

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-a10004
<https://nvlvet.com.ua/index.php/agriculture>

UDC 636.52/.58.053.09:546.23:661.155.3

Mathematical justification of the optimal rate of selenium introduction into mixed feed for broiler chickens

O. I. Sobolev^{1,2✉}, B. V. Gutyj³, V. M. Nedashkivsky¹, S. V. Sobolieva¹, V. A. Liskovich¹, S. V. Tkachenko¹, U. M. Vus³

¹Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine

²Odessa State Agrarian University, Odessa, Ukraine

³Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv, Ukraine

Article info

Received 20.12.2023

Received in revised form
22.01.2024

Accepted 23.01.2024

Bila Tserkva National Agrarian
University, 8/1, Soborna Sq.,
Bila Tserkva, 09117, Ukraine.
Tel.: +38-096-443-91-50
E-mail: sobolev_a_i@ukr.net

Odessa State Agrarian University,
Panteleymonivska, Str., 13,
Odessa, 65012, Ukraine.

Stepan Gzhytskyi National
University of Veterinary Medicine
and Biotechnologies Lviv,
Pekarska Str., 50, Lviv,
79010, Ukraine.
Tel.: +38-068-136-20-54
E-mail: bvh@ukr.net

Sobolev, O. I., Gutyj, B. V., Nedashkivsky, V. M., Sobolieva, S. V., Liskovich, V. A., Tkachenko, S. V., & Vus, U. M. (2024). Mathematical justification of the optimal rate of selenium introduction into mixed feed for broiler chickens. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural sciences, 26(100), 27–36. doi: 10.32718/nvlvet-a10004

In recent years, many countries worldwide have been revising the existing standards for introducing trace elements in mixed feed for high-performance crosses and poultry breeds, taking into account new scientific data. This also applies to Selenium, which is recognized as an indispensable biotic ultramicroelement according to the modern classification. The norms for introducing selenium into mixed feed for broiler chickens have specific differences and range from 0.1 to 0.5 mg/kg of feed, which are recommended in different countries and at other times. The reason for the disagreement is probably that the experiments were conducted under different conditions, against the background of different diets, on different poultry crosses, and using other selenium-containing compounds. In addition, the norms of selenium additives recommended by foreign and domestic scientists in mixed feed for broiler chickens are not always supported by mathematical calculations, and, in our opinion, they should be evaluated as indicative, requiring further justification and clarification depending on the regional characteristics of poultry feeding. Two scientific and economic experiments were conducted to determine the optimal rate of introducing selenium into mixed feed for broiler chickens, which lasted 42 days each. The study was conducted on broiler chickens of the Coob 500 cross. Selenium was additionally introduced into mixed feeds for broiler chickens of the experimental groups in doses of 0.2, 0.3, 0.4, and 0.5 mg/kg. Poultry in the control group did not receive Selenium supplementation. Statistical processing of experimental data obtained in two scientific and economic experiments, using graphical, variance, and regression analysis methods, allows us to conclude that the optimal dose of Selenium administration in mixed feed for broiler chickens should be considered 0.3 mg/kg. Feeding broiler chickens during the growing period of mixed feed enriched with Selenium in this amount contributed to a likely increase in their live weight in the first experiment by 7.8 % ($P < 0.001$), in the second by 5.1 % ($P < 0.01$), compared to the control group. Higher doses of Selenium (0.4 and 0.5 mg/kg) in mixed feed, as well as a lower dose (0.2 mg/kg), caused less intensive growth and lower live weight of broiler chickens of other experimental groups, compared to young animals fed mixed feed with the addition of selenium 0.3 mg/kg.

Key words: Selenium, mixed feed, optimal rate, broiler chickens, statistical methods of analysis.

Математичне обґрунтування оптимальної норми введення Селену в комбікорми для курчат-бройлерів

O. I. Sobolev^{1,2✉}, B. V. Gutyj³, V. M. Nedashkivsky¹, S. V. Sobolieva¹, V. A. Liskovich¹, S. V. Tkachenko¹, U. M. Vus³

¹Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква, Україна

²Одеський державний аграрний університет, м. Одеса, Україна

³Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, м. Львів,

Україна

Останніми роками у багатьох країнах світу переглядаються, із урахуванням нових наукових даних, уже існуючі норми введення мікроелементів у комбікорми для високопродуктивних кросів і порід сільськогосподарської птиці. Це стосується і Селену, який, згідно з сучасною класифікацією, визнаний незамінним біотичним ультрамікроелементом. Норми введення Селену в комбікорми для курчат-бройлерів, що рекомендовані в різних країнах світу і в різний час, мають певні відмінності й коливаються від 0,1 до 0,5 мг/кг корму. Причиною розбіжностей є, напевно, те, що експерименти проводилися у різних умовах, на фоні різних раціонів, на різних кросах птиці й за використання різних селеновмісних сполук. Крім того, рекомендовані зарубіжними та вітчизняними вченими норми добавок Селену в комбікорми для курчат-бройлерів не завжди підкріплені викладками математичного характеру і, на нашу думку, їх слід оцінювати як орієнтовні, такі, що потребують подальшого обґрунтування та уточнення залежно від регіональних особливостей годівлі сільськогосподарської птиці. З метою визначення оптимальної норми введення Селену в комбікорми для курчат-бройлерів було проведено два науково-господарських досліді, які тривали 42 дні кожний. Дослідження проводилися на курчатах-бройлерах кросу Сооб 500. У комбікорми для курчат-бройлерів дослідних груп додатково вводили Селен у дозах 0,2; 0,3; 0,4 та 0,5 мг/кг. Птиця контрольної групи добавку Селену не одержувала. Статистична обробка експериментальних даних, отриманих у двох науково-господарських досліді, методами графічного, дисперсійного та регресійного аналізу, дозволяє зробити висновок про те, що оптимальною дозою введення Селену в комбікорми для курчат-бройлерів слід вважати 0,3 мг/кг. Згодовування курчатам-бройлерам упродовж періоду вирощування комбікормів, збагачених Селеном у такій кількості, сприяло вірогідному підвищенню їхньої живої маси у першому досліді на 7,8 % ($P < 0,001$), у другому – на 5,1 % ($P < 0,01$) порівняно з контрольною групою. Більш високі дози введення Селену (0,4 та 0,5 мг/кг) в комбікорми, так само як і нижча його доза (0,2 мг/кг), обумовили менш інтенсивний ріст і меншу живу масу курчат-бройлерів інших дослідних груп, порівняно з молодняком, якому згодовували комбікорми з добавкою Селену 0,3 мг/кг.

Ключові слова: Селен, комбікорм, оптимальна норма, курчата-бройлери, статистичні методи аналізу.

