

UDC 577.15:546.655:636.52/.58:612-015

**Influence of cerium dioxide nanoparticles on biochemical indicators in the organism of broiler chicken**

**O. S. Tsekhmistrenko<sup>1</sup>, V. S. Bityutsky<sup>1</sup>, S. I. Tsekhmistrenko<sup>1</sup>, M. Y. Spivak<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Kyiv region, Ukraine

<sup>2</sup>D. K. Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of the NASU, Ukraine

*Article info*

Received 30.09.2020

Received in revised form  
17.10.2020

Accepted  
15.11.2020

<sup>1</sup>Bila Tserkva National  
Agrarian University, Bila  
Tserkva, Kyiv region,  
Ukraine

<sup>2</sup>D. K. Zabolotny Institute of  
Microbiology and Virology of  
the NASU, Ukraine  
E-mail:  
[tsekhmistrenko-  
oksana@ukr.net](mailto:tsekhmistrenko-oksana@ukr.net)

**Tsekhmistrenko, O. S., Bityutsky, V. S., Tsekhmistrenko, S. I., & Spivak, M. Y. (2020). Influence of cerium dioxide nanoparticles on biochemical indicators in the organism of broiler chicken. *Veterinary Science, Technologies of Animal Husbandry and Nature Management*, 6, 112-117. DOI: 10.31890/vtpp.2020.06.20.**

At present, nanotechnology is taking the leading role in various industries, medicine, and agriculture all over the world. Fundamentally different properties are inherent in nanoparticles, in particular, a high capacity for accumulation in living organisms by overcoming biobarriers, increasing bioavailability and binding with the main components of cells. The article studies the peculiarities of the influence of cerium dioxide nanoparticles on metabolic pathways in the body of broiler chickens. The data on the use of metal nanoparticles, in particular, a material based on cerium, as an alternative to feed antibiotics for increasing the productivity of livestock and poultry farming has been analyzed.

The aim of this work was to investigate the effect of cerium dioxide nanoparticles on the biochemical blood profile of chickens with meat production.

For the studies carried out at the Research Institute of Ecology and Biotechnology of the Bila Tserkva NAU, a new multifunctional antioxidant was used - nanodispersed cerium dioxide, developed by the D. K. Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of the NASU, Ukraine. For the scientific and economic experience there were formed 3 groups of broilers of the ROSS 308 cross according to the principle of analogous groups (control and 2 experimental groups, 100 heads each). For 58 days, the experimental groups of birds with drinking water were added nanodispersed cerium dioxide at a dose of 8.6 mg/l during the first 14 days. Course was repeated after 7 (group 1) and 14 days (group 2) breaks.

As a result of the studies, it was found that the blood parameters of broilers, characterizing the main types of metabolism were within the physiological norm. There was a tendency to activation of lipid and protein metabolism, which contributed to the intensification of the growth of young animals.

The use of nanodispersed cerium dioxide as a promising material for increasing the productivity of poultry farming and as an alternative to feed antibiotics is argued. In further studies, it is advisable to study the action of cerium dioxide nanoparticles to study all possible mechanisms of its biological activity.

**Key words:** nanoparticles, cerium dioxide, biotransformation, productivity, proteins, lipids.

**Влияние наночастиц диоксида церия на биохимические показатели в организме цыплят-бройлеров**

**О. С. Цехмистренко<sup>1</sup>, В. С. Битюцкий<sup>1</sup>, С. И. Цехмистренко<sup>1</sup>, Н. Я. Спивак<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Белоцерковский национальный аграрный университет, Белая Церковь, Украина

<sup>2</sup>Институт микробиологии и вирусологии им. Д. К. Заболотного НАН Украины

В настоящее время во всем мире на ведущие позиции в различных отраслях промышленности, медицины, сельского хозяйства выходят нанотехнологии. Наночастицам присущи принципиально иные свойства, в частности высокая способность к аккумуляции в живых организмах за счет преодоления биобарьеров, повышение биодоступности и связывания с основными компонентами клеток. В статье исследованы особенности влияния наночастиц диоксида церия на отдельные метаболические пути в организме цыплят-бройлеров. Проанализированы

сведения о применении наночастиц металлов, в частности материал на основе церия, как альтернатива кормовым антибиотикам для повышения продуктивности животноводства и птицеводства.

