

## Activity of glutathione system enzymes in newborn calves and piglets

A. Zamazyi<sup>1</sup> | M. Kambur<sup>2</sup> | V. Kolenchenko<sup>2</sup> | O. Demydko<sup>2</sup>

### Article info

#### Correspondence Author

A. Zamazyi

E-mail:

[ganavar@ukr.net](mailto:ganavar@ukr.net)

<sup>1</sup>Poltava State Agrarian University,  
Skovorody Str., 1/3,  
Poltava, 36003,  
Ukraine

<sup>2</sup>Sumy National Agrarian University,  
160, G. Konrdatieva Str.,  
Sumy, 40021,  
Ukraine

**Citation:** Zamazyi, A., Kambur, M., Kolenchenko, V., & Demydko, O. (2024). Activity of glutathione system enzymes in newborn calves and piglets. *Scientific Progress & Innovations*, 27 (1), 183–187. doi: 10.31210/spi2024.27.01.31

Today, all agricultural sectors are under the influence of technological modernization. The rapid change in the conditions of keeping and feeding animals increases the technogenic impact on their organism. In the conditions of industrial pig production, the influence of technological modernization factors causes numerous stresses that underlie disorders of physiological functions of the body. Any changes in the environment affect the dynamic equilibrium in the body of animals, affecting the development of a general adaptation syndrome. Excessive formation of free radicals activates the processes of lipid peroxidation, inhibits the activity of the antioxidant defense system. The glutathione chain of antioxidant defense plays an important role in this system, especially in newborn animals. We have found that the enzymes of the glutathione chain of antioxidant defense in blood cells significantly depend on the birth number of piglets and calves. The activity of catalase in erythrocytes was the lowest in the first three newborn piglets (first group). It was 1.04, 1.08, and 1.12 times lower than in piglets of the following groups. Similar activity was found for total peroxidase. In the blood leukocytes of piglets of the first group, the activity of catalase was 1.33–1.42 times lower and that of total peroxidase 1.23–1.77 times lower than in piglets of the following groups ( $p < 0.01$ ). The activity of antioxidant defense enzymes in platelets of newborn piglets on the first day after birth was almost at the level of leukocytes. The content of total glutathione in the erythrocytes of blood of piglets of the first group was 1.04 times less than that of animals of group 2 and 1.06–1.12 times less than that of piglets of groups 3–4, and in leukocytes 1.19–1.21 times less. The metabolic products of the glutathione chain components of the antioxidant defense system of newborn piglets in leukocytes were less. The content of total glutathione in the blood platelets of piglets of the first group was significantly less than that of animals of group 2 and 1.25–1.27 times less than that of piglets of groups 3–4. Similar dynamics of the activity of the components of the glutathione chain of antioxidant defense persists until the end of the newborn period in piglets and calves.

**Keywords:** ingredient, glutathione, protective element, blood.

## Активність ферментів системи глутатіону новонароджених телят та поросят

A. A. Замазій<sup>1</sup> | М. Д. Камбур<sup>2</sup> | В. А. Коленченко<sup>2</sup> | О. С. Демидко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Полтавський державний аграрний університет,  
м. Полтава, Україна

