

Науковий вісник Львівського національного університету  
ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького.  
Серія: Сільськогосподарські науки

Scientific Messenger of Lviv National University  
of Veterinary Medicine and Biotechnologies.  
Series: Agricultural sciences

ISSN 2519–2698 print

ISSN 2707–5834 online

doi: 10.32718/nvlvet-a9410

<https://nvlvet.com.ua/index.php/agriculture>

UDC 591.1

## Microelement (Mn, Zn, Cu, Fe, Co, I) levels in quails and their eggs according to their forms and dosage in poultry diet

A. V. Hunchak, S. M. Medvid, O. M. Stefanyshyn, Ya. M. Sirko, S. I. Koretchuk

*Institute of Animal Biology NAAS, Lviv, Ukraine*

### Article info

Received 08.02.2021

Received in revised form

10.03.2021

Accepted 11.03.2021

*Institute of Animal Biology*

*NAAS, V. Stus Str., 38, Lviv,*

*79034, Ukraine.*

*Tel: +38-098-266-52-53*

*E-mail: a\_gunchak@ukr.net*

**Hunchak, A. V., Medvid, S. M., Stefanyshyn, O. M., Sirko, Ya. M., & Koretchuk, S. I. (2021). Microelement (Mn, Zn, Cu, Fe, Co, I) levels in quails and their eggs according to their forms and dosage in poultry diet. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural sciences, 23(94), 50–55. doi: 10.32718/nvlvet-a9410**

The paper presents a fragment of a systemic study on the efficiency of replacing inorganic salts of microelements in guaranteed mineral premixes used in quail feed with a complex supplement of said elements in nanocitrate form produced by Nanomaterials and Nanotechnologies LLC (Kyiv). The study is, in particular, focused on the levels of microelements (Mn, Zn, Cu, Fe, Co, I) in quails and their egg yolks depending on the form and concentration of those microelements in the poultry diet. The tests have been conducted on 14-day old Pharaoh quails divided into three groups. Raising conditions – cages. Test duration – 2 months. Quails of all groups were fed complete feed with a balanced content of nutrients and biologically active compounds. Control group birds were given mineral premix containing inorganic salts of (g/t of feed): Mn – 50, Zn – 50, Cu – 2.5, Fe – 10, Co – 1 and I – 0.7. Test group quails were fed a mineral complex of aqua citrates of the same elements with a concentration of (calculated for each element) 1/10 (D<sub>1</sub>) and 1/20 (D<sub>2</sub>) or 10 and 5 % of their content in a standard mineral premix (SP). It is established that the form and dosage of microelements introduced into the diet affect their levels in quails and their egg yolks. Nanocitrates of bioelements have a relatively high cumulative potential in poultry compared with the control group (an inorganic form of microelements). The best results are achieved with citrate elements being fed in a concentration of 10% of their regular content in a standard mineral premix. It is proven that the use of optimal concentration of aqua citrates of microelements in poultry diet promotes increased levels of manganese, iron, zinc, copper and cobalt ( $P < 0.05–0.001$ ) in the liver and hip muscles as well as iron and copper levels ( $P < 0.01–0.001$ ) in breast muscles of quails; increased body weight by 15.7 % during the testing period; an enhanced biological value of the eggs (increased calcium ( $P < 0.05$ ), iodine ( $P < 0.05$ ), zinc ( $P < 0.01$ ) levels) compared to analogs in the control group.

**Key words:** quails, bioelements, nanocitrate.

## Рівень накопичення у тілі перепілок та жовтках яєць мікроелементів (Mn, Zn, Cu, Fe, Co, I) залежно від їх форми та кількості у раціоні

