

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-a10311

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

UDC 637.4:628.161.2

## Application of aqueous ozone solution in industrial conditions for egg products technology

Z. G. Sverhun<sup>1</sup>, M. D. Kukhtyn<sup>2</sup>, Y. V. Horiuk<sup>1✉</sup>, V. Z. Salata<sup>3</sup>, Yu. B. Perkiy<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Podillia State University, Kamianets-Podilskyi, Ukraine

<sup>2</sup>Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine

<sup>3</sup>Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies, Lviv, Ukraine

<sup>4</sup>Ternopil research station of the Institute of Veterinary Medicine of the National Academy of Sciences, Ternopil, Ukraine

### Article info

Received 19.06.2025

Received in revised form

21.07.2025

Accepted 22.07.2025

**Sverhun, Z. G., Kukhtyn, M. D., Horiuk, Y. V., Salata, V. Z., & Perkiy, Yu. B. (2025). Application of aqueous ozone solution in industrial conditions for egg products technology. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural sciences, 27(103), 97–103. doi: 10.32718/nvlvet-a10311**

Higher Educational Institution  
“Podillia State University”  
Kamianets-Podilskyi,  
Shevchenko Str., 12, Kamianets-  
Podilskyi, 32316, Ukraine.  
Tel.: +38-097-661-79-64  
E-mail: goruky@ukr.net

Ternopil Ivan Puluj National  
Technical University,  
Ruska Str., 56, Ternopil,  
46001, Ukraine.

Stepan Gzhytskyi National  
University of Veterinary  
Medicine and Biotechnologies  
Lviv, Pekarska Str., 50, Lviv,  
79010, Ukraine.

Ternopil research station of the  
Institute of Veterinary Medicine of  
the National Academy of Sciences,  
Trolleybus St., 12, Ternopil,  
46011, Ukraine.

Chicken eggs are one of the staple food products, providing the human body with high-quality proteins, lipids, vitamins, and minerals. However, the eggshell surface often becomes a site of accumulation for mesophilic aerobic microorganisms (MAFAnM) and coliform bacteria (BGKP), creating risks of microbial contamination both for eggs themselves and for processed products. Traditional disinfection methods (washing, chemical disinfectants, ultraviolet treatment) have several limitations; therefore, the use of aqueous ozone, characterized by its strong oxidizing capacity and the absence of toxic residues, is considered a promising alternative. The aim of this study was to determine the effectiveness of aqueous ozone for sanitizing chicken eggs with different levels of shell contamination under industrial poultry farm conditions and to assess the microbiological quality of the produced egg melange. Eggs from three groups (clean, conditionally clean, and contaminated) were used in the experiment. After standard washing, they were disinfected with aqueous ozone at concentrations of 1.5 and 2.3 mg/L for 3 minutes. The levels of MAFAnM and BGKP on the shell and the overall microbiological quality of the melange were evaluated. It was established that treatment with ozone at 1.5 mg/L ensured complete inactivation of mesophilic microflora on clean and conditionally clean eggs, as well as a significant reduction in contamination on dirty samples (residual level –  $17.7 \pm 1.2$  CFU/cm<sup>2</sup>). Application of a higher concentration (2.3 mg/L) allowed complete disinfection of all groups of eggs. Regarding BGKP, it was found that washing followed by ozone disinfection significantly reduced bacterial titers, ensuring compliance with established standards. The egg melange produced from eggs treated with aqueous ozone at 1.5 mg/L contained MAFAnM in the range of  $8.5–10.7 \times 10^3$  CFU/g, which is much lower than the maximum permissible level ( $\leq 500,000$  CFU/g). This indicates high microbiological stability of the product and suitability of the technology for industrial application. Thus, the use of aqueous ozone is an effective and safe method for disinfecting chicken eggs, allowing a substantial reduction in shell contamination and ensuring high quality of egg products without negative effects on their organoleptic properties. The technology has strong potential for large-scale industrial implementation, although further studies are needed to assess the impact of higher ozone concentrations on the physicochemical characteristics of products and the economic feasibility of its application in production chains.

