

УДК 636.085:549.28-026.86

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.143.2.27>

ТОКСИЧНІ ВАЖКІ МЕТАЛИ КОРМІВ

Сичов М.Ю. – д.с.-г.н., професор,

завідувач кафедри годівлі тварин та технології кормів імені П.Д. Пшеничного,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0000-0002-6319-9876

Ільчук І.І. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри годівлі тварин та технології кормів імені П.Д. Пшеничного,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0000-0003-0961-6613

Осадча Ю.В. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри біології тварин,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0000-0003-4126-2456

Пітера В.О. – д.філос.,

асистент кафедри годівлі тварин та технології кормів імені П.Д. Пшеничного,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0000-0002-3390-2516

Вознюк Р.Р. – д.філос.,

асистент кафедри годівлі тварин та технології кормів імені П.Д. Пшеничного,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0000-0003-4710-5371

Здоров'я та продуктивність тварин принципово залежать від збалансованої годівлі. У тваринництві якість кормів є визначальним фактором. Зрозуміло, що корм повинен бути адаптований до конкретних видів тварин, містити достатню кількість поживних речовин і не містити небажаних або заборонених речовин. Щоб забезпечити це, корми підпадають під суворі правила, які вимагають регулярного аналізу.

Важкі метали можуть бути шкідливими для тварин і викликати хронічне отруєння. Ці речовини можуть потрапити в корми для тварин через ґрунти, добрива або добавки.

Метали є природними складовими земної кори і через природну ерозію під дією води та вітру вони природним чином поширюються в навколишнє середовище з пилом або вимиваються в річки.

Важкі метали – це елементи металів з високою щільністю, які поступово накопичуються в ланцюгу живлення, негативно впливаючи на здоров'я тварин. Деякі метали є необхідними (Fe, I, Co, Zn, Cu, Mn, Mo, Se) для підтримки різних фізіологічних функцій і зазвичай додаються як кормові добавки для тварин. Інші метали (As, Cd, F, Pb, Hg) не мають встановлених біологічних функцій і вважаються забруднювачами або небажаними речовинами.

Важкі метали (наприклад, Fe, Co, Cu, Mn, Mo, Se, Zn, Cr та Cd, Hg, Pb, As) – це елементи, які мають високу щільність порівняно з водою та присутні в різних матрицях у залишкових кількостях. Їхня важкість та токсичність взаємопов'язані, оскільки важкі метали здатні викликати токсичність у низьких дозах.

Деякі метали є необхідними для підтримки різних біохімічних та фізіологічних функцій у тварин і не тільки. Потреби в цих елементах, таких як кобальт (Co), мідь (Cu), хром (Cr), залізо (Fe), марганець (Mn), молибден (Mo), селен (Se) та цинк (Zn), зазвичай низькі, і їх називають мікроелементами. Вони присутні в різних матрицях, хоча із різною біодоступністю та у різних концентраціях. Незамінні мікроелементи зазвичай додають як кормові добавки для тварин з метою підвищення продуктивності, зміцнення здоров'я

та оптимізації виробництва. Однак вищі концентрації цих елементів у кормах пов'язані з клітинними або системними порушеннями та можуть бути джерелом забруднення.

Ключові слова: важкі метали, мікроелементи, корми, годівля тварин, навколишнє середовище.

Sychov M.Yu., Ilchuk I.I., Osadcha Yu.V., Pitera V.O., Vozniuk R.R. Toxic heavy metals in feed

The health and productivity of animals depend fundamentally on a balanced diet. In animal husbandry, the quality of the feed is a determining factor. It goes without saying that the feed must be adapted to the specific animal species, provide sufficient nutrients and not contain undesirable or prohibited substances. To ensure this, the feed is subject to strict regulations that require regular analysis.

Heavy metals can be harmful to animals and cause inflammation. These substances can be present in animal feed through subsoil, fertilizers or additives.

Metals are natural components of the earth's crust and, through natural erosion by water and wind, they naturally spread into the environment in the form of powder or are washed into rivers.

Heavy metals are metal elements with high density that gradually accumulate in the food chain, negatively affecting the health of animals. Some metals are essential (Fe, I, Co, Zn, Cu, Mn, Mo, Se) to support various physiological functions and are already added as food additives to animal feeds. Other metals (As, Cd, F, Pb, Hg) have no established biological functions and are considered contaminants or undesirable substances.