A. V. Hunchak, S. M. Medvid, O. M. Stefanyshyn, Ya. M. Sirko, S. I. Koretchuk

*Інститут біології тварин НААН, м. Львів, Україна*

У статті наведено фрагмент системних досліджень ефективності заміни мікроелементів у формі неорганічних солей гарантованих мінеральних преміксів у складі раціонів перепілок комплексною добавкою цих біоелементів у формі цитратів нанотехнологічного походження, виготовлених на основі нанотехнологій у ТОВ “Наноматеріали і нанотехнології” (м. Київ). Зокрема – визначення рівня накопичення в тілі перепілок та жовтках яєць мікроелементів (Mn, Zn, Cu, Fe, Co, I) залежно від їхньої форми та кількості у раціоні. Дослідження проведені на перепілках породи “Фараон”, сформованих у три групи. Утримання птиці – кліткове. Тривалість дослідження – два місяці. Перепілкам усіх груп згодовували повнораціонні комбікорми, збалансовані за поживними й біологічно активними речовинами. Птиця контрольної групи одержувала мінеральний премікс, який містив (г/т корму): Mn – 50, Zn – 50, Cu – 2,5, Fe – 10, Co – 1 та I – 0,7 – у формі неорганічних солей. Перепілкам дослідних груп вигоювали мінеральний комплекс

з аквацитратів цих же біоелементів в кількості, що становила (в перерахунку на кожний елемент) 1/10 (Д<sub>1</sub>) та 1/20 (Д<sub>2</sub>), або 10 та 5 % від їхнього вмісту в стандартному мінеральному преміксі (СП). З'ясовано, що форма та кількість уведення мікроелементів до раціонів впливає на рівень їх накопичення у тілі перепілок та жовтках яєць. Показано, що біоелементи з їхніх цитратів нанотехнологічного походження володіють відносно високою кумуляційною здатністю в організмі птиці порівняно з контролем (неорганічна форма мікроелементів). Оптимальний результат досягається за випоювання комплексу цитратованих біоелементів у кількості, що становить 10 % від їх вмісту в стандартному мінеральному преміксі. Встановлено, що застосування оптимальної кількості аквацитратів мікроелементів у годівлі птиці сприяє: збільшенню концентрації Мангану, Феруму, Цинку, Купруму і Кобальту ( $P < 0,05-0,001$ ) у печінці та стегових м'язах, а також Феруму і Купруму ( $P < 0,01-0,001$ ) у грудних м'язах перепілок; зростанню приростів маси тіла за період досліджу на 15,7%; поліпшенню біологічної цінності яєць (у жовтках підвищується вміст Кальцію ( $P < 0,05$ ), Йоду ( $P < 0,05$ ), Цинку ( $P < 0,01$ ) порівняно з аналогами контрольної групи.

**Ключові слова:** перепілки, біоелементи, цитрат нанотехнологічного походження.

## Вступ

У технологічних схемах вирощування та утримання сільськогосподарської птиці значну роль відіграє оптимізація годівлі, зокрема – балансування раціонів за есенціальними біоелементами. Численними дослідженнями вітчизняних та зарубіжних вчених з'ясована роль макро- і мікроелементів в організмі птиці (Medvid et al., 2017). Однак важливим є розуміння того, що додаткове введення до раціонів необхідних біоелементів має бути обґрунтованим не тільки з урахуванням їх кількості, фактичного вмісту в кормах, а й їхньої форми (Soboliev, 2017).

Традиційно прийнято компенсувати дефіцит біоелементів в раціонах шляхом їх уведення до складу преміксів в неорганічній формі (сульфати, карбонати, хлориди тощо) (Ibatullin et al., 2015). Однак останні порівняно важко засвоюються, а збільшення дози для досягнення оптимального рівня асиміляції в організмі птиці може призводити до виникнення токсикозів в організмі, а також до збільшення викидів у довкілля (Trakhtenberh et al., 2013). Адже серед усіх хімічних забруднень мікроелементи розглядаються як такі, що мають особливе екологічне значення, оскільки зазвичай їх засвоюваність у тваринному організмі є невисокою (20–30 %) (Wood et al., 2012). У зв'язку з цим важливим є пошук можливості включення до раціонів птиці біогенних елементів у легкозасвоюваній формі (Medvid et al., 2017).