**Keywords:** aqueous ozone, egg disinfection, egg products, melange, egg safety.

## Застосування водного розчину озону у виробничих умовах у технології яєчних продуктів

Ж. Г. Свергун<sup>1</sup>, М. Д. Кухтин<sup>2</sup>, Ю. В. Горюк<sup>1✉</sup>, В. З. Салата<sup>3</sup>, Ю. Б. Перкії<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Подільський державний університет, м. Кам'янець-Подільський, Україна

<sup>2</sup>Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, м. Тернопіль, Україна

<sup>3</sup>Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, м. Львів, Україна

<sup>4</sup>Тернопільська дослідна станція Інституту ветеринарної медицини НААН, м. Тернопіль, Україна

Курачі яйця є одним із базових продуктів харчування, що забезпечують організм людини високоякісними білками, ліпідами, вітамінами та мінералами. Разом із тим поверхня шкарлупи часто стає місцем накопичення мезофільної аеробної мікрофлори (МАФАНМ) та бактерій групи кишкової палички (БГКП), що створює ризики мікробного обсіменіння як самих яєць, так і продуктів їх переробки. Традиційні методи знезараження (миття, хімічні дезінфектанти, ультрафіолетове опромінення) мають низку обмежень, тому перспективним напрямом вважається застосування озону у водній формі, який характеризується високою окиснювальною здатністю та відсутністю токсичних залишків. Метою дослідження було визначити ефективність водного озону для санітарної обробки курячих яєць із різним ступенем забруднення шкарлупи у виробничих умовах птахофабрики та оцінити мікробіологічну якість виготовленого меланжу. Для експерименту використовували яйця трьох груп (чисті, умовно-чисті та забруднені), які після стандартного миття піддавали дезінфекції водним озоном у концентрації 1,5 та 2,3 мг/л з експозицією 3 хв. Оцінювали вміст МАФАНМ та БГКП на шкарлупі, а також загальну мікробіологічну якість меланжу. Встановлено, що використання озону у концентрації 1,5 мг/л забезпечувало повне інактивування мезофільної мікробіоти на чистих та умовно-чистих яйцях, а також суттєве зниження контамінації на забруднених зразках (залишковий рівень –  $17,7 \pm 1,2$  КУО/см<sup>2</sup>). Застосування вищої концентрації (2,3 мг/л) дозволяло досягти повного знезараження всіх груп зразків. За показником БГКП встановлено, що миття з подальшою озонною дезінфекцією значно знижувало титр бактерій, забезпечуючи відповідність вимогам стандартів. Вироблений меланж, отриманий із яєць після обробки озонаною водою у концентрації 1,5 мг/л, мав кількість МАФАНМ у межах  $8,5-10,7 \times 10^3$  КУО/г, що значно нижче за гранично допустимий рівень ( $\leq 500$  тис. КУО/г). Це свідчить про високу мікробіологічну стійкість продукту та придатність технології до промислового застосування. Таким чином, використання водної форми озону є ефективним та безпечним методом дезінфекції курячих яєць, який дозволяє суттєво знизити бактеріальне обсіменіння шкарлупи й забезпечити високу якість яєчних продуктів без негативного впливу на їхні органолептичні властивості. Технологія має потенціал для масштабного впровадження у виробництво, хоча потребує подальшого дослідження впливу підвищених концентрацій озону на фізико-хімічні характеристики продуктів та економічної доцільності застосування у промислових ланцюгах.

**Ключові слова:** водна форма озону, дезінфекція яєць, яєчні продукти, меланж, безпечність яєць.

### Вступ

Курачі яйця є важливим джерелом високоякісного білка, ліпідів, вітамінів та мінералів у раціоні людини. Проте поверхня яєць – шкарлупа часто служить місцем накопичення мікробних контамінантів, зокрема мезофільної аеробної мікрофлори (МАФАНМ) та бактерій групи кишкової палички (БГКП), що створює ризик як для свіжих яєць, так і для продуктів переробки (меланж, яєчні суміші) (Gole et al., 2014; Eddin et al., 2019; Petrovič et al., 2024). Забруднення шкарлупи інтенсивно корелює з умовами утримання птиці, віком та породою курей, характером годівлі, навколишнім середовищем та обробкою яєць у виробничих ланцюгах (Nistor et al., 2015; Kukhtyn et al., 2024). Дослідження показують, що навіть після миття чи простого очищення залишкова бактеріальна популяція може перевищувати допустимі нормативи, особливо у випадку видимих органічних забруднень шкарлупи (Olsen et al., 2017; McWhorter & Chousalkar, 2019). У світовій практиці для зниження бактеріального обсіменіння шкарлупи застосовують різні технології: хімічні дезінфектанти, ультрафіолетове опромінення, озон (у газовій чи водній формі), мікробульбашкову обробку тощо (Zeweil et al., 2015; Yüceer et al., 2016; Mahmoud et al., 2022) Озон виділяється як сильний окисник, із широким спектром дії проти грамположитивних та грамнегативних бактерій, вірусів, грибів, відносно швидким розпадом до кисню, що

зменшує ризик залишкової токсичності (Mocherniuk et al., 2023; Epelle et al., 2022).