Heavy metals (e.g. Fe, Co, Cu, Mn, Mo, Se, Zn, Cr and Cd, Hg, Pb, As) are elements that have a high density with water and are present in various matrices in residual amounts. Their heaviness and toxicity are interrelated, after heavy metals are able to cause toxicity at low doses.

Some metals are essential to support various biochemical and physiological functions in animals and not only. The requirements for these elements, such as cobalt (Co), copper (Cu), chromium (Cr), iron (Fe), manganese (Mn), molybdenum (Mo), selenium (Se) and zinc (Zn), are usually low and are called micronutrients. They are present in different matrices, albeit with different bioavailability, in different concentrations. Essential micronutrients are constantly given as nutritional supplements to animal feeds to promote health and optimize production. However, the greatest impact of higher concentrations of these elements is associated with cellular or systemic disorders and can be a source of pollution.

Key words: heavy metals, microelements, feed, animal nutrition, environment.

Постановка проблеми. Токсичність важких металів, у тому числі мікроелементів, залежить від кількох факторів, включаючи дозу, шлях впливу та види хімічних речовин, а також вік, стать, генетику та годівлю тварин[1]. Вони мають різні наслідки залежно від дози та часу споживання: гостре отруєння при високих дозах протягом короткого періоду та хронічне отруєння або біоаккумуляція при зниженому впливі протягом тривалого періоду.

Метали, такі як As, Cd, Pb, Hg не мають встановлених біологічних функцій і вважаються забруднювачами та небажаними речовинами в кормах для тварин. Крім того, As, Cd, Cr, Pb та Hg, які становлять значну небезпеку для здоров'я, мають високу токсичність, оскільки можуть спричиняти пошкодження органів навіть при невеликих концентраціях (Регламент 2002/32/ЄС).

Більше того, стосовно сільськогосподарських тварин, необхідна глобальна стратегія екології годівлі, щоб гарантувати як стан здоров'я тварин, так і стале виробництво. Екологія годівлі – це міждисциплінарний підхід, який в основному зосереджений на живих організмах, навколишньому середовищі та основі взаємодії між організмами (функція, механізм, розвиток) та навколишнім середовищем (біотичним та абіотичним) у процесі живлення. Враховуючи велику різноманітність важких металів у навколишньому середовищі, неможливо уникнути їх присутності в ланцюзі живлення та в навколишньому середовищі [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Законодавство та стандарти Європейського Союзу передбачають різні заходи для контролю підвищення рівня важких металів у навколишньому середовищі в результаті сільськогосподарської діяльності, промислових процесів, а також забруднення харчових продуктів. Тому зменшення надходження важких металів у навколишнє середовище, розрив ланцюга: «навколишнє середовище-корм-сільськогосподарські тварини-продукція тваринного походження» – є основним напрямком політики ЄС щодо охорони навколишнього середовища, оскільки це сприяє подальшому економічному зростанню зі зменшенням впливу на навколишнє середовище [3]. ЄС встановив комплексні правила щодо максимально дозволених концентрацій незамінних (Fe, I, Co, Cu, Mn, Zn, Mo, Se) та небажаних речовин (As, Cd, F, Pb, Hg). Крім того, було встановлено різні максимальні рівні включення незамінних мікроелементів у добавки для використання в годівлі тварин. Головною метою цих правил (Регламент ЄС № 1831/2003; Директива 2002/32/ЄС) є захист безпеки кормів та харчових продуктів, а також зменшення забруднення навколишнього середовища [4].

Враховуючи велику різноманітність важких металів у навколишньому середовищі та їх концентрацію в різних ланцюгах виробництва кормів, неможливо досягти нижчих рівнів забруднення, ніж межа виявлення для всіх елементів у всіх продуктах. Тому необхідно працювати на різних рівнях [5]. ЄС усвідомлює всі ці проблеми, і тому було прийнято кілька законів для контролю забруднення важкими металами.

Постановка завдання. Метою огляду було вивчення впливу важких металів на тварин через годівлю. Так як з кормами тварини отримують незамінні та небажані елементи металів, що може мати негативні наслідки на організм і здоров'я тварин та птиці.

Даний огляд спрямований на збільшення уваги до проблеми важких металів та пошуку контролю і усунення загроз які вони можуть становити.

