

УДК 636.92.053.112.385.4

DOI: <https://doi.org/10.37617/2708-0617.2024.10.169-184>

**КЛІНІЧНІ ПАРАМЕТРИ ОРГАНІЗМУ КРОЛІВ ЗА УМОВ  
ТЕПЛОВОГО СТРЕСУ ТА ВПЛИВУ НАНОЧАСТИНОК ЦИНКУ,  
СЕЛЕНУ І ГЕРМАНІЮ ЦИТРАТІВ**

<sup>1</sup>Юзв'як М.О., аспірант,<sup>2</sup>Лесик Я.В. <sup>1,2</sup> д-р вет. наук, професор.

<sup>1</sup>Інститут біології тварин Національної академії аграрних наук  
України, м. Львів

<sup>2</sup>Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана  
Франка, м. Дрогобич, Україна,

e-mail: [maruk7991@gmail.com](mailto:maruk7991@gmail.com); e-mail: [lesykyv@gmail.com](mailto:lesykyv@gmail.com).

*Підвищені температури навколишнього середовища негативно впливають на терморегуляцію кролів. За умов підвищеної температури та вологості порушуються гомеостатичні механізми і негативно впливають на функціонування організму тварини, щовимагає проведення ефективних заходів для пом'якшення дії теплового стресу. Дослідження проведені на молодняку кролів-аналогів породи термонська біла від 35-ї до 78-ї доби життя у віварії Інституту біології тварин НААН. Кролів утримували в приміщенні віварію за підвищеної температури навколишнього середовища від 28,9 до 30 °С і відносної вологості від 78,1 до 87,4 %. Кролі I, II, III дослідних груп споживали той самий комбікорм і воду без обмежень, що й тварини контрольної груп, але протягом 24 годин отримували з водою: I дослідна група – цинку цитрат – 60 мг/л або 12 мг/кг маси тіла; II група – селену цитрат – 300 мкг/л або 60 мкг/кг маси тіла; III група – германію цитрат – 62,5 мкг/л або 12,5 мкг/кг маси тіла. Дослідження температури вуха, ректальної температури, частоти дихання та частоти серцевих скорочень проводили на 14-ту добу підготовчого періоду та 14-ту і 29-ту доби випоювання добавок у дослідному періоді за умов сильного теплового стресу. Метою роботи було визначити клінічні параметри організму кролів: частота дихання, частота серцевих скорочень, ректальна температура, температура вуха за умов теплового стресу та впливу наночастинок цинку, селену і германію цитрату. Температуру та вологість контролювали за допомогою термогігрометра з реєстрацією даних Trotec VL30. Вологість та температуру вимірювали «Аналізатором повітряного середовища електронний моноблоковий». Оцінку стану комфорту кролів оцінювали за допомогою температурно-вологісного індексу. Встановлено, що випоювання наночастинок цинку цитрату (60 мг/л) та селену цитрату (300 мкг/л) за умов*

сильного теплового стресу сприяло підвищенню частоти дихання на 12,05 % ( $P < 0,05$ ) та 16,47 % ( $P < 0,01$ ) на 29 добу дослідження. Зниження ректальної температури на 0,8°C було зафіксовано на 14 добу експерименту при вживанні цинку цитрату.

**Ключові слова:** кролі, тепловий стрес, температурно-вологісний індекс, частота дихання, температура вуха, частота серцевих скорочень, ректальна температура, терморегуляція, метаболізм, фізіологічні процеси.

**Актуальність.** Екстремальні зміни в погодних умовах, зокрема підвищення температури та вологості, є однією з найбільших загроз для кролівництва і негативно впливає на фізіологічний стан тварини. Кролі є гомеотермними тваринами, що підтримують стабільну внутрішню температуру для нормального функціонування організму. За умов теплового стресу тварини не здатні ефективно регулювати тепловий баланс в організмі через густий волосяний покрив та відсутність потових залоз на шкірі [1]. Нормальна температура тіла кролика коливається від 38,5 до 39,5°C, а індивідуальна різниця коливається від 0,5 до 1,2°C. Оптимальна температура для кроликів 15–25°C, оптимальна вологість 55 – 65%. Частота дихання – 35–60 вдихів за хвилину [2]. Пульс у дорослого кроля – 120–150 ударів за хвилину, у кроленят – 180 ударів за хвилину [3]. У спекотні періоди температура навколишнього середовища перевищує здатності до саморегуляції кролів. За таких умов кролі активно використовують різні механізми терморегуляції, зокрема змінюють позу тіла, збільшують частоту дихання і прискорюють кровообіг для полегшення тепловіддачі. Однак ці механізми можуть не бути ефективними за екстремальних температурних умов, що призводить до підвищення ректальної температури, зниження апетиту, депресії, серйозних захворювань та збільшення смертності поголів'я тварин [4]. Підвищена температура та вологість негативно впливають на кролів, знижуючи репродуктивну здатність, якість і кількість молока у кролематок. Спричиняє зниження апетиту, втрату ваги, погіршення загального стану тварини [5]. Таким чином, зміна клімату може значно вплинути на економічну ефективність кролівництва. Тому, для зменшення негативних наслідків високих температур довкілля науковці активно досліджують можливість використання мінеральних елементів, отриманих методами нанотехнологій, що дозволяє створювати нанорозмірні частинки солей макро- та мікроелементів. Наночастинки, на відміну від органічних та неорганічних сполук мають широкий спектр біологічної активності, високу поверхневу і каталітичну активність. Здатність до адсорбції та низький рівень токсичності робить їх ефективними в різних біологічних процесах [6]. Цинк стимулює ріст та розвиток організму завдяки активації механізмів синтезу білка, що сприяє

збільшенню м'язової маси та загальному росту. Є кофактором більше 300 ензимів, що приймають участь у біохімічних реакціях, процесах метаболізму протеїнів, вуглеводів, нуклеїнових кислот та антиоксидантного захисту [7]. Цинк активує ензими, що приймають участь у метаболізмі глюкози, зокрема глюкозо-6-фосфатдегідрогеназу [8]. Цей ензим є ключовим у процесі гліколізу, оскільки перетворює глюкозу в енергію у вигляді молекул АТФ. Цинк забезпечує стабільний рівень енергії в організмі, що є важливим для нормального функціонування органів і систем під час стресових умов [9]. Германій здатний поглинати вільні радикали та активувати антиоксидантну активність організму. Органічний германій зменшує переоксидне окиснення ліпідів, захищаючи клітинні мембрани від пошкоджень, а також знижує рівень перексидів ліпідів у плазмі, печінці та тканинах мозку [10, 11]. Селен є кофактором глутатіонпероксидази, тіоредоксинредуктаза та селеновмісних ензимів, що виконують важливі функції в антиоксидантному захисті організму. Завдяки своїм антиоксидантним властивостям захищає клітини від окисдатовного стресу, забезпечує функціонування репродуктивної системи, гормональний метаболізм та імунну відповідь [12].