Огляд літератури вказує, що використання озону у водній формі або у сполученні з іншими методами (наприклад, з УФ-опроміненням) може суттєво знижувати рівень *Salmonella* та інших патогенів на поверхні шкарлупи, часто на 3-6 логарифмічних одиниць, залежно від концентрації, часу дії та умов обробки (Fuhrmann et al., 2010; Epelle et al., 2023; Lin et al., 2023). Проте, існують прогалини: по-перше, багато досліджень проводяться в лабораторних умовах, із штучним інкулюванням; по-друге, мало робіт, які перевіряють ефективність озону саме у виробничих умовах на реальних партіях яєць із різним ступенем видимого забруднення; по-третє, питання оптимальних концентрацій із експозицією, які б забезпечували нормативні показники (затверджені в ДСТУ) і не порушували якість продукту переробки.

Наші попередні дослідження (Sverhun & Horiuk, 2025; Sverhun & Kukhtyn, 2025) виявили високу бактерицидну дію водної форми озону на музейних штаммах мікроорганізмів у лабораторних умовах. Зокрема, бактерицидна дія водної форми озону на штами умовно-патогенних бактерій проявлялася за концентрації (0,8–1,0 мг/л) протягом експозиції 12–15 хв. Для знищення клітин *E. coli*, *P. aeruginosa* та *C. albicans* протягом 1 хв необхідно, щоб концентрація озону становила 1,23 мг/л, а для *S. aureus* і *B. subtilis* – 1,53 мг/л. За органічного забруднення підвищується бактерици-

дна концентрація водної форми озону, зокрема протягом 3 хв експозиції, в середньому в 1,6 раза, а за експозиції протягом 6 хв, приблизно 1,2 раза.

Таким чином виробнича апробація водної форми озону щодо дезінфекції яєць та вплив їх гігієнічного стану на мікробіоту яєчного меланжу дозволить виявити ефективність в умовах виробництва.

### Мета дослідження

Метою дослідження було визначити ефективність водної форми озону для санітарної обробки курячих яєць із різним ступенем забруднення шкарлупи з подальшою оцінкою мікробіологічної якості виготовленого меланжу відповідно до вимог нормативів ДСТУ.

### Матеріали і методи досліджень

Для продукування водної форми озону використовували озоногенератор (Wagrain, Китай) за температури навколишнього середовища від 15 до 20 °С. Концентрацію розчиненого водного озону вимірювали йодометричним методом, для цього в конічну колбу ємністю 250 мл додали 0,071 г  $KIO_3$  і 1,5 г KI та 50 мл води. Після перемішування інгредієнтів додавали 10 мл оцтової кислоти. Титрування проводили 0,1 моль/л тіосульфату натрію до майже зникнення жовтого розчину (Patil et al., 2009; Feng et al., 2018).

У виробничих умовах на птахофабриці було проведено експеримент із трьома групами яєць (чисті, умовно-чисті, забруднені за органічним матеріалом) з обробкою у воді і дезінфекцією водним озоном (1,5 та 2,3 мг/л, експозиція 3 хв) після миття. Для цих яєць визначали залишкову кількість МАФАНМ та БГКП на шкарлупі до та після обробки, а також вміст МАФАНМ у готовому яєчному продукті (меланж).

Уміст МАФАНМ визначали класичним методом шляхом посіву змивів (продукту) та приготовлених десятикратних розведень у чашки Петрі, які заливали МПА з наступним інкубуванням у термостаті і підрахунком утворених колоній. БГКП визначали шляхом посіву змивів (продукту) та приготовлених десятикратних розведень у середовище КОДА та Кеслер.

Усі дослідження проводили у трьохразовій повторності, а статистичну обробку отриманих результатів дослідження проводили з використанням комп'ютерної програми Statistica 10. Вірогідними вважали дані за  $P < 0,05$ .