В останні роки широко вивчається можливість мікроелементного забезпечення птиці за рахунок нанодисперсних форм (Brandão et al., 2013), що є надзвичайно перспективним, насамперед за умови створення нових кормів. За повідомленням окремих науковців, використання таких кормів забезпечує поліпшення у тварин обмінних процесів, сприяє зростанню продуктивних якостей, прискорює темпи росту і підвищує стійкість організму до стресів та інфекції (Brandão et al., 2013; Das et al., 2014). Однак окремі механізми впливу наноконпозицій біоелементів на обмінні процеси, продуктивність птиці і, як наслідок, якість птаховничої продукції залишаються невивченими та потребують додаткових експериментальних досліджень (Scott, 2005; Das et al., 2014).

У контексті комплексних системних досліджень, метою яких було з'ясування впливу різної кількості мінеральної суміші з Мангану, Феруму, Цинку, Купруму, Кобальту і Йоду (у формі цитратів нанотехнологічного походження) в раціонах перепілок на метаболічні процеси, резистентність і продуктивність,

актуальним є визначення рівня кумуляції цих біоелементів у тілі птиці.

## Матеріал і методи досліджень

Дослідження проведено на перепілках породи “Фараон”, сформованих у три групи (по 16 голів у кожній), починаючи з 14-добового віку. Утримання їх було клітковим, відповідно до технологічних вимог для птиці певного виду, віку та фізіологічного стану. Перепілки всіх груп одержували повнораціонні комбікорми, збалансовані за поживними й біологічно активними речовинами. Птиці контрольної групи додавали до корму мінеральний премікс, який містив (г/т корму): Mn – 50, Zn – 50, Cu – 2,5, Fe – 10, Co – 1 та I – 0,7 – у формі неорганічних солей. Перепілкам дослідних груп випоювали мінеральний комплекс з аквацитратів цих же мікроелементів, виготовлених із використанням нанотехнологій у ТОВ “Наноматеріали і нанотехнології” (м. Київ). Кількість елементів становила 1/10 (Д<sub>1</sub>) та 1/20 (Д<sub>2</sub>) від їхнього вмісту в стандартному мінеральному преміксі (СП).

## Результати та їх обговорення

З метою встановлення впливу добавок мікроелементів різних форм і доз на інтенсивність їх накопичення в тілі перепілок ми провели визначення вмісту Мангану, Цинку, Купруму, Феруму та Кобальту в грудному і стеговому м'язах, печінці та жовтках яєць.

Встановлено (рис. 1), що форма і кількість біоелементів впливала на рівень накопичення Mn в тілі перепілок.

Зокрема, за випоювання біоелементів у формі цитрату в кількості, що становить 10 % від їхнього вмісту в неорганічному преміксі (Д<sub>1</sub>), порівняно з показниками у птиці контрольної групи, концентрація Mn була вищою на 24,1 % ( $P < 0,01$ ) у стеговому м'язі, а також на 13,9 % ( $P < 0,05$ ) у печінці. Випоювання біоелементів у формі цитрату в кількості, що становить 5 % від їхнього вмісту в СП спричинило зниження вмісту Mn у стеговому м'язі втричі ( $P < 0,001$ ). Форма і кількість введених до раціонів перепілок мікроелементів не призводила до зміни концентрації Мангану в грудному м'язі. Водночас у межах кожної з груп птиці зберігається тенденція щодо вищого рівня вмісту Mn в печінці порівняно з його рівнем у м'язах. Така закономірність є характерною для птиці, як і для інших тварин. Адже елемент після всмоктування в

дванадцятипалій кишці швидко виводиться з крові і переходить в печінку, що є основним його депо в організмі, а також в кістки та волос (пір'я).

Манган бере активну участь у метаболічних процесах в організмі птиці шляхом активації лужної фосфатази і синтезу мукополісахаридів в матриці кісток і хряща, впливає на формування яйця та міцність

шкаралупи (Yonov et al., 2000). Встановлене нами підвищення концентрації Mn в печінці перепелів за вполювання їм цитратів мікроелементів нанотехнологічного походження в кількості, що становить 1/10 від їх вмісту в СП, також може бути передумовою підвищення міцності шкаралупи яєць цієї дослідної групи, порівняно з контролем.

