несучок, що може бути наслідком хелатування Zn органічними та неорганічними молекулами, які знижують абсорбцію Zn за одночасного збільшення його екскреції, однак точний механізм цих ефектів наразі не зрозумілий.

Здоров'я кишківника є ключовим елементом всмоктування поживних речовин та імунної функції у птахів, що потенціюється цинком. За комбінування нано-ZnO та пробіотиків (*Bacillus coagulans*) у бройлерів значно поліпшилися господарські показники, імунні функції та стан кишкової морфології (більший ріст ворсинок, ширина та довжина ворсинок відносно просвіту кишечнику) [16], що підтверджує потенціал нано-Zn для модуляції морфології та фізіології кишечнику.

Токсичність цинку опосередковується окиснювальним стресом, ліпідною пероксидацією, деструкцією клітинних мембран та окисним пошкодженням ДНК [95]. Токсичні ефекти наночастинок зазвичай залежать від розміру, і нано-Zn є більш токсичним, ніж Zn у складі неорганічних сполук у тій самій дозі [67]. Токсичність Zn пов'язана з концентрацією вільних йонів [49], але нано-ZnO, ймовірно, довше залишається стабільним як наночастинка і, отже, є менш токсичним, ніж відповідні неорганічні солі, такі як  $ZnCl_2$  [49].

**Фізіологічна дія наносрібла.** Наночастинки – перспективні молекули зі здатністю проникати через непошкоджені фізіологічні бар'єри, які дають змогу їм опосередковувати різні молекулярні мішені [33, 40, 102]. Наночастинки срібла (nano-Ag) є альтернативною антибіотикам добавкою до раціону птиці з метою підтримання здоров'я. Nano-Ag може ефективно підвищувати імунну відповідь тварини та метаболічну активність. Nano-Ag має властивості антибіотиків [58] та антибактеріальних засобів [26], використовується у годівлі тварин та птиці для зменшення утворення оксидів азоту та екскреції амоніаку [108]. Не впливаючи на показники росту, нано-Ag впливає на імунітет та зменшує вміст загальних ліпідів та холестеролу в сироватці крові за збільшення антиоксидантного потенціалу організму птахів [17, 65].

Додавання до раціону наносрібла та неорганічного Se не спричиняє збільшення ваги, споживання корму та змін коефіцієнта конверсії корму, однак збільшує відносну масу печінки та тонкого кишечнику ( $P < 0,05$ ) бройлерів [30, 74, 102]. Згодовування наноаквахелатів селену в комплексі з вітаміном Е мало позитивний вплив на кальцій-фосфорний обмін у яйценосних курей [2]. Включення гідроколоїду нано-Ag до основного раціону сприяє збільшенню фагоцитарної активності лейкоцитів, метаболічної активності та активації окиснювального стресу (під-

вищений уміст продуктів пероксидного окиснення ліпідів) одночасно значно знижує активність антиоксидантних ферментів у сироватці крові та вміст гемоглобіну [65]. Птиця, що отримувала нанопрепарати у вигляді гідроколоїдів Ag з ліпідним покриттям, демонструвала порушений катаболізм білків, зниження активності печінкових ферментів (АлАТ та АсАТ), зниження концентрації креатиніну та сечовини (основні продукти білкового обміну). Крім того, імунна відповідь (за концентрацією IgM і IgG у плазмі крові) та маса тіла (включаючи збільшення маси бурси та селезінки) знижувались у птиці, що отримувала нано-Ag через питну воду [102]. При цьому спостерігали вищий імунітет та антиоксидантну здатність за меншої висоти ворсинок тонкого кишечника по відношенню до діаметра просвіту кишечника [50]. Нано-Ag пригнічує всмоктування К і Fe у кишечнику птиці, накопичується у кишечнику залежно від дози, посилює вплив молочнокислих бактерій [86].

Під час вивчення впливу нано-Ag на ембріогенез та метаболізм пташенят встановлено, що внесення нано-Ag (10 мг/кг) в яйця маточного поголів'я бройлерів зменшує розмір та кількість лімфатичних фолікулів [74, 86, 87, 89], зменшує необхідність використання жовткового жиру як джерела енергії ембріона та забезпечує наявність залишків жовткового жиру для використання пташенятами як джерело енергії впродовж декількох діб після вилуплення [73]. Швидкість обміну речовин та маса тіла пташенят при вилупленні покращувалися у разі введення нано-Ag несучкам, однак це не впливало на аналогічні показники у курчат-бройлерів [73]. Більш того, у разі застосування нано-Ag несучкам посилюється експресія генів, відповідальних за клітинну диференціацію (FGF2, VEGF, ATP1A1 та MyoD1) в ембріонах [87]. Амінокислоти, що містять срібло, та комплекси нано-Ag можуть підвищити адаптивний та вроджений імунітет курей. Нано-Ag як окремо, так і в поєднанні з амінокислотами, може впливати на експресію інсуліноподібного чинника росту I, що не має істотного впливу на експресію чинника некрозу  $\alpha$ -пухлини (TNF- $\alpha$ ) та інтерлейкіну-6 (ІЛ-6) у курячих ембріонах [17].

Поверхня нано-Ag може легко окиснюватися  $O_2$  та іншими молекулами в біологічних системах, що призводить до вивільнення токсичного йону  $Ag^+$ , здатного взаємодіяти з нуклеїновими кислотами, молекулами ліпідів і білками в біологічній системі. Це може спричинити окиснювальний стрес, пошкодження ДНК і, отже, виснажувати антиоксидантні системи [58]. Дослідження [51, 58, 108] не виявило токсичності в ембріонах бройлерів після введення розчину, що містить 50 мг/кг нано-Ag. Крім того, нано-Ag не впливав на активність АлАТ, АсАТ, лужної фосфатази та концентрації холестерину, глюкози та триацилгліцеролу в сироватці крові. Він також не виявляв генотоксичності, вимірюваної як концентрація 8-оксо-2'-дезоксигуанозину (8-оксо-2'-дезоксигуанозин – біомаркер оксидативного стресу та супряженого з ним пошкодження ДНК) у ДНК печінки [51, 58, 108]. Це доводить, що нано-Ag у менших дозах є безпечним з обмеженою токсичністю або відсутністю токсичності для птиці. Однак необхідні подальші дослідження для виявлення потенційних токсичних ефектів та безпечного рівня добавок нано-Ag у різних видів птиці.

**Потенціал застосування наноселену.** Окиснювальний стрес є серйозним згубним чинником для клітинної цілісності за рахунок постійного вивільнення реактивних форм кисню, опосередкованих різними біотичними (бактеріями, вірусами, грибами тощо) та абіотичними стресорами. Такі мікроелементи як селен (Se) з потужним антиоксидантним потенціалом мають широке застосування як кормові добавки для зменшення окиснювального стресу в живих системах [19, 22, 23, 30, 34, 42, 56, 61, 97]. Селен широко зустрічається в органічних та неорганічних сполуках [30, 34, 56, 85], демонструючи різноманітні функції. Елемент заміщує сірку в білкових молекулах і є важливою частиною багатьох ферментів (селенопротеїнів) [97, 111]. Глутатіонпероксидаза – перший селенопротеїн, виявлений у біологічних системах з антиоксидантною активністю [34, 71, 99]. Селен відомий своєю антиоксидантною діяльністю та відіграє головну роль в оптимізації редокс-потенціалу, репродуктивних процесах, метаболізмі гормонів щитовидної залози, розвитку м'язів та антиканцерогенезі [57, 90]. Nano-Se сприяє вищій активності утримання Se за рахунок менших розмірів та більшої біодоступності [71].

Біогенні наночастинки селену (SeNPs), синтезовані за участю бактерій, мають унікальні фізико-хімічні та біологічні властивості порівняно з неорганічними і органічними сполуками. Збагачені наноселеном пробіотичні бактерії можуть ефективно застосовуватися як харчові і кормові добавки [19, 72, 79, 107].

Встановлено, що біогенні наночастинки селену впливають на редоксчутливий чинник транскрипції Nrf2 (Keap1/Nrf2/ARE сигналізація), що активує експресію генів та синтез низки антиоксидантних і цитопротекторних білків, включаючи гем-оксигеназу-1, хінооксидоредуктазу, глутатіонпероксидазу, глутатіон-S-трансферазу, гама-глутамілцистеїнсинтетазу, глутатіонредуктазу та супероксиддисмутази [38, 46, 100, 106]. Частишки біогенного наноселену активують систему Nrf2-ARE через p38, ERK1/2 і АКТ-опосередковане фосфорилування Nrf2 для покращення антиоксидантної функції кишкових епітеліальних клітин [106].

Нано-Se використовують у раціонах птиці для спостереження за інтенсивністю росту, окисно-відновних та імунних процесів. Nano-Se показав кращі результати щодо збільшення маси тіла порівняно з селенітом натрію у раціонах бройлерів [90]. Подібні результати спостерігали також за додавання до основного раціону 0,3 мг/кг Se у вигляді наноелементарного Se, натрію селеніту або селеновмісних дріжджів [14, 12, 21, 22, 23, 54, 97]. Доповнення нано-Se (0,2, 0,3, 0,4 та 0,5 мг/кг) в раціоні бройлерів покращувало показники росту, імунні функції та післязабійні показники птиці, не впливаючи на внутрішні органи [12]. Поєднання пробіотиків (*Aspergillus*) та наночастинок Se також показало поліпшення росту, жирнокислотного профілю скелетних м'язів та вмісту  $\alpha$ -токоферолу в сироватці крові у бройлерів [82]. Крім того, нано-Se оптимізував антиоксидантний статус через вплив на активність антиоксидантних ферментів та підвищив рівень IgG та IgM порівняно з органічними та неорганічними сполуками Se в умовах окиснювального стресу [21] у курей та термічного стресу [56] у бройлерів за одночасного покращення показників росту та імунітету, активізуючи експресію генів цитокінів.

Органічні сполуки Se (селеновмісні дріжджі, Zn-Se-Met) та нано-Se демонстрували аналогічне поліпшення інтенсивності росту, післязабійні показники м'яса та туші у бройлерів, однак інтенсивніше, аніж неорганічні сполуки Se [89]. Аналогічно Surai et al. [92] виявили значне збільшення приросту ваги, збереження та покращення коефіцієнта конверсії корму шляхом доповнення різними джерелами Se порівняно з контролем. Більш того, активність сироваткової та печінкової глутатіонпероксидази (GSH-Px) виявилася вищою за додавання сполук селену, ніж у контролі. Водночас різні джерела селену (селеніт натрію, дріжджі, збагачені Se, селенометіонін, нано-Se) у китайської місцевої породи курей Subei не виявляли впливу на параметри росту. Однак антиоксидантна здатність (активність GSH-Px у грудному м'ясі / сироватці та вміст малонового діальдегіду у сироватці крові) та якість м'яса покращувалися за додавання органічних та нано-джерел Se [21, 22, 23, 52, 54, 97]. Також спостерігали незначний вплив добавки нано-Se на ріст, колір туші та індекс імунного органу (тимус, селезінка та бурса) у бройлерів [94].

