



Науковий вісник Львівського національного університету  
ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького.

Серія: Ветеринарні науки

Scientific Messenger of Lviv National University  
of Veterinary Medicine and Biotechnologies.

Series: Veterinary sciences

ISSN 2518–7554 print  
ISSN 2518–1327 online

doi: 10.32718/nvlvet12002  
<https://nvlvet.com.ua/index.php/journal>

UDC 637.5'12:636.4:612.411.6

## Meat quality, biochemical and antioxidant indices of pig tissues when fed organic compounds of trace elements (Cu, Mn, Zn, Fe) as part of a feed additive

V. V. Vlizlo 

*Institute of Agriculture of Carpathian region the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Obroshyne, Ukraine*

### Article info

Received 28.08.2025

Received in revised form  
29.09.2025

Accepted 30.09.2025

*Institute of agriculture of  
Carpathian region the National  
Academy of Agrarian Sciences of  
Ukraine, Hrushevs'koho Str., 5,  
Obroshyne village, Lviv district,  
Lviv region, 81115, Ukraine.  
Tel.: +38-093-401-46-33  
E-mail: vlizlovolodymyr@gmail.com*

*Vlizlo, V. V. (2025). Meat quality, biochemical and antioxidant indices of pig tissues when fed organic compounds of trace elements (Cu, Mn, Zn, Fe) as part of a feed additive. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary sciences, 27(120), 10–17. doi: 10.32718/nvlvet12002*

Mineral feed additives play an important role in pig production. The aim of the study was to determine the specific effects of organic microelement compounds (copper, manganese, zinc, iron) included in a feed additive on the meat quality characteristics, as well as the biochemical and antioxidant parameters of pig tissues. The organic forms of microelements were obtained by combining microelement salts with N-PEGylated glutamic acid. The experiments were conducted on three groups of pigs: one control group and two experimental groups. The control group received a feed additive containing inorganic microelements, whereas the experimental groups were supplemented with an organic microelement complex. After completing the experiment with different forms of microelements in the feed additive, three pigs from each group were selected for slaughter. After slaughter, meat quality indicators were determined, and biochemical and antioxidant analyses of tissues were performed. The use of organic microelement compounds with N-PEGylated glutamic acid in a mineral feed additive, at lower doses compared to inorganic sulfate forms of microelements—Cu<sup>2+</sup> by 51% and 48 %, Mn<sup>2+</sup> by 42 % and 39 %, Zn<sup>2+</sup> by 20% and 17 %, Fe<sup>2+/3+</sup> by 36 % and 33 %—showed a positive effect on meat quality parameters, metabolic processes, and the antioxidant status of finishing pigs. The overall moisture and acidity of the meat, as well as the content of dry matter, soluble protein, and intramuscular fat, were within the normative limits according to the veterinary and sanitary assessment. Biochemical and antioxidant studies of tissues (longissimus dorsi muscle, liver, kidney, spleen) indicated an active course of metabolic processes and a stable antioxidant defense in pigs supplemented with lower doses of organic compounds of copper, manganese, zinc, and iron. Future research should include an analysis of the effect of the organic microelement complex with N-PEGylated glutamic acid on productive performance of finishing pigs and the excretion of mineral elements in their feces.

**Key words:** pigs, organic microelement compounds, meat quality, biochemical and antioxidant indicators.

## Якість м'яса, біохімічні та антиоксидантні показники тканин свиней за згодовування органічних сполук мікроелементів (Cu, Mn, Zn, Fe) у складі кормової добавки

В. В. Влізло 

*Інститут сільського господарства Карпатського регіону НААН, с. Оброшине Львівської області, Україна*

Мінеральні кормові добавки мають важливе значення для свинарства. Метою досліджень було встановити особливості впливу органічних сполук мікроелементів (купрум, манган, цинк, ферум) у складі кормової добавки на якість характеристику м'яса, а також біохімічні та антиоксидантні показники тканин свиней. Органічні форми мікроелементів створено після з'єднання солей мікроелементів з N-пегельованою глутаміновою кислотою. Досліди проводили на трьох групах свиней – одній контрольній та двох

дослідних. Контрольна група отримувала кормову добавку з неорганічними мікроелементами, а дослідні групи – органічним комплексом мікроелементів. Після закінчення експерименту зі згодовування різних форм мікроелементів у складі кормової добавки з кожної групи було відібрано по 3 свині для забою. Після забою визначали якісні показники м'яса, а також проводили біохімічні та антиоксидантні дослідження тканин. Застосування у складі мінеральної кормової добавки органічних сполук мікроелементів з *N*-пегельованою глутаміновою кислотою у дозах нижчих, порівняно з неорганічними сульфатними формами мікроелементів, для  $Cu^{+2}$  – на 51 та 48 %,  $Mn^{+2}$  – на 42 та 39 %,  $Zn^{+2}$  – на 20 та 17%,  $Fe^{+2/3+}$  – на 36 та 33 %, показало позитивний вплив на якісні показники м'яса і метаболічні процеси та антиоксидантний стан у тканинах відгодівельних свиней. Загальна вологість та кислотність м'яса, вміст сухої речовини, розчинного протеїну і внутрішньому'язового жиру згідно ветеринарно-санітарної оцінки знаходилися у нормативних межах. Біохімічні та антиоксидантні дослідження тканин (найдовший м'яз спини, печінка, нирка, селезінка) свиней вказували на активний перебіг метаболічних процесів та стабільний антиоксидантний захист в організмі за згодовування нижчих доз органічних сполук купруму, мангану, цинку та феруму. У перспективі актуальним є провести аналіз дії органічного комплексу мікроелементів з *N*-пегельованою глутаміновою кислотою на продуктивні показники відгодівельних свиней та виділення мінеральних елементів з їхніми каловими масами.

