

ВПЛИВ ТИПУ ВИЩОЇ НЕРВОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА АКТИВНІСТЬ СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗИ ТА ВМІСТ КУПРУМУ І ЦИНКУ В КРОВІ КОРІВ

Ю. О. Сисюк, Ю. В. Кравченко-Довга, В. І. Карповський, О. В. Данчук, О. В. Журенко
olexdan@ukr.net

Національний університет біоресурсів і природокористування України,
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна, rectorat@nubip.edu.ua

Наведено нові наукові дані щодо ступеня і характеру впливу сили, врівноваженості та рухливості коркових процесів на активність супероксиддисмутази та вміст Купруму і Цинку в крові корів. Експеримент проведено на коровах української чорно-рябої молочної породи другої-третьої лактації різних типів вищої нервової діяльності. Дослідження умовно-рефлекторної діяльності проводили за модифікованою методикою умовно-харчових рефлексів Г. В. Паришутіна та Т. В. Іполітової. Матеріалом для досліджень слугували зразки крові тварин, у яких визначали вміст Цинку та Купруму та активність супероксиддисмутази.

Встановлено, що у корів сильного врівноваженого інертного та сильного нерівноваженого типу ВНД вміст Цинку в крові був нижчий на 17,1 % ($P < 0,001$) та 18,5 % ($P < 0,01$) відповідно від показників корів сильного врівноваженого рухливого типу, тоді як вміст Купруму вірогідно не відрізнявся. У тварин слабого типу ВНД вміст Цинку та Купруму в крові вірогідно менший, відповідно, на 8,3 % ($P < 0,05$) та 24,6 % ($P < 0,001$) від показників тварин сильного врівноваженого рухливого типу. Активність супероксиддисмутази у крові корів сильного врівноваженого рухливого та сильного врівноваженого інертного типу ВНД вірогідно не відрізняється і більша на 17,2–24,1 % ($P < 0,05$) від показника тварин сильного нерівноваженого та слабого типу. Сила коркових процесів впливає на вміст Купруму, Цинку та активність супероксиддисмутази в крові корів ($P < 0,01–0,05$). Врівноваженість коркових процесів вірогідно лімітує активність супероксиддисмутази та вміст Цинку у крові ($P < 0,01$), а рухливість процесів збудження і гальмування у корі головного мозку впливає лише на вміст Цинку у крові корів ($P < 0,01$).

Ключові слова: КОРОВИ, ВИЩА НЕРВОВА ДІЯЛЬНІСТЬ, ЦИНК, КУПРУМ, СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗА

THE INFLUENCE OF HIGH NERVOUS ACTIVITY TYPE ON SUPEROXIDE DISMUTASE ACTIVITY AND CONTENT OF COPPER AND ZINC IN THE BLOOD OF COWS

Yu. O. Sisyuk, Yu. V. Kravchenko-Dovga, V. I. Karpovsky, O. V. Danchuk, O. V. Zhurenko
olexdan@ukr.net

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
15 Geroyiv Oborony str., Kyiv 03041, Ukraine, rectorat@nubip.edu.ua

New scientific data concerning the degree and nature of the influence of the main characteristics of cortical processes on the activity of superoxide dismutase and the content of Copper and Zinc in the blood of cows are presented. The experiment has been conducted on cows of Ukrainian black-and-white breed of 2nd-3rd lactation with different types of higher nervous activity (HNA). Investigations of conditioned-reflex activity were performed according to the modified method of conditional-food reflexes G. V. Parshutina and T. V. Hippolyte. The research material used was blood samples of animals that determined the content of Zinc and Copper and the activity of superoxide dismutase.