Матеріали дослідження. Годівля тварин відіграє ключову роль не лише у забезпеченні потреб і, таким чином, запобіганні дефіциту поживних речовин, але й у покращенні здоров'я та добробуту тварин, продуктивності, безпеки харчових продуктів, а також у контролі забруднення навколишнього середовища. Усім тваринам потрібне мінеральне живлення, включаючи деякі важкі метали, які, як було доведено, є необхідними поживними речовинами. Мінерали, такі як Co, Cu, Fe, I, Mn, Mo, Se та Zn, входять до складу численних ферментів, що координують багато біологічних процесів і, отже, є необхідними для підтримки здоров'я та продуктивності тварин [6]. Незамінні метали виконують чотири важливі типи функцій: структурну, фізіологічну, каталітичну та регуляторну [7].

З точки зору мінерального живлення, а також для запобігання дефіциту мінералів, який може поставити під загрозу виробництво, комерційні корми часто доповнюють мінералами, щоб сприяти оптимальним темпам росту, функціональній біоактивності та антимікробним властивостям. Наприклад, Se природним чином присутній у багатьох продуктах, таких як дріжджі. Він відіграє вирішальну роль у розмноженні, синтезі ДНК, метаболізмі, гормональних процесах, захищає організм від інфекцій, окислювального пошкодження та має важливу біоактивну роль, пов'язану зі зниженням сприйнятливості до канцерогенів [8].

Нутриціоністи зазвичай балансують раціон тварин мінералами відповідно до максимально допустимих рівнів, встановлених рекомендаціями з живлення розробленими відповідними інституціями Європейського Союзу чи США. Тим не менш, максимально допустима кількість у кормі зазвичай перевищує мінімальну

потребу, що призводить до широкого розповсюдження мінералів у навколишньому середовищі. Наприклад, мінімальна потреба для Zn коливається від 50 до 100 мг/кг у різні фази росту, проте його часто використовують як добавку, підвищуючи рівень до 150 мг/кг, що є максимально допустимим рівнем, встановленим рекомендаціями (NRC, 2012).

Хоча чисті потреби в незамінних металах нижчі за рекомендований вміст у раціонах, для встановлення оптимальної концентрації в кормі необхідно враховувати різні аспекти: генетичний вплив, фактори годівлі, взаємодію між поживними речовинами, біодоступність та субклінічні токсичні ефекти. Оптимальне мінеральне живлення, яке представлено як діапазон між адекватною та недостатньою токсичною концентрацією в раціоні, встановленою дозою, також повинно враховувати непотрібні рівні, що виділяються в навколишнє середовище. Заборона на використання антибіотиків-стимуляторів росту (Регламент ЄС 1831/2003) у тваринництві призвела до вивчення альтернативних сполук, проте це збільшило використання деяких мінералів, як стимуляторів росту та для профілактики кишкових захворювань у свиней [9, 10].

Таким чином, високі дози Zn у формі преміксу широко використовуються в кількох в ряді країн. Zn є важливим для підтримки та відновлення цілісності бар'єру, захисту від патогенів та модуляції імунної системи, сприяючи виробленню антитіл проти кишкових патогенів. Крім того, Zn може зменшити діарею та збільшити темпи росту у поросят на відлученні [11, 12]. Хоча фармакологічне застосування Zn (2500-3000 мг Zn/кг), доступного за протоколами ветеринарної медицини, може зменшити кишкові розлади після відлучення поросят, з точки зору живлення та екології, кращою стратегією було б виявлення та боротьба з основною причиною діареї [13].

Мідь – ще один важливий мінерал, тісно пов'язаний з тваринництвом. Коли цей мікроелемент додається до раціону свиней на відгодівлі, це призводить до швидшого росту та кращого коефіцієнта конверсії корму [14]. У свиней при концентрації Cu від 150 до 250 мг/кг можуть збільшитись показники росту, не наражаючи тварин на ризик отруєння. Також у птахівництві Cu, Zn та Mn запобігають деяким захворюванням: Cu запобігає анемії, тоді як Zn та Mn діють як каталізатори в багатьох ферментативних та гормональних реакціях [15].

Для розробки сталої стратегії годівлі максимально допустимі рівні не слід вважати оптимальними, а мінеральні добавки слід вводити з точки зору бажаних лімітів, які повинні бути нижчими за встановлені законом [16].