<sup>2</sup>Сумський національний аграрний університет, м.  
Суми, Україна

На сьогодні усі галузі сільського господарства перебувають під впливом технологічної модернізації. Стрімка зміна умов утримання та годівлі тварин підвищує техногенний вплив на їх організм. В умовах промислового свиначарства вплив факторів технологічної модернізації спричиняє чисельні стреси, які полягають в основі порушень фізіологічних функцій організму. Будь-які зміни у довкіллі впливають на динамічну рівновагу в організмі тварин, відображаються на розвитку загального адаптаційного синдрому. Надлишкове утворення вільних радикалів активізує процеси пероксидного окиснення ліпідів, гальмує активність системи антиоксидантного захисту. В цій системі важливу роль відіграє глутатіонний ланцюг антиоксидантного захисту, особливо у новонароджених тварин. Ми з'ясували, що ферменти глутатіонного ланцюга антиоксидантного захисту організму у формених елементах крові значно залежать від порядкового номера народження поросят та телят. Активність каталази в еритроцитах найменшою виявилась у перших трьох новонароджених поросят (перша група). Вона виявилась в 1,04, 1,08 та 1,12 разів менше, ніж у поросят наступних груп. Така ж активність виявлена щодо загальної пероксидази. В лейкоцитах крові поросят першої групи активність каталази виявилась в 1,33–1,42 разів, а загальної пероксидази в 1,23–1,77 разів менше, ніж у поросят наступних груп ( $p < 0,01$ ). Активність ферментів антиоксидантного захисту новонароджених поросят у тромбоцитах у першу добу після народження були майже на рівні показників у лейкоцитах. Вміст загального глутатіону в еритроцитах крові поросят першої групи, виявляв в 1,04 раза менше даного показника тварин 2 групи та в 1,06–1,12 раза, ніж у поросят 3–4 груп, а в лейкоцитах в 1,19–1,21 раза менше. Продуктів обміну компонентів глутатіонного ланцюга антиоксидантної системи захисту новонароджених поросят у лейкоцитах, було менше. Вміст загального глутатіону у тромбоцитах крові поросят першої групи був вірогідно менше цього показника тварин другої групи та в 1,25–1,27 разів менше, ніж у поросят третьої–четвертої груп. Така ж динаміка активності компонентів глутатіонного ланцюга антиоксидантного захисту зберігається до кінця періоду новонародженості у поросят і телят.

**Ключові слова:** компонент, глутатіон, захист формений, елемент, кров.

**Бібліографічний опис для цитування:** Замазій А. А., Камбур М. Д., Коленченко В. А., Демидко О. С. Активність ферментів системи глутатіону новонароджених телят та поросят. *Scientific Progress & Innovations*. 2024. № 27 (1). С. 183–187.

## Вступ

Фізіологічні функції організму супроводжуються процесами вільно радикального окиснення, синтезом значної кількості продуктів ПОЛ. В умовах фізіологічної норми компоненти ПОЛ є необхідними у процесі життєдіяльності організму [1, 2]. Активація процесів ПОЛ, утворення значних надлишків продуктів перекисного окиснення негативно впливають на організм. Їх вплив насамперед відображається на функціях клітин [3, 4, 5]. Активні форми Оксигену деструктивно впливають на клітинні структури. Руйнують мембрани, порушують їх функції, викликають загибель органел.

Вільнорадикальне окиснення – важливий складник у механізмі виникнення та впливу стресу [6, 7, 8]. В організмі наявні чисельні механізми систем антиоксидантного захисту. Вони забезпечують захист на всіх рівнях структур організму [9, 10]. Протидіють стресовим ушкодженням і порушенням. Антиоксидантні механізми безпосередньо задіяні у стрес-реакції. Стрес власне і є адаптивною реакцією. Компоненти системи цього захисту – антиоксидантні ферменти. Вони синтезуються мітохондріями. Важливою системою захисту організму є глутатіоний ланцюг антиоксидантної системи захисту. Відомо понад 40 різних типів хімічних сполук, здатних утворювати глутатіонові кон'югати. Як макроергічне з'єднання використовують ацетил-коензим А. Участь елементів цієї системи і насамперед глутатіонтрансферази впливає на збереження ДНК, мітохондрії клітин. Цей фермент забезпечує охорону життєво-важливих органел клітин від дії шкідливих речовин. Відбувається підвищення стійкості клітин і цілого організму на дію стресів [11, 12, 13]. На думку деяких авторів, глутатіонтрансфераза захищає організм від впливу великої кількості токсичних речовин [7, 9, 18].

Глутатіон є центральним складником у системі детоксикації. Він забезпечує антирадикальний та антиперекисний захист клітин. У комплексі із цитохромом Р-450 впливає на процеси біотрансформації ксенобіотиків. Активовані молекули вивільняються із комплексу з ферментом і закінчується процес синтезом  $O_2^-$  і  $H_2O$ . Це спостерігається тоді, коли відбувається взаємодія субстрату з неспецифічними до нього ізоформами ферменту. Супероксидний аніон  $O_2^-$  як радикал нестабільний взаємодіє з молекулами білка, ліпопротеїдів, викликає розрив спіралей ДНК, ініціює перекисне окиснення ліпідів [14, 15]. Обмін гідрофільних ксенобіотиків супроводжується синтезом активних форм оксигену і  $H_2O_2$ . Біотрансформації амінів посилює ПОЛ.