Целью работы было исследовать влияние наночастиц диоксида церия на биохимический профиль крови кур мясного направления продуктивности.

Для исследований, проведенных в научно-исследовательском институте экологии и биотехнологии Белоцерковского НАУ, использовали новый многофункциональный антиоксидант – нанодисперсный диоксид церия, разработанный Институтом микробиологии и вирусологии им. Д. К. Заболотного НАН Украины. Для научно-хозяйственного опыта было сформировано по принципу групп-аналогов 3 группы бройлеров кросса ROSS 308: контрольная и 2 опытные по 100 голов в каждой. В течение 58 дней опытным группам птицы с питьевой водой добавляли нанодисперсный диоксид церия в дозе 8,6 мг/л в течение первых 14 дней, после 7-ми (1 группа) и 14-ти дневного (2 группа) перерыва курс повторяли.

В результате проведенных исследований установлено, что показатели крови бройлеров, характеризующие основные виды обмена, были в пределах физиологической нормы. Наблюдалась тенденция к активации липидного и белкового обменов, что способствовало интенсификации роста молодняка.

Аргументировано использование нанодисперсного диоксида церия как перспективного материала для повышения продуктивности птицеводства и как альтернатива кормовым антибиотикам. В дальнейших исследованиях целесообразно изучать действие наночастиц диоксида церия для изучения всех возможных механизмов его биологической активности.

**Ключевые слова:** наночастицы, диоксид церия, биотрансформация, продуктивность, белки, липиды.

## Вплив наночастинок діоксиду церію на біохімічні показники в організмі курчат-бройлерів

О. С. Цехмістренко<sup>1</sup>, В. С. Бітюцький<sup>1</sup>, С. І. Цехмістренко<sup>1</sup>, М. Я. Співак<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Білоцерківський національний аграрний університет, Біла Церква, Україна

<sup>2</sup>Інститут мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України

У теперішній час в усьому світі на провідні позиції в різних галузях промисловості, медицини, сільськогосподарства виходять нанотехнології. Наночастинкам притаманні принципово інші властивості, зокрема висока здатність до акумуляції в живих організмах завдяки подоланню біобар'єрів, підвищення біодоступності і зв'язування з основними компонентами клітин. У статті досліджено особливості впливу наночастинок діоксиду церію на окремі метаболічні шляхи в організмі курчат-бройлерів. Проаналізовано відомості щодо застосування наночастинок металів, зокрема матеріалів на основі церію, як альтернатива кормовим антибиотикам для підвищення продуктивності тваринництва і птахівництва.

Метою роботи було дослідити вплив наночастинок діоксиду церію на біохімічний профіль крові курей м'ясного напрямку продуктивності.

Для досліджень, проведених у науково-дослідному інституті екології та біотехнології Білоцерківського НАУ, використовували новий багатofункціональний антиоксидант – нанодисперсний діоксид церію, розроблений Інститутом мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України. Для науково-господарського досліду було сформовано за принципом груп-аналогів 3 групи бройлерів кросу ROSS 308: контрольну і 2 дослідні по 100 голів у кожній. Впродовж 58 днів дослідним групам птиці з питною водою додавали нанодисперсний діоксид церію в дозі 8,6 мг/л протягом перших 14 днів, після 7-ми (1 група) і 14-ти добової (2 група) перерви курс повторювали.

У результаті проведених досліджень встановлено, що показники крові бройлерів, що характеризують основні види обміну, були в межах фізіологічної норми. Спостерігалася тенденція до активації ліпідного і білкового обмінів, що сприяло интенсифікації росту молодняка.