**Мета роботи.** Визначити клінічні параметри організму кролів: частота дихання, частота серцевих скорочень, ректальна температура, температура вуха за умов теплового стресу та впливу наночастинок цинку, селену і германію цитрату.

**Матеріали та методи.** Дослідження проводили у віварії Інституту біології тварин НААН м. Львів. Дозвіл на проведення досліджень отримано від Комісії з біоетики Інституту біології тварин НААН м. Львова (протокол № 161 від 26.11.2024). Тварини утримували в приміщенні з регульованим мікрокліматом у сітчастих клітках розміром 50×120×30 см. Дослідження проводили на молодняку кролів-аналогів з 35 до 78 добового віку, породи термонська біла. Впродовж дослідного періоду в приміщенні протягом 4 години підвищували температуру за допомогою електричних регульованих нагрівачів, у межах від 28,9 до 30°C. Температуру в приміщенні контролювали за температурно-вологісним індексом (ТВІ). Тварин для дослідження відбирали у контрольну та I, II і III дослідні групи по 6 тварин, середньою масою тіла 1250±50 г. Кролів контрольної групи утримували на основному раціоні зі згодовування стандартного збалансованого гранульованого комбікорму і води без обмеження. Кролі I, II і III дослідних груп споживали, гранульований комбікорм, як в контролі, проте протягом 24 годин з водою отримували цитрати мікроелементів. I дослідна група – цинку цитрат – 60 мг Zn/л; II група – селену цитрат – 300 мкг Se/л; III група – германію цитрат – 62,5 мкг Ge/л. Розчини для дослідження, виготовленні ТОВ «Наноматеріали і нанотехнології» м. Київ (Патент № 38391) [13]. Дослідження зовнішнього

вигляду частинок металів виконувались на трансмісійному електронному мікроскопі JEM 100CX II. Усі маніпуляції з піддослідними тваринами проводили, відповідно до положень «Загальних етичних принципів експериментів на тваринах», ухваленим Першим Національним конгресом з біоетики (Київ, 2001) та правил «Європейської конвенції про захист хребетних тварин, які використовуються для експериментальних та інших наукових цілей» (Страсбург, 1986). Дослідження температури вуха, ректальної температури, частоти дихання та частоти серцевих скорочень проводили на 14-ту добу підготовчого періоду та 14-ту і 29-ту доби випоювання добавок у дослідному періоді за умов сильного теплового стресу.

Температуру вуха вимірювали шляхом розміщення цифрового термометра Vega-418 (Україна), в прямому контакті з центральною частиною вушної раковини [14]. Частоту дихання визначали шляхом візуального підрахунку рухів носа за 1 хв [15]. Ректальну температуру вимірювали за допомогою електронного термометра Vega-418 (Україна), шляхом введення в пряму кишку кроликів на 2-3 см протягом 1 хвилини, після чого було знято показання [16]. Частоту серцевих скорочень визначали шляхом розміщення лівої руки між променевою та сонною артеріями та підрахунку скорочень шлуночка та відповідну кількість ударів серця за 1 хвилину [17].

Для оцінки температурно-вологісного індексу (ТВІ) використовували вимірювально-обчислювальний комплекс (ВОК) АПСЕ-М [18, 19] та методику безперервної автоматичної реєстрації, що проводила одне вимірювання через кожні три секунди, з наступним усередненням 40 вимірювань параметра та його записом в карту пам'яті. Під час проведення дослідження використовували термогігрометр Trotec VL30, що відображав поточні показники температури, вологості та часу. Використання двох приладів, дозволяло забезпечити більш точну оцінку ТВІ в умовах дослідження.

Межі комфортних умов утримання кролів визначали за ТВІ показником. Середньодобову температуру повітря та відносну вологість визначали за формулою [2]:  $TBI = T - ((0,31 - 0,31 \cdot V/100) \cdot (T - 14,4))$ , де: ТВІ = індекс температури і вологості; Т = температура (°C); V = відносна вологість у відсотках (%).

Отримані значення ТВІ були класифіковані, де <27,8 °C – відсутність теплового стресу; 27,8 – 28,9 °C – помірний тепловий стрес; 28,9 – 30,0 °C – сильний тепловий стрес; > 30,0 °C – дуже сильний тепловий стрес [20].

Одержані результати обробляли статистично за допомогою програмного пакету Statistica 7.0 (Statsoft, США) та представлено у вигляді середнього значення (M) ± стандартного відхилення (SD). Результати розраховували дисперсійним аналізом (ANOVA). Для визначення статистичних відмінностей

між контрольною та експериментальними групами використовували апостеріорний метод Tukey HSD, відмінності вважалися достовірними при  $P \leq 0,05$  [21].