Вступ

Результати численних наукових досліджень показують, що повноцінна годівля сільськогосподарської птиці є запорукою максимальної реалізації її генетичного потенціалу, високої продуктивності та збереження поголів'я, а також ефективного використання кормів. Сучасна система нормованої годівлі сільськогосподарської птиці передбачає повне задоволення її індивідуальної потреби в обмінній енергії, поживних і біологічно активних речовинах, у тому числі й мікроелементах (Tufarelli, 2021).

Мікроелементи не можуть бути синтезовані в організмі чи замінені іншими речовинами, і тому основним джерелом надходження їх в організм сільськогосподарської птиці є корми (Nys et al., 2018). Необхідність добавок мікроелементів у комбікорми для птиці набуває важливого значення у зв'язку зі зниженням їх запасів у ґрунтах деяких регіонів і, як наслідок, у кормах. І хоча абсолютного дефіциту (на рівні нуля) якогось мікроелемента не спостерігається, природний вміст їх у зернових кормах не відповідає фізіологічним потребам птиці. Можливість же підвищення концентрації мікроелементів у рослинних кормах за допомогою внесення мікродобрих є досить проблематичною, через неоднорідність кліматичних і біогеохімічних умов різних регіонів. Тому й сьогодні питання ефективного використання мікроелементів у складі комбікормів для сільськогосподарської птиці залишається актуальним.

Вітчизняний та зарубіжний досвід ведення галузі птахівництва переконливо доводять, що введення в комбікорми для сільськогосподарської птиці мікроелементів в оптимальних кількостях і співвідношеннях дозволяє не тільки підвищити її продуктивність і життєздатність, а й поліпшити конверсію корму та якість продукції. Незважаючи на те, що існує значна кількість наукових напрацювань щодо проблеми мінерального живлення сільськогосподарської птиці, перелік мікроелементів, які використовуються у складі комбікормів для неї, явно недостатній. Останніми

роками у багатьох країнах світу переглядаються, із урахуванням нових наукових даних, уже існуючі норми введення мікроелементів у комбікорми для високопродуктивних кросів і порід сільськогосподарської птиці. Це стосується й Селену, який сьогодні визнаний незамінним біотичним мікроелементом (Huang et al., 2023).

За результатами чисельних наукових досліджень, проведених на різних видах сільськогосподарських тварин і птиці, встановлено, що Селен в організмі виконує унікальні багатопланові функції – каталітичну, структурну, регуляторну, в процесі здійснення яких він активує дію багатьох ферментів, вітамінів, гормонів і цим забезпечує нормальне функціонування різних біологічних систем, здійснення численних фізіолого-біохімічних реакцій в живому організмі (Reilly, 2013; Nabi et al., 2020). Крім того, він володіє імуностимулюючими (Dalgaard et al., 2018), антивірусними (Wang et al., 2021), антиоксидантними (Surai & Kochish, 2019), антиоксидантними (Du et al., 2022), антиканцерогенними (Krakowiak & Pietrasik, 2023), радіопротекторними (Karami et al., 2018) та адаптогенними (Shakeri et al., 2020) властивостями.

Відкриття біологічних властивостей Селену стало підставою для використання його як мінеральної добавки у годівлі сільськогосподарської птиці. Включення Селену до складу комбікормів поліпшує здоров'я, підвищує ячну продуктивність промислового стада птиці та ефективність використання нею кормів (Muhammad et al., 2021). Оптимізація селенового живлення птиці позитивно впливає на інкубаційні якості яєць, зокрема сприяє підвищенню їх заплідненості, виводимості та виведення молодняку, а також покращує якість сперми як у молодих, так і старих самців (Zia et al., 2016; Bălăceanu et al., 2022).

Добавки Селену в комбікорми сприяють збагаченню м'яса і яєць птиці цим мікроелементом (Sobolev et al., 2017; Vakili et al., 2022), поліпшують якість яєць, зокрема підвищують питому вагу жовтка та інтенсивність його забарвлення, індекс форми яєць, індекс білка та його висоту, одиницю Хау, товщину шкура-

лупи та знижують кількість пошкоджених яєць (Mohammadsadeghi et al., 2023).

Збагачення Селеном комбікормів для м'ясного молодняку різних видів сільськогосподарської птиці сприяє підвищенню їхньої інтенсивності росту, збереженості та зниженню витрат корму на одиницю приросту живої маси (Arnaut et al., 2021). Оптимізація рівня Селену в раціоні помітно впливає на м'ясну продуктивність птиці, зокрема збільшується забійний вихід та маса їстівних частин тушки за рахунок кращого розвитку м'язової тканини, шкіри з підшкірним жиром, їстівних нутрощів і зниження питомої ваги кісток. Поліпшуються м'ясні індекси (Poberezhets et al., 2023). Є публікації українських і зарубіжних авторів, котрі вважають, що деякі показники, які характеризують якість м'яса птиці, залежать від рівня Селену в комбікормах. Зазначається, що введення в раціони молодняку птиці м'ясного напрямку продуктивності Селену знижує втрати вологи м'яса під час забою та кулінарної підготовки, покращує смакові якості та хімічний склад м'яса, зокрема сприяє підвищенню вмісту в м'язах грудей та ніг сухої речовини, протеїну та жиру, а також збільшує поживну та біологічну цінність м'яса цієї птиці (Bakhshalinejad et al., 2019; Sobolev et al., 2019; Mohamed et al., 2020). Також встановлено, що під дією Селену змінюється вміст і профіль окремих амінокислот у м'ясі птиці, що пояснюється впливом цього мікроелемента на процеси обміну білків крові, які є структурним матеріалом для побудови м'язової тканини (Bachinina et al., 2021).

Уведення Селену до складу комбікормів птиці позитивно впливає на розвиток травної системи у молодняку птиці, сприяє збільшенню маси та загальної довжини кишечника загалом і його відділів зокрема, а також маси м'язового шлунка та печінки (Sobolev et al., 2018). Добавки Селену в комбікорми прискорюють і поліпшують формування пір'яного покриву на спині, шиї, крилах, грудях та нижній частині тіла птиці. З практичної точки зору – цей факт має суттєве значення. У курчат-бройлерів зменшуються втрати енергії, що призводить до економії корму, а також знижується ймовірність розкльову в стаді (Van Emous & Van Krimpen, 2019). Включення Селену до складу комбікормів суттєво впливає на перо-пухову продуктивність птиці (Chen et al., 2020), зокрема у молодняку та дорослих гусей збільшується кількість і якість перо-пухової продукції (Djebrov et al., 2006).