### Результати

Яйця курячі, які використовуються для промислового переробки на яєчні продукти, або для безпосереднього харчування населенням в Україні чи призначені на експорт, відповідно до ДСТУ 5028:2008 Яйця курячі харчові, повинні відповідати таким мікробіологічним нормативам: за показником МАФАНМ для дієтичних, "extra" та класу А від  $5 \times 10^2$  до  $5 \times 10^3$  КУО/см<sup>2</sup>, а для столових, охолоджених та класу В від  $5 \times 10^4$  до  $5 \times 10^5$  КУО/см<sup>2</sup>. За обсіменінням БГКП, не дозволено в 0,1 г для дієтичних, «extra» та класу А та від 0,01 до 0,1 г – для столових, охолоджених та класу В. Для можливого забезпечення означених вище мікробіологічних показників під час застосування для дезінфекції курячої шкарлупи водної форми озону було проведено дослідження у виробничих умовах на птахофабриці. Для цього відбирали курячі яйця та оцінювали їх за мірою забруднення шкарлупи фекаліями на три групи: чисті – шкарлупа без видимих ознак забруднення поверхні; умовно-чисті – поверхня курячої шкарлупи має видимі сліди органічного забруднення; забруднені – на яєчній шкарлупі наявні видимі сліди органічного забруднення сумарно приблизно до 30 % від усієї шкарлупи. Розділені таким чином на три групи курячі яйця замочували у трьох різних посудинах з чистою водопровідною водою на п'ять хвилин, потім мили волоссяними щітками, ополіскували водою й занурювали у розчин водного озону за концентрації 1,5 та 2,3 мг/л з експозицією протягом трьох хвилин. Після висушування з шкарлупи яєць відбирали змиви стерильним тампоном з площі  $2 \times 2$  см<sup>2</sup> та висівали на живильне середовище – для визначення загального бактеріального забруднення та титру БГКП. Результати значень кількості МАФАНМ з поверхні яєць трьох груп після дезінфекції озоном наведено на рис. 1.

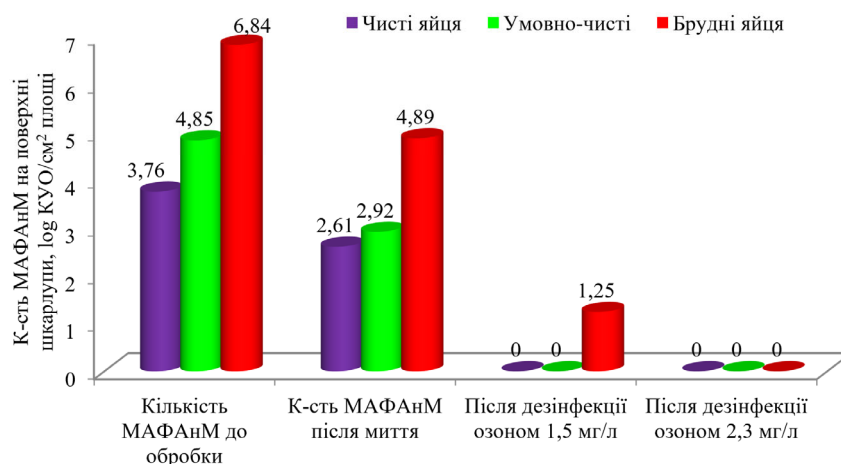


Рис. 1. Показники вмісту МАФАНМ шкарлупи курячих яєць до та після миття і дезінфекції водним озоном, n = 25

Встановлено (рис. 1), що запропонована технологія санітарної обробки шкаралупи курячих яєць із використанням водного озону у виробничих умовах повністю інактивувала мезофільну мікробіоту чистих й умовно-чистих яєць за концентрації 1,5 мг/л. Водночас на поверхні яєць, які класифікувалися нами як брудні до санітарної обробки, після знезараження озоном у концентрації 1,5 мг/л, кількість МАФАНМ виділялася в дуже не значній кількості  $17,7 \pm 1,2$  КУО/см<sup>2</sup> площі (1,25 log). Використання водного озону у більшій (2,3 мг/л) концентрації забезпечувало

повністю знезараження поверхні яєць у всіх трьох групах, оскільки МАФАНМ не виділялися.

Основним мікробіологічним показником (критерієм) гігієни харчового продукту є кількість БГКП, до того ж цю санатрон-показову групу бактерій використовують для оцінки ефективності дезінфекції. Тому нами було визначено титр БГКП у змивах з шкаралупи курячих яєць трьох груп за використання запропонованої санітарної обробки водним розчином озону. Результати досліджень кількості БГКП на шкаралупі яєць наведено на рис. 2.

