



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-a10024
<https://nvlvet.com.ua/index.php/agriculture>

UDC 636:612.39:591.133.15

Overview: mineral elements and their role in animal nutrition

S. O. Zaslavskiy✉

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

Article info

Received 15.02.2024
Received in revised form
18.03.2024
Accepted 19.03.2024

Stepan Gzhytskyi National
University of Veterinary Medicine
and Biotechnologies Lviv,
Pekarska Str., 50, Lviv,
79010, Ukraine.
Tel.: +38-097-249-61-84
E-mail: orslviv@gmail.com

Zaslavskiy, S. O. (2024). Overview: mineral elements and their role in animal nutrition. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural sciences, 26(100), 157–161. doi: 10.32718/nvlvet-a10024

The intensification of livestock farming is aimed at a comprehensive increase in the production of milk, meat, wool, and other products by increasing the productivity of livestock and poultry and obtaining the maximum amount of product per unit of feed consumed with the lowest possible labor and cost. One of the main ways to increase animal productivity is through proper feeding. An imbalance in the rations in terms of essential and biologically active substances leads to metabolic disorders, a decrease in natural immunity, and diseases of the reproductive system, negatively affecting economic efficiency. The current use of industrial technologies for harvesting roughage and juicy feed is often violated, which leads to a decrease in its quality and high demand for protein, vitamins, and trace elements; in this regard, it is necessary to improve existing and look for new methods of production, evaluation, and use of feed and feed additives. Minerals ingested with water and feed play an essential role in animal nutrition. Quite often, both an excess of some and a lack of other trace elements are detected, which leads to a decrease in animal productivity and a deterioration in the quality of the products obtained from them. The lack of mineral elements can cause significant economic losses to livestock enterprises due to the massive occurrence of animal diseases and metabolic disorders, especially in the winter and spring. Trace elements play an essential role in animal nutrition, as they considerably impact the body's defenses, hematopoiesis, endocrine glands, and digestive tract microflora, participate in protein biosynthesis, and regulate metabolism. The extent to which minerals are used in the diet depends not only on their quantity and appropriate ratio but also, to a large extent, on the level of the organic part of the diet (proteins, fats, carbohydrates) and vitamins. It has been proven that the additional introduction of deficient trace elements into the diet of animals increases their levels in the body, primarily in the liver. Thus, when determining the need for mineral elements in animals, their ratio to other biologically active substances should be considered based on balanced feeding. However, it should be noted that the level of absorption of trace elements by animals largely depends on the form of their compounds.

Key words: minerals, microelements, nutrition, animals.

Огляд: мінеральні елементи та їх роль у живленні тварин

С. О. Заславський✉

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

Інтенсифікація тваринництва спрямована на всебічне збільшення обсягу виробництва молока, м'яса, шерсті та інших видів продукції за рахунок підвищення продуктивності худоби і птиці, отримання максимальної кількості продукції на одиницю затраченого корму з можливо меншими затратами праці та коштів. Одним з основних шляхів підвищення продуктивності тварин є повноцінна годівля. Незбалансованість раціонів за основними і біологічно активними речовинами веде до порушення процесів обміну, зниження природного імунітету, захворювання системи відтворення, що негативно відбивається на економічній ефективності. Використання в даний час індустриальних технологій заготівлі грубих і соковитих кормів часто порушується, що призводить до зниження їхньої якості та великої потреби у білках, вітамінах і мікроелементах. У зв'язку з цим необхідно вдосконалювати наявні та шукати нові методи виробництва, оцінки і використання кормів та кормових добавок. Важливе місце серед факторів