It has been found that in cows of strong, balanced inert and strong unbalanced type of HNA, the content of zinc in the blood was lower by 17.1 % ($P < 0.001$) and 18.5 % ($P < 0.01$) in accordance with indicators of strong, balanced, mobile type cows, whereas, as the contents of Copper did not differ significantly. In animals of the weak type of GNI, the content of zinc and Copper in the blood is significantly less than 8.3 % ($P < 0.05$) and 24.6 % ($P < 0.001$), respectively, of the animals of a strong, well-balanced, type of animal. The activity of superoxide dismutase in the blood of cows of a strong, balanced, mobile and strong, balanced inert type of HNA does not differ significantly and rises above 17.2–24.1 % ($P < 0.05$) from the indicator of strong and unbalanced and weak type animals. The strength of the cortical processes affects the content of Copper, Zinc and the activity of superoxide

dismutase in the blood of cows ($P < 0.01-0.05$). Correlation of cortical processes significantly limits the activity of superoxide dismutase and the content of zinc in the blood ($P < 0.01$), and the mobility of excitatory and inhibition processes in the cerebral cortex affects only the content of zinc in the blood of cows ($P < 0.01$).

Keywords: COWS, HIGHER NERVOUS ACTIVITY, ZINC, COPPER, SUPERROXIDE DISMUTASE

ВЛИЯНИЕ ТИПА ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА АКТИВНОСТЬ СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗЫ И СОДЕРЖАНИЕ МЕДИ И ЦИНКА В КРОВИ КОРОВ

Ю. А. Сисюк, Ю. В. Кравченко-Долгая, В. И. Карповский, А. В. Данчук, Е. В. Журенко
olexdan@ukr.net

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины,
ул. Героев Оборона, 15, г. Киев, 03041, Украина, rectorat@nubip.edu.ua

Приведены новые научные данные о степени и характера влияния силы, уравновешенности, подвижности процессов на активность супероксиддисмутазы и содержание меди и цинка в крови коров. Эксперимент проведен на коровах украинской черно-пестрой молочной породы второй-третьей лактации различных типов высшей нервной деятельности. Исследование условно-рефлекторной деятельности проводили по модифицированной методике условно-пищевых рефлексов Г. В. Паршутина и Т. В. Ипполитова. Материалом для исследований послужили образцы крови животных, в которых определяли содержание цинка, меди и активность супероксиддисмутазы.

Установлено, что у коров сильного уравновешенного инертного и сильного неуравновешенного типа ВНД содержание цинка в крови ниже на 17,1 % ($P < 0,001$) и 18,5 % ($P < 0,01$) в соответствии с показателями коров сильного уравновешенного подвижного типа, тогда как содержание меди достоверно не отличалось. У животных слабого типа ВНД содержание цинка и меди в крови достоверно меньше, соответственно, на 8,3 % ($P < 0,05$) и 24,6 % ($P < 0,001$) от показателей животных сильного уравновешенного подвижного типа. Активность супероксиддисмутазы в крови коров сильного уравновешенного подвижного и сильного уравновешенного инертного типа ВНД достоверно не отличается и выше на 17,2–24,1 % ($P < 0,05$) от показателя животных сильного неуравновешенного и слабого типа. Сила корковых процессов влияет на содержание меди, цинка и активность супероксиддисмутазы в крови коров ($P < 0,01-0,05$). Уравновешенность корковых процессов достоверно лимитирует активность супероксиддисмутазы и содержание цинка в крови ($P < 0,01$), а подвижность процессов возбуждения и торможения в коре головного мозга влияет только на содержание цинка в крови коров ($P < 0,01$).

Ключевые слова: КОРОВЫ, ВЫСШАЯ НЕРВНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ, ЦИНК, МЕДЬ, СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗА

Дослідження вищої нервової діяльності (ВНД) у тварин дозволить передбачити не тільки характер індивідуальних реакцій організму, але й прогнозувати її майбутню продуктивність [9]. Знання кортикальних механізмів регуляції фізіологічних функцій створює передумови для їх цілеспрямованої корекції [8, 10, 13]. Встановлено вірогідний вплив основних характеристик коркових процесів на інтенсивність пероксидного окиснення ліпідів та активність системи антиоксидантного захисту в організмі свиней різного віку [3, 8]. Ключовим ферментом системи антиоксидантного захисту є супероксиддисмутаза (СОД, КФ. 1.15.1.1) [11]. У моле-