Система антиоксидантного захисту забезпечується ферментами. До них відносять супероксиддисмутазу, каталазу і глутатіонпероксидазу, глутатіонпероксидазу і глутатіонтрансферазу. Ці ферменти відновлюють супероксид,  $H_2O_2$ . Наявна і наступна ланка захисту, яка представлена гліюксилазою, формальдегіддегідрогеназою та

глутатіонтрансферазою. Глутатіон забезпечує функціонування антиоксидантної системи захисту організму [16–22].

## Мета дослідження

Метою роботи було з'ясувати активність ферментів системи глутатіону у новонароджених поросят та телят залежно від порядку народження.

## Матеріали і методи

Дослідження проводили в умовах приватного акціонерного товариства «Чернігівське головне підприємство по племінній справі у тваринництві».

Для проведення досліджень сформували 4 групи новонароджених поросят, отриманих від п'яти свиноматок, та 2 групи телят – від трьох корів. Одразу після народження новонароджених поросят та телят відносили до відповідної групи. До першої групи включали поросят за номером народження: 1–3-те порося, у другу групу – 4–6-те порося, у третю групу – 7–9-те порося та у четверту групу – 10–12-те порося. Телят відносили до першої групи перших за народженням та до другої групи – других за народженням тварин.

Для дослідження активності ферментів системи глутатіону антиоксидантного захисту організму у формених елементах крові новонароджених поросят та телят проводили відбір проб крові з пупкових судин. Визначення активності ферментів системи глутатіону проводили в гемолізаті формених елементів крові, отриманій після центрифугування впродовж часу за 150000 g на ультрацентрифузі L8-M («Весктап», США). У гемолізатах формених елементів крові визначали активність супероксиддисмутазу (СОД; КФ. 1.15.1.1) за методом, описаним Дубініною Є.Є., [15]; каталази (КФ1.11.1.6.) за здатністю перекису водню утворювати із солями молібдену стійкий кольоровий комплекс; пероксидази (ПО; КФ 1.11.1.8); глутатіонпероксидази (ГП; КФ 1.11.1.9) за методом Моїна В. М. [15], – глутатіонредуктази (ГР КФ 1.11.1.20) за методом I.Garlberg, B.Mannervik (1985) [15].

У зразках крові та гемолізатах формених елементів дослідили показники системи антиоксидантного захисту новонароджених поросят та телят, які стосуються продуктів глутатіонного ланцюгу захисту організму: ГР, ммоль/хв. на 1 г. Нв; загальний глутатіон, мкмоль/100 мл; окиснений глутатіон GSH, мкмоль/100 мл; відновлений глутатіон GSSH, мкмоль/100мл; їх співвідношення GHS/GSSH розрахунково- та загальноприйнятими методиками [15] з використанням біохімічного аналізатора BA-88 фірми «MINDRAY» Китай. Використовували реагенти фірми «LACHEMA» Чехія

Під час проведення експериментальних досліджень дотримувалися міжнародних вимог «Європейської конвенції захисту хребетних тварин, що використовуються в експериментальних та інших наукових цілях» (Страсбург, 1986 р.) та відповідного

Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» № 3447–IV від 21.06.2006 р.

Отриманий цифровий матеріал оброблений статистично за допомогою комп'ютерної програми з визначенням середньої арифметичної (M), статистичної помилки середньої арифметичної (m), вірогідності різниці (p) між середніми арифметичними двох варіаційних рядів за критерієм вірогідності (t) Стьюдента. Різницю між двома величинами вважали вірогідною за  $p < 0,05$ ;  $p < 0,01$ ;  $p < 0,001$ .