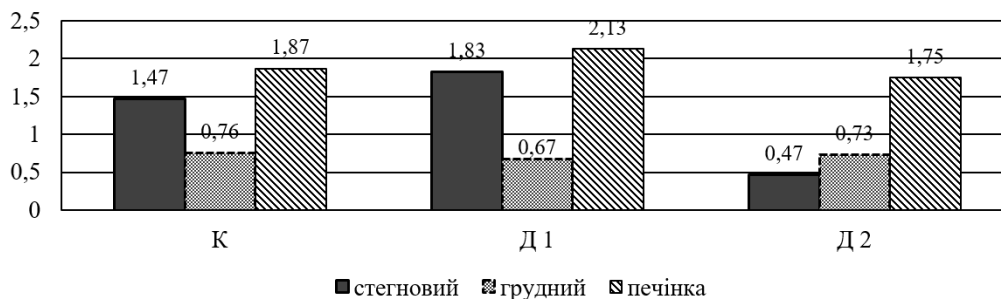


Рис. 1. Вміст Mn в тканинах перепелів, мг/кг

Вважається, що птиця не має депо Цинку в організмі і тому дефіцит елемента швидко проявляється у відставанні її в рості, ламкості оперення та порушення його пігментації, захворюванні кінцівок, розвитку дерматитів і затримці статевого дозрівання. Надходження елемента в організм птиці, особливо в період продуктивності, має бути постійним. Рівень його засвоєння птицею становить 7–15 % від постушеного з кормом. Разом з цим, птиця володіє високою толерантністю до надлишку Цинку в раціоні порівняно з іншими сільськогосподарськими тваринами (телятами і поросятами) (Scott, 2005).

Результати наших досліджень свідчать про відносно високу кумуляційну здатність Zn із цитрату нанотехнологічного походження порівняно з контролем.

Це стосується обидвох досліджуваних доз аквацитратів (рис. 2). Зокрема, якщо у птиці контрольної групи концентрація Zn була приблизно на одному рівні у м'язах та печінці, то вполювання мінерального комплексу призводило до підвищення рівня накопичення елемента в цих тканинах. Так, у перепілок першої дослідної групи, порівняно з контролем, вміст елемента в стеговому та грудному м'язах зростає, майже вдвічі ( $P < 0,01$ ), а в печінці – майже, втричі (у 2,7 раза,  $P < 0,001$ ). У печінці птиці другої дослідної групи вміст Zn також переважав показники аналогів контрольної групи у 2,5 раза ( $P < 0,01$ ), тимчасом як у стеговому та грудному м'язах був приблизно на рівні контролю.

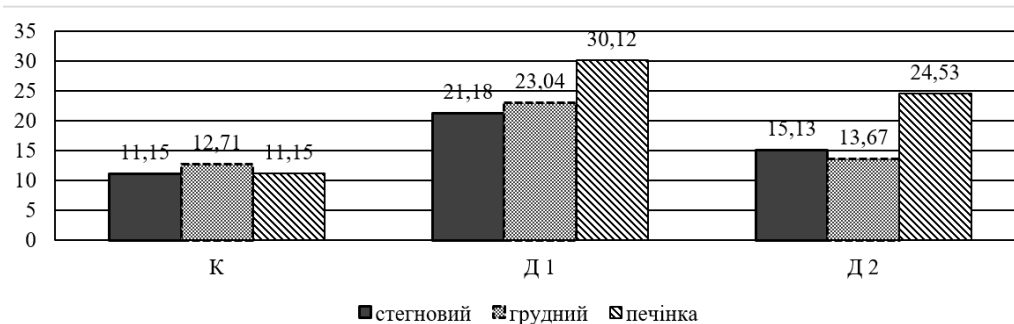


Рис. 2. Вміст Zn в тканинах перепелів, мг/кг

Аналіз одержаних результатів визначення вмісту Феруму в тканинах перепілок переконливо свідчить про підвищення інтенсивності накопичення біоелемента в печінці (рис. 3) за введення до раціонів птиці комплексу цитратів мікроелементів нанотехнологічного походження. При цьому за рівнем кумуляції Fe в печінці, ефективно виявилась кількість, що становить 10 і 5 % від вмісту елемента в СП. Зокрема, у печінці перепілок першої дослідної групи концентрація біоелемента зростає в 1,7 раза ( $P < 0,001$ ), а другої – в 1,5 раза ( $P < 0,01$ ) порівняно з аналогами контрольної групи.

