

2. Ward JL, Lisciandro GR, Ware WA, et al. Lung ultrasonography findings in dogs with various underlying causes of cough. *J Am Vet Med Assoc.* 2019;255:574-583.
3. Ward JL, Lisciandro GR, Keene BW, et al. Accuracy of point-of-care lung ultrasonography for the diagnosis of cardiogenic pulmonary edema in dogs and cats with acute dyspnea. *J Am Vet Med Assoc.* 2017;250:666-675.
4. Ward JL, Lisciandro GR, Ware WA, et al. Evaluation of point-of-care thoracic ultrasound and NT-proBNP for the diagnosis of congestive heart failure in cats with respiratory distress. *J Vet Intern Med.* 2019; 32:1530-1540.
5. Vitturi N, Soattin M, Allemand E, et al. Thoracic ultrasonography: a new method for the work-up of patients with dyspnea. *J Ultrasound.* 2011;14:147-151.
6. Gargani L. Lung ultrasound: a new tool for the cardiologist. *Cardiovasc Ultrasound.* 2011;9:6.
7. Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, et al. International evidencebased recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med.* 2012;38:577-591.
8. Gargani L, Frassi F, Soldati G, et al. Ultrasound lung comets for the differential diagnosis of acute cardiogenic dyspnoea: a comparison with natriuretic peptides. *Eur J Heart Fail.* 2008;10:70.

УДК 636.5.082.4:661.856'02-022.532

## АНТИОКСИДАНТНІ ВЛАСТИВОСТІ НАНОЧАСТИНОК ОКСИДУ КУПРУМУ ТА ТОКСИЧНІ РИЗИКИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ У ПТАХІВНИЦТВІ

**Науменко С.В.**, доктор ветеринарних наук, професор, Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7340-5186>

**Кошевой В.І.**, асистент, Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2938-2762>

**Вступ.** Купрум (Cu) є життєво важливим мікроелементом, який бере участь у багатьох фізіологічних процесах: синтезі гемоглобіну, формуванні кісткової тканини, функціонуванні системи кровотворення та центральної нервової системи, входить до складу ензимів – тирозинази та цитохромоксидази ([Scott et al., 2018](#); [Morsy et al., 2021](#); [Abdullah et al., 2022](#)). Потенційний вплив наночастинок оксиду купруму (CuO-NPs) на ріст, імунну систему, антиоксидантний статус, засвоюваність поживних речовин і коефіцієнт конверсії корму для птиці показано [Sharif et al. \(2021\)](#), адже відомо, що CuO-NPs характеризуються вищою біодоступністю завдяки їх малому розміру та високому співвідношенню поверхні до об'єму, і таким чином, можуть використовуватися в якості ефективного аналогу макроергічним солям. Отже, **метою роботи було** дослідження даних літературних джерел щодо наночастинок Купруму оксиду, аналіз та узагальнення їх антиоксидантних властивостей та токсичних ризиків за застосування у птахівництві.

**Результати досліджень.** Існують суперечливі дані щодо необхідної кількості купруму в раціонах різних видів свійської птиці. Отримані [Kozlowski et al. \(2018\)](#) дані показали, що зниження рівня Cu в раціоні з 10 мг/кг до 2 мг/кг не погіршує продуктивність росту індиків, але послаблює антиоксидантні механізми захисту. Доза Cu 20 мг/кг індукує реакції окислення і має набагато більший інгібуючий ефект на систему антиоксидантного захисту, ніж вміст Cu в дієті 2 мг/кг. При цьому, дієтичні добавки CuO-NPs індікам мають більш сприятливий вплив на вуглеводний обмін і антиоксидантний статус порівняно з CuSO<sub>4</sub>. Загалом, результати аналізу антиоксидантного та метаболічного статусу молодих індичат показують, що 10 мг/кг є оптимальним рівнем включення Cu в раціон. [Morsy et al. \(2021\)](#) встановили наявність збільшення рівнів малонового діальдегіду, вмісту Cu, відсотка