### Таблиця 1

Активність ферментів антиоксидантного захисту новонароджених поросят та телят у еритроцитах, 1 доба (M±m, n=5/3)

Показники	Групи поросят/ телят			
	1-3/ 1	4-6/2	7-9	10-12
К, ммоль/л	2,53±0,21	2,648±0,62	2,734±0,62	2,86±0,038*
	3,12±0,52	3,84±0,76*		
ПО, ммоль/л	0,23±0,006	0,25±0,038	0,27±0,053*	0,29±0,062*
	0,34±0,012	0,42±0,051*		
СОД, од/мл на 1 г Нв	144,36±5,233	146,224±4,24	148,93±5,19	152,24±6,02*
	168,28±3,94	186,34±5,02*		
ГР, ммоль/л	0,1564±0,062	0,213±0,057	0,296±0,048	0,301±0,032
	0,229±0,017	0,346±0,022**		

Примітки: порівняно між групами \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ .

Активність каталази виявилась у поросят першої групи в 1,04, 1,08 та 1,12 разів менше, ніж у поросят наступних груп, а у телят в 1,23 раза ( $p < 0,05$ ). Така ж активність виявлена щодо ферменту пероксидази. У поросят першої групи активність цього ферменту була не значно менше показника тварин другої групи. У поросят третьої та четвертої групи активність ПО була в 1,17–1,26 разів ( $p < 0,05$ ), а у телят другої групи в 1,24 раза більше ( $p < 0,05$ ). Активність СОД виявилась не вірогідно більше у поросят четвертої

### Результати та їх обговорення

Результати проведених досліджень свідчать про різний рівень активності ферментів антиоксидантного захисту в організмі поросят та телят залежно від порядкового номеру народження (табл. 1). Активність ферментів антиоксидантного захисту новонароджених поросят та телят на першу добу після народження також була різною.

групи (в 1,05 рази) і в 1,11 раза більше у телят другої групи. ( $p < 0,05$ ). Водночас результати досліджень свідчать про значний рівень активності ГР. У телят, народжених першими за порядковим номером, активність даного ферменту виявилась в 1,51 раза менше, ніж у телят другої групи ( $p < 0,01$ ).

Активність ферментів антиоксидантного захисту новонароджених поросят у лейкоцитах у першу добу після народження були значними у порівнянні з цими показниками в еритроцитах (табл. 2).

### Таблиця 2

Активність ферментів антиоксидантного захисту новонароджених поросят у лейкоцитах, 1 доба (M±m, n= 5/3)

Показники	Групи поросят/ телят			
	1-3/ 1	4-6/ 2	7-9	10-12
К, ммоль/л	0,12±0,05	0,16±0,042*	0,17±0,036**	0,17±0,054***
	0,18±0,05	0,26±0,08**		
ПО, ммоль/л	0,026±0,001	0,032±0,011*	0,044±0,013*	0,046±0,012**
	0,034±0,008	0,046±0,002		
СОД, од/мл на 1 г Нв	26,34±1,023	28,28±2,02	28,35±1,053	28,49±1,041
	32,46±0,05	35,94±1,86		
ГП, ммоль/л	0,007±0,0001	0,0075±0,0001	0,0081±0,0001	0,0082±0,001
	0,011±0,001	0,018±0,002		

Примітки: порівняно між групами \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$ .

Активність каталази в лейкоцитах крові поросят першої групи виявилась в 1,33–1,42 разів менше, ніж у тварин наступних груп ( $p < 0,01$ ;  $p < 0,001$ ). Активність пероксидази була в 1,2–1,77 разів менше в лейкоцитах крові тварин першої групи ( $p < 0,001$ ). У телят така різниця виявилася в 1,44 раза ( $p < 0,001$ ). Активність СОД була у тварин четвертої групи більше. Необхідно

відмітити, що ці показники були не вірогідними (в 1,08 раза). До того ж результати досліджень свідчать про значний рівень активності глутатіон редуктази у поросят та телят другої – четвертої груп.

Активність ферментів антиоксидантного захисту новонароджених поросят і телят у тромбоцитах у першу добу після народження були майже на рівні цих показників у лейкоцитах (табл. 3).