**Результати досліджень.** Для оцінки теплового стресу, під час проведення дослідження щоденно контролювали температуру та вологість у віварії. У підготовчому періоді середні значення температури і вологості становили 19,8 °C та 56,3%, що ТВІзгідно обчислень ТВІ відповідало 19,0. Протягом 14 днів експериментального періоду середня температура у приміщенні становила – 29,9 °C, а вологість – 86,5 %. Розрахований за цих умови ТВІ дорівнював 29,9 °C, що вказує на сильний тепловий стрес за класифікацією Мараї та ін. (2002). На завершальному етапі дослідження середні показники вологості та температури становили 84,3% та 29,9 °C. Згідно з формулою ТВІ, значення в цей період склало 29,1, що згідно формули свідчить на параметри сильного теплового стресу. Ці зміни температури та вологості безпосередньо впливали на фізіологічні процеси в організмі кролів, адже під час теплового стресу активувалися метаболічні механізми, спрямовані на забезпечення енергії для терморегуляції тварин. Одним із основних таких механізмів є гліколіз за якого глюкоза розщеплюється до пірувату з виділенням енергії у вигляді АТФ, що дозволяє організму швидко реагувати на підвищену потребу в енергії. Для подальшого окиснення пірувату в циклі Кребса необхідний молекулярний кисень, оскільки процеси окиснення пірувату включають перехід від анаеробного до аеробного метаболізму. Піруват, що утворюється в результаті гліколізу, транспортується в мітохондрії, де він перетворюється на ацетил-СоА, який вступає в цикл Кребса. У цьому циклі відбувається окиснення ацетил-СоА до  $\text{CO}_2$  з виділенням електронів, що передаються на переносники електронів, такі як НАД<sup>+</sup> та ФАД. Ці переносники, у свою чергу, забезпечують формування електронного потоку, який використовує кисень як кінцевий акцептор електронів. Процес окисного фосфорилування, що відбувається на внутрішній мембрані мітохондрій, дозволяє енергії, що вивільняється під час окислення, бути збереженою у вигляді молекул АТФ. Ці молекули АТФ використовуються для життєдіяльності клітини, забезпечуючи її енергетичні потреби. Збільшення активності цитохром-с-оксидази, одного з основних ферментів дихального ланцюга, сприяє передачі електронів через ланцюг, що веде до утворення АТФ та підвищеного споживання кисню в клітинах [22]. Цей процес є важливим для ефективного функціонування клітин в умовах підвищених енергетичних витрат під час теплового стресу [23]. Цинк регулює метаболічні процеси, зокрема в циклі Кребса, забезпечуючи гомеостаз клітин під час теплового навантаження. Він активує ацетил-КоА-дегідрогеназу, що сприяє катаболізму жирних кислот і утворенню ацетил-КоА, необхідного для циклу Кребса.

Впливає на активність ензимів альдолази, лактатдегідрогенази і глюкозо-6-фосфатдегідрогенази, що є необхідним для енергетичного обміну та клітинного балансу в умовах обмеження кисню. Цинк регулює активність ензимів цитратсинтази і ізоцитратдегідрогенази циклу Кребса для ефективного утворення енергії у вигляді НАДН і ФАДН<sub>2</sub>, необхідних для синтезу АТФ в процесі окисного фосфорилування [24]. Цинк знижує рівень активних форм кисню (АФК), що утворюються під час теплового стресу, завдяки регуляції активності ензиму супероксиддисмутази, що забезпечує цілісність клітинних мембран і мітохондрій. Селен необхідний мікроелемент для функціонування метаболічних процесів під час теплового стресу завдяки своїм антиоксидантним властивостям і участі в окисно-відновних реакціях. Високі рівні АФК порушують клітинні структури і метаболічні процеси в організмі. Як компонент ензиму глутатіонпероксидази, Селен знижує рівень АФК та пероксидів, що утворюються внаслідок теплового стресу, що є важливим для збереження цілісності клітинних мембран, мітохондрій і забезпечує функціонування енергетичних процесів на клітинному рівні [25]. Селен та Цинк завдяки своїй здатності нейтралізувати ці молекули, допомагає захистити клітини від оксидативного стресу. Дослідженнями встановлено, що випоювання кролям наночастинок цинку та селену цитрату у відповідно підвищило частоту дихання (уд.хв) на 12,05 % ( $P < 0,05$ ) та 16,47 % ( $P < 0,01$ ) на 29 добу дослідження. Зважаючи на наведене вище, підвищення метаболічної активності, що спостерігали під впливом теплового стресу під час досліду зумовлює потребу додаткового кисню для забезпечення нормальної роботи енергетичних систем організму. Це призвело до підвищення частоти дихання, оскільки організм намагався забезпечити тканини і органи необхідною кількістю кисню для забезпечення метаболічних процесів, що є важливим для ефективної роботи енергетичних процесів в організмі (рис. 1).

Аналіз одержаних результатів щодо ректальної температури за випоювання цинку цитрату знизився на 0,8 °С на 14 добу експерименту (рис. 2). Дослідженнями Хосні та ін. (2020) встановлено, що додавання 0,3 мг органічного Se/кг знижує ректальну температуру на 0,5 °С, що узгоджується з отриманими нами результатами [26]. Шоута ін. (2004) визначили, що ректальна температура у кролів коливається в межах 38,6–40,1 °С [27]. Айт та ін. (2018) дослідили, що додавання до раціону кролів органічного Селену у кількості 0,03 мг/кг раціону підвищило продуктивність росту під час помірних температур і пом'якшило несприятливий вплив теплового стресу у вигляді зниження ректальної температури, частоти дихання та частоти серцевих скорочень у літній період [28]. Таким чином, випоювання цинку цитрату впливає на зниження ректальної температури у кролів на 0,8 °С, що підтверджує ефективність цинку у регуляції терморегуляторних процесів.