кулі ферменту метали виконують каталітичну функцію, послідовно відновлюючись і окислюючись в активному центрі ферменту. Так, Cu-Zn-СОД у активному центрі містить Cu^{2+} , який відновлюється до Cu^+ та знову окислюється до Cu^{2+} . Однак Купрум займає тільки 1 % поверхні ферменту, тому без електростатичного впливу O_2^- інтенсивний каталіз є неможливим. Цинк у молекулі СОД забезпечує відповідну конформацію білка, а мідь бере активну участь у каталізі реакції дисмутації [4]. Підвищена продукція супероксидрадикалу (O_2^-) викликає зростання супероксиддисмутазної активності [2]. В організмі ссавців супероксиддисмутазна активність

виявлена у всіх органах і тканинах, однак у мозку, печінці, еритроцитах, нирках, щитовидній залозі активність ензиму найбільша [6]. Встановлено, що активність СОД характеризується віковими, видовими і статевими особливостями [5]. Регуляція активності супероксиддисмутази здійснюється редокс-системою клітини. Активність СОД детермінується інтенсивністю радикалоутворення і залежить від рівня продуктів ПОЛ у клітині [4].

Оптимальний вміст і співвідношення есенціальних мікроелементів в організмі тварин зумовлюють нормальний перебіг фізіологічних функцій організму, високу резистентність та продуктивність [16]. Купрум є важливим компонентом мінерального живлення і належить до біотиків, нестача яких призводить до значних порушень в обміні речовин [1, 16]. Маючи різні валентні стани, Купрум, залежно від природи і розташування лігандів, дозволяє Купрум-утримуючим білкам охоплювати широкий інтервал окисно-відновних потенціалів [12]. Еритроцити крові містять значну кількість Купруму, до 60 % якого включено до супероксиддисмутази [16]. Купрум також впливає на процеси мієлінізації в нервовій системі, стимулює імунологічний захист [15]. Цинк є важливим компонентом понад 200 ензимів, регулює обмін речовин, активує статеві гормони, гормони гіпофіза і підшлункової залози [7]. Тому при його дефіциті порушується відтворна функція, обмін речовин — особливо білковий і вуглеводний, відбувається затримка росту й розвитку молодняка. Цинк має важливе значення для становлення і функціонування імунної системи, стабільності клітинних мембран і експресії генів [15]. З літературних даних відомо, що низька концентрація сироваткового Цинку свідчить про його дефіцит, тоді як нормальна не завжди є показником достатнього вмісту його в організмі [16].

Субстратні та гуморальні механізми регуляції обміну окремих мікроелементів та активності ензимів на сьогодні досить добре вивчені [11, 4, 16, 15]. Однак у доступній літературі відсутні дані щодо впливу основних характеристик нервових процесів на активність системи антиоксидантного захисту та обмін мінеральних речовин у крові продук-

тивних корів. Тому метою наших досліджень було з'ясувати ступінь та характер впливу типологічних особливостей нервової системи на вміст Цинку, Купруму й активність супероксиддисмутази в організмі корів.

Матеріали і методи

Робота виконана на кафедрі біохімії і фізіології тварин імені академіка М. Ф. Гулого Національного університету біоресурсів і природокористування України (м. Київ). Експериментальна частина роботи виконана на базі молочних ферм ПСП «Колос» смт Бородянка Київської обл. Всього у дослідженнях використано 85 тварин. Лабораторні дослідження проводили у проблемній науково-дослідній лабораторії фізіології та експериментальної патології тварин кафедри фізіології, патофізіології та імунології тварин НУБіП України та Українській лабораторії якості та безпеки продукції АПК НУБіП України. Експеримент проведено на коровах української чорно-рябї породи другої-третьої лактації різних типів вищої нервової діяльності (ВНД). Дослідження умовно-рефлекторної діяльності проводили за модифікованою методикою умовно-харчових рефлексів Г. В. Паршутіна та Т. В. Іполітової [14]. За результатами дослідження умовно-рефлекторної діяльності було сформовано 4 дослідні групи по 10 тварин у кожній. До першої групи входили тварини сильного врівноваженого рухливого (СВР), до другої — сильного врівноваженого інертного (СВІ), до третьої — сильного нерівноваженого (СН), до четвертої — слабого (С) типу ВНД. Матеріалом для досліджень слугували зразки крові тварин, отримані з яремної вени зранку до годівлі. У цільній крові визначали вміст Цинку та Купруму методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії в полум'яному режимі та активність супероксиддисмутази [17]. Одержані цифрові дані опрацьовували статистично.