Подібні, але менш виражені зміни виявлені й у тканинах стегового м'яза, а саме: у перепілок дослідних груп концентрація Fe зростає майже втричі ( $P < 0,001$ ) порівняно контролем. Поряд з цим вміст заліза в грудному м'язі птиці дослідних груп, навпаки, знижувався відповідно на 15,4 ( $P < 0,05$ ) та 37,3 % ( $P < 0,01$ ) порівняно з показниками у перепілок, які отримували з кормом мікроелементи у формі неорганічних солей.

Варто зазначити, що рівень Феруму в тканині є високим, але не токсичним. Адже за його надлишку в організмі він може відкладатись у вигляді токсичної колоїдної форми оксиду Fe – гемосидерину, в резуль-

таті чого знижується поїдання корму та прирости маси тіла (Kelleher & Lonnerdal, 2006). Нами ж встановлено, що прирости маси тіла (за період досліджу) були більшими у птиці дослідних груп на 15,5 та 16,0 % відповідно порівняно з приростами у перепілок контрольної групи.

Щодо вмісту Кобальту в досліджуваних тканинах перепілок (рис. 4), то у грудному м'язі птиці групи Д<sub>1</sub>

він залишався на рівні контролю, а в стегновому м'язі та печінці підвищувався на 1,2 та 1,3 % відповідно, порівняно з аналогами контрольної групи. У перепілок Д<sub>2</sub> групи (добавка елемента в кількості, що становить 5 % від рівня в СП) вміст Со був на рівні показників перепілок контрольної групи в усіх досліджуваних нами тканинах.

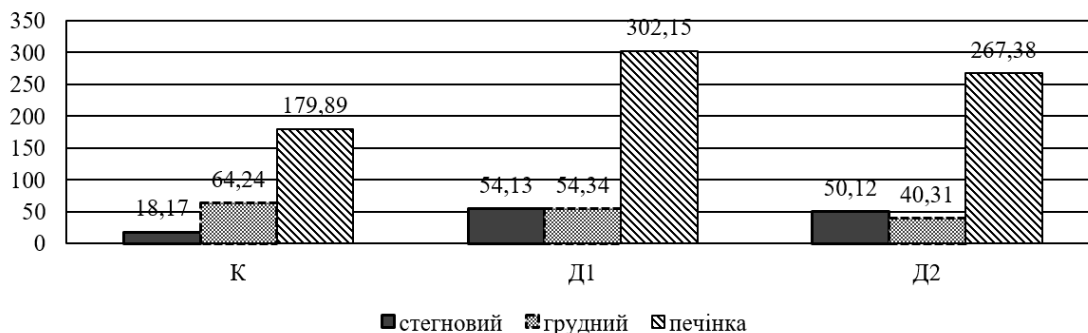


Рис. 3. Вміст Fe в тканинах перепелів, мг/кг

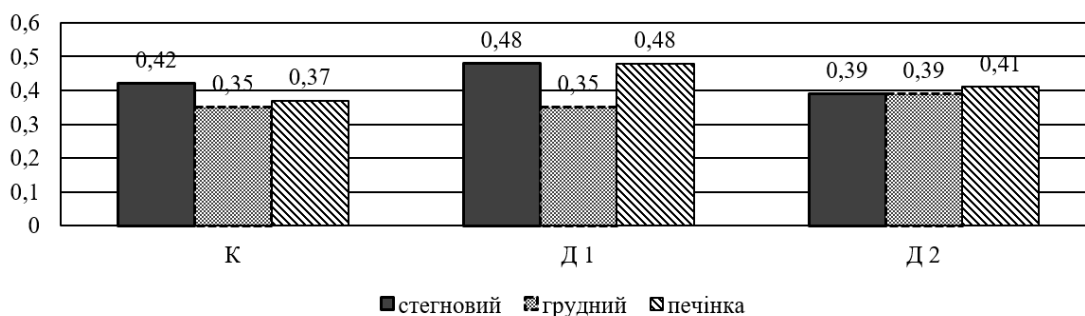


Рис. 4. Вміст Со в тканинах перепелів, мг/кг

До незамінних мікроелементів, необхідних для багатьох життєво важливих процесів в організмі, належить Купрум. Цей елемент транспортується в плазмі крові та виконує свою фізіологічну роль у складі значної кількості білків. Нестача Си в організмі людини і тварин зумовлює пригнічення процесів синтезу гемо-