Аргументовано використання нанодисперсного діоксиду церію як перспективного матеріалу для підвищення продуктивності птахівництва та як альтернатива кормовим антибиотикам. У подальших дослідженнях доцільно вивчати дію наночастинок діоксиду церію для вивчення всіх можливих механізмів його біологічної активності.

**Ключові слова:** наночастинки, діоксид церію, біотрансформация, продуктивність, білки, ліпіди.

### Вступ

Актуальність теми. Для сільськогосподарської птиці м'ясного напрямку продуктивності властива висока інтенсивність росту та підвищена потреба у жирових компонентах комбікормів, що обумовлює її надзвичайно високу чутливість до дії стрес-факторів, особливо в період формування адаптаційних механізмів. Застосування антиоксидантів у годівлі курчат-бройлерів гальмує процеси ліпопероксидації та виявляє в організмі багатогранний ефект, що сприяє підвищенню інтенсивності росту молодняка та збереженості поголів'я бройлерів. В останні роки у птахівництві почали застосовувати наночастинок металів, зокрема церію. Доведено, що вони здатні впливати на метаболічні процеси в організмі, та підвищення продуктивності. Встановлені

зміни прооксидантно-оксидантного статусу крові тварин за використання препаратів з наночастинками діоксиду церію та зміни показників гомеостазу. Проблема науково-практичного обґрунтування застосування в годівлі бройлерів антиоксидантних препаратів нового покоління важлива для наукового обґрунтування норм та термінів введення до раціону антиоксидантних та адаптогенних препаратів з метою спрямованого впливу на їх продуктивність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наночастинок металів завдяки збільшенням розмірам питомої поверхні характеризуються високою адсорбційною активністю (Javadi, Yazdi, Baghani, & Es-haghi, 2019). Значна питома площа наночастинок обумовлює зростання адсорбційної ємності та здатності адсорбюватися на їх поверхні низці контамінантів з полегшенням їх транспорту в клітини (Karakoti et al.,

2012). Завдяки маленьким розмірам (1–100 нм) наночастинки металів підвищують біодоступність та сприяють подоланню гематоенцефалічного, гематолієнального, гематопульмонального, печінкового, гематолімфатичного та інших біобар'єрів, що сприяє їх зв'язуванню з білками та нуклеїновими кислотами (Damle, Jakhade, & Chikate, 2019). При цьому змінюється проникність клітинних мембран, а відповідно і певні їх функції (Abbas, Jan, Iqbal, & Naqvi, 2015; Bityutskyy, Tsekhmistrenko, Tsekhmistrenko, Spyvack, & Shadura, 2017). Дослідження позитивної дії та токсичного ефекту наночастинок металів неоднозначне й багатогранне, вимагає комплексного підходу (Aneggi, de Leitenburg, Boaro, Fornasiero, & Trovarelli, 2020; Shcherbakov, Zholobak, & Ivanov, 2020). Особливо це стосується наночастинок, які застосовуються в сільському господарстві, що сприяє їхньому безпосередньому надходженню до організму людини (Casseo et al., 2011; Tsekhmistrenko, Tsekhmistrenko, Bityutskyy, Melnichenko, & Oleshko, 2018). До переліку десяти пріоритетних наноматеріалів експерти міжвідомчої програми з коректного управління хімічними препаратами і організації економічної кооперації та розвитку включили нанодисперсний діоксид церію (Burello, & Worth, 2011; Туреклі, Маркова, Доріта, & Васса, 2019). Унікальна біологічна активність нанодисперсного діоксиду церію обумовлена двома факторами: низькою токсичністю і високою кисневою нестехіометрією. Низька токсичність забезпечує відносну безпеку застосування наночастинок діоксиду церію *in vivo* (Roudbaneh et al., 2019). Киснева нестехіометрія обумовлює активність нанодисперсного  $\text{CeO}_2$  в окисно-відновних процесах у живих клітинах, особливо у разі інактивації активних форм Оксигену (Santos, Ingle, & Rai, 2020). Специфічною властивістю наночастинок є здатність після участі в окисно-відновному процесі за порівняно невеликий проміжок часу повертатися до вихідного стану, що забезпечує можливість їх багаторазового використання (Shcherbakov, Zholobak, & Ivanov, 2020; Gunawan et al., 2019). Наночастинки оксиду церію є потужними антиоксидантами, які в теперішній час мають велику перспективу застосування як потенційні методи лікування захворювань, при яких окислювальний стрес відіграє важливу патологічну роль (Estevez et al., 2019; Parra-Robert et al., 2019). Показано, що наночастинки діоксиду церію проявляють міметичну активність супероксиддисмутази (Korsvik, Patil, Seal, & Self, 2007), каталази (Tsekhmistrenko et al., 2018) та пероксидази (Tsekhmistrenko, Bityutskyy, Tsekhmistrenko, Melnichenko, & Tymoshok, 2019). Одночасне введення пробіотиків та наночастинок церію як пребіотиків у різних комбінаціях значно посилює їх позитивний індивідуальний вплив на спектр мікробіоти кишечника.