У дослідженнях останніх років приділяють увагу використанню селену для залучення в роботу системи антиоксидантного захисту [21, 22, 23, 52, 54, 97], однак повідомлень про використання нанорозмірних препаратів селену досить мало. Так, згодовування бройлерам нано-Se значно збільшує активність GSH-Px та супероксиддисмутази (СОД) у сироватці крові та знижує концентрацію малонового діальдегіду [14]. Однак бройлери, що отримували вищі рівні нано-Se, показали зниження активності GSH-Px та СОД у сироватці крові. Крім того, спостерігали вище співвідношення гетерофілів та лімфоцитів у птиці, що отримувала нано-Se без зміни інших гематологічних показників [22]. Окиснювальний стрес підвищує рівень глюкози та холестеролу в крові. Nano-Se підвищує антиоксидантну здатність печінки за рахунок зменшення кількості окисненого GSH-Px у печінці [81].

Додавання нано-Se в раціони несучок показало несуттєвий вплив різних джерел селену (Se-метіонін, селеновмісні дріжджі та нано-Se) на продуктивність та параметри якості яєць, за винятком маси яєць та утримання в них селену. Ці показники зросли за додавання наноселену незалежно від його форми [64]. Найвищу кумуляцію Se у тканинах печінки спостерігали за згодовування нано-Se, який одночасно підвищував клітинний та гуморальний імунітет [34, 42]. Необхідні подальші дослідження птахів яєчних порід, щоб оцінити вплив нано-Se на яйцекладку, висиджуваність та імунну відповідь.

**Використання наносполук церію.** У літературі містяться повідомлення щодо застосування рідкоземельних металів, зокрема церію, у тваринництві, оскільки використання антибіотиків як стимуляторів росту заборонено в Європейському Союзі з 2006 року [104]. Тому вчені та виробники продукції тваринництва розпочали інтенсивні пошуки альтернативи кормовим антибі-

отикам. Ефірні олії, отримані зі спецій і трав, пре- і пробіотики, органічні кислоти і ферменти нині успішно застосовують як заміну антибіотикам. Низку рідкоземельних елементів (РЗЕ), зокрема, церій та наноцерій можуть успішно застосовувати як нові природні добавки до корму з метою підвищення продуктивності тварин [10, 20, 32, 37].

РЗЕ здатні активізувати обмін білків та інших поживних речовин шляхом стимулювання діяльності гормонів, зокрема гормону росту і трийодтиронину ( $T_3$ ) [10, 32], індукувати синтез металотіонеїнів та підвищувати вміст глутатіону в печінці [66]. Окрім того, встановлено антимікробну та антиоксидантну дію РЗЕ для тварин. У разі їх додавання до раціону свиней (100 мг/кг) виявлено позитивний вплив на коефіцієнт конверсії корму [103] та показники росту [36, 68, 104]. Встановлено зміни прооксидантно-оксидантного статусу крові корів з гіпогонадизмом та після їх лікування за використання препарату каплаестрол, який містить наночастинки  $SeO_2$  (діоксиду церію) [19], нормалізацію структури та функції молочної залози та підвищення рівня колостральних імуноглобулінів за використання нано- $SeO_2$  [5].

Застосування РЗЕ мали позитивні результати для домашньої птиці [20, 32, 105]. Додавання різних рівнів РЗЕ (200, 400, 600 і 800 мг/кг) сприяло значному збільшенню виробництва яєць, ваги яєць і швидкості запліднення інкубаційних яєць 6-місячних курей-несучок, а застосування різних рівнів РЗЕ-нітратів до раціону курей-несучок (300, 400 і 500 мг/кг) значно поліпшило швидкість утворення яєць та їх масу [105].

Згодовування цитратів церію сприяє підвищенню продуктивності бройлерів [37]. Одним із механізмів впливу є підвищена секреція соків травними залозами [68], зокрема активується секреція хлоридної кислоти у шлунку.

Додавання курям-несучкам різної кількості оксиду церію (100, 200, 300 або 400 мг/кг) не мало істотного впливу на споживання корму і масу яєць, однак при цьому поліпшувався коефіцієнт конверсії корму і збільшувалося ( $p < 0,05$ ) виробництво яєць. Критерії якості яйця, за винятком міцності на розрив шкаралупи, не змінювалися. Зокрема, добавка 200 і 300 мг/кг оксиду церію до корму несучок сприяли суттєвому ( $p < 0,01$ ) підвищенню міцності яєчної шкаралупи на розрив. Концентрація кальцію і фосфору у сироватці крові значно збільшилася ( $p < 0,05$ ) за введення 100 мг/кг оксиду церію. Також відзначено, що в сироватці крові активність супероксиддисмутази (СОД) і концентрація малонового діальдегіду значно зменшилася за додавання оксиду церію. Різні дози додавання оксиду церію не мали достовірного впливу на активність амінотрансфераз, вміст глюкози, тригліцеролів, загального холестеролу, ліпопротеїдів високої та низької щільності у сироватці крові. У разі включення до раціону курей оксиду церію спостерігали значне зменшення вмісту ТБК-активних продуктів у жовтку яєць [20]. За рахунок добавок оксиду церію поліпшується окисна стабільність яйця, і це, можливо, сприятливо вплине на термін їх зберігання [32]. У застосованій дозі нанокристалічний діоксид церію не акумулюється в яйцях і паренхіматозних органах птиці [7].

Рідкоземельні елементи мають схожі характеристики до Са [39], що може сприяти підвищенню міцності оболонки яйця птиці. Вважають, що оксид церію також може збільшити вміст Са у сироватці. Так, концентрація кальцію в сироватці крові японських перепелів значно збільшилася за введення добавок з низькими концентраціями РЗЕ (50 і 100 мг/кг). В інших дослідженнях [37] повідомляється, що пероральне введення РЗЕ бройлерам не впливає на концентрацію кальцію в сироватці крові. Зі збільшенням вмісту РЗЕ в раціоні бройлерів концентрація глюкози в крові зменшується [10]. При цьому встановлено зворотній ефект – вміст кальцію і фосфору в сироватці крові підвищується за низьких концентрацій доданого оксиду церію (100 мг/кг), водночас високі концентрації оксиду церію не мають ніякого впливу.

Випоювання перепелам нанокристалічного діоксиду церію позитивно впливає на їх яєчну продуктивність. За використання наноцерію в дозі 1 мМ/л питної води підвищилася несучість перепілок на 7,8 %, маса яєць – на 16,9 %, інтенсивність несучості – на 6,7 %. У дозах 0,1–10 мМ/л питної води наноцерій не акумулюється в яйцях і паренхіматозних органах птиці [4]. Виявлено вплив на інтенсивність росту та споживання кормів молодняком перепілок [5].

Досліджено вплив нанокристалічного діоксиду церію та встановлено летальну і напівлетальну дози препарату.  $Ld_{50}$  нанокристалічного діоксиду церію є більшою за 2000 мг/кг, що підтверджує належність цієї сполуки до V класу токсичності та свідчить про дуже низьку токсичність [6].

Виявлено позитивний антибактеріальний потенціал наночастинок  $\text{CeO}_2$  проти патогенів птиці, зокрема *Klebsiella sp.*, *E. coli*, *Staphylococcus sp.* та *Salmonella sp.* [77, 94]. Високий ступінь біосумісності, низька токсичність і каталітична активність нанодисперсного діоксиду церію дає змогу розглядати його як перспективний нанобіоматеріал для застосування у біології, медицині та сільському господарстві.

**Висновки.** У роботі представлено загальну характеристику окремих наночастинок мікроелементів. Значний перелік обсягу наукових досліджень свідчить, що сьогодні наночастинок характеризуються широким спектром застосування у техніці, біології, медицині, ветеринарії, сільському господарстві, харчовій промисловості та ін. Встановлено, що наночастинок проявляють високу біологічну активність, і чинники, що її обумовлюють, варто враховувати з метою цілеспрямованого на них впливу. За екодружнього «зеленого» синтезу створюються передбачувані, стандартизовані системи з більш однорідними та відтворюваними зразками біогенних наночастинок, що мінімізує ризики для навколишнього середовища та здоров'я людини і тварин. Багатогранними залишаються аспекти взаємодії наночастинок та біологічних молекул. З метою більш ефективного використання наночастинок у біології, медицині, ветеринарії, сільському господарстві необхідно акцентувати увагу на їх метаболізмі в організмі людини і тварин [98, 99]. Перспективним є вивчення можливості біогенного синтезу наночастинок різних елементів з використанням рослин, грибів, бактерій, що ставить низку нових запитань та завдань.

У дослідженнях напряму синтезу та застосування наночастинок необхідно використовувати комплексний, безпечний та відповідальний підхід до оцінювання можливих медико-санітарних та екологічних ризиків, що є основою політики Європейського Союзу в галузі нанотехнологій [48].

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Наноматериали и нанотехнологии в ветеринарной практике / В.Б. Борисевич и др.; под редакцией В.Б. Борисевич, В.Г. Каплушенко. К.: Авіцена, 2012. 512 с.
2. Показники мінерального обміну в курок-несучок за впливу нанохелатів селену і цинку та вітаміну Е / М.П. Ніщенко та ін. Науковий вісник ветеринарної медицини. 2019. № 1. С. 49–56. Doi: <http://doi.org/10.33245/2310-4902-2019-149-1-49-56>
3. Романова А.П., Титова В.В., Макаева А.М. Особенности применения наноразмерных форм микроэлементов в сельском хозяйстве (обзор). Животноводство и кормопроизводство. 2018. № 101(2). С. 237–250.
4. Вплив нанокристалічного діоксиду церію на яєчну продуктивність перепелів / М.Я. Співак та ін. Сучасне птахівництво. 2013. № 3. С. 22–24.
5. Вплив наночастинок діоксиду церію на інтенсивність росту та споживання кормів молодняком перепілок / М.Я. Співак та ін. Ветеринарна медицина. 2013. № 97. С. 470–472.
6. Доклінічні дослідження гострої токсичності нанокристалічного діоксиду церію / Ю.М. Шадура та ін. Вісник ЖНАЕУ. 2015. № 2 (50). С. 358–363.
7. Біохімічні показники та продуктивні якості курей-несучок за використання наночастинок діоксиду церію. Ю.М. Шадура та ін. Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва. 2015. № 2 (120). С. 174–177.
8. Zinc requirements of Japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*) by assessing dose-evaluating response of zinc oxide nano-particle supplementation' / Abbasi M., et al. Poultry Science Journal. 2017. Vol. 5(2). P. 131–143. Doi: <http://doi.org/10.22069/psj.2017.13227.1262>.
9. Abedini M., Shariatmadari F., Torshizi M.A.K., Ahmadi H. Effects of zinc oxide nanoparticles on the egg quality, immune response, zinc retention, and blood parameters of laying hens in the late phase of production. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 2018. Vol. 102 (2). P. 1–10. Doi: <http://doi.org/10.1111/jpn.12871>.
10. Adu O.A., Igbasan F.A. Adebisi O.A. Effect of dietary rare earth element on performance and carcass characteristics of broiler. Journal of Sustainable Technology. 2011. Vol. 2. P. 118–126. Doi: <http://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2008.00884.x>.
11. Green nanotechnology: a review on green synthesis of silver nanoparticles – an ecofriendly approach / Ahmad S., et al. International journal of nanomedicine. 2019. Vol. 14. P. 5087. Doi: <http://doi.org/10.2147 / IJN.S200254>
12. 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. Vol. 6(1). P. 99–108. Doi: <http://doi.org/10.22069/PSJ.2018.13815.1276>.
13. Albrecht M.A., Evans C.W. Raston C.L. Green chemistry and the health implications of nanoparticles. Green chemistry. 2006. Vol. 8(5). P. 417–432. Doi: <http://doi.org/10.1039/B517131H>.
14. Aparna N. Karunakaran R. Effect of Selenium Nanoparticles Supplementation on Oxidation Resistance of Broiler Chicken. Indian Journal of Science and Technology. 2016. 9(S1). P. 1–5. Doi: <http://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9iS1/106334>.
15. Effect of dietary nano zinc oxide supplementation on performance and zinc bioavailability in broilers / Asheer M., et al. Indian Journal of Poultry Science. 2018. Vol. 53(1). P. 70–75. Doi: <http://doi.org/10.5958/0974-8180.2018.00004.1>.