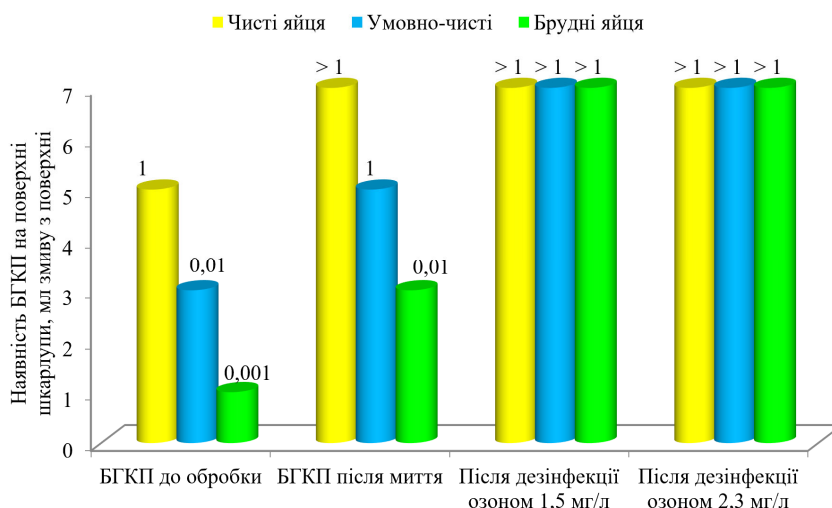


Рис. 2. Показники БГКП шкаралупи курячих яєць до та після миття і дезінфекції водним озоном, n=25

Як бачимо з рис. 2 початкове обсіменіння БГКП шкаралупи курячих яєць корелювало із мірою органічного забруднення поверхні, у третій групі – брудних яєць титр БГКП був найнижчий та становив 0,001 см<sup>3</sup> змиву, а у першій групі – чистих яєць – 1 см<sup>3</sup> змиву. Застосування простого миття курячих яєць у водопровідній воді за допомогою волосяних щіток також вплинуло на кількість БГКП. Оскільки їх вміст зменшився на шкаралупі приблизно на один порядок, та зі поверхні яєць, які класифікувалися як чисті, БГКП з 1 см<sup>3</sup> змиву не виділялися. Після дезінфекції розчином озonom за концентрації 1,5 та 2,3 мг/л титр БГКП становив більше одиниці, що вказує на добру дію озону у зазначених концентраціях на цю групу бактерій.

Отже, підсумовуючи цей дослід відзначаємо, що знезараження яєчної шкаралупи у виробничих умовах за допомогою запропонованого режиму із застосуван-

ням водної форми озону сприяє знищенню МАФАНМ та БГКП на поверхні яєць до показників, які відповідають вимогам стандарту, що не буде впливати на збільшення загального вмісту мікроорганізмів за технології виробництва яєчних продуктів.

Із курячих яєць, які піддавалися санітарній обробці за вище наведеного режиму із використанням водної форми озону нами було виготовлено у виробничих умовах яєчний продукт – меланж. ДСТУ 8719:2017 Продукти яєчні передбачає оцінку яєчних продуктів – меланжу за такими мікробіологічними показниками: кількість МАФАНМ не більше 500 тис. КУО/г; БГКП не мають ізолюватися з 0,1 г; бактерії роду протея та коагулазопозитивні стафілококи не мають бути в 1 г; патогенні мікроорганізми із роду сальмонела не мають ізолюватися з 25 г продукту. Результати досліджень щодо МАФАНМ у меланжі наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Кількість МАФАНМ на шкаралупі курячих яєць та у вироблених яєчних продуктах – меланжі за умови миття і дезінфекції водною формою озону у концентрації 1,5 мг/л та експозицією 3 хв, КУО (M ± m, n = 75)

Номер партії та чистота шкаралупи яєць	Кількість МАФАНМ на шкаралупі курячих яєць до обробки, КУО/см <sup>2</sup> площі	Кількість МАФАНМ на шкаралупі курячих яєць після миття і дезінфекції, КУО/см <sup>2</sup> площі	Кількість МАФАНМ у меланжі, КУО/г
1) чиста	$7,3 \pm 0,3 \times 10^3$	0	$8,5 \pm 0,3 \times 10^3$
2) умовно-чиста	$9,5 \pm 0,4 \times 10^4$	0	$10,1 \pm 0,5 \times 10^3$
3) брудна	$5,2 \pm 0,2 \times 10^6$	0	$10,7 \pm 0,3 \times 10^3$

З досліджень (табл. 1) спостерігаємо, що незалежно від початкового вмісту мезофільної мікрофлори на шкарлупі курячих яєць запроваджена санітарна обробка із використанням водної форми озону у концентрації 1,5 мг/л та експозицією 3 хв забезпечувала отримання яєчного меланжу високої мікробіологічної якості. Оскільки кількість МАФАНМ у всіх трьох партіях меланжу становила в межах 8,5–10,7 тис. КУО/г, що вважається дуже низьким вмістом, так як допустимий норматив становить до 500 тис. КУО/г продукту. Тобто такий яєчний меланж має значний запас мікробіологічної стійкості за вмістом МАФАНМ до тривалого зберігання.