**Мета роботи** – дослідити вплив наночастинок діоксиду церію на біохімічний профіль крові курей м'ясного напрямку продуктивності.

**Завдання дослідження:** провести вивчення дії наночастинок діоксиду церію на метаболічні показники, продуктивність та збереженість курчат-бройлерів.

## Матеріал і методи досліджень

У НДІ екології та біотехнології Білоцерківського національного аграрного університету проводилися дослідження з розробки технології одержання та вивчення дії біологічно активних речовин у птахівництві. Одним з напрямів є дослідження в галузі нанотехнологій, які проводяться сумісно з Інститутом мікробіології та вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України, де у відділі проблем інтерферона і імуномодуляторів розроблена технологія одержання нового багатофункціонального антиоксиданта – нанодисперсного діоксиду церію. При проведенні науково-господарського дослідження в умовах віварію БНАУ було сформовано 3 групи бройлерів кросу ROSS 308, контрольна та 2 дослідні по 100 голів у кожній. Формування груп проводилось за методом груп-аналогів. Птиця утримувалась у кліткових батареях БКН-3 при вільному доступу до корму та води. Основні параметри мікроклімату відповідали зоотехнічним нормам. Визначення живої маси бройлерів проводилось щотижня індивідуальним зважуванням. Впродовж 58 днів дослідним групам додавали препарат перорально з питною водою у дозі 8,6 мг/л протягом перших 14 днів, після 7-ми (1 група) та 14-ти добової (2 група) перерви курс повторювали.

Для досліджень відбирали зразки крові із підкрильної вени від 5-ти курчат-бройлерів. У сироватці крові досліджували біохімічні показники, що характеризують обмін ліпідів (загальні ліпіди та холестерол), білків (загальний білок, альбумін, сечова кислота, креатинін, активність аланінамінотрансферази й аспаратамінотрансферази) та мінеральних речовин (Кальцій, Фосфор) на спектрофотометрі СФ-2000. Для досліджень застосовували тест-набори «Філісіт-Діагностика» (Україна). Статистична обробка отриманих результатів проведена методами варіативної статистики з використанням *t*-критерію Стьюдента.

## Результати та їх обговорення

Проведені дослідження свідчать, що показники крові бройлерів, які характеризують основні види обміну (білковий, ліпідний, мінеральний) у період проведення дослідження знаходилися у межах фізіологічної норми. Морфо-функціональний розвиток тварин і птиці та адаптаційні можливості їх організму в ранньому віці значно залежать від інтенсивності синтезу і ступеня використання структурних ліпідів (фосфоліпідів, холестеролу) та резервних ліпідів (триацилгліцеролів) в енергетичних тканинних процесах (Kobyliak et al., 2017). Тому, збільшення показників ліпідного обміну у сироватці крові курчат за впливу досліджуваної добавки характеризує інтенсивний ріст молодняку бройлерів. За дослідження показників вірогідних відмінностей між групами не виявлено, але протягом усього дослідження спостерігалася тенденція до збільшення вмісту загальних ліпідів та холестеролу у дослідних групах курей (рис. 1).