16. Bami M.K., Afsharmanesh M., Salarmoini M. Tavakoli H. Effect of zinc oxide nanoparticles and *Bacillus coagulans* as probiotic on growth, histomorphology of intestine, and immune parameters in broiler chickens. *Comparative Clinical Pathology*. 2018. Vol. 27(2). P. 399–406. Doi:<http://doi.org/10.1007/s00580-017-2605-1>.
17. In ovo administration of silver nanoparticles and/or amino acids influence metabolism and immune gene expression in chicken embryos / Bhanja S., et al. *International journal of molecular sciences*. 2015. Vol. 16(5). P. 9484–9503. Doi:<http://doi.org/10.3390/ijms16059484>.
18. Perspectives of cerium nanoparticles use in agriculture / Bityutsky V., et al. *The Animal Biology*. 2017. Vol. 19 (3). P. 9–18. URL: <http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/1300>.
19. Effects of Different Dietary Selenium Sources Including Probiotics Mixture on Growth Performance, Feed Utilization and Serum Biochemical Profile of Quails / Bityutskyy V., et al. In: Nadykto V. (eds) *Modern Development Paths of Agricultural Production*. Springer, Cham. 2019. P. 623–632. Doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5\\_61](https://doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5_61)
20. Effects of cerium oxide supplementation to laying hen diets on performance, egg quality, some antioxidant enzymes in serum and lipid oxidation in egg yolk / Bölükbaşı S.C., et al. *Journal of animal physiology and animal nutrition*. 2016. Vol. 100(4). P. 686–693. Doi:<http://doi.org/10.1111/jpn.12429>.
21. Effects of organic, inorganic, and nano-Se on growth performance, antioxidant capacity, cellular and humoral immune responses in broiler chickens exposed to oxidative stress / Boostani A., et al. *Livestock science*. 2015. Vol. 178. P. 330–336. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.05.004>.
22. The effects of organic, inorganic, and nano-selenium on blood attributes in broiler chickens exposed to oxidative stress / Boostani A., et al. *Acta Scientiae Veterinariae*. 2015. Vol. 43. P. 1–6.
23. Effects of nano-selenium on performance, meat quality, immune function, oxidation resistance, and tissue selenium content in broilers / Cai S.J., et al. *Poultry Science*. 2012. Vol. 91 (10). P. 2532–2539. Doi:<http://doi.org/10.3382/ps.2012-02160>.
24. Choi S.J. Choy J.H. Biokinetics of zinc oxide nanoparticles: toxicokinetics, biological fates, and protein interaction. *International journal of nanomedicine*. 2014. Vol. 9(Suppl 2). P. 261–269. Doi:<http://doi.org/10.2147/IJN.S57920>.
25. Biological synthesis of metallic nanoparticles: plants, animals and microbial aspects / Das R.K., et al. *Nanotechnology for Environmental Engineering*. 2017. Vol. 2(1). 18 p. Doi:<https://doi.org/10.1007/s41204-017-0029-4>
26. Duffy L.L., Osmond-McLeod M.J., Judy J., King T. Investigation into the antibacterial activity of silver, zinc oxide and copper oxide nanoparticles against poultry-relevant isolates of *Salmonella* and *Campylobacter*. *Food control*. 2018. Vol. 92. P. 293–300. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.05.008>.
27. El-Katcha M., Soltan M.A. El-Badry M. Effect of Dietary Replacement of Inorganic Zinc by Organic or Nanoparticles Sources on Growth Performance, Immune Response and Intestinal Histopathology of Broiler Chicken. *Alexandria Journal for Veterinary Sciences*. 2017. Vol. 55(2). pp. 129–145. Doi:<https://doi.org/10.5455/ajvs.266925>.
28. Fathi M. Effects of zinc oxide nanoparticles supplementation on mortality due to ascites and performance growth in broiler chickens. *Iranian Journal of Applied Animal Science*. 2016. Vol. 6(2). P. 389–394.
29. Fawaz M.A., Südekum K.H., Hassan H.A. Abdel-Wareth A.A. Effects of nanoparticles of zinc oxide on productive performance of laying hens.–a review. *SVU-International Journal of Agricultural Sciences*. 2019. Vol. 1(1). P. 13–20.
30. The effect of dietary silver nanoparticles and inorganic selenium supplementation on performance and digestive organs of broilers during starter period / Felehgari K., et al. *Bull. Env. Pharmacol. Life Sci*. 2013. Vol. 2(8). P. 104–108.
31. Tissue distribution and elimination after oral and intravenous administration of different titanium dioxide nanoparticles in rats / Geraets L., et al. *Particle and fibre toxicology*. 2014. Vol. 11(1). 30 p. Doi: <https://doi.org/10.1186/1743-8977-11-30>.
32. Gong Z. A study of feeding Rare Earth Elements to broiler-type breeding bird. *Chinese Poultry*. 1996. 7. 43 p. Doi:<https://doi.org/10.3382/japr/pfv052>.
33. Role of nanoparticles in animal and poultry nutrition: modes of action and applications in formulating feed additives and food processing / Gopi M., et al. *Int J Pharmacol*. 2017. Vol. 13. P. 724–731. Doi:<https://doi.org/10.3923/ijp.2017.724.731>
34. Effect of nano-sized, elemental selenium supplement on the proteome of chicken liver / Gulyás G., et al. *Journal of animal physiology and animal nutrition*. 2017. Vol. 101(3). P. 502–510. Doi:<https://doi.org/10.1111/jpn.12459>.
35. Impact of dietary nano-zinc oxide on immune response and antioxidant defense of broiler chickens / Hafez A., et al. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. P. 1–7. Doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-019-04344-6>.
36. Studies on the effect of rare earth elements in piglets / He M.L., et al. *Mengen und Spurenelemente*. 1999. 19. P. 3–4.
37. He M.L., Wehr U., Rambeck W.A. Effect of low doses of dietary rare earth elements on growth performance of broilers. *Journal of animal physiology and animal nutrition*. 2010. Vol. 94(1). P. 86–92. Doi:<https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2008.00884.x>.
38. Holtzclaw W. D., Dinkova-Kostova A. T., Talalay P. Protection against electrophile and oxidative stress by induction of phase 2 genes: the quest for the elusive sensor that responds to inducers. *Advances in enzyme regulation*. 2004. Vol. 44(1). P. 335–367. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.advenzreg.2003.11.013>
39. Hu Z., Richter H., Sparovek G. Schnug E. Physiological and biochemical effects of rare earth elements on plants and their agricultural significance: a review. *Journal of plant nutrition*. 2004. Vol. 27(1). P. 183–220. Doi:<https://doi.org/10.1081/PLN-120027555>.
40. Hulla J.E., Sahu S.C. Hayes A.W. Nanotechnology: History and future. *Human & experimental toxicology*. 2015. Vol. 34(12). P. 1318–1321. Doi:<https://doi.org/10.1177/0960327115603588>.
41. Ibrahim D., Ali H.A., El-Mandrawy S.A. Effects of different zinc sources on performance, bio distribution of minerals and expression of genes related to metabolism of broiler chickens. *Zagazig Vet J*. 2017. Vol. 45. P. 292–304. Doi:<https://doi.org/10.5281/zenodo.1000462>
42. Joshua P.P., Valli C., Balakrishnan V. Effect of in ovo supplementation of nano forms of zinc, copper, and selenium on post-hatch performance of broiler chicken. *Veterinary world*. 2016. Vol. 9(3). P. 287–294. Doi: <https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.287-294>.