глобіну, еритропоезу, передачі нервових імпульсів, зменшення резистентності до захворювань та дії різноманітних стресових чинників (Antoniak et al., 2011).

Визначення вмісту Купруму в тканинах перепелів свідчить про те, що у птиці контрольної групи найвищий його рівень був у печінці (рис. 5).

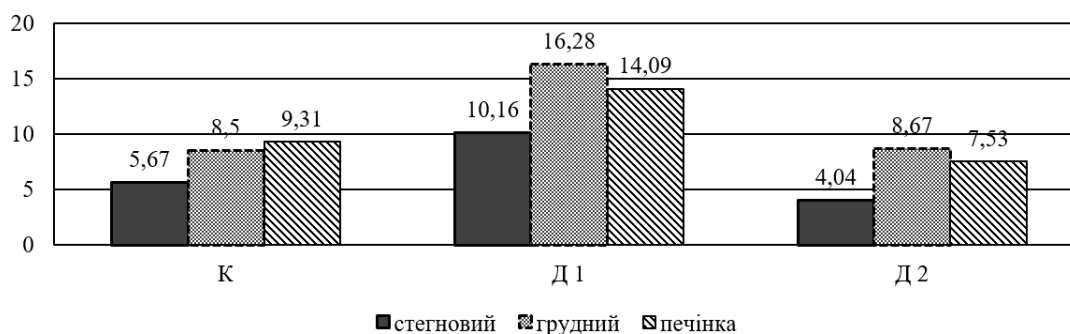


Рис. 5. Вміст Си в тканинах перепелів, мг/кг

Заміна стандартного мінерального преміксу з мікроелементів у неорганічній формі їх органічною формою призводила до перерозподілу металу в тілі птиці. При цьому за вивільнення біоелементів у формі цитрату в кількості, що становить 10 та 5 % від їх вмісту в СП (Д<sub>1</sub> і Д<sub>2</sub> групи), максимальна концентрація Си

виявлена в грудному м'язі перепілок порівняно з його вмістом в інших тканинах.

Для динаміки вмісту Купруму в тканинах перепілок Д<sub>1</sub> групи було характерним те, що він переважав показники птиці контрольної групи у стегновому і грудному м'язах та печінці в 1,8; 1,9 та 1,6 раза

( $P < 0,05-0,001$ ) відповідно. У стегновому м'язі і печінці перепілок Д<sub>2</sub> групи концентрація *Сu* знижувалась на 28,7 та 19,1 % ( $P < 0,05$ ) відповідно, а в грудному м'язі залишалась на рівні показників птиці контрольної групи.

Отже, аналіз отриманих результатів свідчить, що випоювання перепілкам суміші цитратів мікроелементів

сприяє підвищенню рівня накопичення досліджуваних нами елементів в їх печінці, яка виступає як медіатор в транспорті та відкладанні майже всіх поживних речовин жовтка, зокрема мікроелементів (Vern et al., 2003). Тому цікавими є результати визначення вмісту Цинку, Феруму, Мангану, Купруму, Кобальту і Йоду в жовтках яєць (табл. 1).