**Таблиця 3**

Активність ферментів антиоксидантного захисту новонароджених поросят та телят у тромбоцитах, 1 доба (M±m, n=5/3)

Показники	Групи поросят / телят			
	1-3/1	4-6/2	7-9	10-12
К, ммоль/л	0,14±0,0012 0,28±0,05	0,18±0,0014* 0,25±0,03	0,19±0,0013**	0,19±0,0016**
ПО, ммоль/л	0,034±0,0016 0,042±0,03	0,036±0,0012 0,047±0,09	0,036±0,0014	0,040±0,0020*
СОД, од/мл на 1 г Нв	28,34±1,01 32,24±1,64	30,25±1,35 34,56±2,02	32,38±0,98	33,99±0,94
ГП, ммоль/л	0,0081±0,0001 0,0012±0,0002	0,0092±0,0002 0,108±0,0001	0,0094±0,0004	0,0096±0,0003

Примітки: порівняно між групами \* p <0,05; \*\* p <0,01.

Активність каталази у тварин другої та третьої груп була в 1,29–1,36 разів більше. У поросят четвертої групи цей показник також виявився вірогідно більше, ніж у поросят першої групи (в 1,36 рази, p<0,01). У телят другої групи активність каталази навпаки виявилась в 1,12 рази менше.

Активність компонентів глутатіонного ланцюга антиоксидантної системи захисту новонароджених поросят у еритроцитах у першу добу після народження була такою (табл 4). Вміст загального

глутатіону в еритроцитах крові поросят першої групи виявився в 1,04 рази менше цього показника тварин другої групи та в 1,06–1,12 разів менше, ніж у поросят третьої-четвертої груп. Продуктів обміну компонентів глутатіонного ланцюга антиоксидантної системи захисту новонароджених поросят у еритроцитах було більше. Так, співвідношення окисненого та відновленого глутатіону становило від 0,853–0,812 до 1 у поросят останніх двох груп. У телят таке співвідношення дорівнювало 0,512–0,643 до 1.

**Таблиця 4**

Активність компонентів глутатіонного ланцюгу антиоксидантної системи захисту новонароджених телят та поросят у еритроцитах, (після народження, 1 доба, M±m)

Показники	Групи поросят/ телят			
	1-3/1	4-6/2	7-9	10-12
ГР, ммоль/хв. на 1 г. Нв	0,458±0,006 0,684±0,006	0,542±0,007 0,638±0,009	0,588±0,006	0,602±0,008
Заг. глутатіон, мкмоль/100 мл	2,524±0,012 3,242±0,018	2,634±0,18 3,062±0,21	2,676±0,01	2,831±0,019*
GSH, мкмоль/100 мл	0,889±0,033 0,964±0,042	0,993±0,037 1,25±0,21	1,012±0,04	1,008±0,054
GSSH, мкмоль/100 мл	1,236±0,432 1,866±0,522	1,134±0,064 1,943±0,048	1,186±0,038	1,241±0,046
GHS/GSSH	0,719 : 1 0,512 : 1	0,878 : 1 0,643 : 1	0,853 : 1	0,812 : 1

Примітки: порівняно між групами \* p <0,05; \*\* p <0,01; \*\*\* p <0,001.

Результати наших досліджень збігаються з даними дослідників, які вказують, що родовий процес є надзвичайним стресом, який впливає на організм плода під час родів і відображається на активності ферментів глутатіону новонароджених тварин [7, 9]. Система глутатіону, яка забезпечує захист організму [3, 4, 5], активація його ферментів, на нашу думку, залежить від тривалості родів і впливу на організм скоротливої діяльності органів родових шляхів [8, 1, 2]. Можливо, це пов'язано, з тим, що поросята та телята перших груп менш тривало перебувають під впливом родового пресу, і це спонукає корекцію стану організму новонароджених тварин проводити відповідно до активації системи глутатіону.

## Висновки

Активність ферментів антиоксидантного захисту системи глутатіону значно підвищується під впливом родового процесу у поросят і телят, які народжуються

в кінці пологів. Під впливом родів активуються процеси ПОЛ, вірогідно підвищується вміст продуктів глутатіонного ланцюга антиоксидантного захисту у формених елементах крові (p<0,01). Активність каталази в лейкоцитах крові поросят першої групи виявилась в 1,33–1,42 разів менше, ніж у тварин наступних груп, а пероксидази була в 1,23–1,77 разів менше, в лейкоцитах крові тварин першої групи (p<0,001). У телят ця різниця виявилась в 1,44 рази (p<0,001). Активація процесів ПОЛ в організмі поросят і телят супроводжується активацією ферментативної ланки глутатіону під впливом родового процесу і вимагає адекватної корекції стану тварин залежно від часу народження.