Підвищення продуктивних якостей сільськогосподарської птиці багато вчених пов'язують зі зміною обміну речовин в організмі. Так, під впливом Селену більш ефективно використовується обмінна енергія корму (Naryun et al., 2022), поліпшується перетравність поживних речовин корму (органічної речовини, сирого протеїну, сирого жиру, сирого клітковини, безазотистих екстрактивних речовин), збільшується відкладання і засвоєння Нітрогену, Кальцію, Фосфору і Селену (Yoon et al., 2007; Kumar et al., 2023; Sobolev et al., 2023). Пояснюють це посиленням біосинтезу селеновмісних білків у слизовій оболонці тонкого відділу кишечника, що, напевне, призводить до підвищення інтенсивності всмоктування і, як наслідок, до

більш повного вилучення поживних і мінеральних речовин із корму.

Таким чином, з позиції сучасних уявлень, нормальне функціонування організму птиці та повна реалізація її генетичного потенціалу неможливі без наявності Селену в раціоні. Норми введення Селену в комбікорми для курчат-бройлерів, що рекомендовані в різних країнах світу і в різний час мають певні відмінності і коливаються від 0,1 до 0,5 мг/кг корму. Причиною розбіжностей є, напевно те, що експерименти проводилися у різних умовах, на фоні різних раціонів, на різних кросах птиці і за використання різних селеновмісних сполук.

Не так давно в американських нормах годівлі птиці зазначалося, що курчата-бройлери протягом усього періоду вирощування мають одержувати добавку Селену в комбікорми у кількості 0,15 мг/кг (NRC, 1994).

Сьогодні вчені з американської компанії Hubbard вважають, що для досягнення високої продуктивності в комбікорми для курчат-бройлерів достатньо вводити Селен у дозі 0,2 мг/кг (Navidshad et al., 2019).

Науковці фірми "Сооб" вважають, що норма добавок Селену до комбікормів для курчат-бройлерів має становити 0,35 мг/кг (Cobb, 2018). Інша англійська птахівницька фірма "Aviagen" рекомендує для курчат-бройлерів вводити в комбікорми Селен у кількості 0,3 мг/кг (Ross, 2019). Такої ж думки дотримуються вчені з канадського агентства інспекції харчових продуктів (CFIA, 2018).

Згідно з рекомендаціями бразильських учених, норма введення Селену в комбікорми для курчат-бройлерів у період росту 1–7 днів має становити 0,375 мг/кг; 8–21 день – 0,33; 22–33 дні – 0,30; 34–42 дні – 0,225 та 43–49 днів – 0,195 мг/кг (Rostagno et al., 2011).

Польські вчені дійшли висновку, що норма введення Селену в повнораціонні комбікорми для курчат-бройлерів має становити 0,5 мг/кг (Bień et al., 2023).

Вітчизняні вчені донедавна рекомендували вводити Селен у комбікорми для різних видів сільськогосподарської птиці, у тому числі й курчат-бройлерів, у дозі 0,1 мг/кг. Проте ця доза відповідає лише мінімальній фізіологічній потребі птиці у цьому мікроелементі (Pardechi et al., 2020).

При розробці норм введення Селену вчені зважають на рекомендовані максимально допустимі рівні його в комбікормах для сільськогосподарської птиці, які в різних країнах світу відрізняються іноді в декілька разів. Наприклад, відповідно до законодавства ЄС, рівень Селену (природний вміст у кормових інгредієнтах + добавка), який допускається в раціонах сільськогосподарської птиці, становить 0,5 мг/кг (Zoidis et al., 2010). Канадське агентство з контролю за харчовими продуктами (CFIA) збільшило максимально допустимий рівень Селену в кормах для птиці з 0,5 до 1,0 мг/кг (CFIA, 2018). Державна Рада з досліджень у США (NRC) встановила максимально допустимий рівень Селену в кормах для всіх видів сільськогосподарських тварин і птиці – 2 мг/кг (McDowell, 2003). Максимально допустимий рівень Селену в

комбікормах для сільськогосподарської птиці, що вирощується на м'ясо, в Україні становить 0,5 мг/кг корму (Order, 2012).

Як видно з викладеного вище, рекомендовані зарубіжними та вітчизняними вченими норми добавок Селену в комбікорми для курчат-бройлерів суперечливі, не завжди підкріплені викладками математичного характеру і, на нашу думку, їх слід оцінювати як орієнтовні, такі, що потребують подальшого уточнення залежно від регіональних особливостей годівлі птиці.

Мета дослідження

Мета досліджень – теоретично та експериментально обґрунтувати оптимальну норму введення Селену в комбікорми для курчат-бройлерів.

Таблиця 1

Схеми науково-господарських дослідів

Група	Кількість птиці у групі, гол		Добавка в комбікорми Селену, мг/кг
	на початок досліду	на кінець досліду	
I науково-господарський дослід			
1 контрольна (D1_1)	100	90	Основний раціон (комбікорм) – ОР
2 дослідна (D1_2)	100	91	ОР + 0,2
3 дослідна (D1_3)	100	95	ОР + 0,3
4 дослідна (D1_4)	100	94	ОР + 0,4
II науково-господарський дослід			
1 контрольна (D2_1)	100	95	Основний раціон (комбікорм) – ОР
2 дослідна (D2_2)	100	97	ОР + 0,3
3 дослідна (D2_3)	100	96	ОР + 0,4
4 дослідна (D2_4)	100	96	ОР + 0,5

В обох дослідях годівля курчат-бройлерів здійснювалася сухими повнораціонними комбікормами відповідно до існуючих норм (Bratyshko et al., 2005). Курчата-бройлери вирощувалися на глибокій підстилці, при вільному доступі до корму і води, з дотриманням технологічних параметрів щільності посадки, мікроклімату та освітлення відповідно до існуючих норм (Galibarenko et al., 2005).

Під час проведення наукових досліджень визначали живу масу молодняку шляхом індивідуального зважування (на електронних вагах) на початку та наприкінці періоду вирощування.

Для математичної обробки експериментальних даних, одержаних у двох науково-господарських дослідів, використовувались графічний аналіз, а також методи дисперсійного та регресійного аналізу, реалізованих в програмному середовищі R (R – це мова програмування і програмне середовище для статистичних обчислень, аналізу та зображення даних в графічному вигляді).

Результати та їх обговорення

Графічний аналіз був проведений з використанням процедури *violin* (Wickham & Chang, 2012), за допомогою якої побудовані графіки щільності розподілу

Матеріал і методи досліджень

З метою визначення оптимальної норми введення Селену в комбікорми для курчат-бройлерів було проведено два науково-господарські дослідів, які тривали 42 днів кожний. Дослідження проводилися на курчатах-бройлерах кросу Сооб 500.

Для проведення науково-господарських дослідів формували групи із добового кондиційного молодняку за принципом аналогів з урахуванням живої маси, походження та фізіологічного стану.