годовлі тварин належить мінеральним речовинам, які поступають в організм з водою та кормами. Досить часто виявляється як надлишок одних, так і нестача інших мікроелементів, призводить до зниження продуктивності тварин та погіршення якості отриманої від них продукції. Нестача мінеральних елементів може завдати значних економічних втрат тваринницьким підприємствам через масове виникнення захворювань у тварин внаслідок порушення обмінних процесів особливо у зимово-весняний період. Значне місце в живленні тварин належить мікроелементам, які мають суттєвий вплив на захисні реакції організму, кровотворення, ендокринні залози, мікрофлору травного тракту, беруть участь у біосинтезі білка та регулюють обмін речовин. Ступінь використання мінеральних речовин з раціону залежить не тільки від їх кількості та відповідного співвідношення, а й значною мірою від рівня органічної частини раціону (білків, жирів, вуглеводів), а також вітамінів. Доведено, що при додатковому введенні до раціону тварин дефіцитних мікроелементів зростає їх рівень в організмі, насамперед у печінці. Таким чином, при визначенні потреби тварин в мінеральних елементах слід враховувати їх співвідношення між собою й іншими біологічно активними речовинами на основі збалансованої годівлі. Проте варто зауважити, що рівень засвоєння тваринами мікроелементів значною мірою залежить від форми їх сполук.

Ключові слова: мінеральні речовини, мікроелементи, живлення, тварини.

Вступ

Основним джерелом надходження поживних речовин, з яких побудоване тіло тварин, є рослинні корми (Avercheva, 2021; Bidenko et al., 2022). Тому, незважаючи на різноманіття природних умов, сільськогосподарські рослини і тварини загалом мають подібний елементарний хімічний склад.

Їхня суха речовина на 96–98 % складається з вуглецю, водню, кисню та азоту. У тілі тварин більше міститься вуглецю та азоту, а у тканинах рослин – кисню. Вуглець, водень, кисень та азот входять головним чином до складу органічних сполук – білків, жирів, вуглеводів (органічні елементи).

Під дією високої температури та суміші концентрованих кислот органічна речовина рослинних і тваринних тканин згорає з виділенням вуглекислого газу, води та аміаку, а неорганічна частина залишається у вигляді осаду – золи. На даний час у золі органів і тканин вищих тварин виявлено понад 60 мінеральних елементів (макро- та мікроелементів), причому 45 із них визначено кількісно і є постійними складовими частинами організму.

У тваринництві термін “мінеральні елементи” історично ототожнюється з поняттям “мінеральні речовини” (Mineralstoffe, Mineral matter, Matiere mineral). Мабуть, запровадженню цього терміну сприяла та обставина, що в організм мінеральні елементи надходять часто у вигляді складних сполук, а мінеральний аналіз зазвичай пов’язаний із дослідженням золи, у якій елементи перебувають у вигляді солей та оксидів (Oshkadoro, 2019).

Хоча значення окремих мінеральних солей у годівлі домашніх тварин було відомо ще з античних часів, а історія експериментального вивчення ролі макро- та мікроелементів у житті рослин та тварин налічує вже понад століття, становлення вчення про мінеральний обмін та мінеральне живлення тварин як самостійного розділу біологічної науки відбулося в 20–30-х роках минулого століття (Pohorielov et al., 2010; Bomko et al., 2023). Саме у цей період була запропонована та удосконалена методика використання синтетичних раціонів, дефіцитних за макро- та мікроелементами, та розроблено вчення про зв’язок між хімічним елементарним складом організмів і хімічним складом земної кори. До цього часу завдяки успіхам хімії та фізіології дослідники вже мали дані про хімічний склад золи тканин тварин та рослин, а також про незамінну роль у годівлі тварин окремих мінеральних

елементів (кальцій, натрій, мідь, залізо, йод) (Klitsenko et al., 2001).

Наступні десятиліття ознаменувалися бурхливим розвитком цього розділу науки. За цей період описано та докладним чином вивчені основні життєво необхідні елементи, зроблено відкриття та узагальнення, значення яких для медицини, біології і тваринництва важко переоцінити. Стало очевидним, що в організмі нема ні одного важливого біохімічного процесу, у котрому не брали б участь мінеральні елементи, і що розробка раціональної системи годівлі тварин можлива лише з урахуванням досягнень у галузі теорії мінерального обміну (Klitsenko et al., 2001; Kulibaba et al., 2017; Kropyvka & Bomko, 2020).