Результати й обговорення

Встановлено, що сила коркових процесів у тварин сильних типів вищої нервової діяльності дещо відрізняється, зокрема у тварин СВІ та СН типу ВНД показник менший на

13,4 % та 20 % ($P < 0,05$) від показників тварин СВР типу. У тварин СВІ та СН типів ВНД сила коркових процесів вірогідно не різниться і більша в середньому у 2,4–2,6 разу ($P < 0,001$) від показників тварин слабого типу (табл. 1).

Сила коркових процесів у тварин слабого типу ВНД втричі ($P < 0,001$) нижча від показників тварин СВР типу ВНД. Врівноваженість коркових процесів у тварин врівноважених типів ВНД (СВР та СВІ) вірогідно не відрізняється та більша у 2,0–2,5 разу ($P < 0,001$) від показників тварин СН та слабого типу. Рухливість коркових процесів у тварин СВР типу ВНД більша втричі ($P < 0,001$), в 1,7 разу ($P < 0,001$) та у 2,5 разу ($P < 0,001$) до показників тварин СВІ, СН та слабого типу ВНД відповідно. Потрібно зазначити, що рухливість коркових процесів збудження і гальмування у корі великого мозку корів СН типу ВНД більша в 1,8 разу ($P < 0,001$) від показників тварин СВІ типу. Середній показник основних характеристик коркових процесів у тварин СВР типу ВНД був, відповідно, на 29,0 % ($P < 0,001$), 37,7 % ($P < 0,001$) та 32,3 % ($P < 0,001$) більший до показників тварин СВІ, СН та слабого типу ВНД. Отже, визначення типологічних особливостей вищої нервової діяльності у корів за цією методикою дозволяє вірогідно визначити тип вищої нервової діяльності корів для формування дослідних груп.

Проведеними дослідженнями встановлено, що у тварин СВР типу ВНД вміст Цинку становив $20,67 \pm 0,95$ мкмоль/дм³, Купруму — $13,28 \pm 0,29$ мкмоль/дм³, що характеризує достатнє забезпечення всіх фізіологічних функцій, пов'язаних з цими мінеральними речовинами (табл. 2). У корів СВІ та СН типу ВНД вміст Цинку в крові був нижчий на 17,1 % ($P < 0,001$) та 18,5 % ($P < 0,01$) відповідно до показників корів СВР типу ВНД, тоді як вміст Купруму у крові цих тварин вірогідно не відрізнявся. У тварин слабого типу ВНД вміст Цинку та Купруму в крові був вірогідно меншим, відповідно, на 8,3 % ($P < 0,05$) та 24,6 % ($P < 0,001$) від показників тварин СВР типу, що вказує на відносний дефіцит цих мікроелементів в організмі.

Активність СОД у крові корів СВР та СВІ типу ВНД вірогідно не відрізняється та вища на 17,2–24,1 % ($P < 0,05$) від показника тварин СН та слабого типу.