Птиці контрольної групи протягом періоду вирощування згодовували повнораціонні комбікорми, збалансовані за основними поживними та біологічно активними речовинами. Птиці дослідних груп у комбікорми додатково вводили різну кількість Селену згідно зі схемами дослідів (табл. 1). Селен у комбікорми для курчат-бройлерів вводили у складі мінерального преміксу. Як джерело Селену використовували селеніт натрію.

отриманих результатів у двох науково-господарських дослідів за групами, а також визначений маркер для медіани даних та розподіл вимірювань по квартилях.

Аналіз отриманих результатів з обробки даних першого науково-господарського дослідів (рис. 1, табл. 2) свідчить про зміщення медіани у бік більших значень живої маси курчат-бройлерів. Тобто якщо за ознаку ефективності добавок Селену обрати неоднакову середню масу (стандартність) курчат-бройлерів, а саме масу всієї отриманої продукції, то безумовно кращою є дослідна група D1_3. Водночас варто зазначити, що особливістю даної групи (D1_3), враховуючи описову статистику, є суттєве розсіювання живої маси, що свідчить про неоднаковий позитивний вплив дози Селену 0,3 мг/кг на ріст курчат-бройлерів.

Аналіз результатів, отриманих з обробки даних другого науково-господарського дослідів (рис. 2, табл. 2), як і в першому досліді, свідчить про підвищення живої маси курчат-бройлерів при введенні в комбікорми добавок Селену. При цьому найбільший приріст живої маси курчат-бройлерів спостерігався у дослідній групі D2_2. При цьому не спостерігається значного розсіювання результатів, що свідчить про більшу ідентичність впливу добавок Селену на ріст курчат-бройлерів. Варто зазначити, що в групах D1_3 та D2_2 доза введення Селену в комбікорми була

однаковою і становила 0,3 мг/кг. Цей висновок підтверджують також дані описової статистики: середнє арифметичне (mean), середньоквадратичне відхилення (sd), медіана (median), усічене середнє (trimmed), медіанне значення абсолютного відхилення від медіа-

ни (mad), мінімальне та максимальне значення (min, max), розмах варіації (range). Вони також вказують на те, що найбільш ефективною дозою введення Селену в комбікорми для курчат-бройлерів є 0,3 мг/кг.

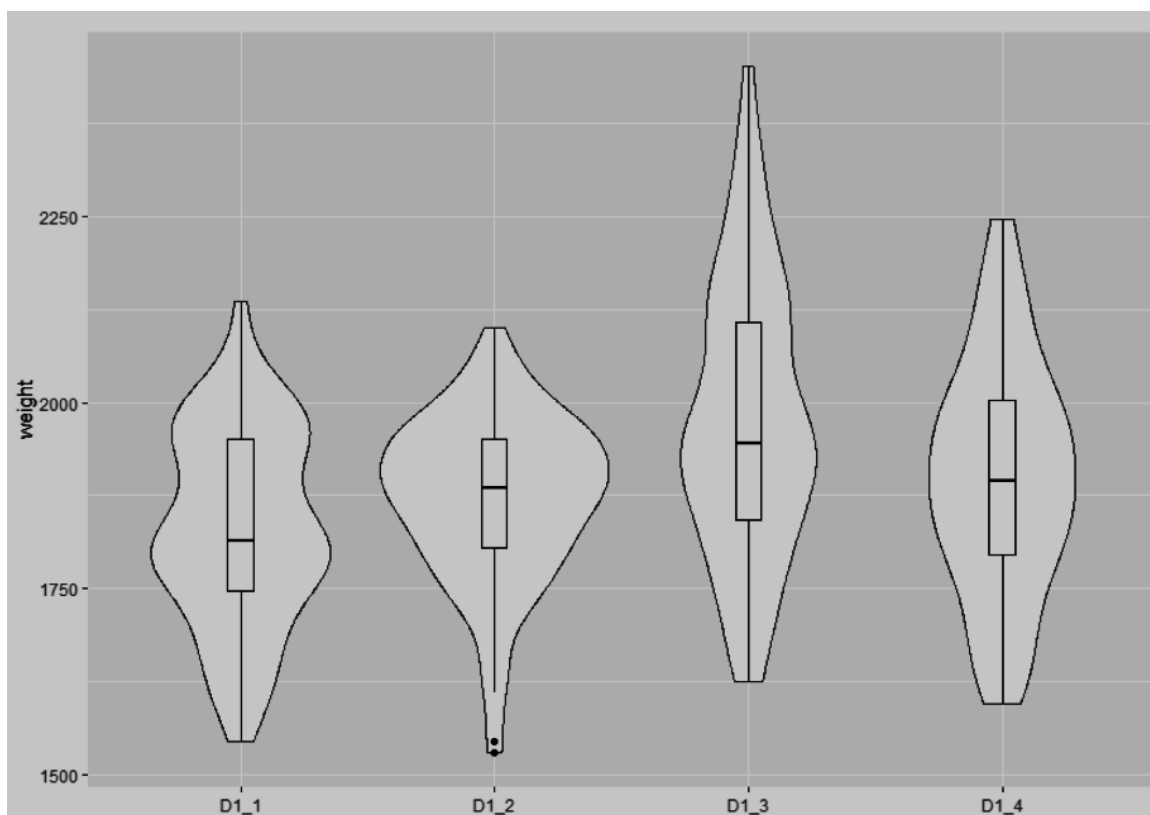


Рис. 1. Скрипкова діаграма (violin plot) та “ящик з вусами” (boxplot) для першого науково-господарського дослідження