Прогресу у цій галузі сприяв не лише підвищений інтерес вчених до біологічної ролі мінеральних елементів (особливо мікроелементів), а й успіхи у суміжних галузях науки.

Результати та їх обговорення

На даному етапі розвитку тваринництво характеризується переходом до інтенсивних технологій виробництва продукції. У результаті значної концентрації поголів’я, інтенсивного використання тварин, спеціалізації форм їх утримання та вирощування, зміни технології виробництва та приготування кормів годівлі тварин виникає низка нових проблем технологічного, гігієнічного та ветеринарно-санітарного характеру (Klitsenko et al., 2001; Kucheruk, 2021).

Інтенсивне використання культурних пасовищ (де вміст мінеральних речовин травостоїв залежить від багатьох факторів та значно коливається), застосування малокомпонентних брикетованих та гранульованих кормів з різним режимом обробки, заміна натурального молока при випоюванні молодняку на штучне або регенероване молоко, а також дефіцитних тваринних кормів рослинними – усе це суттєво змінило уявлення про потреби тварин у мінеральних речовинах та шляхах задоволення цих потреб (Vyhovskiy, 2017).

Біологічна роль мінеральних речовин в організмі тварин неоднозначна, проте вони в певних кількостях є життєво необхідними, а будь-яке насичення тканин організму окремими елементами понад нормативні концентрації призводить до зриву регуляторних процесів і низки послідовних біологічних реакцій організму, що проявляється у вигляді біохімічних змін про-

цесів обміну речовин, дисфункції, морфологічних змін, ендемічних захворювань (Klitsenko et al., 2001).

Критерієм забезпечення мінеральними речовинами жуйних слід вважати прояви генетично зумовленої продуктивності та нормальної фізіологічної функції відтворення. Для діагностики порушень мінерального обміну можна рекомендувати використання у практиці такі методи: аналіз кормів і продукції тваринництва, аналіз волосся, аналіз крові чи сироватки крові, дослідження печінки, рентгенобіологічне дослідження хвостового хребця, аналіз сечі, аналіз слини (Klitsenko et al., 2001).

Відомо, що організм має високий рівень регуляції гомеостазу мінеральних речовин. Незважаючи на широкі коливання вмісту макро- та мікроелементів у кормах, мінеральний склад тканин залишається доволі стабільним (Sydorenko, 2009). Однак ці регуляційні механізми не є безмежними, і при інтенсивному веденні тваринництва порушення мінерального обміну можуть стати вагомим фактором при виробництві високоякісної тваринницької продукції (Holubiev & Holubieva, 2017; Khomyn et al., 2017; Chabanenko & Farionik, 2023; Farionik, & Titula, 2023; Poberezhets et al., 2023).

Проте в результаті адаптації яка проявляється в порушенні всіх видів обміну речовин, тварини хоч і виживають, але при цьому знижується використання організмом поживних речовин корму, а відповідно знижується продуктивність, відтворювальна здатність, падає резистентність особливо у новонародженого молодняка. Він хворіє в перші дні після народження на шлунково-кишкові та респіраторні захворювання, в результаті яких в організмі виникають незворотні морфологічні та функціональні зміни, що негативно впливають у майбутньому на м'ясу, молочну, шерстяну та інші види продуктивності (Doletskyi, 2012).

Так, на промислових комплексах з виробництва молока у високопродуктивних корів часто фіксуються порушення обміну речовин, ураження скелета, розлади відтворювальної функції, післяродові ускладнення. Однією з важливих причин цих порушень вчені вважають дисбаланс мінеральних елементів, у тому числі мікроелементів внаслідок недостатнього надходження їх в організм, а також засвоєння їх з кормів, інтенсивне виділення з молоком, підвищеної потреби у них високопродуктивних тварин (Bomko & Havturina, 2015; Kulibaba et al., 2017; Khomyn et al., 2017; Bomko et al., 2020; Kropyvka et al., 2020; Kropyvka & Bomko, 2020; Kropyvka et al., 2021).