43. The effect of different levels of Cu, Zn and Mn nanoparticles in hen turkey diet on the activity of aminopeptidases / Józwiak A., et al. *Molecules*. 2018. Vol. 23(5). 1150 p. Doi:<https://doi.org/10.3390/molecules23051150>.
44. A question mark on zinc deficiency in 185 million people in Pakistan – possible way out / Khalid N., et al. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2014. Vol. 54(9). P. 1222–1240. Doi:<https://doi.org/10.1080/10408398.2011.630541>.
45. The greener synthesis of nanoparticles / Kharisova O.V., et al. *Trends in biotechnology*. 2013. Vol. 31(4). P. 240–248. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2013.01.003>
46. Khatami M., Alijani H.Q., Sharifi I. Biosynthesis of bimetallic and core-shell nanoparticles: their biomedical applications—a review. *IET nanobiotechnology*. 2018. Vol. 12(7). P. 879–887. Doi:<https://doi.org/10.1049/iet-nbt.2017.0308>
47. King J.C. Zinc: an essential but elusive nutrient. *The American journal of clinical nutrition*. 2011. Vol. 94(2). P. 679–684. Doi:<https://doi.org/10.3945/ajcn.110.005744>.
48. Klochkov V.K., Malyshenko A.I., Sedykh O.O., Malyukin Y.V. Wet chemical synthesis and characterization of luminescent colloidal nanoparticles: ReVO<sub>3</sub>: Eu<sup>3+</sup> (Re= La, Gd, Y) with rod-like and spindle-like shape. *Functional materials*. 2011. Vol. 1. P. 111–115.
49. Kool P.L., Ortiz M.D., van Gestel C.A. Chronic toxicity of ZnO nanoparticles, non-nano ZnO and ZnCl<sub>2</sub> to *Folsomia candida* (Collembola) in relation to bioavailability in soil. *Environmental Pollution*. 2011. Vol. 159(10). P. 2713–2719. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.05.021>.
50. Kulak E., Ognik K., Stępniewska A., Sembratowicz I. The effect of administration of silver nanoparticles on silver accumulation in tissues and the immune and antioxidant status of chickens. *Journal of Animal and Feed Sciences*. 2018. Vol. 27(1). pp. 44–54. Doi: <https://doi.org/10.22358/jafs/84978/2018>.
51. Lansdown A.B. A pharmacological and toxicological profile of silver as an antimicrobial agent in medical devices. *Advances in pharmacological sciences*. 2010. Vol. 16 p. Doi:<https://doi.org/10.1155/2010/910686>.
52. Effects of different selenium sources on growth performance, antioxidant capacity and meat quality of local Chinese Subei chickens / Li J.L., et al. *Biological trace element research*. 2018. Vol. 181(2). P. 340–346. Doi:<https://doi.org/10.1007/s12011-017-1049-4> 39.
53. Effect of nano-zinc oxide on the production and dressing performance of broiler / Lina T., et al. *Chinese Agricultural Science Bulletin*. 2009. Vol. 2(003).
54. Effect of selenium sources on growth performance and tissue selenium retention in yellow broiler chicks / Liu S., et al. *Journal of applied animal research*. 2015. Vol. 43(4). P. 487–490. Doi:<https://doi.org/10.1080/09712119.2014.978780>.
55. Magesh S., Chen Y., Hu L. Small Molecule Modulators of K<sub>v</sub>1-N<sub>v</sub>2-Are Pathway as Potential Preventive and Therapeutic Agents. *Medicinal research reviews*. 2012. Vol. 32(4). P. 687–726. Doi:<https://doi.org/10.1002/med.21257>
56. Mahmoud H.E.D., Ijiri D., Ebeid T.A., Ohtsuka A. Effects of dietary nano-selenium supplementation on growth performance, antioxidative status, and immunity in broiler chickens under thermoneutral and high ambient temperature conditions. *The Journal of Poultry Science*. 2016. P.0150133. Doi:<https://doi.org/10.2141/jpsa.0150133>.
57. Mao S.Y., Lien T.F. Effects of nanosized zinc oxide and  $\gamma$ -polyglutamic acid on eggshell quality and serum parameters of aged laying hens. *Archives of animal nutrition*. 2017. Vol. 71(5). P. 373–383. Doi:<https://doi.org/10.1080/1745039X.2017.1355600>.
58. McShan D., Ray P.C., Yu H. Molecular toxicity mechanism of nanosilver. *Journal of food and drug analysis*. 2014. Vol. 22(1). P. 116–127. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfda.2014.01.010>.
59. Growth performance and serum biochemical parameters as affected by nano zinc supplementation in layer chicks / Mishra A., et al. *Indian J. Anim. Nutr.* 2014. Vol. 31(4). P. 384–388.
60. Mohammadi F., Ahmadi F., Amiri A.M. Effect of zinc oxide nanoparticles on carcass parameters, relative weight of digestive and lymphoid organs of broiler fed wet diet during the starter period. *International Journal of Biosciences*. 2015. Vol. 6(2). P. 389–394. Doi:<https://doi.org/10.12692/ijb/6.2.389-394>.
61. Mohammadi H., Farzinpour A., Vaziry A. Reproductive performance of breeder quails fed diets supplemented with L-cysteine-coated iron oxide nanoparticles. *Reproduction in Domestic Animals*. 2017. Vol. 52(2). P. 298–304. Doi:<https://doi.org/10.1111/rda.12902>.
62. Mohammadi V., Ghazanfari S., Mohammadi-Sangcheshmeh A., Nazaran M.H. Comparative effects of zinc-nano complexes, zinc-sulphate and zinc-methionine on performance in broiler chickens. *British poultry science*. 2015. Vol. 56(4). P. 486–493. Doi:<https://doi.org/10.1080/00071668.2015.1064093>.
63. Mohan P., Mala R. May. A review on the effect of ZnO nanomaterial as supplement in poultry farming. In *AIP Conference Proceedings*. 2019. Vol. 2105. No. 1. P. 020030. AIP Publishing. Doi:<https://doi.org/10.1063/1.5100715>.
64. Effects of dietary nano-selenium on tissue selenium deposition, antioxidant status and immune functions in layer chicks / Mohapatra P., et al. *Int J Pharmacol*. 2014. Vol. 10(3). P. 160–167.
65. Effect of silver nanoparticles on the immune, redox, and lipid status of chicken blood / Ognik K., et al. *Czech Journal of Animal Science*. 2016. Vol. 61(10). P. 450–461. Doi:<https://doi.org/10.17221/80/2015-CJAS>.
66. Ognik K., Stępniewska A., Cholewińska E., Kozłowski K. The effect of administration of copper nanoparticles to chickens in drinking water on estimated intestinal absorption of iron, zinc, and calcium. *Poultry science*. 2016. Vol. 95(9). P. 2045–2051. Doi:<https://doi.org/10.3382/ps/pew200>.
67. Olgun O., Yildiz A.Ö. Effects of dietary supplementation of inorganic, organic or nano zinc forms on performance, eggshell quality, and bone characteristics in laying hens. *Annals of Animal Science*. 2017. Vol. 17(2). P. 463–476. Doi:<https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0055>.
68. Ou X., Guo Z., Wang J. The effects of rare earth element additive in feed on piglets. *Livestock and Poultry Industry*. 2000. Vol. 4(2). P. 21–22.
69. Pal G., Rai P., Pandey A. Green synthesis of nanoparticles: A greener approach for a cleaner future. In *Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles*. 2019. P. 1–26. Elsevier. Doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102579-6.00001-0>

70. Pandav P.V., Puranik P.R. Trials on metal enriched *Spirulina platensis* supplementation on poultry growth. *Glob J Bio-Science Technol.* 2015. Vol. 4. P. 128–134.
71. Peng D., Zhang J., Liu Q., Taylor E.W. Size effect of elemental selenium nanoparticles (Nano-Se) at supranutritional levels on selenium accumulation and glutathione S-transferase activity. *Journal of Inorganic Biochemistry.* 2007. Vol. 101(10). P. 1457–1463. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2007.06.021>.
72. Pieniz S., Okeke B.C., Andrezza R., Brandelli A. Evaluation of selenite bioremoval from liquid culture by *Enterococcus* species. *Microbiol. Res.* 2011. Vol. 166. P. 176–185. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.micres.2010.03.005>
73. Investigating the effect of in ovo injection of silver nanoparticles on fat uptake and development in broiler and layer hatchlings / Pineda L., et al. *Journal of Nanotechnology.* 2012. Doi:<https://doi.org/10.1155/2012/212486>.
74. Effect of nanoparticles of silver and gold on metabolic rate and development of broiler and layer embryos / Pineda L., et al. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology.* 2012. Vol. 161(3). P. 315–319. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2011.11.013>.
75. Synthesis and application of nano minerals in livestock industry / Rajendran D., et al. *Animal Nutrition and Reproductive Physiology (Recent Concepts).* Satish Serial Publishing House, Delhi. 2013. P. 517–530.
76. Ramiah S.K., Awad E.A., Mookiah S., Idrus Z. Effects of zinc oxide nanoparticles on growth performance and concentrations of malondialdehyde, zinc in tissues, and corticosterone in broiler chickens under heat stress conditions. *Poultry science.* 2019. P. 1–11. Doi:<https://doi.org/10.3382/ps/pez093>.
77. Ravikumar S., Gokulakrishnan R. The inhibitory effect of metal oxide nanoparticles against poultry pathogens. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research.* 2012. Vol. 4(2). P. 157–159.
78. Sagar P.D., Mandal A.B., Akbar N., Dinani O.P. Effect of different levels and sources of zinc on growth performance and immunity of broiler chicken during summer. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences.* 2018. Vol. 7(5). P. 459–471. Doi:<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.705.058>.
79. Saini K., Tomar S.K., Sangwan V., Bhushan B. Evaluation of lactobacilli from human sources for uptake and accumulation of selenium. *Biol. Trace Elem. Res.* 2014. Vol. 160. P. 433–436. Doi:<https://doi.org/10.1007/s12011-014-0065-x>
80. Saki A.A., Abbasinezhad M., Rafati A.A. Iron nanoparticles and methionine hydroxy analogue chelate in ovo feeding of broiler chickens. *International Journal of Nanoscience and Nanotechnology.* 2014. Vol. 10(3). P. 187–196.
81. Nutritional evaluation of Selenium-methionine nanocomposite as a novel dietary supplement for laying hens / Salah-Eldin T.A., et al. *J. Anim. Health Prod.* 2015. Vol. 3(3). P. 64–72. Doi:<https://doi.org/10.14737/journal.jahp/2015/3.3.64.72>.
82. Saleh A.A. Effect of dietary mixture of *Aspergillus* probiotic and selenium nano-particles on growth, nutrient digestibilities, selected blood parameters and muscle fatty acid profile in broiler chickens. *Anim Sci Pap Rep.* 2014. Vol. 32. P. 65–79.
83. Sanjay S.S. Safe nano is green nano. In *Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles.* 2019. P. 27–36. Elsevier. Doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102579-6.00002-2>
84. Sardar M., Mazumder J.A. Biomolecules Assisted Synthesis of Metal Nanoparticles. In *Environmental Nanotechnology.* 2019. P. 1–23. Springer, Cham. Doi:[https://doi.org/10.1007/978-3-319-98708-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-98708-8_1)
85. Selenium nanoparticles for stress-resilient fish and livestock / Sarkar B., et al. *Nanoscale research letters.* 2015. Vol. 10(1). 371 p. Doi:<https://doi.org/10.1186/s11671-015-1073-2>.
86. Influence of hydrocolloidal silver nanoparticles on gastrointestinal microflora and morphology of enterocytes of quails / Sawosz E., et al. *Archives of Animal Nutrition.* 2007. Vol. 61(6). P. 444–451. Doi:<https://doi.org/10.1080/17450390701664314>.
87. Nano-nutrition of chicken embryos. The effect of silver nanoparticles and ATP on expression of chosen genes involved in myogenesis / Sawosz F., et al. *Archives of animal nutrition.* 2013. Vol. 67(5). P. 347–355. Doi:<https://doi.org/10.1080/1745039X.2013.830520>.
88. Selim N.A., Amira M., Khosht A.R., El-Hakim A.A. Effect of sources and inclusion levels of zinc in broiler diets containing different vegetable oils during summer season conditions on meat quality. *International Journal of Poultry Science.* 2014. Vol. 13(11). P. 619–626. Doi:<https://doi.org/10.3923/ijps.2014.619.626>.
89. Effect of inclusion inorganic, organic or nano selenium forms in broiler diets on: 2-Physiological, immunological and toxicity statuses of broiler chicks / Selim N.A., et al. *International Journal of Poultry Science.* 2015. Vol. 14(3). 144 p. Doi:<https://doi.org/10.3923/ijps.2015.144.155>.
90. Senthil Kumaran C.K., Sugapriya S., Manivannan N., Chandar Shekar B. Effect on the growth performance of broiler chickens by selenium nanoparticles supplementation. *Nano Vision.* 2015. Vol. 5(4–6). P. 161–168.
91. Green synthesis of silver nanoparticles using aqueous leaf extract of *Premna integrifolia* (L.) rich in polyphenols and evaluation of their antioxidant, antibacterial and cytotoxic activity / Singh C., et al. *Biotechnology & Biotechnological Equipment.* 2019. P. 1–13. Doi:<https://doi.org/10.1080/13102818.2019.1577699>
92. Surai P.F., Kochish I.I., Velichko O.A. Nano-Se Assimilation and Action in Poultry and Other Monogastric Animals: Is Gut Microbiota an Answer? *Nanoscale research letters.* 2017. Vol. 12(1). 612 p. Doi:<https://doi.org/10.1186/s11671-017-2383-3>.
93. Nano zinc, an alternative to conventional zinc as animal feed supplement: A review / Swain P.S., et al. *Animal Nutrition.* 2(3). 2016. P. 134–141. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.aninu.2016.06.003>.
94. Thill A., Zeyons O., Spalla O., Chauvat F., Rose J., Auffan M., Flank A.M. Cytotoxicity of CeO<sub>2</sub> nanoparticles for *Escherichia coli*. Physico-chemical insight of the cytotoxicity mechanism. *Environmental science & technology.* 2006. Vol. 40(19). P. 6151–6156. Doi:<https://doi.org/10.1021/es060999b>.
95. Effects of nano-zinc oxide on antioxidant function in broilers / Tian L., et al. *Chinese Journal of Animal Nutrition.* 2009. Vol. 21(4). P. 534–539.