**Таблиця 1**

Вміст біоелементів у жовтках яєць ( $M \pm m, n = 10$ )

Показники	Групи		
	контроль	Д <sub>1</sub> (1/10 від вмісту в СП)	Д <sub>2</sub> (1/20 від вмісту в СП)
Кальцій, мкг/кг	2345,67 ± 34,11	2488,22 ± 51,17*	2367,49 ± 48,36
Йод, мкг/100г	139,62 ± 6,14	183,15 ± 5,83*	105,44 ± 5,31**
Цинк, мкг/кг	48,74 ± 1,84	61,14 ± 2,93**	50,13 ± 1,29
Ферум, мкг/кг	165,33 ± 2,44	172,35 ± 3,81	158,21 ± 3,38
Манган, мкг/кг	1,18 ± 0,03	1,20 ± 0,07	1,19 ± 0,05
Купрум, мкг/кг	7,11 ± 0,98	8,14 ± 0,96	7,03 ± 0,73
Кобальт, мкг/кг	0,50 ± 0,03	0,49 ± 0,3	0,48 ± 0,04

Встановлено, що на тлі вірогідного підвищення вмісту Феруму, Цинку та Мангану в печінці перепілок, яким випоювали аквацитрат цих біоелементів у кількості, що відповідала 1/10 від їх вмісту в стандартному мінеральному преміксі, – у жовтках знесених ними яєць вірогідно зростала лише кількість Йоду та Цинку, а також спостерігалась тенденція до підвищення рівня Феруму.

Така закономірність, очевидно, є наслідком того, що яйце формується в організмі птиці як статеві клітини. У процесі фолікулогенезу відкладаються величезні, порівняно з самою яйцеклітиною, маси жовтка – запаси поживних речовин. А свіжознесене запліднене яйце являє собою ранній ембріон, сталий хімічний склад якого є запорукою успішного розвитку і вилуплення пташенят (Mueller et al., 2015).

Підвищення вмісту Цинку та Йоду в жовтках свідчить на користь поліпшення біологічної якості яєць. Адже Цинк як незамінний елемент бере участь в реалізації генетичної інформації та її перенесення від клітини до клітини (Scott, 2005). А Йод – необхідним для нормального росту і розвитку ембріонів птиці. За нестачі Йоду в раціоні племінної птиці й, як наслідок, в яйці, в ембріонів збільшується щитоподібна залоза, яка містить велику кількість фолікулів з малим колоїдним матеріалом або без нього, що зумовлено компенсаторною гіпертрофією фолікулярних клітин, зменшенням кількості Йоду і співвідношення Т<sub>3</sub>/Т<sub>4</sub> у залозі та зниженням вмісту Т<sub>4</sub> у сироватці крові (Christensen et al., 1999).

### Висновки

Форма та кількість уведення мікроелементів до раціонів впливає на рівень їх накопичення у тілі перепілок та жовтках яєць. Показано, що біоеlementи з їхніх цитратів нанотехнологічного походження володіють відносно вищою кумуляційною здатністю в організмі птиці порівняно з контролем (неорганічна форма мікроелементів). Оптимальний результат дося-

гається за випоювання комплексу цитратованих біоелементів у кількості, що становить 10 % від їх вмісту в стандартному мінеральному преміксі.

Застосування оптимальної кількості аквацитратів мікроелементів у годівлі птиці сприяє: збільшенню концентрації Мангану, Феруму, Цинку, Купруму і Кобальту ( $P < 0,05-0,001$ ) у печінці та стегнових м'язах, а також Феруму і Купруму ( $P < 0,01-0,001$ ) у грудних м'язах перепілок; зростанню приростів маси тіла за період досліду на 15,7 %; поліпшенню біологічної цінності яєць (у жовтках підвищується вміст Кальцію ( $P < 0,05$ ), Йоду ( $P < 0,05$ ) та Цинку ( $P < 0,01$ ) порівняно з аналогами контрольної групи.

*Перспективи подальших досліджень.* У подальшому для з'ясування ефективності заміни в раціонах перепелів мікроелементів у формі неорганічних солей у складі гарантованих мінеральних преміксів комплексною добавкою цих біоелементів у формі цитратів нанотехнологічного походження варто провести балансовий дослід. Це дасть можливість визначити рівень засвоєння мікроелементів і кількість виведення в довкілля.