### Обговорення

Протягом останнього десятиліття наукова спільнота спостерігала значний прогрес у дослідженнях безпечності яєць, таких як зв'язок між якістю яєць та їхньою безпечністю (Song et al., 2015; Li et al., 2025). Оскільки, яйця та яєчні продукти часто стають причиною інфікування споживачів небезпечними збудниками, сальмонелою, протеем, кишковою паличкою, тощо (Eddin et al., 2019; Archer et al., 2023). Відповідно джерелом цих небезпечних збудників, в основному є поверхня яєчної шкарлупи (Petrovič et al., 2024; Kukhtyn et al., 2024).

Встановлено що занурення яєць в озоновану воду концентрацією 1,5 мг/л (експозиція 3 хв) повністю інактивує МАФАНМ на чистих й умовно-чистих яйцях, а за вмісту озону 2,3 мг/л відбувалося повне інактивування бактерій на всіх поверхнях. Такі дані узгоджуються з результатами (Lin et al., 2023), що обробка яєць водою з озонними мікробульбашками є перспективною технологією для підвищення безпечності харчових продуктів, оскільки вона ефективно інактивує *Salmonella Enteritidis*, не погіршуючи якісних характеристик яєць. При чому ступінь інактивації залежить від концентрації й часу обробки.

Нами зафіксовано, що за дезінфекції озонною водою у концентрації 1,5 мг/л для “брудних” яєць залишається незначна кількість МАФАНМ, тоді як застосування води з озномом 2,3 мг/л забезпечує повне очищення поверхні. У літературі відзначається, що наявність органічного забруднення знижує ефективність будь-якого окислювального дезінфектанта (включно з озномом), оскільки органіка споживає окиснювачі й захищає мікроорганізми, тому для сильно забруднених поверхонь потрібні більші концентрації/тривалість або попереднє механічне очищення (Xue et al., 2023).

У деяких дослідженнях показано, що занурення яєць в озоновану воду давало редукцію патогенів у межах 1–3 log, що залежно від режиму (концентрації, експозиції, наявності мікроспінінгу чи мікробульбашок) (Rodriguez-Romo & Yousef, 2005; Fuhrmann et al., 2010; Epelle et al., 2023; Lin et al., 2023). Наші результати виявили суттєве зниження до невизначуваних величин МАФАНМ за концентрації озону 2,3 мг/л; а при 1,5 мг/л залишкова кількість бактерій була приблизно 1,25 log тільки для брудних поверхонь. Такі результати виглядають сумісними з опублікованими

величинами (Rodriguez-Romo & Yousef, 2005; Fuhrmann et al., 2010; Epelle et al., 2023; Lin et al., 2023), оскільки в умовах виробництва важко досягти завжди зниження МАФАНМ на 3–4 log для дуже забруднених зразків без попередніх посиленних механічних чи технологічних рішень.

Хоча значна кількість досліджень підтверджує ефективність озону щодо впливу на мікробіоту сировини чи продуктів (Sarron et al., 2021; Epelle et al., 2022; Mahmoud et al., 2022), частина досліджень (Yüceer et al., 2016) застерігає про можливі побічні ефекти при високих дозах або довгому впливі озону (зміни поверхні шкаралупи, зміни фізико-хімічних характеристик, пошкодження зародка для інкубаційних яєць). Тому для використання озону у харчових технологіях є важливе дотримання оптимального балансу: достатня біоцидна дія, але без негативного впливу на якість продукту. Наші результати щодо впливу на мікрофлору меланжу виявили вміст МАФАНМ 8,5–10,7×10<sup>3</sup> КУО/г, що значно нижче максимально граничної норми відповідно до ДСТУ. Це демонструє, що режим дезінфекції озномом у концентрації 1,5 мг/л протягом 3 хв є цілком безпечним і ефективним для виготовлення продукту.

Загалом підсумовуючи отримані результати відзначаємо актуальність і перспективність застосування запропонованої технології під час виробництва яєчних продуктів. Проте у подальшому необхідно отримати більше даних про вплив повторюваних циклів або підвищених концентрацій водної форми озону на органолептику та хімічні показники меланжу (окиснення жиру, вміст вітамінів). Варто провести економічну оцінку (витрати на генерацію озону, впровадження у конвеєр) та еколого-токсикологічні дослідження залишків чи побічних продуктів окиснення.