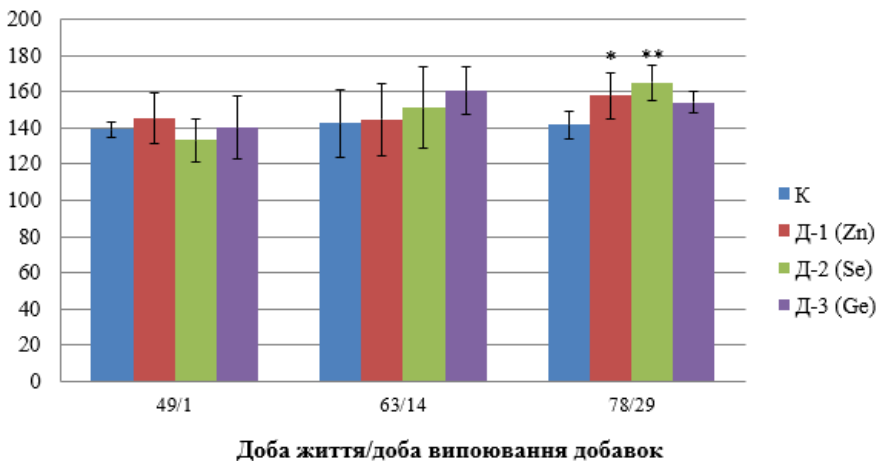


Рис. 1. Частота дихальних рухів (уд/хв)

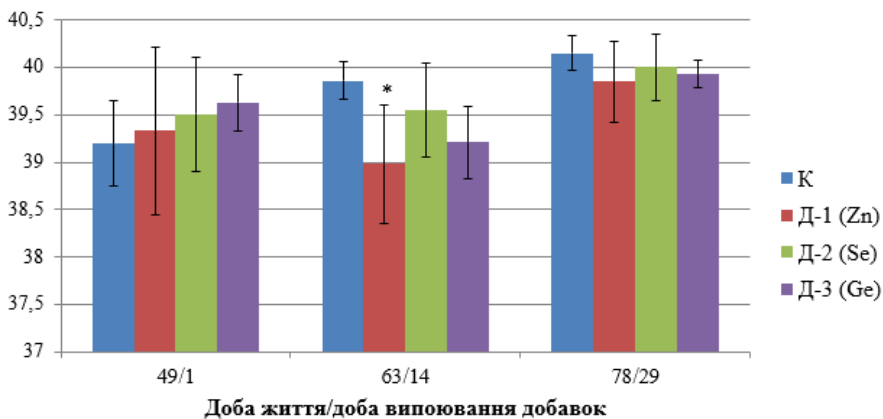
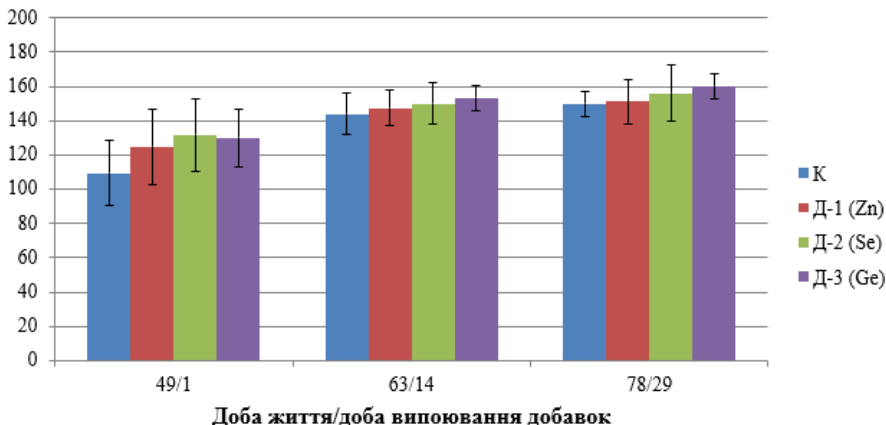


Рис. 2. Ректальна температура (0C)

Дослідження Мараї та ін. (1994) встановлено, що ректальна температура у кролів може досягати 39,5 °С, а частота пульсу та частота дихання можуть бути 168 і 235 ударів на хвилину, що підтверджує взаємозв'язок між температурними змінами навколишнього середовища і фізіологічними показниками тварин [29]. За випоювання добавки цитратів мікроелементів спостерігали тенденцію до збільшення частота серцевих скорочень відповідно 147–160 ударів на хвилину. Це свідчить про те, що введення наночастинок, цинку, селен та германію цитрату може активізувати компенсаторні механізми

організму, спрямовані на підтримку нормальної терморегуляції та фізіологічної активності під час теплового стресу. Зазначена зміна частоти пульсу вказує на важливість корекції мікроелементного складу для підтримки стабільності фізіологічних функцій у тварин в умовах підвищених температур. Результати підтверджують, що правильне застосування добавок мікроелементів може покращити здатність організму адаптуватися до стресових умов, зменшуючи їхній негативний вплив (рис. 3).



*Рис. 3. Частота серцевих скорочень (уд/хв)*

За випоювання добавок цитратів мікроелементів не було виявлено вірогідних змін температури вуха, проте спостерігається тенденція до її зменшення при випоюванні наночастинок протягом дослідного періоду (рис. 4).

Вуха у кроликів відіграють важливу роль у терморегуляції, оскільки вони займають приблизно 12 % площі поверхні тіла. Це пояснюється наявністю великої кількості кровоносних судин, зокрема артеріовенозних анастомозів, що сприяють ефективному теплообміну [30]. Передача тепла від гарячої артеріальної крові до холоднішої венозної сприяє регулюванню температури тіла, запобігаючи переохолодженню або перегріванню організму. Цей процес має важливе значення для тварин, оскільки вуха займають значну частину поверхні тіла і велику кількість кровоносних судин, що забезпечує ефективний теплообмін. Отже, випоювання наночастинок не призвело до вірогідних змін щодо температури вуха у кролів, проте тенденція до зменшення температури вказує про зміни в терморегуляції тварин, що на нашу думку, сприяє стабільності температури тіла в умовах теплового стресу.