### References

- Antoniak, H. L., Vazhnenko, O. V., & Panas, N. Ie. (2011). *Biolozhichna rol Kuprumu ta Kuprumvnisnykh bilkiv v orhanizmi liudyny i tvaryn.* *Naukovyi visnyk LNUVMB imeni S. Z. Gzhytskoho*, 13(2), 322–332. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvlnu\\_2011\\_13\\_2\(1\)\\_67](http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvlnu_2011_13_2(1)_67) (in Ukrainian).
- Brandão, H., Gern, J., Guimarães, A., & Langoni1, H. (2013). *Nanotechnology and Antimicrobials in Veterinary Medicine.* *Formatex*, 2, 543–556.
- Christensen, V. L., Donaldson, W. E., Nestor, K. E., & McMurtry, J. P. (1999). *Effects of genetics and maternal dietary iodide supplementation on glycogen content of organs within embryonic turkeys.* *Poult. Sci.*, 78(6), 890–898. doi: 10.1093/ps/78.6.890.

- Das, A., Das, S., Swain, R., Sahoo, G., & Behura, N. (2014). Effects of organic minerals supplementation on growth, bioavailability and immunity in layer chicks. *J. Pharmacol*, 10(5), 237–247. doi: 10.3923/ijp.2014.237.247.
- Ibatullin, I. I., Melnyk, Yu. F., Otchenashko, V. V., Sychov, M. Iu., Kryvenok, M. Ia., Chyhryn, A. I., Kondratiuk, V. M., Ilchuk, I. I., Umanets, D. P., Yatsenko, O. V., Balanchuk, I. M., Holubiev, M. I., Kononenko, V. K., Stoliuk, V. D., & Panasenko, Yu. O. (2015). *Praktykum z hodivli silskohospodarskykh tvaryn: navchalnyi posibnyk*. Kyiv (in Ukrainian).
- Kelleher, S., & Lonnerdal, B. (2006). Zinc supplementation reduces iron absorption through age-dependent changes in small intestine iron transporter expression in suckling rat pups. *J. Nutr.*, 136(5), 1185–1191. doi: 10.1093/jn/136.5.1185.
- Medvid, S.M., Hunchak, A.V., Hutyi, B.V., & Ratych, I. B. (2017). *Perspektyvy ratsionalnoho zabezpechennia kurchat-broileriv mineralnymi rehovynamy*. *Naukovyi visnyk LNUVMB imeni S. Z. Gzhytskoho*, 19(79), 127–134. doi: 10.15421/nvlvet7925 (in Ukrainian).
- Mueller, C., Burggren, W. H., & Tazawa H. (2015). *The Physiology of the Avian Embryo* [In book: *Sturkie's Avian Physiology*], 739–766.
- Scott, N. R. (2005). Nanotechnology and animal health. *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz.*, 24(1), 425–432. doi: 10.20506/rst.24.1.1579.
- Soboliev, O. I. (2017). *Mihratsiia selenu u bioheokhimichnomu lantsiuzi: grunt – voda – roslyna – produktyiia ptakhivnytstva – liudyna*. *Ukrainian Journal of Ecology*, 7(2), 92–200. doi: 10.15421/2017\_36 (in Ukrainian).
- Trakhtenberh, I. M., Chekman, I. S., & Lynnyk, V. O. (2013). *Vzaiemodiia mikroelementiv: biolohichni, medychnyi i sotsialnyi aspekty*. *Visn. NAN Ukrainy*, 6, 11–20. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu\\_2013\\_6\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu_2013_6_4) (in Ukrainian).
- Vern, L. C., Ort, D. T., & Grimes, J. L. (2003). Physiological factors associated with weak neonatal poult (Meleagris gallopavo). *Poult. Sci.*, 2(1), 7–14. doi: 10.3923/ijps.2003.7.14.
- Wood, C. M., Farrel, A. P., Brauner, C. J. (2012). *Homeostasis and toxicology of essential metals*. *Fish Physiol Academic Press: London*. 31A.
- Yonov, Y. A., Mykytiuk, D. N., & Kots, V. P. (2000). *Raspredelenye tsynka v orhanyzme kur-nesushek v zavysymosti ot eho sodержaniya v ratsyone*. *Ptytsevodstvo*, 49, 68–75 (in Ukrainian).