фрагментації ДНК та мікроскопічних змін у різних органах досліджуваних груп курей, які отримували CuO-NPs, пов'язане з помітним зниженням збільшення ваги, коефіцієнта перетворення їжі, активності каталази та антитіл, що мали дозозалежні ефекти. Оцінка антиоксидантних властивостей CuO-NPs потребує комплексного дослідження на моделях різних видів птиці, враховуючи велику кількість властивих їм позитивних ефектів за введення у раціони. Так, на моделі курей-несучок та курчат було продемонстровано значне покращення використання енергії та азоту, за введення CuO-NPs, порівняно із сульфатом купруму (CuSO<sub>4</sub>), крім того, рівні холестерину в крові, сечовини та глюкози були порівняно з іншими групами. Слід зазначити, що відносна вага печінки птиці дослідних груп була зменшена, а сумки Фабриціуса, навпаки, збільшена, екскреція Cu була знижена лише у курчат, яким вводили 50 мг/кг CuO-NPs, при цьому, не відзначено впливу CuO-NPs на імунні гени. Зауважимо, що авторами встановлено, що введення CuO-NPs *in ovo* може покращити продуктивність бройлерів ефективніше, ніж введення CuSO<sub>4</sub> або надання CuO-NPs та/або CuSO<sub>4</sub> у питній воді ([Scott et al., 2018](#)).

Додавання CuO-NPs збільшувало масу тіла, середньодобовий приріст маси та споживання корму у бройлерів, тоді як рівні сечової кислоти, глюкози в крові та коефіцієнт конверсії корму знижувалися, при цьому аналізуючи результати [Sawosz et al. \(2018\)](#) видно, що використання CuO-NPs може знизити стандартний рівень Cu з добавок CuSO<sub>4</sub> на 75 % і в той же час значно зменшити викид Cu в навколишнє середовище. Пероральне застосування CuO-NPs до раціону також збільшувало вагу, довжину, індекс ваги/довжини у бройлерів та сприяло зростанню концентрації купруму, феруму, кальцію та фосфору в крові ([Abdullah et al., 2022](#)). Зазначимо, що CuO-NPs, які використовуються у формі дієтичної добавки для птиці, можуть впливати на засвоєння мінеральних елементів. Дослідження показало, що пероральне введення курчатам CuO-NPs у кількості 5, 10 і 15 мг/л призводило до накопичення Cu в стінках кишківника, а найвищий рівень застосування CuO-NPs збільшував вміст Cu в плазмі крові птахів. Дослідження *in vitro* показало, що купрум, накопичений в кишечнику, знижує всмоктування кальцію і цинку, але не впливає на всмоктування феруму ([Ognic et al., 2016](#)).

Крім того, CuO-NPs має проангіогенні властивості на системному рівні більшою мірою, ніж сіль CuSO<sub>4</sub>, що було підтверджено на молекулярному рівні, внаслідок впливу на концентрацію мРНК і на експресію генів мРНК (проангіогенних і проліферативних генів), встановленому у дослідженні [Mroczek-Sosnowska et al. \(2015\)](#). Наступними дослідженнями [Mroczek-Sosnowska et al. \(2017\)](#) виявили, що стегнові кістки характеризуються більшою вагою та об'ємом і значно більшою стійкістю до переломів порівняно з контрольною групою. CuO-NPs сприяли проліферації PCNA-позитивних клітин у кістках курей. Значно більша кількість PCNA-позитивних клітин у кістках птахів у групі CuO-NPs порівняно з контрольною групою (137 і 122 відповідно) свідчить про стимулюючий ефект під час ембріогенезу.

За нормальної температури утримання CuO-NPs значно посилювали імунну відповідь у птахів, що було продемонстровано підвищеними рівнями фагоцитарної активності, активності лізоциму сироватки та активацією імуномодулюючих генів, включаючи NF-κB, PGES, IL-1β, TGF-1β, IFN-γ, BAX і CASP8. Натомість, у птахів, які пережили тепловий стрес, додавання CuO-NPs зменшувало запальні стани, спричинені ним, як показано нижчими рівнями експресії генів, меншими дистрофічними змінами в селезінці та зміненим співвідношенням гетерофілів/лімфоцитів. Добавки CuO-NPs, особливо тим курчатам, яких годували раціонами з додаванням 50% від рекомендованої потреби Cu, можна використовувати при нормальній температурі утримання для посилення імунної відповіді птахів і під час теплового стресу ([El-Kassas et al., 2018](#)). Таким чином, здатність до зменшення негативних наслідків теплового стресу у птахів вказує на їх потенційні антиоксидантні властивості.