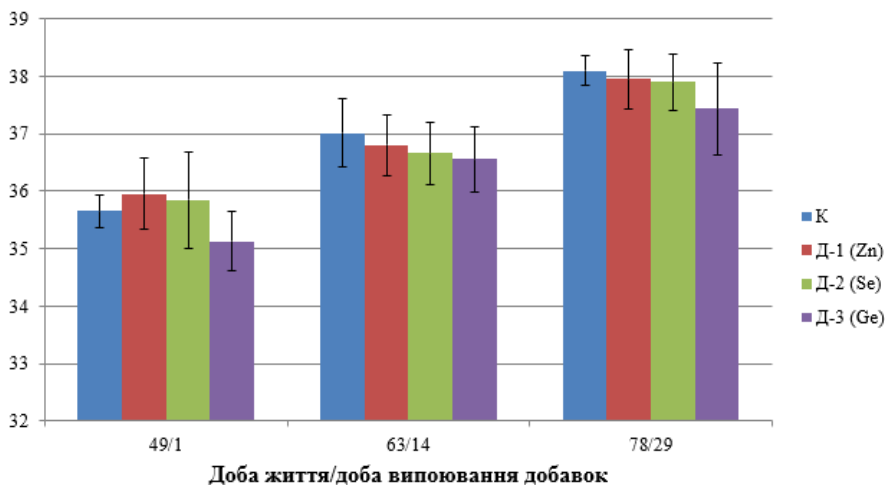


Рис. 4. Температура вуха (°C)

**Висновки.** Випоювання наночастинок цинку цитрату (60 мг/л) та селену цитрату (300 мкг/л) за умов сильного теплового стресу сприяло підвищенню частоти дихання на 12,05 % ( $P < 0,05$ ) та 16,47 % ( $P < 0,01$ ) на 29 добу дослідження. Зниження ректальної температури на 0,8°C було зафіксовано на 14 добу експерименту при випоюванні цинку цитрату. Водночас вплив германію цитрату в дозі 12,5 мкг/л на організм кролів не виявився вірогідним і спостерігався лише на рівні тенденції до підвищення частоти дихання та частоти серцевих скорочень і зниження ректальної температури та температури вуха кролів.

### Література

1. Oladimeji A. M, Johnson T. G, Metwally K, Farghly M, Mahrose K. M. (2022) Environmental heat stress in rabbits: implications and ameliorations. *Int J Biometeorol.* 2022. 66 (1). P. 1–11. doi:10.1007/s00484-021-02191-0.
2. Liang Z. L, Chen F, Park S, Balasubramanian B, Liu W. C. (2022). Impacts of Heat Stress on Rabbit Immune Function, Endocrine, Blood Biochemical Changes, Antioxidant Capacity and Production Performance, and the Potential Mitigation Strategies of Nutritional Intervention. *Front Vet Sci.* 2022 May 26;9:906084. doi: 10.3389/fvets.2022.
3. Пабат В. О., Вінничук Д. Т., Гончаренко І. В., Агій В. М. П12 Кролівництво з основами генетики та розведення : навч. посіб. Київ : Видавництво Ліра-К, 2018. С. 125.
4. Salyha N. (2020). Effect of glutamic acid and cysteine on oxidative stress markers in rats. *Ukr Biochem J.* 2020;92:76–83. doi:10.15407/ubj92.06.165.

5. Lesyk Y, Boiko O, Bashchenko M, Honchar O, Ivanikiv N. (2022). Blood parameters of rabbits given different amounts of iodine citrate. *Sci Horizons*. 2022. 25 (5). P.40 – 47. doi:10.48077/scihor.25 (5).2022.40–47.

6. Abdel-Wareth, A. A. A., Amer, S. A., Mobashar, M., & El-Sayed, H. G. M. (2022). Use of zinc oxide nanoparticles in the growing rabbit diets to mitigate hot environmental conditions for sustainable production and improved meat quality. *BMC Veterinary Research*. 2022. 18 (1). P. 354. doi.org/10.1186/s12917-022-03451-w

7. Swain P. S., Somu B. N. Rao., Duraisamy Rajendran, George Dominic, Sellappan Selvaraju. Nano zinc, an alternative to conventional zinc as animal feed supplement: A review. *Animal Nutrition*. 2016. P. 134 – 141. doi.org/10.1016/j.aninu.2016.06.003.

8. Dzen, Y., Rosalovsky, V., Shtapenko, O., Slypaniuk, O., & Salyha, Y. (2023). Effect of zinc methionine supplementation on biochemical and hematological indices of growing rabbits. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2023 29 (4). P. 714 – 722. Retrieved from <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20230358730>

9. El-Kholy, M. S., El-Mekrawy, M. M., Madkour, M., Abd El-Azeem, N., Di Cerbo, A., Mohamed, L. A., Selim, D. A. (2023). The role of different dietary Zn sources in modulating heat stress-related effects on some thermoregulatory parameters of New Zealand white rabbit bucks. *Animal Biotechnology*. 2023. 34 (4). P. 1273 – 1282. doi.org/10.1080/10495398.2021.2019757

10. Li L. J., Ruan T., Lyu Y. and Wu B. Y. Advances in Effect of Germanium or Germanium Compounds on Animals—A Review. *Journal of Biosciences and Medicines*. 2017. 5. P. 56 – 73. doi.org/10.4236/jbm.2017.57006.

11. Fedoruk, R. S., Kovalchuk, I. I., Mezentseva, L. M., Tesarivska, U. I., Pylypets, A. Z., & Kaplunenko, V. H. (2022). Germanium compounds and their role in animal body. *The Animal Biology*. 2020. 24 (1). P. 50 – 60. doi:10.15407/animbiol24.01.050

12. Sheiha, A. M., Abdelnour, S. A., Abd El-Hack, M. E., Khafaga, A. F., Metwally, K. A., & El-Saadony, M. T. (2020). Effects of dietary biological or chemical-synthesized nano-selenium supplementation on growing rabbits exposed to thermal stress. *Animals*. 2020 10 (3). P. 430. doi.org/10.3390/ani10030430

13. Kosinov MV, Kaplunenko VG. Process for the preparation of metal carboxylates nanotechnology of metal carboxylates preparation (Patent of Ukraine for utility model No. 38391). Bulletin No. 1/2009. Available from: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=128062&chapter=description> (In Ukraine).

14. Marai I. F. M, Haeeb A. A, and Gad A.E (2004). Growth performance traits and the physiological background of young doe rabbits as affected by climatic conditions and lighting regime, under sub-tropical conditions of Egypt. In

Proceeding of The World Rabbit Congress, Puebla, Mexico. Available at: <http://world-rabbit-science.com/WRSA-Proceedings/Congress-2004-Puebla/Papers/Reproduction/R-Marai.pdf>).