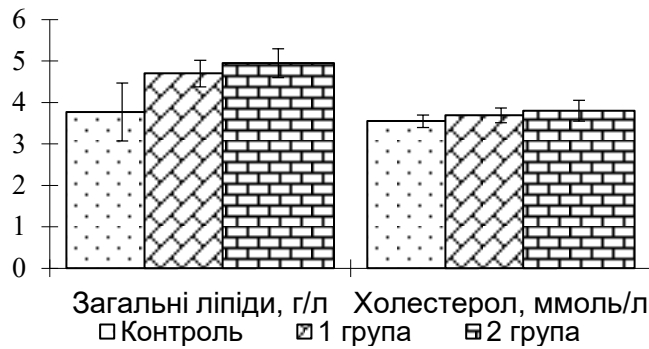


Рис. 1. Вміст загальних ліпідів та холестеролу у сироватці крові курчат-бройлерів за додавання наночастинок діоксиду церію ( $M \pm m$ ;  $n=5$ ).

Так, у разі введення наночастинок діоксиду церію впродовж 14-ти діб із семидобовою перервою вміст загальних ліпідів збільшився на 24,6 %, а у разі 14-денної перерви – на 31,3 %. Недостовірність змін обумовлена досить широкими коливаннями значень показників у контрольній групі птиці.

При дослідженні вмісту загального білка вірогідних відмінностей між групами не виявлено, проте спостерігалось достовірне підвищення вмісту

альбумінів у крові бройлерів дослідних груп – у першій групі на 16 %, у другій – на 22 %. Щодо вмісту сечової кислоти, то у дослідних групах цей вміст був менший і становив відповідно 63 % та 67 % від контролю (рис.2). Тобто можна констатувати, що у разі введення до організму птиці наночастинок діоксиду церію спостерігалася активація білкового обміну, що сприяло асиміляційним процесам та зменшенню кількості продуктів катаболізму.

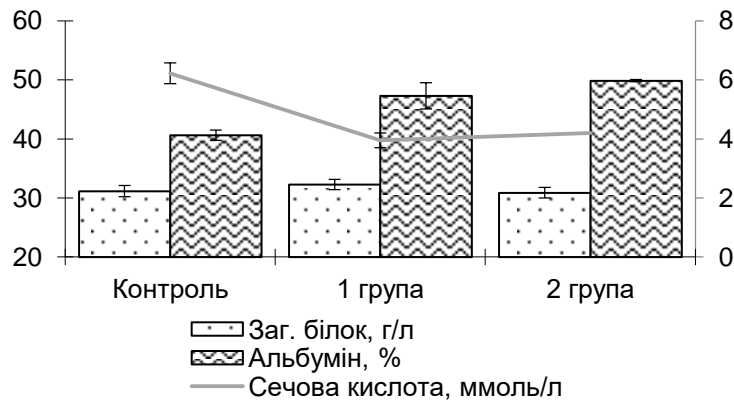


Рис. 2. Вміст загальних білків, альбуміну та сечової кислоти у сироватці крові курчат-бройлерів за додавання наночастинок діоксиду церію ( $M \pm m$ ;  $n=5$ ).

В клінічних дослідженнях, у якості маркерних ензимів визначають активність трансаміназ, зокрема, аланін- та аспаратамінотрансфераз, які характеризують ступінь пошкодження печінки. Виявлено, що у птиці 2-ї дослідної групи спостерігалось

зниження активності АсАТ у сироватці крові (рис. 3). Така зміна активності амінотрансфераз обумовлена певною гепатопротекторною дією наночастинок діоксиду церію, що встановлено в інших дослідженнях (Sarnatskaya et al., 2020).