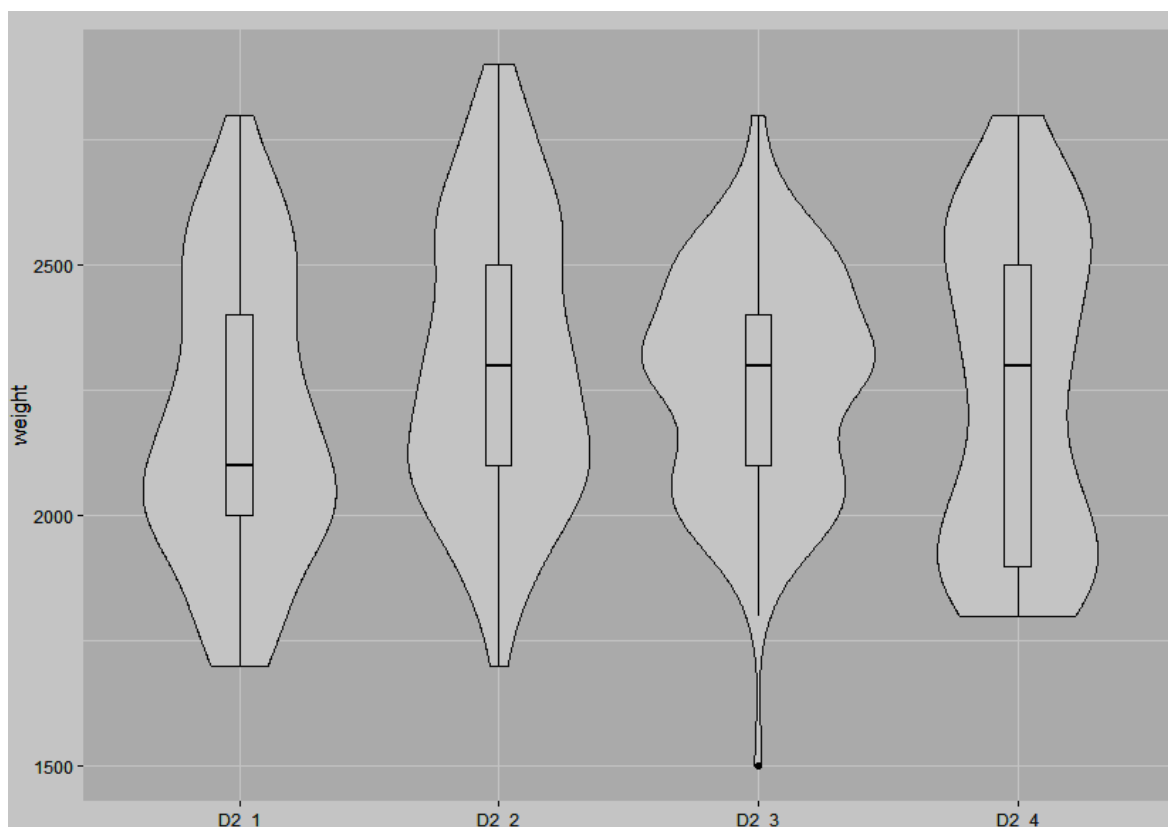


Рис. 2. Скрипкова діаграма (violin plot) та “ящик з вусами” (boxplot) для другого науково-господарського дослідження

Таблиця 2

Описова статистика для досліджуваних груп

Група	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range
I науково-господарський дослід									
1 контрольна (D1_1)	94	1831,70	131,19	1815	1833,88	159,38	1545	2135	590
2 дослідна (D1_2)	93	1870,38	111,52	1885	1877,73	96,37	1530	2100	570
3 дослідна (D1_3)	95	1974,79	184,65	1945	1968,90	214,98	1625	2450	825
4 дослідна (D1_4)	95	1899,47	156,03	1895	1897,60	155,67	1595	2245	650
II науково-господарський дослід									
1 контрольна (D2_1)	95	2188,42	280,53	2100	2183,12	296,52	1700	2800	1100
2 дослідна (D2_2)	97	2301,03	278,95	2300	2296,20	296,52	1700	2900	1200
3 дослідна (D2_3)	96	2263,54	227,17	2300	2266,67	296,52	1500	2800	1300
4 дослідна (D2_4)	96	2245,83	311,50	2300	2242,31	444,78	1800	2800	1000

Для перевірки висновків, зроблених за графічним аналізом, проведено дисперсійний аналіз результатів науково-господарських дослідів. Основними передумовами застосування дисперсійного аналізу є такі вимоги: по-перше, щоб спостереження підпорядковувалися нормальному закону розподілу; по-друге, щоб дисперсії в групах були приблизно рівні. Кількісною

величиною в науково-господарських дослідах виступає жива маса курчат-бройлерів, саме для неї перевірено гіпотезу про нормальність. Для перевірки гіпотези був використаний *Shapiro-Wilk Test* (Hanusz et al., 2016). Результати перевірки подані у таблиці 3, де для кожної групи наведені *W* – значення критерію та рівень значущості *p-value*.

Таблиця 3

Параметри перевірки на нормальність результатів досліджень

Група	W	p-value
I науково-господарський дослід		
1 контрольна (D1_1)	0,97648	0,102
2 дослідна (D1_2)	0,9838	0,3198
3 дослідна (D1_3)	0,98113	0,18178
4 дослідна (D1_4)	0,9847	0,3434
II науково-господарський дослід		
1 контрольна (D2_1)	0,9801	0,1836
2 дослідна (D2_2)	0,97604	0,09489
3 дослідна (D2_3)	0,97583	0,09168
4 дослідна (D2_4)	0,97706	0,1121

Як видно з даних таблиці 3, значення *p-value* для отриманих результатів у всіх групах першого науково-господарського дослідів лежать в межах 0,102–0,3434, а другого – в межах 0,09168–0,1836 при рівні значущості $P = 0,05$. Значення *p-value* у всіх групах вище за рівень значущості, відповідно гіпотеза про нормальність розподілу приймається. Отже, можна застосовувати дисперсійний аналіз.

Застосування дисперсійного аналізу проводиться для дослідження значущості різниці між середніми значеннями живої маси птиці в піддослідних групах. Проведення досліджень здійснювалось з використанням процедури AOV (analysis of variance) (Gelman, 2005) у програмному середовищі R. Як відомо, перевірка значущості при використанні дисперсійного аналізу базується на порівнянні дисперсії, обумовленої міжгруповим та внутрішньогруповим розкидом результатів виміру.

Обробка результатів досліджень з використанням дисперсійного аналізу проводилась у два етапи. По-перше, було проведено аналіз впливу добавок Селену в комбікорми на живу масу курчат-бройлерів для всього обсягу експериментальних даних (табл. 3). По-

друге, визначалась група птиці з максимальним впливом Селену на параметр, який досліджується.

Сутність першого етапу перевірки полягала у перевірці гіпотези H_0 про рівність середніх значень живої маси птиці в контрольній та дослідних вибірках за двома науково-господарськими дослідями окремо. Аналіз даних таблиць 4 та 5 свідчить про те, що отримане значення *p-value* менше, ніж заданий рівень значущості $P = 0,05$. Тобто гіпотеза про рівність середніх значень відхиляється, що дозволяє з високим рівнем статистичної значущості зробити висновок про позитивний вплив добавок Селену до комбікормів на ріст курчат-бройлерів.

На другому етапі визначали кращу дослідну групу в кожному науково-господарському досліді, курчата-бройлери якої відрізнялися від своїх ровесників з інших груп найбільшою інтенсивністю росту. Результати досліджень наведені у таблицях 6 та 7. Для проведення процедури множинної перевірки гіпотез було використано критерій Тьюки (Hoaglin et al., 2000). Перевірка за даним критерієм реалізується у середовищі R процедурою Tukey HSD (Abdi & Williams, 2010). Аналіз отриманих даних дозволяє зробити висновок про можливість відхилення гіпотези про

рівність середніх значень живої маси курчат-бройлерів контрольної та дослідних груп D1_3 та D2_2 у першому та другому науково-господарських дослідів відповідно. Для даних груп значення *p-value* менше, ніж заданий рівень значущості $P = 0,05$.