Птахофабрикам завдають значних збитків такі захворювання, як остеопороз, ембріональні дистрофії. У високопродуктивної птиці нерідко спостерігаються випадки аномалій скелету (а отже – і ранньої вибравки), погіршується якість шкарлупи яєць (Holubiev & Holubieva, 2017; Vieira et al., 2020; Bomko et al., 2021; Santos et al., 2021).

На даний час ветеринарні спеціалісти нараховують понад 30 видів захворювань, які пов'язані з тією чи іншою формою порушень мінерального обміну. До них належать: аліментарна остеодистрофія пасовищна тетанія, рахіт, остеопороз, остеоартрози, анемії, пара-

кератоз ендемічний зуб, гіпомікроелементози та інші (Hunchak et al., 2016; Hunchak & Sedilo, 2017). Виникненню цих захворювань сприяє висока щільність розміщення тварин, обмеження рухливості, утримання на щільних полях, травматичні пошкодження, стресові стани, які виникають під час комплектування і транспортування поголів'я, та ослаблення загальної резистентності організму. Іноді захворювання протікають у субклінічній формі, коли характерні симптоми можуть бути відсутні, але спостерігається зниження продуктивності, погіршення використання корму та якості продукції (Kravtsiv & Stadnik, 2009; Rusyn, 2011; Rusyn & Koltun, 2012; Doletskyi, 2012; Hudzovaty et al., 2021).

За останні роки у багатьох країнах світу з інтенсивно розвиненим тваринництвом проводиться значна робота щодо перегляду та уточнення норм мінерального живлення тварин, пошуку нових ефективних джерел мінеральних добавок, вдосконалення технології їх згодовування. Водночас ведуться глибокі біохімічні та фізіологічні дослідження, котрі мають на меті розкрити загальні закономірності обміну макро- та мікроелементів залежно від віку, фізіологічного стану та напрямку продуктивності тварин (Horchanok et al., 2020; Razonova et al., 2023; Chabanenko & Farionik, 2023).

Кінцевою метою цих досліджень є фізіологічне обґрунтування потреб сільськогосподарських тварин у мінеральних елементах, розробка простих та доступних критеріїв повноцінності мінерального живлення та способів ранньої діагностики субклінічних форм мінеральної нестачі (Poberezhets et al., 2023).

Заслугує на увагу також питання про можливість збагачення продуктів тваринництва (м'яса, яєць, молока) макро- та мікроелементами шляхом їх додавання у раціони сільськогосподарських тварин (Klitsenko, 2001).

При цьому в даний час у тваринництві широке застосування знайшли в складі комбікормів не тільки мікроелементи, а й сольові добавки мікроелементів: марганцю, міді, цинку, йоду, заліза, кобальту. Проте спільним недоліком введення мінеральних речовин в корм є їх вузька спрямованість, пов'язана тільки з компенсацією нестачі тієї чи іншої мінеральної речовини у кормах без урахування фізіологічних процесів, які відбуваються в організмі (Klitsenko et al., 2001).

Особлива увага в умовах промислового тваринництва має бути приділена токсикологічним аспектам використання мінеральних речовин. Це пов'язано з внесенням до ґрунту великих доз комплексних мінеральних добрив та відповідно з посиленням поглинання деяких елементів рослинами, широким використанням у тваринництві мінеральних підкормок та сумішей (Klitsenko et al., 2001; Pohorielov et al., 2010; Kucheruk, 2021). Розумна обережність мусить бути проявлена до рекомендацій щодо використання підвищених (у 20–30 разів більших від норми) доз мікроелементів (приміром, міді) з метою стимуляції росту та продуктивності тварин. Не торкаючись фармакологічних аспектів питання, можна лише підкреслити, що безсистемне та неконтрольоване застосування мікроелементальних добавок не тільки веде до мимовільних

витрат, а й нерідко завдає шкоди здоров'ю тварин та спричиняє додаткові проблеми у плані екології та охорони навколишнього середовища (Klitsenko et al., 2001).