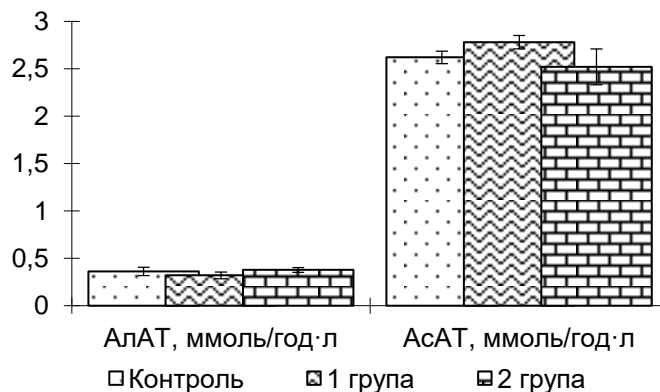


Рис. 3. Активність трансаміназ сироватки крові курчат-бройлерів за додавання наночастинок діоксиду церію ( $M \pm m$ ;  $n=5$ ).

У результаті проведених досліджень встановлено збільшення співвідношення Кальцію до Фосфору, що дає можливість стверджувати про

позитивний вплив наночастинок діоксиду церію на мінеральний обмін в організмі птиці (рис. 4).

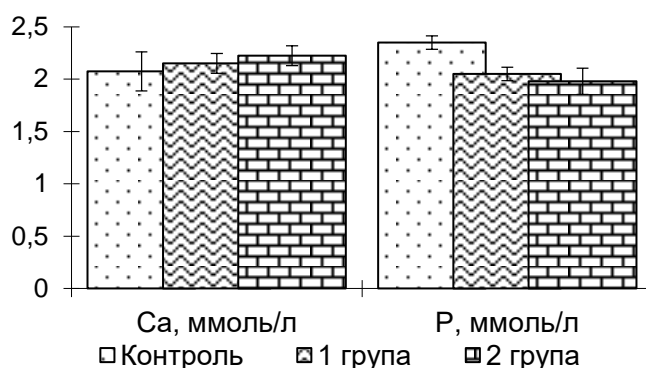


Рис. 4. Вміст Кальцію та Фосфору у сироватці крові курчат-бройлерів за додавання наночастинок діоксиду церію ( $M \pm m$ ;  $n=5$ ).

Введення препарату до раціону бройлерів з добового до 58-добового віку з різними інтервалами забезпечує тенденцію до стабільного збільшення інтенсивності їх росту, тоді як введення добавки з інтервалом 14 днів вірогідно ( $p < 0,05$ ) вплинуло на приріст маси тіла.

Біохімічні показники крові відображають метаболічні процеси, а також характеризують вплив на організм кормових добавок, антиоксидантів та інших біологічно активних речовин (Shcherbakov, Zholobak, & Ivanov, 2020).

#### Висновки

Експериментально встановлено позитивну дію наночастинок діоксиду церію на продуктивність курчат-бройлерів. Доведено, що введення дослідженої добавки з добового віку з різними інтервалами забезпечує тенденцію до стабільного збільшення інтенсивності їх росту у період випоювання, тоді як введення добавки з інтервалом 14 днів вірогідно вплинуло на приріст маси тіла. Виявлені зміни обумовлені гепатопротекторною дією наночастинок церію, яка виражалася у активації білкового та ліпідного обмінів.

*Перспективи подальших досліджень.* У зв'язку з жорсткими вимогами Євросоюзу із заборони використання антибіотиків при вирощуванні птиці і одержання продукції птахівництва, особливої уваги, як альтернатива антибіотикам, заслуговують інші промотори росту, зокрема сполуки Церію. У подальших дослідженнях доцільно вивчити вплив добавки наночастинок діоксиду церію на якість продукції птахівництва.