*Перспектива подальших досліджень.* Дослідження з цієї проблеми дозволять розробити обґрунтовані методи корекції параметрів стану організму новонароджених поросят і телят залежно від активності антиоксидантних систем організму і проведення

адекватної корекції гомеостазу організму, недопущення загибелі тварин у перший період після народження.

### Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів щодо їхнього викладу та результатів досліджень.

### References

1. Fedchenko, E. O., Karpovskiy, V. I., Danchuk, O. V., & Zhurenko, O. V. (2017). Rol typiv vyshchoi nervovoi diialnosti v rehuliacii aktyvnosti superoksyddysmutazy svynei. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Universytetu Bioresursiv i Pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: Veterynarna Medytsyna, Yakist i Bezpeka Produktiv Tvarynmytstva*, 273, 225–230. [in Ukrainian]
2. Zamazyi, A. A., Kambur, M. D., & Butov, O. V. (2018). Physiological and biochemical changes in the body of cows during pregnancy, natal and postnatal processes. *Science and Technology Bulletin of SRC for Biosafety and Environmental Control of AIC*, 6 (2), 79–84.
3. Skrypkin V. M., Karpovskiy, V. I., Danchuk, O. V., Postoy, R. V., Kryvoruchko, D. I., & Ukraineec, M. A. (2016). Activity and balance of enzymatic antioxidant defense system in the body of pigs with different tone of autonomic nervous system. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences*, 18 (1), 145–148. Retrieved from: <https://nvlvet.com.ua/index.php/journal/article/view/106>
4. Danchuk, O. V. (2015). Aktyvnist katalazy ta superoksyddysmutazy u erytrocytakh svynei ryznykh typiv VND za tekhnolohichnoho stresu. *Visnyk Sumskoho Natsionalnoho Ahramoho Universytetu. Seriya: Veterynarna Medytsyna*, 7 (37), 33–36. [in Ukrainian]
5. Danchuk, O. V., Karpovskiy, V. I., & Danchuk, V. V. (2016). Indices of lipid peroxidation intensity in pigs under the influence of stress factors. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences*, 18 (1), 47–50. Retrieved from <https://nvlvet.com.ua/index.php/journal/article/view/88>
6. Danchuk, O. V., & Karpovskiy, V. I. (2016). Zbalansovanist fermentatyvnoi systemy antyoksydantnoho zakhystu v orhanizmi svynei za dii stresovoho faktora. *Naukovyi Visnyk Veterynarnoi Medytsyny*, 1, 111–116. [in Ukrainian]
7. Ernsberger, U. (2019). The autonomic nervous system: delineating historical landmarks and their translation to target autonomic dysfunctions in multiple sclerosis. *EMJ Neurology*, 7 (1), 90–99. <https://doi.org/10.33590/emjneuro/10310439>
8. Şahin, E., & Gümüşlü, S. (2007). Stress-dependent induction of protein oxidation, lipid peroxidation and anti-oxidants in peripheral tissues of rats: comparison of three stress models (immobilization, cold and immobilization–cold). *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 34 (5–6), 425–431. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1681.2007.04584.x>
9. Sasaki, T., Senda, M., Ohno, T., Kojima, S., & Kubodera, A. (2001). Effect of in vitro ischemic or hypoxic treatment on mitochondrial electron transfer activity in rat brain slices assessed by gas–tissue autoradiography using [<sup>15</sup>O] molecular oxygen. *Brain Research*, 890 (1), 100–109. [https://doi.org/10.1016/S0006-8993\(00\)03143-7](https://doi.org/10.1016/S0006-8993(00)03143-7)
10. Delgado, M. G., Oliva, C., López, E., Ibacache, A., Galaz, A., Delgado, R., Barros, L. F., & Sierralta, J. (2018). Chaski, a novel *Drosophila* lactate/pyruvate transporter required in glia cells for survival under nutritional stress. *Scientific Reports*, 8 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19595-5>