15. Jimoh, O.A., Ewuola, E.O. (2018). Thermophysiological traits in four exotic breeds of rabbit at least temperature-humidity index in humid tropics. *JoBAZ*. 2018. 79. P. 18. [doi.org/10.1186/s41936-018-0031-9](https://doi.org/10.1186/s41936-018-0031-9)

16. Askar AA and Ismail I (2012). Impact of heat stress exposure on some reproductive and physiological traits of rabbit does. *Egyptian Journal of Animal Production*. 2012. 49 (2). P. 151 – 159. [doi.org/10.21608/ejap.2012.94331](https://doi.org/10.21608/ejap.2012.94331).

17. Abdalla MA and Intsar HS (2009). Thermoregulation, heart rate and body weight as influenced by thyroid status and season in the domestic rabbit (*Lepus cuniculus*). *Middle-East Journal of Scientific Research*. 2009 4 (4). P. 310 – 319. Available at: [https://www.idosi.org/mejsr/mejsr4\(4\)/13.pdf](https://www.idosi.org/mejsr/mejsr4(4)/13.pdf)

18. Небилиця М.С., Бойко О.В. (2019). Обґрунтувати використання розподіленої системи контролю повітряного середовища тваринницьких приміщень. *ЗНП Ефективне кролівництво і звірівництво*. 2019. Вип. 5. С. 99-117.

19. Аналізатор повітряного середовища електронний: пат. на винахід 127047 Україна: МПК G01N 27/416 (2006.01), G01N 27/27 (2006.01), G01N 19/10 (2006.01). № а 2017 12586; заявл. 18.12.2017; зарес. в Держреєстрі 29.03.2023.

20. Marai I. F. M, Habeeb A. A. M, Gad A. E. (2002). Rabbit's productive, reproductive and physiological performance traits as affected by heat stress: a review. *Livest Prod Sci*. 2002. 78 (2). P. 71 – 90. [doi:10.1016/S0301-6226\(02\)00091-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00091-X).

21. Petrovska I, Salyha Y, Vudmaska I. (2022). *Statystychni metody v biolohichnykh doslidzhenniakh*. Kyiv: Ahrarna nauka; 2022. Available from: [https://www.inenbiol.com/images/stories/Rozrobky/Books/2022/Statistika\\_2022.pdf](https://www.inenbiol.com/images/stories/Rozrobky/Books/2022/Statistika_2022.pdf) (In Ukrainian).

22. Біологічна хімія : підручник / Губський Ю. І., Ніженковська І. В., Корда М. М. [та ін.] ; за ред. І. В. Ніженковської. Вінниця : Нова Книга, 2021. 648 с.

23. Saghir S. A. M, Al Hroob A. M, Majrashi K. A, Jaber F. A, Abduh M. S, Al-Gabri N, Albaqami N. M, Abdelnour S. A, Alqhtani A. H, Abd El-Hack M. E, Swelum A. A, Simal-Gandara (2023). Effects of alginates on the growth, haematological, immunity, antioxidant and pro-inflammatory responses of rabbits under high temperature. *Res Vet Sci*. 2023. 155. P. 36 – 43. [doi:https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2023.01.002](https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2023.01.002)

24. Sallam, A. E., Mansour, A. T., Alsaqifi, A., Salem, M., & El-Feky, M. (2020). Growth performance, anti-oxidative status, innate immunity, and ammonia stress resistance of *Siganus rivulatus* fed diet supplemented with zinc and zinc

nanoparticles. *Aquaculture Reports*. 2020. 18, 100410. doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100410

25. Abu Hafsa, S. H.; Centoducati, G.; Hassan, A. A.; Maggiolino, A.; Elghandour, M.M.M.Y.; Salem, A.Z.M. (2024) Effects of Dietary Supplementations of Vitamin C, Organic Selenium, Betaine, and Pomegranate Peel on Alleviating the Effect of Heat Stress on Growing Rabbits. *Animals*. 2024, 14, 950. <https://doi.org/10.3390/ani14060950>

26. Hosny N. S, Hashem N. M, Morsy A. S, Abo-Elezz Z. R. (2020) Effects of Organic Selenium on the Physiological Response, Blood Metabolites, Redox Status, Semen Quality, and Fertility of Rabbit Bucks Kept Under Natural Heat Stress Conditions. *Front Vet Sci*. 2020. 12. (7). P. 290. doi: 10.3389/fvets.2020.00290.

27. Shaw, R. D (2004). Temperature regulation and thermal environment. In: Reece W.O. (Ed.). *Dukes' Physiology of Domestic Animals*. 12th ed. Copy right 2004 by Cornell University.

28. Ayyat M. S, Al-Sagheer A. A, Abd El-Latif K. M, Khalil B. A. (2018) Organic Selenium, Probiotics, and Prebiotics Effects on Growth, Blood Biochemistry, and Carcass Traits of Growing Rabbits During Summer and Winter Seasons. *Biol Trace Elem Res*. 2018. 186 (1). P. 162 – 173. doi: 10.1007/s12011-018-1293-2.

29. Marai, I.F.M.; Alnaimy, A. and Habeeb, A.A.M. (1994). Thermoregulation in rabbits. *CHIEAM-Options Mediterraneennes*, 8. P. 33 – 41.

30. Zeferino C. P, Moura A. S. A. M. T, Fernandes S, Kanayama J. S, Scapinello C, and Sartori J. R (2011). Genetic group×ambient temperature interaction effects on physiological responses and growth performance of rabbits. *Livestock Science*. 2011. 140 (1-3). P. 177 – 183. doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.027

## References

1. Oladimeji A. M, Johnson T. G, Metwally K, Farghly M, Mahrose K. M. (2022) Environmental heat stress in rabbits: implications and ameliorations. *Int J Biometeorol*. 2022. 66 (1). P. 1–11. doi:10.1007/s00484-021-02191-0.

2. Liang Z. L, Chen F, Park S, Balasubramanian B, Liu W. C. (2022). Impacts of Heat Stress on Rabbit Immune Function, Endocrine, Blood Biochemical Changes, Antioxidant Capacity and Production Performance, and the Potential Mitigation Strategies of Nutritional Intervention. *Front Vet Sci*. 2022 May 26;9:906084. doi: 10.3389/fvets.2022.