Проведеним регресійним аналізом встановлено залежність вмісту Цинку, Купруму й активності СОД у крові корів від процесів збудження і гальмування у корі великих півкуль головного мозку (табл. 3). При зменшенні показника сили, врівноваженості чи рухливості коркових процесів на одну одиницю, вміст Цинку в крові змінюється у тому ж напрямку на 1,6–1,7 мкмоль/дм³ ($P < 0,001$). Коефіцієнт детермінації становить 0,40–0,42 ($P < 0,01$), отже, до 42 % варіацій вмісту Цинку в крові корів зумовлені варіабельністю сили, врівноваженості чи рухливості коркових процесів.

Врівноваженість та рухливість коркових процесів, на відміну від їх сили, не взаємопов'язана з вмістом Купруму в крові корів ($b = 0,31 - 0,38$; $P > 0,05$). При зміні сили коркових процесів на одну одиницю вміст Купруму в крові корів вірогідно змінюється у тому ж напрямку на 0,53 мкмоль/дм³ ($P < 0,05$). Коефіцієнт детермінації сили коркових процесів та вмісту Купруму в крові корів становить 0,258 ($P < 0,05$), отже, до 26 % варіацій вмісту Купруму в крові корів зумовлені варіабельністю сили коркових процесів.

Активність СОД вірогідно лімітована силою і врівноваженістю коркових процесів. Так, при зміні сили і врівноваженості коркових процесів на одну одиницю активність СОД у крові змінюється у тому ж напрямку на 0,07 ммоль/мг білка/хв ($P < 0,05$) та, відповідно, 0,09 ммоль/мг білка/хв ($P < 0,001$); крім цього встановлено, що до 22 % ($P < 0,05$) і 45 % ($P < 0,001$) варіацій активності СОД у крові корів зумовлені варіабельністю сили та врівноваженості коркових процесів.

Встановлено, що активність СОД вірогідно залежить від вмісту Цинку в крові корів. Так, при зміні вмісту Цинку в крові корів на одну одиницю активність СОД змінюється у тому ж напрямку на 0,066 ммоль/мг білка/хв ($P < 0,05$), до 21 % ($P < 0,05$) варіацій активності ензиму в крові корів зумовлені варіабельністю вмісту Цинку. Однак вміст Купруму вірогідно не впливає на активність СОД, хоча показник вірогідності впливу становить $P = 0,051$. Отже, у зв'язку з цим ми можемо з високою ймовірністю стверджувати, що до 20 % варіацій активності СОД у крові корів зумовлені вмістом Купруму у їхній крові.

Таблиця 1

Показники коркових процесів у корів різних типів вищої нервової діяльності, ум. од. (M±m, n=5)
Indicators of cortical processes in cows of different types of higher nervous activity, conditional units (M±m, n=5)

Показник / Index	Тип вищої нервової діяльності / Type of higher nervous activity			
	CBP / SBM	CBI / SBI	CH / SU	C / W
Сила / Strength	3,0±0,0	2,6±0,3	2,4±0,3*	1,0±0,0***
Врівноваженість / Balance	3,0±0,0	2,8±0,2	1,4±0,3***	1,2±0,2***
Рухливість / Mobility	3,0±0,0	1,0±0,0***	1,8±0,4***	1,2±0,2***
Середній показник / Average indicator	3,0±0,0	2,1±0,1***	1,9±0,1***	1,1±0,1***

Примітка: тут і далі статистично вірогідна різниця щодо показників CBP типу ВНД: *_*** — P<0,05–P<0,001.
Note: here and further the statistically significant difference compared to SBM type of HNA is: *_*** — P<0.05–P<0.001.

Таблиця 2

Вміст Цинку, Купруму та активність супероксиддисмутази в крові корів різних типів вищої нервової діяльності (M±m, n=5)
The content of Zinc, Copper and the superoxide dismutase activity in the blood of cows of various types of higher nervous activity (M±m, n=5)

Показник / Index	Тип вищої нервової діяльності / Type of higher nervous activity			
	CBP / SBM	CBI / SBI	CH / SU	C / W
Купрум, мкмоль/дм ³ Copper, μmol/dm ³	13,3±0,3	13,4±0,4	12,8±0,6	12,2±0,4*
Цинк, мкмоль/дм ³ Zinc, μmol/dm ³	20,7±1,0	17,1±0,3**	16,8±0,3***	15,6±0,7***
Супероксиддисмутаза, ммоль/мг білка/хв Superoxide dismutase, mmol/mg protein/min	1,03±0,05	1,02±0,03	0,87±0,04*	0,83±0,07*

Примітка: вірогідні різниці з CBP типом ВНД: * — P<0,05; ** — P<0,01; *** — P<0,001.
Note: Authentic difference with SBM type of HNA: * — P<0.05; ** — P<0.01; *** — P<0.001.