#### References

Abbas, F., Jan, T., Iqbal, J., & Naqvi, M. S. H. (2015). Fe doping induced enhancement in room temperature ferromagnetism and selective cytotoxicity of CeO<sub>2</sub> nanoparticles. *Current Applied Physics*, 15(11), 1428–1434. DOI: [10.1016/j.cap.2015.08.007](https://doi.org/10.1016/j.cap.2015.08.007)

Aneggi, E., de Leitenburg, C., Boaro, M., Fornasiero, P., & Trovarelli, A. (2020). Catalytic applications of cerium dioxide. In *Cerium Oxide (CeO<sub>2</sub>): Synthesis, Properties and Applications* (pp. 45–108). DOI: [10.1016/B978-0-12-815661-2.00003-7](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815661-2.00003-7)

Bityutskyy, V. S., Tsekhmistrenko, O. S., Tsekhmistrenko, S. I., Spyvack, M. Y., & Shadura, U. M. (2017). Perspectives of cerium nanoparticles use in

agriculture. *The Animal Biology*, 19 (3), 9–17. DOI: [10.15407/animbiol19.03.009](https://doi.org/10.15407/animbiol19.03.009)

Burello, E., & Worth, A. P. (2011). A theoretical framework for predicting the oxidative stress potential of oxide nanoparticles. *Nanotoxicology*, 5(2), 228–235. DOI: [10.3109/17435390.2010.502980](https://doi.org/10.3109/17435390.2010.502980)

Cassee, F. R., Van Balen, E. C., Singh, C., Green, D., Muijser, H., Weinstein, J., & Dreher, K. (2011). Exposure, health and ecological effects review of engineered nanoscale cerium and cerium oxide associated with its use as a fuel additive. *Critical reviews in toxicology*, 41(3), 213–229. DOI: [10.3109/10408444.2010.529105](https://doi.org/10.3109/10408444.2010.529105)

Damle, M. A., Jakhade, A. P., & Chikate, R. C. (2019). Modulating Pro-and Antioxidant Activities of Nanoengineered Cerium Dioxide Nanoparticles against *Escherichia coli*. *ACS Omega*, 4(2), 3761–3771. DOI: [10.1021/acsomega.8b03109](https://doi.org/10.1021/acsomega.8b03109)

Estevez, A. Y., Ganesana, M., Trentini, J. F., Olson, J. E., Li, G., Boateng, Y. O., Lipps, J. M., Yablonski, S. E. R., & Erlichman, J. S. (2019). Antioxidant Enzyme-Mimetic Activity and Neuroprotective Effects of Cerium Oxide Nanoparticles Stabilized with Various Ratios of Citric Acid and EDTA. *Biomolecules*, 9(10), 562. DOI: [10.3390/biom9100562](https://doi.org/10.3390/biom9100562)

Gunawan, C., Lord, M. S., Lovell, E., Wong, R. J., Jung, M. S., Mann, R., & Amal, R. (2019). Oxygen-vacancy engineering of cerium-oxide nanoparticles for antioxidant activity. *ACS omega*, 4(5), 9473–9479. DOI: [10.1021/acsomega.9b00521](https://doi.org/10.1021/acsomega.9b00521)

Javadi, F., Yazdi, M. E. T., Baghani, M., & Es-haghi, A. (2019). Biosynthesis, characterization of cerium oxide nanoparticles using *Ceratonia siliqua* and evaluation of antioxidant and cytotoxicity activities. *Materials Research Express*, 6(6), 065408. DOI: [10.1088/2053-1591/ab08ff](https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab08ff)

Karakoti, A. S., Munusamy, P., Hostetler, K., Kodali, V., Kuchibhatla, S., Orr, G., Pounds, J. G., J. G. Teeguarden, J. G., Thrall, B. D., & Baer, D. R. (2012). Preparation and characterization challenges to understanding environmental and biological impacts of ceria nanoparticles. *Surface and Interface Analysis*, 44(8), 882–889. DOI: [10.1002/sia.5006](https://doi.org/10.1002/sia.5006)

Kobyliak, N., Virchenko, O., Falalyeyeva, T., Kondro, M., Beregova, T., Bodnar, P., Shcherbakov, R., Bubnov, M., Caprnda, D., & Sabo, J. (2017). Cerium dioxide nanoparticles possess anti-inflammatory properties