У звичайних фермах мінерали можна додавати в різних формах. Неорганічні солі, такі як сульфати, карбонати, хлориди та оксиди, є найпоширенішими. При потраплянні в організм ці солі розщеплюються в травному тракті, утворюючи вільні іони, які потім абсорбуються [6]. Щоб забезпечити терапевтичний ефект деяких елементів на тварин, концентрації цих солей часто перевищують фізіологічні потреби, що призводить до підвищення виділення з калом [17].

Для оптимального мінерального живлення необхідно враховувати різні взаємодії між мінералами та компонентами раціону. Позитивні та негативні взаємодії поживних речовин включають вплив однієї поживної речовини на біодоступність іншої, включаючи засвоєння та використання. Наприклад, Cu взаємодіє переважно негативно з Mn, Zn та Fe [18].

Різні білки зв'язують та переносять певні мінерали, включаючи Fe, Cu та Ca, і тому недостатнє споживання білка може погіршити функцію цих поживних речовин [19]. Якість та кількість структурних вуглеводів може негативно впливати

на засвоєння кількох мінералів, включаючи Ca та Fe. У моногастричних тварин фітинова кислота, що міститься в зернових та бобових культурах, може зв'язувати мінерали в нерозчинні комплекси, тим самим зменшуючи засвоєння двовалентних елементів. Взаємодія вітамінів та мінералів також була описана в кількох метаболічних ситуаціях і все ще досліджується. Багато мікроелементів визнані окислювачами, які можуть погіршувати якість корму для тварин, зокрема під час тривалого зберігання при високих температурах [20].

Балансування раціону може бути корисним способом контролю, оскільки поживні речовини, що містяться в гної або в сполуках, походять з тієї фракції корму, яка не засвоюється тваринами. Потрібен збалансований раціон, з високою перетравністю, засвоюванням та використанням поживних речовин, зменшуючи їх виділення з калом та сечею. Наприклад, у свиней та птиці використання синтетичних амінокислот є дуже ефективним способом зменшення виділення азоту. На рівні ферми це призводить до значного скорочення імпорту багатих на білок кормів, таких як соєвий шрот. Включення ферментів до корму, які покращують біологічну доступність деяких специфічних поживних речовин, виявилось ефективним для багатьох видів. Годівля тварин відіграє важливу роль у контролі потоків поживних речовин на тваринницьких фермах [21]. Обґрунтоване використання мінеральних добавок мікроелементів може допомогти запобігти надмірному їх виділенню з калом. Максимально допустимий рівень не слід вважати ідеальним для потреб тварин, а для контролю кишкових захворювань слід використовувати альтернативні інноваційні сполуки замість антибіотиків, цинку та міді [22].

Висновки. За виробництва продукції тваринництва важкі метали представлені як життєво необхідними мікроелементами, так і небажаними речовинами. Хоча Європейський Союз запровадив комплексне регулювання контролю забруднення токсичними важкими металами, їх поширення у різних ланках не дозволяє уникнути їх присутності у ланцюзі живлення та у навколишньому середовищі. Раціон тварин можна скласти та збалансувати таким чином, щоб зменшити кількість незасвоєних мінеральних та інших поживних речовин.

Для розробки ефективних стратегій контролю забруднення важкими металами необхідно враховувати складні взаємозв'язки в процесах, широку мінливість ведення сільського господарства, ґрунтові та кліматичні умови. Слід запропонувати використання добавок мікроелементів з більшою точністю, щоб уникнути поширення забруднень у навколишнє середовище.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Tchounwou P. B., Yedjou C. G., Patlolla A. K., Sutton D. J. Heavy metals toxicity and the environment. *Experimental Neurology*. 2012. № 101. P. 133–164.
2. Raubenheimer D., Simpson S.J., Mayntz D. Nutrition, ecology and nutritional ecology: toward an integrated framework. *Functional Ecology*. 2009. № 23. P. 4–16.
3. Jarup L. Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*. 2003. № 68. P. 167–182.
4. Fink-Gremmels J. Animal feed contamination. Effects on livestock and food safety. *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Cambridge, UK*. 2012.
5. Aragay G., Pons J., Merkoçi A. Recent trends in macro-, micro-, and nanomaterial-based tools and strategies for heavy-metal detection. *Chemical Reviews*. 2011. № 111. P. 3433–3458.
6. Lopez-Alonso M. Trace minerals and livestock: not too much not too little. *ISRN Veterinary Science*. 2012. № 12. P. 1–18.