11. Danchuk, V. V., Danchuk, O. V., & Tsepko, N. L. (2012). Aktyvnist systemy antyoksydantnoho zakhystu ta intensyvnist peroksydnoho okysnennia lipidiv u leukotsytakh porosiat pid vplyvom spoluk Zn<sup>2+</sup> ta Cr<sup>3+</sup>. *NV LNU veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii. Seriya: Veterynarni nauky*, 14 (2 (52)), 93–96. [in Ukrainian]
12. Danchuk, O. V. (2017). Indeksy intensyvnosti peroksydnoho okysnennia lipidiv u svynei ryznykh typiv vyshchoi nervovoi diialnosti za tekhnolohichnoho stresu. *Naukovo-Tekhnichniy Biuletyn Derzhavnoho Naukovo-Doslidnoho Kontrolnoho Instytutu Veterynarnykh Preparativ ta Kormovykh Dobavok i Instytutu Biolohii Tvaryn*, 18 (1), 24–29. [in Ukrainian]
13. Danchuk, O. V., & Karpovskiy, V. I. (2017). Aktyvnist hlutationovoi lanky systemy antyoksydantnoho zakhystu u svynei za dii tekhnolohichnoho stresu. *Problemy Zoonzhenerii ta Veterynarnoi Medytsyny*, 35 (2), 143–147. [in Ukrainian]
14. Kambur, M. D., Zamazyi, A. A., & Marenko, N. M. (2017). Pokaznyky rezystentnosti orhanizmu yahniat. *Materialy naukovo-praktychnoi konferentsii vykladachiv, studentiv ta aspirantiv Sumskoho NAU (15 lystopada 2017 r)*. Sumy: Sumskiy NAU [in Ukrainian]
15. Vlizlo, V. V., (red). (2012). *Laboratorni metody doslidzhen u biolohii, tvarynnystvii ta veterynarnii medytsyni: Dovidnyk*. Lviv: SPOLOM [in Ukrainian]
16. Lai, M.-H. (2008). Antioxidant effects and insulin resistance improvement of chromium combined with vitamin C and E supplementation for type 2 diabetes mellitus. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 43 (3), 191–198. <https://doi.org/10.3164/jcfn.2008064>
17. Park, G. J., Lin, B. P., Ngu, M. C., Jones, D. B., & Katelaris, P. H. (2000). Aspartate aminotransferase : alanine aminotransferase ratio in chronic hepatitis C infection: Is it a useful predictor of cirrhosis? *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 15 (4), 386–390. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1746.2000.02172.x>
18. Pechova, A., & Pavlata, L. (2007). Chromium as an essential nutrient: a review. *Veterinárni Medicina*, 52 (1), 1–18. <https://doi.org/10.17221/2010-vetmed>
19. Reddy, G. B., Nayak, S., Reddy, P. Y., & Bhat, K. S. (2001). Reduced levels of rat lens antioxidant vitamins upon in vitro UVB irradiation. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 12 (2), 121–124. [https://doi.org/10.1016/S0955-2863\(00\)00149-2](https://doi.org/10.1016/S0955-2863(00)00149-2)
20. Li, T., Danelisen, I., Lou, H., & Singal, P. K. (2001). Early changes in myocardial antioxidant enzymes in rats treated with adriamycin. *Journal of Molecular and Cellular Cardiology*, 33 (6), A68. [https://doi.org/10.1016/S0022-2828\(01\)90268-8](https://doi.org/10.1016/S0022-2828(01)90268-8)
21. Cadet, J., & Poulsen, H. (2010). Measurement of oxidatively generated base damage in cellular DNA and urine. *Free Radical Biology and Medicine*, 48 (11), 1457–1459. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2010.03.004>
22. Katsuyama, M., Matsuno, K., & Yabe-Nishimura, C. (2011). Physiological roles of NOX/NADPH oxidase, the superoxide-generating enzyme. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 50 (1), 9–22. <https://doi.org/10.3164/jcfn.11-06sr>

### ORCID

- A. Zamazyi  <https://orcid.org/0000-0003-3138-0424>  
M. Kambur  <https://orcid.org/0000-0002-4864-5292>  
V. Kolenchenko  <https://orcid.org/0009-0005-3472-9259>  
O. Demydko  <https://orcid.org/0000-0002-6433-315X>



2024 Zamazyi A. et al. This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.