- in the conditions of the obesity-associated NAFLD in rats. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 90, 608–614. DOI:[10.1016/j.biopha.2017.03.099](https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.03.099)
- Korsvik, C., Patil, S., Seal, S., & Self, W. T. (2007). Superoxide dismutase mimetic properties exhibited by vacancy engineered ceria nanoparticles. *Chemical communications*, (10), 1056–1058. DOI: [10.1039/B615134E](https://doi.org/10.1039/B615134E)
- Parra-Robert, M., Casals, E., Massana, N., Zeng, M., Perramón, M., Fernández-Varo, G., Morales-Ruiz, M., Puentes, V., & Casals, G. (2019). Beyond the Scavenging of Reactive Oxygen Species (ROS): Direct effect of cerium oxide nanoparticles in reducing fatty acids content in an In Vitro Model of Hepatocellular Steatosis. *Biomolecules*, 9(9), 425. DOI:[10.3390/biom9090425](https://doi.org/10.3390/biom9090425)
- Roudbaneh, S. Z. K., Kahbasi, S., Sohrabi, M. J., Hasan, A., Salihi, A., Mirzaie, A., Niyazmand, A., & Vaghar-Lahijani, G. (2019). Albumin binding, antioxidant and antibacterial effects of cerium oxide nanoparticles. *Journal of Molecular Liquids*, 296, 111839. DOI: [10.1016/j.molliq.2019.111839](https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111839)
- Santos, C. A., Ingle, A. P., & Rai, M. (2020). The emerging role of metallic nanoparticles in food. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(6), 2373–2383. DOI:[10.1007/s00253-020-10372-x](https://doi.org/10.1007/s00253-020-10372-x)
- Sarnatskaya, V., Shlapa, Y., Yushko, L., Shton, I., Solopan, S., Ostrovska, G., Kalachniuk, L., & Khudenko, N. (2020). Biological activity of cerium dioxide nanoparticles. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 108(8), 1703–1712. DOI: [10.1002/jbm.a.36936](https://doi.org/10.1002/jbm.a.36936)
- Shcherbakov, A. B., Zholobak, N. M., & Ivanov, V. K. (2020). Biological, biomedical and pharmaceutical applications of cerium oxide. In *Cerium Oxide (CeO<sub>2</sub>): Synthesis, Properties and Applications*, 279–358. DOI: [10.1016/B978-0-12-815661-2.00008-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815661-2.00008-6)
- Tsekhmistrenko, O. S., Tsekhmistrenko, S. I., Bityutskyy, V. S., Melnichenko, O. M., & Oleshko, O. A. (2018). Biomimetic and antioxidant activity of nanocrystalline cerium dioxide. *World of Medicine and Biology*, 14(63), 196–201. DOI:[10.267254/2079-8334-2018-1-63-196-201](https://doi.org/10.267254/2079-8334-2018-1-63-196-201)
- Tsekhmistrenko, O., Bityutskyy, V., Tsekhmistrenko, S., Melnichenko, O., Tymoshok, N., & Spivak, M. (2019). Use of nanoparticles of metals and non-metals in poultry farming. *Animal Husbandry Products Production and Processing*, 2, 113–130. DOI:[10.33245/2310-9289-2019-150-2-113-130](https://doi.org/10.33245/2310-9289-2019-150-2-113-130)
- Tsekhmistrenko, S. I., Bityutskyy, V. S., Tsekhmistrenko, O. S., Polishchuk, V. M., Polishchuk, S. A., Ponomarenko, N. V., Melnychenko, Y.O., & Spivak, M. Y. (2018). Enzyme-like activity of nanomaterials. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 9 (3), 469–476. DOI: [10.15421/021870](https://doi.org/10.15421/021870)
- Tyrpekl, V., Markova, P., Dopita, M., & Vacca, M. A. (2019). Cerium Oxalate Morphotypes: Synthesis and Conversion into Nanocrystalline Oxide. *Inorganic chemistry*, 58(15), 10111–10118. DOI: [10.1021/acs.inorgchem.9b01250](https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.9b01250)