Таблиця 3

Регресійний аналіз залежності вмісту Цинку, Купруму та активності супероксиддисмутази у крові корів залежно від основних характеристик коркових процесів, ум. од. (n=20)
Regression analysis of the dependence of the content of zinc, copper and the superoxide dismutase activity in the blood of cows, depending on the main characteristics of the cortical processes, conditional units (n=20)

Показники Indexes	Статистичні параметри / Statistical parameters		
	Коефіцієнт регресії Regression coefficient	R-квадрат R-square	P-значення P-value
<i>Активність супероксиддисмутази / Superoxide dismutase activity</i>			
Сила / Strength	0,071	0,224	0,035
Врівноваженість / Balance	0,094	0,446	0,001
Рухливість / Mobility	0,044	0,099	0,178
<i>Вміст Цинку / Zinc content</i>			
Сила / Strength	1,689	0,402	0,003
Врівноваженість / Balance	1,600	0,414	0,002
Рухливість / Mobility	1,609	0,418	0,002
<i>Вміст Купруму / Copper content</i>			
Сила / Strength	0,533	0,258	0,022
Врівноваженість / Balance	0,306	0,097	0,180
Рухливість / Mobility	0,383	0,152	0,089
<i>Активність супероксиддисмутази / Superoxide dismutase activity</i>			
Вміст Купруму / Copper content	0,025	0,195	0,051
Вміст Цинку / Zinc content	0,066	0,208	0,043

Таким чином, отримано нові дані щодо коркових механізмів регуляції вмісту окремих мікроелементів та активності супероксиддисмутази у крові корів. Встановлено лімітуючий вплив основних характеристик коркових процесів на вміст Купруму і Цинку та активність супероксиддисмутази в крові корів.

Висновки

У корів сильного врівноваженого інертного та сильного нерівноваженого типу ВНД вміст Цинку в крові був нижчий на 17,1 % ($P < 0,001$) та 18,5 % ($P < 0,01$) відповідно до показників корів сильного врівноваженого рухливого типу.

У тварин слабого типу ВНД вміст Цинку та Купруму в крові вірогідно менший, відповідно, на 8,3 % ($P < 0,05$) та 24,6 % ($P < 0,001$) від показників тварин сильного врівноваженого рухливого типу.

Активність супероксиддисмутази у крові корів сильного врівноваженого рухливого та сильного врівноваженого інертного типу ВНД вища на 17,2–24,1 % ($P < 0,05$) від показника тварин сильного нерівноваженого та слабого типу.

Сила процесів збудження і гальмування у корі головного мозку вірогідно впливає на вміст Купруму, Цинку та активність супероксиддисмутази у крові корів ($P < 0,01$ – $0,05$), врівноваженість лімітує активність супероксиддисмутази та вміст Цинку у крові ($P < 0,01$), а рухливість впливає лише на вміст Цинку у крові корів ($P < 0,01$).

Перспективи подальших досліджень.

Отримані результати досліджень створюють передумови для розробки нових, сучасних та безпечних методів корекції активності системи антиоксидантного захисту та обміну мікроелементів в організмі тварин з урахуванням індивідуальних особливостей їхньої нервової системи.

1. Andrewartha K. A., Caple I. W. Effects of changes in nutritional copper on erythrocyte superoxide dismutase activity in sheep. *Research in Veterinary Science*, 1980, vol. 28, issue 1, pp. 101–104. DOI: 10.1016/S0034-5288(18)32781-4.