96. Effects of nanosize zinc oxide on zinc retention, eggshell quality, immune response and serum parameters of aged laying hens / Tsai Y.H., et al. *Animal feed science and technology*. 2016. Vol. 213. P. 99–107. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.01.009>.
97. Tsekhmistrenko O., Tsekhmistrenko S. Lipid peroxidation in the quails kidney under Cadmium load and Sel-Plex influence. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*: 36. наук. праць. 2015. Vol. 1 (116). P. 203–207. URL:<http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/931>.
98. Biomimetic and antioxidant activity of nanocrystalline cerium dioxide / Tsekhmistrenko O.S., et al. *World of Medicine and Biology*. 2018. Vol. 14(63). P. 196–201. Doi:<https://doi.org/10.267254/2079-8334-2018-1-63-196-201>
99. Enzyme-like activity of nanomaterials / Tsekhmistrenko S.I., et al. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2018. Vol. 9(3). P. 469–476. Doi: <https://doi.org/10.15421/021870>
100. The Anti-Inflammatory and Anti-Oxidant Mechanisms of the Keap1/Nrf2/ARE Signaling Pathway in Chronic Diseases / Tu W., et al. *Aging and disease*. 2019. Vol. 10(3). 637p. Doi:<https://doi.org/10.14336/AD.2018.0513>
101. Usama T.M. Silver nanoparticles in poultry production. *Journal of Advanced Veterinary Research*. 2012. Vol. 2 (4). P. 303–306.
102. Influence of silver nanoparticles on growth and health of broiler chickens after infection with *Campylobacter jejuni* / Vadalasetty K.P., et al. *BMC veterinary research*. 2018. Vol. 14(1). P. 1–11. Doi:<https://doi.org/10.1186/s12917-017-1323-x>.
103. Effects of copper-loaded chitosan nanoparticles on growth and immunity in broilers / Wang C., et al. *Poultry science*. 2011. Vol. 90(10). P. 2223–2228. Doi:<https://doi.org/10.3382/ps.2011-01511>.
104. Wang M.Q., Xu Z.R. Effect of supplemental lanthanum on the growth performance of pigs. *Asian-Australasian journal of animal sciences*. 2003. Vol. 16(9). P. 1360–1363. Doi: <https://doi.org/10.5713/ajas.2003.1360>.
105. Wu J., Zhang Z., Yan J. An initial study on effect of adding rare earth element on productivity of egg laying breeder hens. *NingXia Science and Technology of Farming and Forestry*. 1994. Vol. 4. P. 36–38. Doi:<https://doi.org/10.12720/jomb.4.3.239-243>.
106. Biogenic nanoselenium particles activate Nrf2-ARE pathway by phosphorylating p38, ERK1/2, and AKT on IPEC-J2 cells / Xiao X., et al. *Journal of cellular physiology*. 2019. Vol. 234(7). P. 11227–11234. Doi:<https://doi.org/10.1002/jcp.27773>
107. Biogenic synthesis of novel functionalized selenium nanoparticles by *Lactobacillus casei* ATCC 393 and its protective effects on intestinal barrier dysfunction caused by enterotoxigenic *Escherichia coli* K88 / Xu C., et al. *Frontiers in microbiology*. 2018. Vol. 9. 1129 p. Doi:<https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01129>
108. Tang H., Liu J.H., Wang H., Liu Y. Evaluation of the adjuvant effect of silver nanoparticles both in vitro and in vivo / Xu Y., et al. *Toxicology letters*. 2013. Vol. 219(1). P. 42–48. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2013.02.010>.
109. Effects of dietary zinc oxide nanoparticles on growth performance and antioxidative status in broilers / Zhao C.Y., et al. *Biological trace element research*. 2014. Vol. 160(3). P. 361–367. Doi:<https://doi.org/10.1007/s12011-014-0052-2>.
110. Zhou X., Wang Y. Influence of dietary nano elemental selenium on growth performance, tissue selenium distribution, meat quality, and glutathione peroxidase activity in Guangxi Yellow chicken. *Poultry Science*. 2011. Vol. 90(3). P. 680–686. Doi:<https://doi.org/10.3382/ps.2010-00977>.
111. Particokinetics and extrapulmonary translocation of intratracheally instilled ferric oxide nanoparticles in rats and the potential health risk assessment / Zhu M.T., et al. *Toxicological Sciences*. 2008. Vol. 107(2). P. 342–351. Doi:<https://doi.org/10.1093/toxsci/kfn245>.

## REFERENCE

1. Borisevich, V.B. Kaplunenko, V.G., Kosinov, N.V. (2012). *Nanomaterialy i nanotehnologii v veterinarnoy praktike* [Nanomaterials and nanotechnology in veterinary practice]. K.: VD AvItsena, 512 p.
2. Nishchemenko, M.P., Kaplunenko, V.H., Kozii, V.I., Poroshynska, O.A., Stovbetska, L.S., Yemelianenko, A.A., Omelchuk, O.V. (2019). Pokaznyky mineralnogo obminu v kurok-nesuchok za vplyvu nanokhelativ selenu i tsynku ta vitaminu E [The indexes of mineral exchange in laying hens under the influence of Selenium and Zinc nanoaquahelates and vitamin E]. *Naukovyi visnyk veterynarnoi medytsyny* [Scientific Bulletin of Veterinary Medicine]. no. 1, pp. 49–56. Available at: <http://doi.org/10.33245/2310-4902-2019-149-1-49-56>
3. Romanova, A.P., Titova, V.V., Makaeva, A.M. (2018). Osobennosti primeneniya nanorazmernykh form mikroelementov v selskom hozyaystve [Features of the use of nanoscale forms of trace elements in agriculture (review)]. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo* [Livestock and feed production]. Vol. 101(2), pp. 237–250.
4. Spivak, M.Ia., Demchenko, O.A., Zholobak, N.M., Shcherbakov, O.B., Zotsenko, V.M., Ivanov, V.K. (2013). Vplyv nanokystalichnoho dioksydu tseriiu na yaiechnu produktyvnist perepeliv [Effect of nanocrystalline cerium dioxide on egg performance of quail]. *Suchasne ptakhivnytstvo* [Modern poultry farming]. Vol. 3, pp. 22–24.
5. Spivak, M.Ia., Oksamytnyi, V.M., Demchenko, O.A., Zholobak, N.M., Shcherbakov, O.B., Ivanov, V.K., Poperechna, S.H. Hrynevych, O.I. (2013). Vplyv nanochastynok dioksydu tseriiu na intensyvniost rostu ta spozhyvannia kormiv molodniakom perepilok [Influence of cerium dioxide nanoparticles on intensity of growth and feed intake of young quails]. *Veterynarna medytsyna* [Veterinary medicine]. Vol. 97, pp. 470–472.
6. Shadura, Yu.M., Bitiutskyi, V.S., Spivak, M.Ia., Melnychenko, O.M., Shcherbakov, O.B., Demchenko, O.A. Zholobak, N.M. (2015). Doklinichni doslidzhennia hostroi toksychnosti nanokystalichnoho dioksydu tseriiu [Preclinical studies of acute toxicity of nanocrystalline cerium dioxide]. *Visnyk ZhNAEU* [Bulletin of ZhNAEU]. Vol. 2 (50), pp. 358–363.
7. Shadura, Yu.M., Spivak, M.Ia., Bitiutskyi, V.S., Melnychenko, O.M., Sotnichenko, I., Shcherbakov, O., Demchenko, O. Zholobak, N. (2015). Biokhimichni pokaznyky ta produktyvni yakosti kurei-nesuchok za vykorystannia nanochastynok

dioksydu tseriiu [Biochemical parameters and productive qualities of laying hens for the use of cerium dioxide nanoparticles]. Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktii tvarynyntstva [Technology of production and processing of livestock products]. Vol. 2 (120), pp. 174–177.

8. Abbasi, M., Dastar, B., Afzali, N., Shargh, S.M., Hashemi, S.R. (2017). Zinc requirements of Japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*) by assessing dose-evaluating response of zinc oxide nano-particle supplementation. Poultry Science Journal. Vol. 5(2), pp. 131–143. Available at: <http://doi.org/10.22069/psj.2017.13227.1262>.

9. Abedini, M., Shariatmadari, F., Torshizi, M.A.K., Ahmadi, H. (2018). Effects of zinc oxide nanoparticles on the egg quality, immune response, zinc retention, and blood parameters of laying hens in the late phase of production. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. Vol. 102 (2), pp. 1–10. Available at: <http://doi.org/10.1111/jpn.12871>.

10. Adu, O.A., Igbasan, F.A. Adebisi, O.A. (2011). Effect of dietary rare earth element on performance and carcass characteristics of broiler. Journal of Sustainable Technology. Vol. 2, pp. 118–126. Available at: <http://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2008.00884.x>.

11. Ahmad, S., Munir, S., Zeb, N., Ullah, A., Khan, B., Ali, J., Ali, S. (2019). Green nanotechnology: a review on green synthesis of silver nanoparticles – an ecofriendly approach. International journal of nanomedicine. Vol. 14, pp. 5087. Available at: <http://doi.org/10.2147/IJN.S200254>

12. 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. Vol. 6(1), pp. 99–108. Available at: <http://doi.org/10.22069/PSJ.2018.13815.1276>.

13. Albrecht, M.A., Evans, C.W., Raston, C.L. (2006). Green chemistry and the health implications of nanoparticles. Green chemistry. Vol. 8(5), pp. 417–432. Available at: <http://doi.org/10.1039/B517131H>.

14. Aparna, N., Karunakaran, R. (2016). Effect of Selenium Nanoparticles Supplementation on Oxidation Resistance of Broiler Chicken. Indian Journal of Science and Technology. Vol. 9(S1), pp. 1–5. Available at: <http://doi.org/10.17485/IJST/2016/V9IS1/106334>

15. Asheer, M., Manwar, S.J., Gole, M.A., Sirsat, S., Wade, M.R., Khose, K.K. Sajid, S. (2018). Effect of dietary nano zinc oxide supplementation on performance and zinc bioavailability in broilers. Indian Journal of Poultry Science. Vol. 53(1), pp. 70–75. Available at: <http://doi.org/10.5958/0974-8180.2018.00004.1>

16. Bami, M.K., Afsharmanesh, M., Salarmoini, M., Tavakoli, H. (2018). Effect of zinc oxide nanoparticles and *Bacillus coagulans* as probiotic on growth, histomorphology of intestine, and immune parameters in broiler chickens. Comparative Clinical Pathology. Vol. 27(2), pp. 399–406. Available at: <http://doi.org/10.1007/s00580-017-2605-1>.

17. Bhanja, S., Hotowy, A., Mehra, M., Sawosz, E., Pineda, L., Vadalasetty, K., Kurantowicz, N. Chwalibog, A. (2015). In ovo administration of silver nanoparticles and/or amino acids influence metabolism and immune gene expression in chicken embryos. International journal of molecular sciences. Vol. 16(5), pp. 9484–9503. Available at: <http://doi.org/10.3390/ijms16059484>.

18. Bityutsky, V., Tsekhmistrenko, O., Tsekhmistrenko, S., Spyvac, M. Shadura, U. (2017). Perspectives of cerium nanoparticles use in agriculture. The Animal Biology. Vol. 19 (3), pp. 9–18. Available at: <http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/1300>.