Таким чином, дисперсійним аналізом встановлено, що максимальний ефект від використання добавок Селену в комбікорми для курчат-бройлерів спостері-

галив дослідних групах D1_3 та D2_2. Птиці цих груп упродовж періоду вирощування згодовували комбікорми, збагачені Селеном, із розрахунку 0,3 мг/кг.

Для підтвердження результатів графічного та дисперсійного аналізу був проведений регресійний аналіз отриманих експериментальних даних. Результати досліджень наведені в таблицях 8 та 9.

Таблиця 4

Результати аналізу за загальним набором даних для першого науково-господарського дослідів

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
D	3	1039570	346523	15,69	1,25e-09	***
Residual	373	8237909	22086			
Signif. Codes:	0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 '.' 1					

Таблиця 5

Результати аналізу за загальним набором даних для другого науково-господарського дослідів

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
D	3	632111	210704	2,762	0,0419	*
Residual	380	28987889	76284			
Signif. Codes:	0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 '.' 1					

Таблиця 6

Результати дисперсійного аналізу за піддослідними групами для першого науково-господарського дослідів

	diff	lwr	upr	p adj
D1_2-D1_1	38,67422	-17,41747	94,76590	0,2849208
D1_3-D1_1	143,08735	87,29325	198,88145	0,0000000
D1_4-D1_1	67,77156	11,97746	123,56566	0,0099937

Таблиця 7

Результати дисперсійного аналізу за піддослідними групами для другого науково-господарського дослідів

	diff	lwr	upr	p adj
D2_2-D2_1	112,60988	9,734285	215,48547	0,0255663
D2_3-D2_1	75,12061	-28,019750	178,26098	0,2386250
D2_4-D2_1	57,41228	-45,728083	160,55264	0,4774159

Таблиця 8

Результати регресійного аналізу за піддослідними групами для першого науково-господарського дослідів

Residual:					
	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-349,79	-94,79	-0,38	104,62	475,21
Coefficients:					
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intersept)	1831,70	15,33	119,499	<2e-16	***
DD1_2	38,67	21,74	1,779	0,07600	.
DD1_3	143,09	21,62	6,618	1,27e-10	***
DD1_4	67,77	21,62	3,135	0,00186	**
Signif. Codes:	0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 '.' 1				
Residual standard error: 148,6 on 373 degrees of freedom					
Multiple R-squared: 0,1121, Adjusted R-squared: 0,1049					
F-statistic: 15,69 on 3 and 373 DF, p-value: 1,249e-09					

Таблиця 9

Результати регресійного аналізу за підслідними групами для другого науково-господарського досліджу

Residual:					
	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-763,54	-201,03	11,58	236,46	611,58
Coefficients:					
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intersept)	2188,42	28,34	77,228	<2e-16	***
DD2_2	112,61	39,87	2,825	0,00498	**
DD2_3	75,12	39,97	1,879	0,06095	.
DD2_4	57,41	39,97	1,436	0,15172	
Signif. Codes:	0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 '.' 1				
Residual standard error: 276,2 on 380 degrees of freedom					
Multiple R-squared: 0,02134, Adjusted R-squared: 0,01361					
F-statistic: 2,762 on 3 and 380 DF, p-value: 0,0419					

Аналіз результатів регресійного аналізу експериментальних даних першого науково-господарського досліджу (табл. 8) демонструє найбільший вплив добавок Селену на живу масу курчат-бройлерів дослідної групи D1_3 та високу статистичну значущість отриманої моделі $p\text{-value} = 1,27e-10$ за рівня значущості $P = 0,05$. Аналіз результатів регресійного аналізу експериментальних даних другого науково-господарського досліджу (табл. 9) свідчить про найбільший позитивний вплив Селену на аналогічний показник у дослідній групі D2_2 та високу статистичну значимість отриманої моделі $p\text{-value} = 0,00498$ за рівня значущості $P = 0,05$.

Висновки

Статистична обробка експериментальних даних, отриманих у двох науково-господарських досліджах, методами графічного, дисперсійного та регресійного аналізів, дозволяє зробити висновок про те, що оптимальною нормою введення Селену в комбікорми для курчат-бройлерів слід вважати 0,3 мг/кг.

Згодовування курчат-бройлерам упродовж періоду вирощування комбікормів, збагачених Селеном у такій кількості, сприяло вірогідному підвищенню їхньої живої маси у першому науково-господарському досліді на 7,8 % ($P < 0,001$), у другому – на 5,1 % ($P < 0,01$) порівняно з контрольною групою.

Більш високі дози введення Селену (0,4 та 0,5 мг/кг) в комбікорми, так само як і більш низька його доза (0,2 мг/кг), обумовили менш інтенсивний ріст і меншу живу масу курчат-бройлерів інших дослідних груп, порівняно з молодняком, якому згодовували комбікорми з добавкою Селену 0,3 мг/кг. Найбільш прийнятним способом збагачення комбікормів для курчат-бройлерів Селеном є включення його до складу мінеральних преміксів.

Відомості про конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів щодо їхнього викладу та результатів досліджень.

References

- Abdi, H., & Williams, L. J. (2010). Tukey's honestly significant difference (HSD) test. In book: Encyclopedia of research design (1-5). Thousand Oaks CA: Sage. DOI: 10.4135/9781412961288.
- Arnaut, P. R., da Silva Viana, G., da Fonseca, L., Alves, W. J., Muniz, J. C. L., Pettigrew, J. E., E Silva, F. F., Rostagno, H. S., & Hannas, M. I. (2021). Selenium source and level on performance, selenium retention and biochemical responses of young broiler chicks. BMC veterinary research, 17(1), 151. DOI: 10.1186/s12917-021-02855-4.
- Bachinina, K. N., Povetkin, S. N., Simonov, A. N., Pushkin, S. V., Blinova, A. A., Sukhanova, E. D., Baklanov, I. S., & Kolesnikov, R. O. (2021). Effects of selenium preparation on morphological and biochemical parameters of quail meat. International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technology 12(13), 1–7. DOI: 10.14456/ITJEMAST.2021.263.
- Bakhshalinejad, R., Hassanabadi, A., & Swick, R. A. (2019). Dietary sources and levels of selenium supplements affect growth performance, carcass yield, meat quality and tissue selenium deposition in broilers. Animal Nutrition, 5(3), 256–263. DOI: 10.1016/j.aninu.2019.03.003.
- Bălăceanu, R. A., Nimigean, V. G., Nimigean, V. R. E. S., Raită, Ș., Ognean, L., & Dojană, N. (2022). Vitamin E and selenium given as dietary supplements accumulate in tissues and semen and improve reproductive parameters in older red cornish. The Journal of Poultry Science, 59(1), 96–103. DOI: 10.2141/jpsa.0200069.
- Bień, D., Michalczyk, M., Łysek-Gładysińska, M., Józwiak, A., Wiczorek, A., Matuszewski, A., Kinsner, M., & Konieczka, P. (2023). Nano-sized selenium maintains performance and improves health status and antioxidant potential while not compromising ultrastructure of breast muscle and liver in chickens. Antioxidants (Basel, Switzerland), 12(4), 905. DOI: 10.3390/antiox12040905.
- Bratyshko, N. I., Gorobec, A. I., Prytuleno, V. M., Gordijenko, V. M., Klymenko, T. Je., Kotyk, A. M., Katerynych, O. O., Karavashenko V. F., Batjuzhevskiy, Ju. N., Zhuk, R. K., & Vodolazhchenko, S. A. (2005). Rekomendacii' z normuvannja godivli sil'skogospodars'koi' ptyci [Recommendations on ra-