Перші посібники з мінерального обміну та мінерального живлення були видані у нашій країні в 30–40-х роках минулого століття. З тих часів викладений у них матеріал, звісно, значною мірою застарів. Необхідно було узагальнити нові експериментальні дані та орієнтувати практиків у питаннях оптимального використання макро- та мікродобавок. З'явилися нові оригінальні посібники та монографії, автори яких, однак, обмежилися розглядом приватних питань або ж торкалися біологічної ролі окремих мінеральних елементів (Klitsenko et al., 2001; Pohorielov et al., 2010).

Низка ґрунтовних посібників та монографій стосовно питань мінерального обміну та мінерального харчування тварин були видані в останні роки.

У них узагальнено та систематизовано основні експериментальні дані вітчизняних та зарубіжних вчених щодо обміну макро- та мікроелементів в організмі сільськогосподарських тварин, про їхню фізіологічно-біохімічну роль, вплив на продуктивні якості. На основі цих даних розглядаються прикладні аспекти проблеми – норми потреби тварин у мінеральних речовинах, біологічна ефективність мінеральних підкормок, критерії повноцінності, а також особливості мінерального харчування окремих видів тварин.

Висновки

В умовах впровадження інтенсивного вирощування тварин повноцінна та збалансована годівля є суттєвим фактором високої продуктивності. Особливо важливе значення приділяють мінеральному живленню.

Відомості про конфлікт інтересів

Автор стверджує про відсутність конфлікту інтересів.

References

Avercheva, N. O. (2021). Orhanizatsiini aspekty formuvannia kormovoi bazy tvarynnystva. *Investystsii: praktyka ta dosvid*, 10, 55–63 (in Ukrainian).

Bidenko, V. M., Mamchenko, V. Y., & Kovalchuk, T. I. (2022). Vplyv riznykh spoluchnykh mikroelementiv na vrozhai, pozhyvnu tsinnist ta nakopichennia ¹³⁷CS u zelenii masi vivsa. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serii: Tvarynnystvo*, 4(47), 60–63. DOI: 10.32845/bsnau.lvst.2021.4.10 (in Ukrainian).

Bomko, V. S., Kropyvka, Yu. H., & Bomko, L. H. (2020). Obmin tsinku, kobaltu i selenu u vysokoproduktyvnykh koriv v pershi 100 dnev laktatsii za zghodovuvannia yim zmishanolihandnykh kompleksiv. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Serii: Silskohospodarski nauky. Kherson: Vydavnychiy dim "Helvetyka"*, 114, 156–163. DOI: 10.32851/2226-0099.2020.114.18 (in Ukrainian).

Bomko, V. S., Sivachenko, Ye. V., & Smetanina, O. V. (2023). Kormy i kormovi dobavky ta efektyvnist yikh vykorystannia v roky tvaryn: navch. posibnyk. *Bila Tserkva (in Ukrainian)*.

Bomko, V. S., Zakharchuk, M. S., & Titarova, O. M. (2021). Vplyv riznykh dzherel Kuprumu v kombikormakh na produktyvnist kurchat-broileriv. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukrainy*, 4(92). <https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/dopovidi2021.04.010> (in Ukrainian).

Bomko, V., & Havturina, A. (2015). Exchange zinc in holstein cows during the first 100 days of lactation when fed mixed-ligand complex of zinc, copper and manganese. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*, 17(1), 26–29. URL: <https://nvlvet.com.ua/index.php/agriculture/article/view/3543>.

Chabanenko, D., & Farionik, T. (2023). The content of microelements in the blood of young bulls after correction of diets with deficient microelements. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*, 25(99), 62–66. DOI: 10.32718/nvlvet-a9910.