19. Bityutskyy, V., Tsekhmistrenko, S., Tsekhmistrenko, O., Melnychenko, O., Kharchyshyn, V. (2019). Effects of Different Dietary Selenium Sources Including Probiotics Mixture on Growth Performance, Feed Utilization and Serum Biochemical Profile of Quails. In: Nadykto V. (eds) Modern Development Paths of Agricultural Production. Springer, Cham. pp. 623–632. Available at: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5\\_61](https://doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5_61)

20. Bölükbaşı, S.C., Al-sagan, A.A., Ürüsan, H., Erhan, M.K., Durmuş, O. Kurt, N. (2016). Effects of cerium oxide supplementation to laying hen diets on performance, egg quality, some antioxidant enzymes in serum and lipid oxidation in egg yolk. Journal of animal physiology and animal nutrition. Vol. 100(4), pp. 686–693. Available at: <http://doi.org/10.1111/jpn.12429>.

21. Boostani, A., Sadeghi, A.A., Mousavi, S.N., Chamani, M. Kashan, N. (2015). Effects of organic, inorganic, and nano-Se on growth performance, antioxidant capacity, cellular and humoral immune responses in broiler chickens exposed to oxidative stress. Livestock science. Vol. 178, pp. 330–336. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.05.004i>.

22. Boostani, A., Sadeghi, A.A., Mousavi, S.N., Chamani, M. Kashan, N. (2015). The effects of organic, inorganic, and nano-selenium on blood attributes in broiler chickens exposed to oxidative stress. Acta Scientiae Veterinariae. Vol. 43, pp. 1–6.

23. Cai, S.J., Wu, C.X., Gong, L.M., Song, T., Wu, H., Zhang, L.Y. (2012). Effects of nano-selenium on performance, meat quality, immune function, oxidation resistance, and tissue selenium content in broilers. Poultry Science. Vol. 91(10), pp. 2532–2539. Available at: <http://doi.org/10.3382/ps.2012-02160>.

24. Choi, S.J., Choy, J.H. (2014). Biokinetics of zinc oxide nanoparticles: toxicokinetics, biological fates, and protein interaction. International journal of nanomedicine. 9(Suppl 2), pp. 261–269. Available at: <http://doi.org/10.2147/IJN.S57920>.

25. Das, R.K., Pachapur, V.L., Lonappan, L., Naghdi, M., Pulicharla, R., Maiti, S., .Brar, S. K. (2017). Biological synthesis of metallic nanoparticles: plants, animals and microbial aspects. Nanotechnology for Environmental Engineering. Vol. 2(1), 18 p. Available at: <https://doi.org/10.1007/s41204-017-0029-4>

26. Duffy, L.L., Osmond-McLeod, M.J., Judy, J., King, T. (2018). Investigation into the antibacterial activity of silver, zinc oxide and copper oxide nanoparticles against poultry-relevant isolates of *Salmonella* and *Campylobacter*. Food control. Vol. 92, pp. 293–300. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.05.008>.

27. El-Katcha, M., Soltan, M.A. El-Badry, M. (2017). Effect of Dietary Replacement of Inorganic Zinc by Organic or Nanoparticles Sources on Growth Performance, Immune Response and Intestinal Histopathology of Broiler Chicken. Alexandria Journal for Veterinary Sciences. Vol. 55(2), pp. 129–145. Available at: <https://doi.org/10.5455/ajvs.266925>.

28. Fathi, M. (2016). Effects of zinc oxide nanoparticles supplementation on mortality due to ascites and performance growth in broiler chickens. Iranian Journal of Applied Animal Science. Vol. 6(2), pp. 389–394.

29. Fawaz, M.A., Südekum, K.H., Hassan, H.A. Abdel-Wareth, A.A. (2019). Effects of nanoparticles of zinc oxide on productive performance of laying hens.–a review. *SVU-International Journal of Agricultural Sciences*. Vol. 1(1), pp. 13–20.
30. Felehgari, K., Ahmadi, F., Rokhzadi, A., Kurdestany, A.H., Khah, M.M. (2013). The effect of dietary silver nanoparticles and inorganic selenium supplementation on performance and digestive organs of broilers during starter period. *Bull. Env. Pharmacol. Life Sci*. Vol. 2(8), pp. 104–108.
31. Geraets, L., Oomen, A.G., Krystek, P., Jacobsen, N.R., Wallin, H., Laurentie, M., Verharen, H.W., Brandon, E.F., de Jong, W.H. (2014). Tissue distribution and elimination after oral and intravenous administration of different titanium dioxide nanoparticles in rats. *Particle and fibre toxicology*. Vol. 11(1), 30 p. Available at: <https://doi.org/10.1186/1743-8977-11-30>.
32. Gong, Z. (1996). A study of feeding Rare Earth Elements to broiler-type breeding bird. *Chinese Poultry*. Vol. 7, 43 p. Available at: <https://doi.org/10.3382/japr/pfv052>.
33. Gopi, M., Pearlin, B., Kumar, R.D., Shanmathy, M., Prabakar, G. (2017). Role of nanoparticles in animal and poultry nutrition: modes of action and applications in formulating feed additives and food processing. *Int J Pharmacol*. Vol. 13, pp. 724–731. Available at: <https://doi.org/10.3923/ijp.2017.724.731>.
34. Gulyás, G., Csoz, E., Prokisch, J., Jávora, A., Mézes, M., Erdélyi, M., Balogh, K., Janáky, T., Szabó, Z., Simon, A., Czeglédi, L. (2017). Effect of nano-sized, elemental selenium supplement on the proteome of chicken liver. *Journal of animal physiology and animal nutrition*. Vol. 101(3), pp. 502–510. Available at: <https://doi.org/10.1111/jpn.12459>.
35. Hafez, A., Nassef, E., Fahmy, M., Elsabagh, M., Bakr, A., Hegazi, E. (2019). Impact of dietary nano-zinc oxide on immune response and antioxidant defense of broiler chickens. *Environmental Science and Pollution Research*. pp. 1–7. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04344-6>.
36. He, M.L., Chang, J., Arnold, R., Henkelmann, R., Lin, X., Süß, A., Rambeck, W.A. (1999). Studies on the effect of rare earth elements in piglets. *Mengen und Spurenelemente*. Vol. 19, pp. 3–4.
37. He, M.L., Wehr, U., Rambeck, W.A. (2010). Effect of low doses of dietary rare earth elements on growth performance of broilers. *Journal of animal physiology and animal nutrition*. Vol. 94(1), pp. 86–92. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2008.00884.x>.
38. Holtzclaw, W. D., Dinkova-Kostova, A. T., Talalay, P. (2004). Protection against electrophile and oxidative stress by induction of phase 2 genes: the quest for the elusive sensor that responds to inducers. *Advances in enzyme regulation*. Vol. 44(1), pp. 335–367. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.advenzreg.2003.11.013>.
39. Hu, Z., Richter, H., Sparovek, G., Schnug, E. (2004). Physiological and biochemical effects of rare earth elements on plants and their agricultural significance: a review. *Journal of plant nutrition*. Vol. 27(1), pp. 183–220. Available at: <https://doi.org/10.1081/PLN-120027555>.
40. Hulla, J.E., Sahu, S.C. Hayes, A.W. (2015). Nanotechnology: History and future. *Human & experimental toxicology*. Vol. 34(12), pp. 1318–1321. Available at: <https://doi.org/10.1177/0960327115603588>.
41. Ibrahim, D., Ali, H.A., El-Mandrawy, S.A. (2017). Effects of different zinc sources on performance, bio distribution of minerals and expression of genes related to metabolism of broiler chickens. *Zagazig Vet J*. Vol. 45, pp. 292–304. Available at: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1000462>.
42. Joshua, P.P., Valli, C., Balakrishnan, V. (2016). Effect of in ovo supplementation of nano forms of zinc, copper, and selenium on post-hatch performance of broiler chicken. *Veterinary world*. Vol. 9(3), pp. 287–294. Available at: <https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.287-294>.
43. Józwick, A., Marchewka, J., Strzałkowska, N., Horbańczuk, J., Szumacher-Strabel, M., Cieślak, A., Lipińska-Palka, P., Józefiak, D., Kamińska, A., Atanasov, A. (2018). The effect of different levels of Cu, Zn and Mn nanoparticles in hen turkey diet on the activity of aminopeptidases. *Molecules*. Vol. 23(5), 1150 p. Available at: <https://doi.org/10.3390/molecules23051150>.
44. Khalid, N., Ahmed, A., Bhatti, M.S., Randhawa, M.A., Ahmad, A., Rafaqat, R. (2014). A question mark on zinc deficiency in 185 million people in Pakistan – possible way out. *Critical reviews in food science and nutrition*. Vol. 54(9), pp. 1222–1240. Available at: <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.630541>.
45. Kharissova, O.V., Dias, H.R., Kharisov, B.I., Perez, B.O., Perez, V.M.J. (2013). The greener synthesis of nanoparticles. *Trends in biotechnology*. Vol. 31(4), pp. 240–248. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2013.01.003>.
46. Khatami, M., Alijani, H.Q., Sharifi, I. (2018). Biosynthesis of bimetallic and core-shell nanoparticles: their biomedical applications—a review. *IET nanobiotechnology*. Vol. 12(7), pp. 879–887. Available at: <https://doi.org/10.1049/iet-nbt.2017.0308>.
47. King, J.C. (2011). Zinc: an essential but elusive nutrient. *The American journal of clinical nutrition*. Vol. 94(2), pp. 679–684. Available at: <https://doi.org/10.3945/ajcn.110.005744>.
48. Klochkov, V.K., Malyshenko, A.I., Sedykh, O.O., Malyukin, Y.V. (2011). Wet chemical synthesis and characterization of luminescent colloidal nanoparticles:  $\text{ReVO}_4$ :  $\text{Eu}^{3+}$  (Re= La, Gd, Y) with rod-like and spindle-like shape. *Functional materials*. Vol. 1, pp. 111–115.
49. Kool, P.L., Ortiz, M.D., van Gestel, C.A. (2011). Chronic toxicity of ZnO nanoparticles, non-nano ZnO and  $\text{ZnCl}_2$  to *Folsomia candida* (Collembola) in relation to bioavailability in soil. *Environmental Pollution*. Vol. 159(10), pp. 2713–2719. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.05.021>.
50. Kulak, E., Ognik, K., Stepniowska, A., Sembratowicz, I. (2018). The effect of administration of silver nanoparticles on silver accumulation in tissues and the immune and antioxidant status of chickens. *Journal of Animal and Feed Sciences*. Vol. 27(1), pp. 44–54. Available at: <https://doi.org/10.22358/jafs/84978/2018>.
51. Lansdown, A.B. (2010). A pharmacological and toxicological profile of silver as an antimicrobial agent in medical devices. *Advances in pharmacological sciences*. 16 p. Available at: <https://doi.org/10.1155/2010/910686>.
52. Li, J.L., Zhang, L., Yang, Z.Y., Zhang, Z.Y., Jiang, Y., Gao, F., Zhou, G.H. (2018). Effects of different selenium sources on growth performance, antioxidant capacity and meat quality of local Chinese Subei chickens. *Biological trace element research*. Vol. 181(2), pp. 340–346. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12011-017-1049-439>.