3. Pabat V. O, Vynnychuk D. T, Honcharenko I. V, Agiy V. M. P12. Rabbit breeding with the basics of genetics and breeding: a textbook. Kyiv : Lira-K Publishing House, 2018. P. 125.

4. Salyha N. (2020). Effect of glutamic acid and cysteine on oxidative stress markers in rats. *Ukr Biochem J*. 2020;92:76–83. doi:10.15407/ubj92.06.165.

5. Lesyk Y, Boiko O, Bashchenko M, Honchar O, Ivanikiv N. (2022). Blood parameters of rabbits given different amounts of iodine citrate. *Sci Horizons*. 2022. 25 (5). P.40 – 47. doi:10.48077/scihor.25 (5).2022.40–47.

6. Abdel-Wareth, A. A. A., Amer, S. A., Mobashar, M., & El-Sayed, H. G. M. (2022). Use of zinc oxide nanoparticles in the growing rabbit diets to mitigate hot environmental conditions for sustainable production and improved meat quality. *BMC Veterinary Research*. 2022. 18 (1). P. 354. doi.org/10.1186/s12917-022-03451-w

7. Swain P. S., Somu B. N. Rao., Duraisamy Rajendran, George Dominic, Sellappan Selvaraju. Nano zinc, an alternative to conventional zinc as animal feed supplement: A review. *Animal Nutrition*. 2016. P. 134 – 141. doi.org/10.1016/j.aninu.2016.06.003.

8. Dzen, Y., Rosalovsky, V., Shtapenko, O., Slypaniuk, O., & Salyha, Y. (2023). Effect of zinc methionine supplementation on biochemical and hematological indices of growing rabbits. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2023 29 (4). P. 714 – 722. Retrieved from <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20230358730>

9. El-Kholy, M. S., El-Mekrawy, M. M., Madkour, M., Abd El-Azeem, N., Di Cerbo, A., Mohamed, L. A., Selim, D. A. (2023). The role of different dietary Zn sources in modulating heat stress-related effects on some thermoregulatory parameters of New Zealand white rabbit bucks. *Animal Biotechnology*. 2023. 34 (4). P. 1273 – 1282. doi.org/10.1080/10495398.2021.2019757

10. Li L. J., Ruan T., Lyu Y. and Wu B. Y. Advances in Effect of Germanium or Germanium Compounds on Animals—A Review. *Journal of Biosciences and Medicines*. 2017. 5. P. 56 – 73. doi.org/10.4236/jbm.2017.57006.

11. Fedoruk, R. S., Kovalchuk, I. I., Mezentseva, L. M., Tesarivska, U. I., Pylypets, A. Z., & Kaplunenko, V. H. (2022). Germanium compounds and their role in animal body. *The Animal Biology*. 2020. 24 (1). P. 50 – 60. doi:10.15407/animbiol24.01.050

12. Sheiha, A. M., Abdelnour, S. A., Abd El-Hack, M. E., Khafaga, A. F., Metwally, K. A., & El-Saadony, M. T. (2020). Effects of dietary biological or chemical-synthesized nano-selenium supplementation on growing rabbits exposed to thermal stress. *Animals*. 2020 10 (3). P. 430. doi.org/10.3390/ani10030430

13. Kosinov MV, Kaplunenko VG. Process for the preparation of metal carboxylates nanotechnology of metal carboxylates preparation (Patent of Ukraine for utility model No. 38391). Bulletin No. 1/2009. Available from: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=128062&chapter=description> (In Ukraine).

14. Marai I. F. M, Haeeb A. A, and Gad A.E (2004). Growth performance traits and the physiological background of young doe rabbits as affected by climatic conditions and lighting regime, under sub-tropical conditions of Egypt. In

Proceeding of The World Rabbit Congress, Puebla, Mexico. Available at: <http://world-rabbit-science.com/WRSA-Proceedings/Congress-2004-Puebla/Papers/Reproduction/R-Marai.pdf>).

15. Jimoh, O.A., Ewuola, E.O. (2018). Thermophysiological traits in four exotic breeds of rabbit at least temperature-humidity index in humid tropics. *JoBAZ*. 2018. 79. P. 18. [doi.org/10.1186/s41936-018-0031-9](https://doi.org/10.1186/s41936-018-0031-9)

16. Askar AA and Ismail I (2012). Impact of heat stress exposure on some reproductive and physiological traits of rabbit does. *Egyptian Journal of Animal Production*. 2012. 49 (2). P. 151 – 159. [doi.org/10.21608/ejap.2012.94331](https://doi.org/10.21608/ejap.2012.94331).

17. Abdalla MA and Intsar HS (2009). Thermoregulation, heart rate and body weight as influenced by thyroid status and season in the domestic rabbit (*Lepus cuniculus*). *Middle-East Journal of Scientific Research*. 2009 4 (4). P. 310 – 319. Available at: [https://www.idosi.org/mejsr/mejsr4\(4\)/13.pdf](https://www.idosi.org/mejsr/mejsr4(4)/13.pdf)

18. Analizator povitriano hoseredov yshchaelektronnyi: pat. navynakhid 127047 Ukraina: MPKG01N 27/416 (2006.01), G01N 27/27 (2006.01), G01N 19/10 (2006.01). № а 2017 12586; zaiavl. 18.12.2017; zareies. vDerzhreiestri 29.03.2023.

19. Nebylytsia M.S., Boiko O.V. (2019). Obgruntuvaty vykorystannia rozpodilenoї systemy kontroliu povitrianoho seredovyscha tvarynnytskykh prymishchen. *ZNP Efektyvne krolivnytstvo i zvirivnytstvo*. 2019. Vyp. 5. P. 99 – 117.

20. Marai I. F. M, Habeeb A. A. M, Gad A. E. (2002). Rabbit's productive, reproductive and physiological performance traits as affected by heat stress: a review. *Livest Prod Sci*. 2002. 78 (2). P. 71 – 90. doi:10.1016/S0301-6226(02)00091-X.

21. Petrovska I, Salyha Y, Vudmaska I. (2022). Statystychni metody v biolohichnykh doslidzhenniakh. Kyiv: Ahrarna nauka; 2022. Available from: [https://www.inenbiol.com/images/stories/Rozrobky/Books/2022/Statistika\\_2022.pdf](https://www.inenbiol.com/images/stories/Rozrobky/Books/2022/Statistika_2022.pdf) (In Ukrainian).