### Висновки

Режим санітарної обробки шкаралупи курячих яєць із використанням водного озону у виробничих умовах повністю інактивував мезофільну мікробіоту чистих й умовно-чистих яєць за концентрації 1,5 мг/л. Водночас на поверхні яєць, які класифікувалися нами як брудні до санітарної обробки, після знезараження озномом у концентрації 1,5 мг/л, кількість МАФАНМ становила 17,7 ± 1,2 КУО/см<sup>2</sup> площі. Використання водного озону у концентрації 2,3 мг/л забезпечувало повністю знезараження поверхні яєць у всіх трьох групах, оскільки МАФАНМ не виділялися.

Незалежно від початкового вмісту мезофільної мікрофлори на шкарлупі курячих яєць запроваджена санітарна обробка із використанням водної форми озону у концентрації 1,5 мг/л та експозицією 3 хв забезпечувала отримання яєчного меланжу високої мікробіологічної якості. Оскільки кількість МАФАНМ меланжу становила в межах 8,5 – 10,7 тис. КУО/г, що вважається дуже низьким вмістом, так як допустимий норматив становить до 500 тис. КУО/г продукту.

Перспективи подальших досліджень полягають у впровадженні визначених режимів деконтамінації поверхні курячих яєць у технології виробництва яєчних продуктів.