**Висновки:** застосування CuO-NPs є ефективною кормовою добавкою, що має значні перспективи застосування в птахівництві за рахунок позитивного впливу на ріст і розвиток

птахів за різних способів введення (як *in ovo*, так і *in vivo*), володіє імунними, проангіогенними і проліферативними, а також антиоксидантними властивостями, загалом же, використання наночастинок оксиду купруму потребують комплексних поглиблених досліджень для визначення ефективних і безпечних доз.

Бібліографічний список:

1. Abdullah, S. S., Masood, S., Zaneb, H., Rabbani, I., Akbar, J., Kuthu, Z. H., Masood, A., & Vargas-Bello-Pérez, E. (2022). Effects of copper nanoparticles on performance, muscle and bone characteristics and serum metabolites in broilers. *Brazilian journal of biology = Revista brasleira de biologia*, 84: article number e261578. DOI: <https://doi.org/10.1590/1519-6984.261578>
2. El-Kassas, S., Abdo, S. E., El-Naggar, K., Abdo, W., Kirrella, A., & Nashar, T. O. (2018). Ameliorative effect of dietary supplementation of copper oxide nanoparticles on inflammatory and immune reponses in commercial broiler under normal and heat-stress housing conditions. *Journal of thermal biology*, 78, 235–246. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.10.009>
3. Kozłowski, K., Jankowski, J., Otowski, K., Zduńczyk, Z., & Ognik, K. (2018). Metabolic parameters in young turkeys fed diets with different inclusion levels of copper nanoparticles. *Polish journal of veterinary sciences*, 21(2), 245–253. DOI: <https://doi.org/10.24425/119043>
4. Morsy, E. A., Hussien, A. M., Ibrahim, M. A., Farroh, K. Y., & Hassanen, E. I. (2021). Cytotoxicity and Genotoxicity of Copper oxide Nanoparticles in chickens. *Biological trace element research*, 199(12), 4731–4745. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12011-021-02595-4>
5. Mroczek-Sosnowska, N., Łukasiewicz, M., Adamek, D., Kamaszewski, M., Niemiec, J., Wnuk-Gnich, A., Scott, A., Chwalibog, A., & Sawosz, E. (2017). Effect of copper nanoparticles administered *in ovo* on the activity of proliferating cells and on the resistance of femoral bones in broiler chickens. *Archives of animal nutrition*, 71(4), 327–332. DOI: <https://doi.org/10.1080/1745039X.2017.1331619>
6. Mroczek-Sosnowska, N., Sawosz, E., Vadalasetty, K. P., Łukasiewicz, M., Niemiec, J., Wierzbiński, M., Kutwin, M., Jaworski, S., & Chwalibog, A. (2015). Nanoparticles of copper stimulate angiogenesis at systemic and molecular level. *International journal of molecular sciences*, 16(3), 4838–4849. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms16034838>
7. Ognik, K., Stępniewska, A., Cholewińska, E., & Kozłowski, K. (2016). The effect of administration of copper nanoparticles to chickens in drinking water on estimated intestinal absorption of iron, zinc, and calcium. *Poultry science*, 95(9), 2045–2051. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps/pew200>
8. Sawosz, E., Łukasiewicz, M., Łozicki, A., Sosnowska, M., Jaworski, S., Niemiec, J., Scott, A., Jankowski, J., Józefiak, D., & Chwalibog, A. (2018). Effect of copper nanoparticles on the mineral content of tissues and droppings, and growth of chickens. *Archives of animal nutrition*, 72(5), 396–406. DOI: <https://doi.org/10.1080/1745039X.2018.1505146>
9. Scott, A., Vadalasetty, K. P., Łukasiewicz, M., Jaworski, S., Wierzbiński, M., Chwalibog, A., & Sawosz, E. (2018). Effect of different levels of copper nanoparticles and copper sulphate on performance, metabolism and blood biochemical profiles in broiler chicken. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 102(1), 364–373. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpn.12754>
10. Sharif, M., Rahman, M. A., Ahmed, B., Abbas, R. Z., & Hassan, F. U. (2021). Copper Nanoparticles as Growth Promoter, Antioxidant and Anti-Bacterial Agents in Poultry Nutrition: Prospects and Future Implications. *Biological trace element research*, 199(10), 3825–3836. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02485-1>