Doletskyi, S. P. (2012). Profilaktyka porushen obminu aminokyslot u koriv v zoni mikroelementnoi nedostatnosti. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 6, 36–37 (in Ukrainian).

Farionik, T., & Titula, Y. (2023). The effect of chelating compounds on the meat qualities of beef. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*, 25(99), 237–240. DOI: 10.32718/nvlvet-a9938.

Holubiev, M., & Holubieva, T. (2017). The productivity of young quail at the usage of different sources of zinc in foddere. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*, 19(74), 127–130. DOI: 10.15421/nvlvet7428.

Horchanok, A., Kuzmenko, O., Lytvshchenko, L., Lieshchova, M., Prysiazhniuk, N., Bezv, O., Slobodeniuk, O. (2020). Efficiency of premixes with Bioplex® microelements in the diets of Holstein cattle. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(2), 289–293. DOI: 10.15421/2020_99.

Hudzovatyi, R. S., Koreiba, L. V., & Harashuk, M. I. (2021). Vitaminy ta makro- i mikroelementy v etiologii akushersko-hinekologichnoi ta androlohihnoi patolohii u tvaryn. *Aktualni pytannia medyko-biologichnykh i farmatsevtichnykh nauk : zb. nauk. publikatsii I Vseukr. studentskoi nauk.-prakt. konf. (Zhytomyr, 24–25 bereznia 2021 r.)*. Zhytomyrskiy bazoviy farmatsevtichnyi fakhoviy koledzh. Zhytomyr, 21–26 (in Ukrainian).

Hunchak, R., & Sedilo, H. (2017). Iodine deficiency in pigs and the solutions to the problem. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*, 19(74), 208–214. DOI: 10.15421/nvlvet7445.

Hunchak, R., Sedilo, H., & Vovk, S. (2016). The iodine content of the soil and cereals in the area of the Woodlands. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*, 18(2), 77–80. DOI: 10.15421/nvlvet6717.