53. Lina, T., Jianyang, J., Fenghua, Z., Huiying, R., Wenli, L. (2009). Effect of nano-zinc oxide on the production and dressing performance of broiler. *Chinese Agricultural Science Bulletin*. Vol. 2(003).
54. Liu, S., Tan, H., Wei, S., Zhao, J., Yang, L., Li, S., Zhong, C., Yin, Y., Chen, Y. Peng, Y. (2015). Effect of selenium sources on growth performance and tissue selenium retention in yellow broiler chicks. *Journal of applied animal research*. Vol. 43(4), pp. 487–490. Available at: <https://doi.org/10.1080/09712119.2014.978780>.
55. Magesh, S., Chen, Y., Hu, L. (2012). Small Molecule Modulators of K eap1-N rf2-ARE Pathway as Potential Preventive and Therapeutic Agents. *Medicinal research reviews*. Vol. 32(4), pp. 687–726. Available at: <https://doi.org/10.1002/med.21257>
56. Mahmoud, H.E.D., Ijiri, D., Ebeid, T.A., Ohtsuka, A. (2016). Effects of dietary nano-selenium supplementation on growth performance, antioxidative status, and immunity in broiler chickens under thermoneutral and high ambient temperature conditions. *The Journal of Poultry Science*. p.0150133. Available at: <https://doi.org/10.2141/jpsa.0150133>.
57. Mao, S.Y. Lien, T.F. (2017). Effects of nanosized zinc oxide and  $\gamma$ -polyglutamic acid on eggshell quality and serum parameters of aged laying hens. *Archives of animal nutrition*. Vol. 71(5), pp. 373–383. Available at: <https://doi.org/10.1080/1745039X.2017.1355600>.
58. McShan, D., Ray, P.C., Yu, H. (2014). Molecular toxicity mechanism of nanosilver. *Journal of food and drug analysis*. Vol. 22(1), pp. 116–127. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2014.01.010>.
59. Mishra, A., Swain, R.K., Mishra, S.K., Panda, N., Sathy, K. (2014). Growth performance and serum biochemical parameters as affected by nano zinc supplementation in layer chicks. *Indian J. Anim. Nutr.* Vol. 31(4), pp. 384–388.
60. Mohammadi, F., Ahmadi, F., Amiri, A.M. (2015). Effect of zinc oxide nanoparticles on carcass parameters, relative weight of digestive and lymphoid organs of broiler fed wet diet during the starter period. *International Journal of Biosciences*. Vol. 6(2), pp. 389–394. Available at: <https://doi.org/10.12692/ijb/6.2.389-394>.
61. Mohammadi, H., Farzinpour, A., Vaziry, A. (2017). Reproductive performance of breeder quails fed diets supplemented with L-cysteine-coated iron oxide nanoparticles. *Reproduction in Domestic Animals*. Vol. 52(2), pp. 298–304. Available at: <https://doi.org/10.1111/rda.12902>.
62. Mohammadi, V., Ghazanfari, S., Mohammadi-Sangcheshmeh, A., Nazaran, M.H. (2015). Comparative effects of zinc-nano complexes, zinc-sulphate and zinc-methionine on performance in broiler chickens. *British poultry science*. Vol. 56(4), pp. 486–493. Available at: <https://doi.org/10.1080/00071668.2015.1064093>.
63. Mohan, P., Mala, R. (2019). May. A review on the effect of ZnO nanomaterial as supplement in poultry farming. In *AIP Conference Proceedings*. Vol. 2105, no. 1, pp. 020030. AIP Publishing. Available at: <https://doi.org/10.1063/1.5100715>.
64. Mohapatra, P., Swain, R.K., Mishra, S.K., Behera, T., Swain, P., Mishra, S.S., Behura, N.C., Sabat, S.C., Sathy, K., Dhama, K., Jayasankar, P. (2014). Effects of dietary nano-selenium on tissue selenium deposition, antioxidant status and immune functions in layer chicks. *Int J Pharmacol*. Vol. 10(3), pp. 160–167.
65. Ognik, K., Cholewińska, E., Czech, A., Kozłowski, K., Nowakowicz-Dębek, B., Szlązak, R., Tutaj, K. (2016). Effect of silver nanoparticles on the immune, redox, and lipid status of chicken blood. *Czech Journal of Animal Science*. Vol. 61(10), pp. 450–461. Available at: <https://doi.org/10.17221/80/2015-CJAS>.
66. Ognik, K., Stępniewska, A., Cholewińska, E., Kozłowski, K. (2016). The effect of administration of copper nanoparticles to chickens in drinking water on estimated intestinal absorption of iron, zinc, and calcium. *Poultry science*. Vol. 95(9), pp. 2045–2051. Available at: <https://doi.org/10.3382/ps/pew200>.
67. Olgun, O., Yildiz, A.Ö. (2017). Effects of dietary supplementation of inorganic, organic or nano zinc forms on performance, eggshell quality, and bone characteristics in laying hens. *Annals of Animal Science*. Vol. 17(2), pp. 463–476. Available at: <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0055>.
68. Ou, X., Guo, Z., Wang, J. (2000). The effects of rare earth element additive in feed on piglets. *Livestock and Poultry Industry*. Vol. 4(2), pp. 21–22.
69. Pal, G., Rai, P., Pandey, A. (2019). Green synthesis of nanoparticles: A greener approach for a cleaner future. In *Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles*, pp. 1–26. Elsevier. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102579-6.00001-0>
70. Pandav, P.V., Puranik, P.R. (2015). Trials on metal enriched *Spirulina platensis* supplementation on poultry growth. *Glob J Bio-Science Technol*. Vol. 4, pp. 128–134.
71. Peng, D., Zhang, J., Liu, Q., Taylor, E.W. (2007). Size effect of elemental selenium nanoparticles (Nano-Se) at supranutritional levels on selenium accumulation and glutathione S-transferase activity. *Journal of Inorganic Biochemistry*. Vol. 101(10), pp. 1457–1463. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2007.06.021>.
72. Pieniz, S., Okeke, B.C., Andreatza, R., Brandelli, A. (2011). Evaluation of selenite bioremoval from liquid culture by *Enterococcus* species. *Microbiol. Res*. Vol. 166, pp. 176–185. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2010.03.005>
73. Pineda, L., Chwalibog, A., Sawosz, E., Hotowy, A., Elnif, J., Sawosz, F. (2012). Investigating the effect of in ovo injection of silver nanoparticles on fat uptake and development in broiler and layer hatchlings. *Journal of Nanotechnology*. Available at: <https://doi.org/10.1155/2012/212486>.
74. Pineda, L., Sawosz, E., Hotowy, A., Elnif, J., Sawosz, F., Ali, A., Chwalibog, A. (2012). Effect of nanoparticles of silver and gold on metabolic rate and development of broiler and layer embryos. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. Vol. 161(3), pp. 315–319. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2011.11.013>.
75. Rajendran, D., Thulasi, A., Jash, S., Selvaraju, S., Rao, S.B.N. (2013). Synthesis and application of nano minerals in livestock industry. *Animal Nutrition and Reproductive Physiology (Recent Concepts)*. Satish Serial Publishing House, Delhi. pp. 517–530.
76. Ramiah, S.K., Awad, E.A., Mookiah, S., Idrus, Z. (2019). Effects of zinc oxide nanoparticles on growth performance and concentrations of malondialdehyde, zinc in tissues, and corticosterone in broiler chickens under heat stress conditions. *Poultry science*. pp. 1–11. Available at: <https://doi.org/10.3382/ps/pez093>.

77. Ravikumar, S., Gokulakrishnan, R. (2012). The inhibitory effect of metal oxide nanoparticles against poultry pathogens. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research*. Vol. 4(2), pp. 157–159.
78. Sagar, P.D., Mandal, A.B., Akbar, N., Dinani, O.P. (2018). Effect of different levels and sources of zinc on growth performance and immunity of broiler chicken during summer. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. Vol. 7(5), pp. 459–471. Available at: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.705.058>.
79. Saini, K., Tomar, S.K., Sangwan, V., Bhushan, B. (2014). Evaluation of lactobacilli from human sources for uptake and accumulation of selenium. *Biol. Trace Elem. Res.* Vol. 160, pp. 433–436. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12011-014-0065-x>
80. Saki, A.A., Abbasinezhad, M., Rafati, A.A. (2014). Iron nanoparticles and methionine hydroxy analogue chelate in ovo feeding of broiler chickens. *International Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. Vol. 10(3), pp. 187–196.
81. Salah-Eldin, T.A., Hamady, G.A.A., Abdel-Moneim, M.A., Farroh, K.Y., El-Reffaei, W.H.M. (2015). Nutritional evaluation of Selenium-methionine nanocomposite as a novel dietary supplement for laying hens. *J. Anim. Health Prod.* Vol. 3(3), pp. 64–72. Available at: <https://doi.org/10.14737/journal.jahp/2015/3.3.64.72>.
82. Saleh, A.A. (2014). Effect of dietary mixture of *Aspergillus* probiotic and selenium nano-particles on growth, nutrient digestibilities, selected blood parameters and muscle fatty acid profile in broiler chickens. *Anim Sci Pap Rep.* Vol. 32, pp. 65–79.
83. Sanjay, S.S. (2019). Safe nano is green nano. In *Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles*, pp. 27–36. Elsevier. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102579-6.00002-2>
84. Sardar, M., Mazumder, J.A. (2019). Biomolecules Assisted Synthesis of Metal Nanoparticles. In *Environmental Nanotechnology*, pp. 1–23. Springer, Cham. Available at: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-98708-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-98708-8_1)
85. Sarkar, B., Bhattacharjee, S., Daware, A., Tribedi, P., Krishnani, K.K., Minhas, P.S. (2015). Selenium nanoparticles for stress-resilient fish and livestock. *Nanoscale research letters*. Vol. 10(1), 371 p. Available at: <https://doi.org/10.1186/s11671-015-1073-2>.
86. Sawosz, E., Binek, M., Grodzik, M., Zielińska, M., Sysa, P., Szmidi, M., Niemiec, T., Chwalibog, A. (2007). Influence of hydrocolloidal silver nanoparticles on gastrointestinal microflora and morphology of enterocytes of quails. *Archives of Animal Nutrition*. Vol. 61(6), pp. 444–451. Available at: <https://doi.org/10.1080/17450390701664314>.
87. Sawosz, F., Pineda, L., Hotowy, A., Jaworski, S., Prasek, M., Sawosz, E., Chwalibog, A. (2013). Nano-nutrition of chicken embryos. The effect of silver nanoparticles and ATP on expression of chosen genes involved in myogenesis. *Archives of animal nutrition*. Vol. 67(5), pp. 347–355. Available at: <https://doi.org/10.1080/1745039X.2013.830520>.
88. Selim, N.A., Amira, M., Khosht, A.R., El-Hakim, A.A. (2014). Effect of sources and inclusion levels of zinc in broiler diets containing different vegetable oils during summer season conditions on meat quality. *International Journal of Poultry Science*. Vol. 13(11), pp. 619–626. Available at: <https://doi.org/10.3923/ijps.2014.619.626>.
89. Selim, N.A., Radwan, N.L., Youssef, S.F., Eldin, T.S., Elwafa, S.A. (2015). Effect of inclusion inorganic, organic or nano selenium forms in broiler diets on: 2-Physiological, immunological and toxicity statuses of broiler chicks. *International Journal of Poultry Science*. Vol. 14(3), 144 p. Available at: <https://doi.org/10.3923/ijps.2015.144.155>.
90. Senthil Kumaran, C.K., Sugapriya, S., Manivannan, N., Chandar Shekar, B. (2015). Effect on the growth performance of broiler chickens by selenium nanoparticles supplementation. *Nano Vision*. Vol. 5(4–6), pp. 161–168.
91. Singh, C., Kumar, J., Kumar, P., Chauhan, B. S., Tiwari, K. N., Mishra, S. K., Singh, J. (2019). Green synthesis of silver nanoparticles using aqueous leaf extract of *Premna integrifolia* (L.) rich in polyphenols and evaluation of their antioxidant, antibacterial and cytotoxic activity. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. pp. 1–13. Available at: <https://doi.org/10.1080/13102818.2019.1577699>
92. Surai, P.F., Kochish, I.I., Velichko, O.A. (2017). Nano-Se Assimilation and Action in Poultry and Other Monogastric Animals: Is Gut Microbiota an Answer?. *Nanoscale research letters*. Vol. 12(1), 612 p. Available at: <https://doi.org/10.1186/s11671-017-2383-3>.
93. Swain, P.S., Rao, S.B., Rajendran, D., Dominic, G., Selvaraju, S. (2016). Nano zinc, an alternative to conventional zinc as animal feed supplement: A review. *Animal Nutrition*. Vol. 2(3), pp. 134–141. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2016.06.003>.
94. Thill, A., Zeyons, O., Spalla, O., Chauvat, F., Rose, J., Auffan, M., Flank, A.M. (2006). Cytotoxicity of CeO<sub>2</sub> nanoparticles for *Escherichia coli*. Physico-chemical insight of the cytotoxicity mechanism. *Environmental science & technology*. Vol. 40(19), pp. 6151–6156. Available at: <https://doi.org/10.1021/es060999b>.
95. Tian, L., Zhu, F., Ren, H., Jiang, J., Li, W. (2009). Effects of nano-zinc oxide on antioxidant function in broilers. *Chinese Journal of Animal Nutrition*. Vol. 21(4), pp. 534–539.
96. Tsai, Y.H., Mao, S.Y., Li, M.Z., Huang, J.T., Lien, T.F. (2016). Effects of nanosize zinc oxide on zinc retention, eggshell quality, immune response and serum parameters of aged laying hens. *Animal feed science and technology*. Vol. 213, pp. 99–107. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2016.01.009>.
97. Tsekhmistrenko, O., Tsekhmistrenko, S. (2015). Lipid peroxidation in the quails kidney under Cadmium load and Sel-Plex influence. *Tehnologija vyrobnictva i pererobky produkci' tvarynyctva: Zb. nauk. prac' [Technology of production and processing of livestock products: Collection of scientific works]*. Vol. 1 (116), pp. 203–207. Available at: <http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/931>.
98. Tsekhmistrenko, O.S., Tsekhmistrenko, S.I., Bityutskyy, V.S., Melnichenko, O.M., Oleshko, O.A. (2018). Biomimetic and antioxidant activity of nanocrystalline cerium dioxide. *World of Medicine and Biology*. Vol. 14(63), pp. 196–201. Available at: <http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/1240>.
99. Tsekhmistrenko, S.I., Bityutskyy, V.S., Tsekhmistrenko, O.S., Polishchuk, V.M., Polishchuk, S.A., Ponomarenko, N.V., Melnychenko, Y.O. Spivak, M.Y. (2018). Enzyme-like activity of nanomaterials. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. Vol. 9(3), pp. 469–476. Available at: <https://doi.org/10.15421/021870>.