2. Bowler C., Montagu M., Inze D. Superoxide dismutase and stress tolerance. *Annual review of plant biology*, 1992, vol. 43, pp. 83–116. DOI: 10.1146/annurev.pp.43.060192.000503.

3. Danchuk O. V., Karpovskiy V. I., Trokoz V. O., Postoi R. V. Regulation mechanisms of cortisol level

in pigs' blood serum under stress. *Physiological Journal*, 2017, vol. 63, no. 6, pp. 60–65. DOI: 10.15407/fz63.06.060. (in Ukrainian)

4. Danchuk V. V. Processes of lipid peroxidation, hormonal and substrate mechanisms of regulation of antioxidant system in pig tissues. A dissertation. Lviv, Institute of Animal Biology UAAS, 2002, pp. 290. (in Ukrainian)

5. Danchuk V. V., Danchuk A. V., Tsepko N. L. Oxidative stress — is it a pathology or an adaptation? *Livestock of Ukraine*, 2004, no. 4, pp. 21–23. (in Ukrainian).

6. Deng H. X., Hentati A., Tainer J. A., Iqbal Z., Cayabyab A., Hung W. Y., Getzoff E. D., Hu P., Herzfeldt B., Roos R. P. Amyotrophic lateral sclerosis and structural defects in Cu, Zn superoxide dismutase. *Science*, 1993, vol. 261, issue 5124, pp. 1047–1051. DOI: 10.1126/science.8351519.

7. Institute of Medicine. *Dietary reference intakes for vitamins and minerals*. National Academy Press, Washington, DC, 2000.

8. Karpovskiy P. V., Karpovskiy V. V., Trokoz A. V., Landsman A. A., Skrypkina V. N., Postoi R. V., Kryvoruchko D. I., Trokoz V. O., Karpovskiy V. I. Cortico-vegetative regulation of relations in the physiological functions of pigs. *The Animal Biology*, 2015, vol. 17, no. 2, pp. 65–73. (in Ukrainian)

9. Karpovskiy V. I., Trokoz V. O., Danchuk O. V., Postoi R. V., Karpovskiy V. V., Vasylyv A. P. The influence of the main cortical processes on the productivity of pigs during the period of technological stress. *Ecology and animal world*, 2016, no. 2, pp. 8–13. (in Ukrainian)

10. Kokorina E. P. *Conditioned reflexes and productivity of animals*. Moscow, Agropromizdat, 1986, 335 p. (in Russian)

11. Marklund S., Marklund G. Involvement of the superoxide anion radical in the autoxidation of pyrogallol and a convenient assay for superoxide dismutase. *The FEBS Journal*, 1974, vol. 47, no. 3, pp. 469–474.

12. McDowell L. R. *Minerals in animal and human nutrition*. 2nd ed. Elsevier Health Sciences, 2003, 644 p.

13. Naumenko V. V. Some features of higher nervous activity and types of the nervous system in pigs. A dissertation abstract. Lviv, LNUVM named after S. Z. Gzhytsky, 1968, 36 p. (in Ukrainian)

14. Parshutin G. V., Ippolitova T. V. Types of higher nervous activity, their definition and relationship with the productive qualities of animals. Frunze, Kyrgyzstan, 1973. (in Russian)

15. Spears J. Trace mineral bioavailability in ruminants. *The Journal of Nutrition*, 2003, vol. 133, issue 5, pp. 1506S–1509S. DOI: 10.1093/jn/133.5.1506S.

16. Underwood E. J., Suttle N. F. *The Mineral Nutrition of Livestock*. 3rd ed. Oxon, CABI Publishing; 1999, 614 p. DOI: 10.1079/9780851991283.0000.

17. Vlizlo V. V. (ed.), Fedoruk R. S., Ratych I. B. *Laboratory methods of research in biology, animal husbandry and veterinary medicine*. A guide. Lviv, Spolom, 2012, 764 p. (in Ukrainian)