22. Biological chemistry : a textbook / Y. I. Hubsyky, I. V. Nizhenkovska, M. M. Korda [et al. Vinnytsia: Nova Knyha, 2021. P. 648 .

23. Saghir S. A. M, Al Hroob A. M, Majrashi K. A, Jaber F. A, Abduh M. S, Al-Gabri N, Albaqami N. M, Abdelnour S. A, Alqhtani A. H, Abd El-Hack M. E, Swelum A. A, Simal-Gandara (2023). Effects of alginates on the growth, haematological, immunity, antioxidant and pro-inflammatory responses of rabbits under high temperature. *Res Vet Sci*. 2023. 155. P. 36 – 43. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2023.01.002>

24. Sallam, A. E., Mansour, A. T., Alsaqfi, A., Salem, M., & El-Feky, M. (2020). Growth performance, anti-oxidative status, innate immunity, and ammonia stress resistance of *Siganus rivulatus* fed diet supplemented with zinc and zinc nanoparticles. *Aquaculture Reports*. 2020. 18, 100410. [doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100410](https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100410)

25. Abu Hafsa, S. H.; Centoducati, G.; Hassan, A. A.; Maggiolino, A.; Elghandour, M.M.M.Y.; Salem, A.Z.M. (2024) Effects of Dietary Supplementations of Vitamin C, Organic Selenium, Betaine, and Pomegranate Peel on Alleviating the Effect of Heat Stress on Growing Rabbits. *Animals*. 2024, 14, 950. <https://doi.org/10.3390/ani14060950>

26. Hosny N. S, Hashem N. M, Morsy A. S, Abo-Elezz Z. R. (2020) Effects of Organic Selenium on the Physiological Response, Blood Metabolites, Redox Status, Semen Quality, and Fertility of Rabbit Bucks Kept Under Natural Heat Stress Conditions. *Front Vet Sci*. 2020. 12. (7). P. 290. doi: 10.3389/fvets.2020.00290.

27. Shaw, R. D (2004). Temperature regulation and thermal environment. In: Reece W.O. (Ed.). *Dukes' Physiology of Domestic Animals*. 12th ed. Copy right 2004 by Cornell University.

28. Ayyat M. S, Al-Sagheer A. A, Abd El-Latif K. M, Khalil B. A. (2018) Organic Selenium, Probiotics, and Prebiotics Effects on Growth, Blood Biochemistry, and Carcass Traits of Growing Rabbits During Summer and Winter Seasons. *Biol Trace Elem Res*. 2018. 186 (1). P. 162 – 173. doi: 10.1007/s12011-018-1293-2.

29. Marai, I.F.M.; Alnaimy, A. and Habeeb, A.A.M. (1994). Thermoregulation in rabbits. *CHIEAM-Options Mediterraneennes*, 8.P. 33 – 41.

30. Zeferino C. P, Moura A. S. A. M. T, Fernandes S, Kanayama J. S, Scapinello C, and Sartori J. R (2011). Genetic group×ambient temperature interaction effects on physiological responses and growth performance of rabbits. *Livestock Science*. 2011. 140 (1-3).P. 177 – 183. [doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.027](https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.027)

UDC 636.92.053.112.385.4

DOI: <https://doi.org/10.37617/2708-0617.2024.10.169-184>

## CLINICAL PARAMETERS OF RABBITS UNDER CONDITIONS OF HEAT STRESS AND EXPOSURE TO ZINC, SELENIUM AND GERMANIUM CITRATE NANOPARTICLES

<sup>1</sup>Yuzvyak M.O.,

<sup>1,2</sup>Lesyk Y.V.

<sup>1</sup>*Institute of Animal Biology, NAAS, Lviv Ukraine,*

<sup>2</sup>*Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, Drohobych Ukraine; e-mail:maruk7991@gmail.com; e-mail:lesykyv@gmail.com.*

*Increased ambient temperature negatively affects the thermoregulation of rabbits. Under the conditions of high temperature and humidity, homeostatic mechanisms are disturbed and negatively affect the functioning of the animal's body, which requires effective measures to mitigate the effect of heat stress. The study was conducted on young rabbits of the Thermon White breed from 35 to 78 days of age*

*in the vivarium of the Institute of Animal Biology of the National Academy of Sciences of Ukraine. The rabbits were kept in the vivarium at an elevated ambient temperature of 28.9 to 30 °C and relative humidity of 78.1 to 87.4 %. Rabbits of experimental groups I, II, and III consumed the same feed and water without restrictions as animals in the control groups, but received water for 24 hours: Experimental group I - zinc citrate - 60 mg/l or 12 mg/kg body weight; group II - selenium citrate - 300 µg/l or 60 µg/kg body weight; group III - germanium citrate - 62.5 µg/l or 12.5 µg/kg body weight. The study of ear temperature, rectal temperature, respiratory rate and heart rate was carried out on the 14th day of the preparatory period and on the 14th and 29th days of supplementation in the experimental period under conditions of severe heat stress. The aim of the work was to determine the clinical parameters of the rabbit body: respiratory rate, heart rate, rectal temperature, ear temperature under conditions of heat stress and exposure to zinc, selenium and germanium citrate nanoparticles. The temperature and humidity were monitored using a Trotec BL30 thermo-hygrometer with data logger. Humidity and temperature were measured by an electronic monoblock air analyser. The comfort of rabbits was assessed using the temperature-humidity index. It was found that feeding zinc citrate nanoparticles (60 mg/l) and selenium citrate (300 µg/l) under conditions of severe heat stress increased respiratory rate by 12.05 % ( $P < 0.05$ ) and 16.47 % ( $P < 0.01$ ) on day 29 of the study. A decrease in rectal temperature by 0.8 °C was recorded on day 14 of the experiment when zinc citrate was administered.*

**Keywords:** rabbits, heat stress, temperature-humidity index, respiratory rate, ear temperature, heart rate, rectal temperature, thermoregulation, metabolism, physiological processes.