- tioning of feeding of poultry]. Instytut ptahivnyctva UAAN: Birky (in Ukrainian).
- Canadian Food Inspection Agency (CFIA). (2018). Consultation Summary on Maximum Nutrient Values in Poultry (Chicken and Turkey).
- Chen, M. J., Xie, W. Y., Jiang, S. G., Wang, X. Q., Yan, H. C., & Gao, C. Q. (2020). Molecular signaling and nutritional regulation in the context of poultry feather growth and regeneration. *Frontiers in physiology*, 10, 1609. DOI: 10.3389/fphys.2019.01609.
- Cobb 500. (2018). Broiler performance nutrition supplement. Cobb-Vantress.com.
- Dalgaard, T. S., Briens, M., Engberg, R. M., & Lauridsen, C. (2018). The influence of selenium and selenoproteins on immune responses of poultry and pigs. *Animal feed science and technology*, 238, 73–83. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2018.01.020.
- Djebrov, V. V., Ljashenko, Je. V., & Ljubenko, O.I. (2006). Pidvyshhennja pero-puhovoi' produktyvnosti gusej shljahom stymuljuvannja rozvytku shhytovydnoi' zalozy. *Visnyk agrarnoi' nauky Prychornomor'ja*, 4, 212–216 (in Ukrainian).
- Du, H., Zheng, Y., Zhang, W., Tang, H., Jing, B., Li, H., Xu, F., Lin, J., Fu, H., Chang, L., Shu, G. (2022). Nano-selenium alleviates cadmium-induced acute hepatic toxicity by decreasing oxidative stress and activating the Nrf2 pathway in male kunming mice. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 942189. DOI: 10.3389/fvets.2022.942189.
- Galibarenko, M., Smirnov, O., Pasichnyj, V., Rjabokon', Ju., Ivko, I., Mel'nyk, B., Pudov, V., Kul'baba, C., Dujunov, B., Sohac'kyj, M., Vashkulat, M., Kyrejeva, I., Bulyga, N., & Demydenko, V. (2005). VNTP-APK-04. 05. Pidpryjemstva ptahivnyctva. Kyi'v: Ministerstvo agrarnoi' polityky (in Ukrainian).
- Gelman, A. (2005). Analysis of variance – why it is more important than ever. *Annals of Statistics*, 33(1), 1–53. DOI: 10.1214/009053604000001048.
- Hanusz, Z., Tarasinska, J., & Zielinski, W. (2016). Shapiro-Wilk test with known mean. *REVSTAT-Statistical Journal*, 14(1), 89–100. DOI: 10.57805/revstat.v14i1.180.
- Hoaglin, D. C., Mosteller, F., & Tukey, J. W. (2000). *Understanding robust and exploratory data analysis*. New York: John Wiley & Sons.
- Huang, J.-Q., Wang, Z.-H., Sun, L.-H., Wang, L.-L., & Yin, Y.-L. (2023). Selenium in modern agriculture. *Modern Agriculture*, 1(1), 34–42. DOI: 10.1002/moda.2.
- Karami, M., Asri-Rezaei, S., Dormanesh, B., & Nazarizadeh, A. (2018). Comparative study of radioprotective effects of selenium nanoparticles and sodium selenite in irradiation-induced nephropathy of mice model. *International Journal of Radiation Biology*, 94(1), 17–27. DOI: 10.1080/09553002.2018.1400709.
- Krakowiak, A., & Pietrasik, S. (2023). New insights into oxidative and reductive stress responses and their relation to the anticancer activity of selenium-containing compounds as hydrogen selenide donors. *Biology*, 12(6), 875. DOI: 10.3390/biology12060875.
- Kumar, P., Tiwari, S. P., Sahu, T., & Naik, S. K. (2015). Influence of selenomethionine and omega-3 fatty acid on serum mineral profile and nutrient utilization of broiler chicken. *Veterinary world*, 8(2), 164–169. DOI: 10.14202/vetworld.2015.164-169.
- McDowell, L. R. (2003). *Minerals in animal and human nutrition*. Amsterdam: Elsevier Science. URL: <https://www.sciencedirect.com/book/9780444513670/minerals-in-animal-and-human-nutrition>.
- Mohamed, D. A., Sazili, A. Q., Teck Chwen, L., & Samsudin, A. A. (2020). Effect of microbiota-selenoprotein on meat selenium content and meat quality of broiler chickens. *Animals (Basel)*, 10(6), 981. DOI: 10.3390/ani10060981.
- Mohammadsadeghi, F., Afsharmanesh, M., Salarzadeh, M., & Bami, M. K. (2023). The effect of replacing sodium selenite with selenium-chitosan in laying hens on production performance, egg quality, egg selenium concentration, microbial population, immunological response, antioxidant enzymes, and fatty acid composition. *Poultry Science*, 102(10), 102983. DOI: 10.1016/J.PSJ.2023.102983.
- Muhammad, A. I., Mohamed, D. A., Chwen, L.T., Akit, H., & Samsudin, A. A. (2021). Effect of selenium sources on laying performance, egg quality characteristics, intestinal morphology, microbial population and digesta volatile fatty acids in laying hens. *Animals (Basel)*, 11(6), 1681. DOI: 10.3390/ani11061681.
- Nabi, F., Arain, M. A., Hassan, F., Umar, M., Rajput, N., Alagawany, M., Syed, S. F., Soomro, J., Somroo, F., & Liu, J. (2020) Nutraceutical role of selenium nanoparticles in poultry nutrition: a review. *World's Poultry Science Journal*, 76(3), 459–471. DOI: 10.1080/00439339.2020.1789535.
- Naryuni, N., Hartutik, H., Widodo, E., & Wahjuningsih, S. (2022). Effect of energy and dose of vitamin E selenium on improving the reproduction performance of Joper brood stock. *E3S Web of Conferences*. 335, 00036. DOI: 10.1051/e3sconf/202233500036.
- Navidshad, B., Mohammadrezaei, M., Zarei, M., Valizadeh, R., Karamati, S., Rezaei, F., Jabbari, S., Kachoei, R., & Esmaeilinasab, P. (2019). The new progresses in trace mineral requirements of broilers, a review. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 9(1), 9–16.
- NRC (1994). *Nutrient requirements of poultry: ninth revised edition*. National Washington: Academy Press. DOI: 10.17226/2114.
- Nys, Y., Schlegel, P., Durosoy, S., Jondreville, C., & Narcy, A. (2018). Adapting trace mineral nutrition of birds for optimising the environment and poultry product quality. *World's Poultry Science Journal*, 74(2), 225–238. DOI: 10.1017/S0043933918000016.
- Order No. 131 of the Ministry of Agrarian Policy and Food (2012). List of maximum allowable levels of undesirable substances in animal feedstuffs and animal forage raw materials. URL: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ukr171320.pdf>.
- Pardechi, A., Tabeidian, S. A., & Habibian, M. (2020). Comparative assessment of sodium selenite, selenised yeast and nanosized elemental selenium on performance response, immunity and antioxidative function of broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1), 1108–1121. DOI: 10.1080/1828051X.2020.1819896.
- Poberezhets, J. M., Chudak, R. A., Razanova, O. P., Skoromna, O. I., Farionik, T. V., Ohorodnichuk, G.