## Відомості про конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

## References

- Archer, E. W., Chisnall, T., Tano-Debrah, K., Card, R. M., Duodu, S., & Kunadu, A. P. (2023). Prevalence and genomic characterization of *Salmonella* isolates from commercial chicken eggs retailed in traditional markets in Ghana. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1283835. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1283835.
- Eddin, A. S., Ibrahim, S. A., & Tahergorabi, R. (2019). Egg quality and safety with an overview of edible coating application for egg preservation. *Food chemistry*, 296, 29–39. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.05.182.
- Epelle, E. I., Macfarlane, A., Cusack, M., Burns, A., Amaeze, N., Richardson, K., ... & Yaseen, M. (2022). Stabilisation of ozone in water for microbial disinfection. *Environments*, 9(4), 45. DOI: 10.3390/environments9040045.
- Epelle, E. I., Macfarlane, A., Cusack, M., Burns, A., Okolie, J. A., Vichare, P., ... & Yaseen, M. (2023). Ozone decontamination of medical and nonmedical devices: an assessment of design and implementation considerations. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 62(10), 4191–4209. DOI: 10.1021/acs.iecr.2c03754.
- Feng, L., Zhang, K., Gao, M., Shi, C., Ge, C., Qu, D., Zhu, J., Shi, Y., & Han, J. (2018). Inactivation of *Vibrio parahaemolyticus* by Aqueous Ozone. *Journal of microbiology and biotechnology*, 28(8), 1233–1246. DOI: 10.4014/jmb.1801.01056.
- Fuhrmann, H., Rupp, N., Büchner, A., & Braun, P. (2010). The effect of gaseous ozone treatment on egg components. *Journal of the science of food and agriculture*, 90(4), 593–598. DOI: 10.1002/jsfa.3853.
- Gole, V. C., Chousalkar, K. K., Roberts, J. R., Sexton, M., May, D., Tan, J., & Kiermeier, A. (2014). Effect of egg washing and correlation between eggshell characteristics and egg penetration by various *Salmonella* Typhimurium strains. *PLoS one*, 9(3), e90987. DOI: 10.1371/journal.pone.0090987.
- Kukhtyn, M., Sverhun, Z., Horiuk, Y., Salata, V., Laiter-Moskaliuk, S., Mocherniuk, M., Kladnytska, L., & Horiuk, V. (2024). The influence of different methods of decontamination of microbial biofilms formed on eggshells. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 18, 666–682. DOI: 10.5219/1981.
- Li, L., McWhorter, A., & Chousalkar, K. (2025). Ensuring egg safety: *Salmonella* survival, control, and virulence in the supply chain. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24(1), e70075. DOI: 10.1111/1541-4337.70075.
- Lin, C. M., Chen, S. Y., Lin, Y. T., Hsiao, C. P., Liu, C. T., Hazeena, S. H., ... & Hou, C. Y. (2023). Inactivating *Salmonella* Enteritidis on shell eggs by using ozone microbubble water. *International Journal of Food Microbiology*, 398, 110213. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110213.
- Mahmoud, B. Y., Semida, D. A., Elnesr, S. S., Elwan, H., & El-Full, E. A. (2022). Approaches of egg decontamination for sustainable food safety. *Sustainability*, 15(1), 464. DOI: 10.3390/su15010464.
- McWhorter, A. R., & Chousalkar, K. K. (2019). From hatch to egg grading: monitoring of *Salmonella* shedding in free-range egg production systems. *Veterinary research*, 50, 58. DOI: 10.1186/s13567-019-0677-4.
- Mocherniuk, M. M., Kukhtyn, M. D., Horiuk, Yu. V., & Danylkov, S. O. (2023). Efektyvnist zastosuvannia stabilizovanoho ozonu dlia sanatsii bioaeroliu ta poverkhon u klinikakh veterynarnoi medytsyny [The efficiency of using stabilized water ozone for bioerosol rehabilitation and surfaces in veterinary clinics]. *Podilian Bulletin Agriculture Engineering Economics*, 38, 203–209. DOI: 10.37406/2706-9052-2023-1.30 (in Ukrainian).
- Nistor, L. I., Duminičă, C. G., & Usturoi, M. G. (2015). Influence of rearing systems of laying hens on eggs microbiological indicators. *Lucrari Stiintifice-Universitatea de Stiinte Agricole si Medicina Veterinara, Seria Zootehnie*, 63, 118–121. URL: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20153273104>.
- Olsen, R., Kudirkiene, E., Thøfner, I., Pors, S., Karlskov-Mortensen, P., Li, L., ... & Christensen, J. (2017). Impact of egg disinfection of hatching eggs on the eggshell microbiome and bacterial load. *Poultry science*, 96(11), 3901–3911. DOI: 10.3382/ps/pex182.
- Patil, S., Cullen, P. J., Kelly, B., Frias, J. M., & Bourke, P. (2009). Extrinsic control parameters for ozone inactivation of *Escherichia coli* using a bubble column. *Journal of applied microbiology*, 107(3), 830–837. DOI: 10.1111/j.1365-2672.2009.04255.x.
- Petrovič, J., Mellen, M., Čmiková, N., Schwarzová, M., & Kačániová, M. (2024). Effects of laying hens housing system on eggs microbial contamination. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 18, 50–65. DOI: 10.5219/1938.
- Rodriguez-Romo, L. A., & Yousef, A. E. (2005). Inactivation of *Salmonella enterica* serovar Enteritidis on shell eggs by ozone and UV radiation. *Journal of Food Protection*, 68(4), 711–717. DOI: 10.4315/0362-028X-68.4.711.
- Sarron, E., Gadonna-Widehem, P., & Aussenac, T. (2021). Ozone treatments for preserving fresh vegetables quality: A critical review. *Foods*, 10(3), 605. DOI: 10.3390/foods10030605.
- Song, W. J., Shin, J. Y., Ryu, S., & Kang, D. H. (2015). Inactivation of *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella* Typhimurium and *Listeria monocytogenes* in apple juice at different pH levels by gaseous ozone treatment. *Journal of Applied Microbiology*, 119(2), 465–474. DOI: 10.1111/jam.12861.
- Sverhun, Z., & Horiuk, Y. (2025). Assessment of bactericidal action of aqueous ozone to disinfected the surface of eggs. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*, 27(102), 89–95. DOI: 10.32718/nvlvet-a10213.
- Sverhun, Z., & Kukhtyn, M. (2025). Assessment of bactericidal action of aqueous ozone disinfected the surface of eggs. *Podilian Bulletin: agriculture*,

- engineering, economics, 47, 132–140. DOI: 10.37406/2706-9052-2025-2.18.
- Xue, W., Macleod, J., & Blaxland, J. (2023). The use of ozone technology to control microorganism growth, enhance food safety and extend shelf life: A promising food decontamination technology. *Foods*, 12(4), 814. DOI: 10.3390/foods12040814.
- Yüceer, M., Aday, M. S., & Caner, C. (2016). Ozone treatment of shell eggs to preserve functional quality and enhance shelf life during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(8), 2755–2763. DOI: 10.1002/jsfa.7440.
- Zeweil, H. S., Rizk, R. E., Bekhet, G. M., & Ahmed, M. R. (2015). Comparing the effectiveness of egg disinfectants against bacteria and mitotic indices of developing chick embryos. *The Journal of Basic & Applied Zoology*, 70, 1–15. DOI: 10.1016/j.jobaz.2014.12.005.