7. Suttle N. F. Mineral Nutrition of Livestock, 4th Edition. *Cabi, Oxfordshire, UK*. 2010.
 8. Dai S. Y., Jones B., Lee K-M., Li W., Post L., Herrman T. J. Heavy metal contamination of animal feed in Texas. *Journal of Regulatory Science*. 2016. № 01. P. 21–32.
 9. Rossi L., Dell'Orto V., Vagni S., Sala V., Reggi S., Baldi A. Protective effect of oral administration of transgenic tobacco seeds against verocytotoxic *Escherichia coli* strain in piglets. *Veterinary Research Communications*. 2014. № 38. P. 39–49.
 10. Rossi L., Di Giancamillo A., Reggi S., Domeneghini C., Baldi A., Sala V., Dell'Orto V., Coddens A., Cox E., Fogher C. Expression of verocytotoxic *Escherichia coli* antigens in tobacco seeds and evaluation of gut immunity after oral administration in mouse model. *Journal of Veterinary Sciences*. 2013. № 14. P. 263–270.
 11. Sales J. Effects of pharmacological concentrations of dietary zinc oxide on growth of post-weaning pigs: a meta-analysis. *Biological Trace Element Research*. 2013. № 152. P. 343–349.
 12. Walk C. L., Wilcock P., Magowan E. Evaluation of the effects of pharmacological zinc oxide and phosphorus source on weaned piglet growth performance, plasma minerals and mineral digestibility. *Animal*. 2015. № 9. P. 1145–1152.
 13. Rossi L., Pinotti L., Agazzi A., Dell'Orto V., Baldi A. Plant bioreactors for the antigenic hook-associated gK protein expression. *Italian Journal of Animal Science*. 2014. № 13. P. 23–29.
 14. Polen T., Voia O. S. Copper effect of feed supplementation on growth performance in fattening pigs. *Journal of Animal Science*. 2015. № 48. P. 28–30.
 15. Suleiman N., Ibitoye E. B., Jimoh A. A., Sani Z. A. Assessment of heavy metals in chicken feeds available in Sokoto, Nigeria. *Sokoto Journal of Veterinary Sciences*. 2015. № 13. P. 17–21.
 16. Eu I., Yang X. E., He Z. L., Mahmood Q. Assessing potential dietary toxicity of heavy metals in selected vegetables and food crops. *Journal of Zhejiang University*. 2007. № 8. P. 1–13.
 17. Lopez-Alonso M., Garcia-Vaquero M., Benedito J. L., Castillo C., Miranda M. Trace mineral status and toxic metal accumulation in extensive and intensive pigs in NW Spain. *Livestock Science*. 2012. № 146. P. 47–53.
 18. García-Vaquero M., Lopez-Alonso M., Benedito J. L., Hernandez J., Gutiérrez B., Miranda M. In uence of Cu supplementation on toxic and essential trace element status in intensive reared beef cattle. *Food and Chemical Toxicology*. 2011. № 49. P. 3358–3366.
 19. Collins J., Prohaska J. R., Knutson M. D. Metabolic crossroads of iron and cooper. *Nutrition reviews*. 2010. № 68. P. 133–177.
 20. Medardus J. J., Molla B. Z., Nicol M., Morrow M., Rajala-Schultz P., Kazwala R., Gebreyes W. A. In-feed use of heavy metal micronutrients in U.S. swine production systems and its role in persistence of multidrug-resistant *Salmonellae*. *Applied and Environmental Microbiology*. 2014. № 80. P. 2317–2325.
 21. Petersen S. O., Sommer S. G., Béline F., Burton C., Dach J., Dourmad J. Y., Leip A., Misselbrook T., Nicholson F., Poulsen H. D., Provolo G., Sørensen P., Vinnerås B., Weiske A., Bernal M-P., Böhm R., Juhász C., Mihelic R. Recycling of livestock manure in a whole-farm perspective. *Livestock Science*. 2007. № 112. P. 180–191.
 22. Rossi L., Fusi E., Boglioni M., Giromini C., Rebucci R., Baldi A. Effect of Zinc oxide and Zinc chloride on human and swine intestinal epithelial cell lines. *International Journal of Health. Animal Science and Food Safety*. 2014. № 2. P. 1–7.
-