- M., Holubenko, T. L., & Glavatchuk, V. A. (2023). Effect of dry extract from *Saccharomyces cerevisiae* culture with selenium-containing amino acids on the productivity and chemical composition of meat of broiler chickens. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 14(2), 161–164. DOI: 10.15421/022324.
- Reilly, C. (2013). *Selenium in Food and Health*. Springer, Boston. DOI: 10.1007/978-0-387-33244-4.
- Ross Broiler (2019). *Nutrition Specifications*. Aviagen, Huntsville.
- Rostagno, H. S., Albino, L. F.T., Donzele, J. L., Gomes, P. C., de Oliveira, R. F., Lopes, D. C., Ferreira, A. S., Barreto, S. L. T., & Euclides, R. F. (2011). *Brazilian tables for poultry and swine : composition of feedstuffs and nutritional requirements*. 3 ed. Santiago Rostagno. Viçosa, MG: UFV, DZO. URL: <https://www.scribd.com/document/222821257/Brazilian-Tables-for-Poultry-and-Swine>.
- Shakeri, M., Oskoueian, E., Le, H. H., & Shakeri, M. (2020). Strategies to Combat Heat Stress in Broiler Chickens: Unveiling the Roles of Selenium, Vitamin E and Vitamin C. *Veterinary sciences*, 7(2), 71. DOI: 10.3390/vetsci7020071.
- Sobolev, O. I., Gutyj, B. V., Soboliev, S. V., Borshch, O. O., Liskovich, V. A., Prystupa, O. I., Demus, N. V., Paladiychuk, O. R., Fedorovych, O. V., Fedorovych, E. I., Khariv, I. I., Vasiv, R. O., Levkivska, N. D., Leskiv, K. Y., & Guta, Z. (2019). Chemical composition, energy and biological value of broiler chicken meat caused by various doses of selenium. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9(4), 622–627. DOI: 10.15421/2019_799.
- Sobolev, O. I., Nedashkivs'kyj, V. M., & Soboljeva, S. V. (2023). Sposib pidvyshhennja produktyvnosti molodnjaku gusej: pat. 152767 Ukraïna: A23K 10/00, A23K 50/75. № u 2022 00797; zajavl. 21.02.2022; opubl. 12.04.2023, Bjul. № 15. (in Ukrainian).
- Sobolev, O., Gutyj, B., Petryszak, R., Golodjuk, I., Naumyuk, O., & Petryszak, O. (2018). The development of the digestive system in broiler chickens at different levels of selenium into the mixed fodder. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 20(84), 83–87. DOI: 10.15421/nvlvet8415.
- Sobolev, O., Gutyj, B., Zasukha, Y., Karkach, P., Fesenko, V., Bilkevych, V., Kuzmenko, P., Mashkin, Y., & Soboljeva, S. (2021). Modeling effect of selenium on broiler chickens' body. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*, 23(95), 128–135. DOI: 10.32718/nvlvet-a9519.
- Sobolev, A., Gutyj, B., Grynevych, N., Bilkevych, V., & Mashkin, Y. (2017). Enrichment of meat products with selenium by introducing mixed feeds for birds in their compound. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 8(3), 417–422. DOI: 10.15421/021764.
- Surai, P. F., & Kochish, I. I. (2019). Nutritional modulation of the antioxidant capacities in poultry: the case of selenium. *Poultry Science*, 98(10), 4231–4239. DOI: 10.3382/ps/pey406.
- Tufarelli, V. (2021). *Poultry Nutrition*. Licensee MDPI: Basel, Switzerland. DOI: 10.3390/books978-3-03943-854-9.
- Vakili, R., Saebifar, J., & Majidzadeh heravi, R. (2022). Investigation of egg enrichment using organic and inorganic supplements of selenium and zinc in aged laying hens. *Veterinary Research & Biological Products*, 35(1), 183–193. DOI: 10.22092/vj.2021.353503.1820.
- Van Emous, R., & Van Krimpen, M. (2019). Effects of nutritional interventions on feathering of poultry - a review. In book: *Poultry feathers and skin: the poultry integument in health and welfare* (133-150). Cambridge: CABI. DOI: 10.1079/9781786395115.0133.
- Wang, Yi-long, Yang, Zhi-hua, & Zhu, Mao-xiang. (2021). Progress in researches on antiviral effect of selenium: a review [J]. *Chinese Journal of Public Health*, 37(10), 1580–1584. DOI: 10.11847/zgggws1132823.
- Wickham, H., & Chang, W. (2012). ggplot2: An implementation of the grammar of graphics. URL: <http://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2/index.html>.
- Yoon, I., Werner, T. M., & Butler, J. M. (2007). Effect of source and concentration of selenium on growth performance and selenium retention in broiler chickens. *Poultry Science*, 86(4), 727–730. DOI: 10.1093/ps/86.4.727.
- Zia, W., Khalique, A., Naveed, S., & Hussain, J. (2016). Egg quality, geometry and hatching traits of indigenously Aseel as influenced by organic and inorganic selenium supplementation. *Indian Journal of Animal Research*, 51, 1–8. DOI: 10.18805/ijar.9420.
- Zoidis, E., Pappas, A.C., Georgiou, C.A., Komaitis, E., & Feggeros, K. (2010). Selenium affects the expression of GPx4 and catalase in the liver of chicken. *Comparative biochemistry and physiology Part B: biochemistry and molecular biology*, 155(3), 294–300. DOI: 10.1016/j.cbpb.2009.11.017.