- Khomyn, M., Kovalchuk, I., Kropyvka, S., & Tsap, M. (2017). Biochemical processes in cows and the biological value of milk under influence of cobalt citrate. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*, 19(74), 166–170. DOI: 10.15421/nvlvet7437.
- Klitsenko, H. T., Kulyk, M. F., Kosenko, M. V., & Lisovenko, V. T. (2001). *Mineralne zhyttia tvaryn*. Kyiv: Svit (in Ukrainian).
- Kravtsiv, R. Y., & Stadnik, A. M. (2009). Doklinichna diahnozyka, profilaktyka i terapiia mikroelementoziv khudoby. *Veterynarna medytsyna Ukrainy*, 4, 40–43 (in Ukrainian).
- Kropyvka, Y. G., Bomko, V. S., Babenko, S. P. (2020). Feed consumption, reproductive functions, rumen metabolism, digestiveness and nitrogen balance in highly productive cows in the second period of lactation for the fertilization of mixed- ligand zinc, manganese and cobalt complexes. *Scientific and Technical Bulletin of State Scientific Research Control Institute of Veterinary Medical Products and Fodder Additives and Institute of Animal Biology*, 21(2), 76–85. DOI: 10.36359/scivp.2020-21-2.10.
- Kropyvka, Y., & Bomko, V. (2020). Influence of mixed-liganding complexes of Zinc, Manganese and Cobalt in feeding highly productive cows in the early dry period for their dairy productivity in the first 100 days of lactation and reproductive functions. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*, 22(93), 132–136. DOI: 10.32718/nvlvet-a9322.
- Kropyvka, Yu. H., Bomko, V. S., & Babenko, S. P. (2021). Produktivnist koriv i obmin Tsynku, Manhanu ta Kobaltu u druhii 100 dnyv laktatsii v razi vykorystannia yikh zmishanolihandnykh kompleksiv. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, 1, 217–225. DOI: 10.31210/visnyk2021.01.27.
- Kucheruk, L. Yu. (2021). Mikroelementy ta produktyvnist tvaryn : tematychnyi bibliohrafichnyi pokazhchyk literatury na dopomohu naukovo-doslidnii roboti, v kilkosti 118 nazv dokumentiv ukrainskoiu ta rosiiskoiu movamy. Kyiv: NUBiP Ukrainy. URL: <https://dglib.nubip.edu.ua/handle/123456789/9365> (in Ukrainian).
- Kulibaba, S., Dolgaya, M., & Ionov, I. (2017). Effect of feeding chelate complexes of trace elements on the average daily balance of Cu, Zn and Mn in the organism of cows during the period of lactation. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*, 19(79), 58–61. DOI: 10.15421/nvlvet7912.
- Kulibaba, S., Dolgaya, M., Emelyanova, N., & Goncharenko, G. (2017). Effect of feeding chelates of trace elements on morphological and biochemical blood indicators of cows. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*, 19(74), 119–122. DOI: 10.15421/nvlvet7426.
- Oshkadoro, S. P. (2019). Mikroelementolohiia. *Entsyklopediia suchasnoi Ukrainy*. Kyiv: Instytut entsyklopedychnykh doslidzhen NAN Ukrainy. URL: <https://esu.com.ua/article-67579> (in Ukrainian).
- Ostashko, V. F. (2019). Mikroelementy i makroelementy. *Entsyklopediia suchasnoi Ukrainy*. Kyiv: Instytut entsyklopedychnykh doslidzhen NAN Ukrainy. URL: <https://esu.com.ua/article-69329> (in Ukrainian).
- Poberezhets, J., Ohorodnichuk, G., & Kachanov, I. (2023). Productivity and slaughter performance of pigs using a mineral feed additive. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*, 25(99), 73–77. DOI: 10.32718/nvlvet-a9912.
- Pohorielov, M. V., Bumeister, V. I., Tkach, H. F., Bonchev, S. D., Sikora, V. Z., Sukhodub, L. F., & Danylchenko, S. M. (2010). Makro- ta mikroelementy (obmin, patolohiia ta metody vyznachennia): monohrafiia. Sumy: Vyd-vo SumDU (in Ukrainian).
- Razanova, O., Farionik, T., & Ogorodnichuk, G. (2023). Response of stomach structures of young pig to feeding of mineral substances. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*, 25(99), 36–40. DOI: 10.32718/nvlvet-a9906.
- Rusyn, V. I. (2011). Deaki biokhimichni pokaznyky krovi diinykh koriv za profilaktyky mikroelementoziv. *Silskyi hospodar*, 3/4, 24–27 (in Ukrainian).
- Rusyn, V. I., & Koltun, Ye. M. (2012). Diahnozyka i profilaktyka mikroelementoziv khudoby. *Silskyi hospodar*, 11/12, 16–18 (in Ukrainian).
- Santos, T. S. D., Augusto, K. V. Z., Han, Y., Sartori, M. M. P., Denadai, J. C., Santos, C. T., Sobral, N. C., Roça, R. O., & Sartori, J. R. (2021). High levels of copper and zinc supplementation in broiler diets on growth performance, carcass traits and apparent ileal mineral absorption. *Br Poult Sci*, 62(4), 579–588. DOI: 10.1080/00071668.2021.1887453.
- Sydorenko, O. F. (2009). Metody ta zasoby profilaktyky hipovitaminoziv i mikroelementoziv u tvaryn. *Veterynarna medytsyna Ukrainy*, 12, 34–35 (in Ukrainian).
- Vieira, R., Ferket, P., Malheiros, R., Hannas, M., Crivelari, R., Moraes, V., & Elliott, S. (2020). Feeding low dietary levels of organic trace minerals improves broiler performance and reduces excretion of minerals in litter. *Br Poult Sci*, 61(5), 574–582. DOI: 10.1080/00071668.2020.1764908.
- Vyhovsky, I. (2017). Composition of mineral elements in the yield of one-species sows of perennial grasses and their mixtures. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*, 19(74), 140–142. DOI: 10.15421/nvlvet7431.