100. Tu, W., Wang, H., Li, S., Liu, Q., Sha, H. (2019). The Anti-Inflammatory and Anti-Oxidant Mechanisms of the Keap1/Nrf2/ARE Signaling Pathway in Chronic Diseases. *Aging and disease*. Vol. 10(3), 637 p. Available at: <https://doi.org/10.14336/AD.2018.0513>
101. Usama, T.M. (2012). Silver nanoparticles in poultry production. *Journal of Advanced Veterinary Research*. Vol. 2 (4), pp. 303–306.
102. Vadalasetty, K.P., Lauridsen, C., Engberg, R.M., Vadalasetty, R., Kutwin, M., Chwalibog, A., Sawosz, E. (2018). Influence of silver nanoparticles on growth and health of broiler chickens after infection with *Campylobacter jejuni*. *BMC veterinary research*. Vol. 14(1), pp. 1–11. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12917-017-1323-x>.
103. Wang, C., Wang, M.Q., Ye, S.S., Tao, W.J., Du, Y.J. (2011). Effects of copper-loaded chitosan nanoparticles on growth and immunity in broilers. *Poultry science*. Vol. 90(10), pp. 2223–2228. Available at: <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01511>.
104. Wang, M.Q., Xu, Z.R. (2003). Effect of supplemental lanthanum on the growth performance of pigs. *Asian-Australasian journal of animal sciences*. Vol. 16(9), pp. 1360–1363. Available at: <https://doi.org/10.5713/ajas.2003.1360>.
105. Wu, J., Zhang, Z., Yan, J. 1994. An initial study on effect of adding rare earth element on productivity of egg laying breeder hens. *NingXia Science and Technology of Farming and Forestry*. Vol. 4, pp. 36–38. DOI: 10.12720/jomb.4.3.239-243.
106. Xiao, X., Song, D., Cheng, Y., Hu, Y., Wang, F., Lu, Z., Wang, Y. (2019). Biogenic nanoselenium particles activate Nrf2-ARE pathway by phosphorylating p38, ERK1/2, and AKT on IPEC-J2 cells. *Journal of cellular physiology*. Vol. 234(7), pp. 11227–11234. Available at: <https://doi.org/10.1002/jcp.27773>
107. Xu, C., Guo, Y., Qiao, L., Ma, L., Cheng, Y., Roman, A. (2018). Biogenic synthesis of novel functionalized selenium nanoparticles by *Lactobacillus casei* ATCC 393 and its protective effects on intestinal barrier dysfunction caused by enterotoxigenic *Escherichia coli* K88. *Frontiers in microbiology*. Vol. 9, pp. 1129. Available at: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01129>
108. Xu, Y., Tang, H., Liu, J.H., Wang, H., Liu, Y. (2013). Evaluation of the adjuvant effect of silver nanoparticles both in vitro and in vivo. *Toxicology letters*. Vol. 219(1), pp. 42–48. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2013.02.010>.
109. Zhao, C.Y., Tan, S.X., Xiao, X.Y., Qiu, X.S., Pan, J.Q., Tang, Z.X. (2014). Effects of dietary zinc oxide nanoparticles on growth performance and antioxidative status in broilers. *Biological trace element research*. 160(3), pp. 361–367. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12011-014-0052-2>.
110. Zhou, X., Wang, Y. (2011). Influence of dietary nano elemental selenium on growth performance, tissue selenium distribution, meat quality, and glutathione peroxidase activity in Guangxi Yellow chicken. *Poultry Science*. Vol. 90(3), pp. 680–686. Available at: <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00977>.
111. Zhu, M.T., Feng, W.Y., Wang, Y., Wang, B., Wang, M., Ouyang, H., Zhao, Y.L., Chai, Z.F. (2008). Pharmacokinetics and extrapulmonary translocation of intratracheally instilled ferric oxide nanoparticles in rats and the potential health risk assessment. *Toxicological Sciences*. Vol. 107(2), pp. 342–351. Available at: <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfn245>.

#### **Использование наночастиц металлов и неметаллов в птицеводстве**

**Цехмистренко О.С., Битюцкий В.С., Цехмистренко С.И., Мельниченко А.Н., Тимошок Н.А., Спивак Н.Я.**

Обобщены данные мировой и отечественной литературы об особенностях кумуляции наночастиц микроэлементов в организме, их влияния на метаболизм, редокс-процессы и продуктивность птицы.

Акцентируется внимание на токсичности различных форм и источников рассмотренных элементов, их взаимовлияние на биодоступность, антагонизм и скорость выведения из организма. Необходимость в исследовании особенностей использования наночастиц и их эффективности в производстве продукции животноводства постоянно растет. Рассмотрены доказательства положительного применения наночастиц элементов (цинка, серебра, селена, церия, железа) в рационах различных видов сельскохозяйственной птицы благодаря их метаболическому, антимикробному действию, влиянию на переваривание и регуляцию работы кишечника. Проанализированные данные свидетельствуют, что наночастицы металлов и неметаллов в животноводстве являются альтернативой кормовым антибиотикам для антибактериального действия, повышения продуктивности животных и птицы, могут активизировать метаболизм путем стимулирования деятельности гормонов, оптимизировать иммунный ответ организма, индуцировать синтез металлотioneинов и способствовать росту коэффициента конверсии корма. Установлено, что наночастицы металлов и неметаллов в случае попадания в кишечник снижают минеральный антагонизм, что способствует повышению эффективности пищеварения. Установлено изменения прооксидантно-оксидантного статуса крови животных при использовании исследуемых наночастиц и изменения показателей гомеостаза, что является положительным для домашней птицы из-за повышения производительности, интенсификации производства яиц, их веса и скорости оплодотворения инкубационных яиц. Установлено влияние наночастиц на редокс-гомеостаз и процессы пероксидного окисления липидов и протеинов. Аргументировано использование наноразмерных препаратов для использования в биологии, медицине, ветеринарии, сельском хозяйстве и необходимость дальнейших исследований для изучения всех возможных механизмов биологического действия наноструктур.

**Ключевые слова:** микроэлементы, наночастицы, птица, питание, серебро, цинк, селен, диоксид церия.

#### **Use of nanoparticles of metals and non-metals in poultry farming**

**Tsekhmistrenko O., Bityutskyy V., Tsekhmistrenko S., Melnychenko O., Tymoshok N., Spivak M.**

The presented analytical review summarizes the data of the world and national literature on the features of the accumulation of microelement nanoparticles in the body, their effects on metabolism, redox processes and productivity of poultry.

The attention is paid to the toxicity of various forms and sources of the considered elements, their mutual influence on bioavailability, antagonism and the rate of excretion. The need to study the peculiarities of the use of nanopar-

ticles and their efficiency in the production of livestock products is constantly increasing. Evidence of the positive application of nanoforms of elements (zinc, silver, selenium, cerium, iron) in the diets of different species of farm poultry is considered due to their metabolic, antimicrobial action, influence on digestion and regulation of bowel function. Analyzed data indicate that nanoparticles of metals and non-metals in animal husbandry are an alternative to feed antibiotics for antibacterial action, increase the productivity of animals and poultry, can activate metabolism by stimulating the activity of hormones, optimize the immune response of the organism, induce syntheses and metabolism. Nanoparticles of metals and non-metals have been found to reduce the mineral antagonism in case of contact with the intestine, which contributes to the efficiency of digestion. Changes in the prooxidant-oxidant status of the blood of animals by the use of test nanoparticles and changes in homeostasis indices that are positive for poultry due to increased productivity, intensification of egg production, their weight and fertilization rate of hatching eggs have been established. Influence of nanoparticles on redox homeostasis and processes of lipid and protein peroxidation are established. The use of nanoscale drugs for use in biology, medicine, veterinary medicine, agriculture, and the need for further research to study all possible mechanisms of biological action of nanostructures are argued.

**Key words:** trace elements, nanoparticles, poultry, feeding, silver, zinc, selenium, cerium dioxide.

*Надійшла 19.09.2019 р.*