**Ключові слова:** свині, органічні сполуки мікроелементів, якість м'яса, біохімічні та антиоксидантні показники

## Вступ

До життєво необхідних (біогенних) мікроелементів відносяться ферум, цинк, купрум, манган, кобальт, йод, селен. Біогенні мікроелементи відіграють важливу роль в організмі тварин. Вони впливають на функції кровотворення, ендокринних залоз, захисні реакції організму, мікрофлору травного тракту, беруть участь в обміні речовин, тощо (Levchenko & Vlizlo, 2019; Daniel et al., 2023). Потреба тварин у мікроелементах залежить від віку, інтенсивності росту та розвитку, продуктивності, стану метаболізму і здоров'я (Goff, 2018; Palomares, 2022). Оптимальний вміст і співвідношення біогенних мікроелементів в організмі є основою для фізіологічного перебігу метаболізму та здоров'я тварин. Нестача декількох, або одного з них веде до порушення функціонування органів і систем та спричиняє захворюваність тварин (Levchenko et al., 2015; Silva et al., 2022).

Основним джерелом мікроелементів для тварин є корми. Тому забезпечення їх мінеральними речовинами пов'язане з якістю кормів та збалансованістю раціонів. Однак отримання продуктивними тваринами мікроелементів лише з кормами є недостатнім. Тому для них додатково у раціони вводять премікси, у яких є різні сполуки мінеральних речовин. Вважають, що купрум, манган, цинк та ферум є найбільш необхідні для організму тварин і повинні обов'язково входити до складу раціонів у якості мінеральних добавок (Byrne & Murphy, 2022; Pejsak et al., 2023). Біологічна доступність мікроелементів з мінеральних преміксів, або кормових добавок для організму є неоднаковою, оскільки їх засвоєння тісно пов'язане з хімічною структурою та технологічними процесами синтезу. У тваринництві у якості мінеральних добавок використовуються переважно неорганічні солі макро- та мікроелементів. Доведено, що вони мають ряд недоліків при зберіганні, застосуванні та засвоєнні організмом, а також можуть викликати токсичність (Wang et al., 2019; Sun et al., 2020). Неорганічні солі мікроелементів погано засвоюються після згодовування тваринам, тому у великій кількості виділяються з калом, який застосовується на полях в якості органічного добрива, спричиняючи забруднення навколишнього середовища (Ma et al., 2020; Broom et al., 2021). Це особливо актуально при внесенні на поля свинячого гною, оскільки для забезпечення інтенсивного росту свиням

згодовують високі, а часто навіть надмірні дози мінеральних речовин (Qian et al., 2018; Xiong et al., 2025).

Неорганічні солі мікроелементів, такі як оксиди, карбонати, хлориди та сульфати, традиційно використовуються в комерційних рецептурах кормів для задоволення мінеральних потреб продуктивних тварин і запобігання дефіциту. Хоча неорганічна форма є недорогою у приготуванні кормових преміксів, однак цілий ряд досліджень вказують на перевагу при використанні органічних комплексів мікроелементів. Тому важливим є пошук нових форм і сполук мікроелементів, які введені в організм свиней у невеликих кількостях можуть забезпечувати їх потребу (Pomport et al., 2021; Song et al., 2024). На відміну від неорганічних солей, органічні форми мають здатність надходити до кишечника в незмінному вигляді, зберігають стабільність при різних рівнях рН у шлунково-кишковому тракті, володіють високим ступенем засвоєння (Xu et al., 2024). З органічних форм мікроелементів найбільш часто використовуються сполуки з амінокислотами, пептидами, полісахаридами та органічними кислотами (Lin et al., 2020; Byrne et al., 2021).

Сьогодні синтетично створюються різні сполуки, які здатні утворювати комплекси з лікарськими засобами та біологічно активними речовинами, для кращого транспортування і покращення біосумісності в організмі тварин (Zelenina et al., 2022; Vlizlo et al., 2023; Kozak et al., 2025). Зокрема, ведеться пошук нових форм і сполук мікроелементів органічного походження, які при введенні в організм у невеликих кількостях можуть забезпечувати потребу тварин (Iskra et al., 2017; Shannon & Hill, 2019; Zhang et al., 2021). Існують різні форми органічних сполук мінеральних речовин, тому важливим є встановити найбільш біодоступні та визначити їх ефективні дози. Зокрема, штучно синтезовані псевдоамінокислоти не володіють токсичністю, добре з'єднуються з біологічними транспортними системами організму, надходячи у клітини різних органів (Varvarenko et al., 2015; Chekh et al., 2017; Stasiuk et al., 2022). Створені полімери на основі псевдоамінокислоти (поліоксietiленових похідних глутамінової кислоти) можуть успішно застосовуватися у якості носіїв для доставки лікарських засобів (Numata, 2015; Boddu et al., 2021; Fihurka et al., 2024), зокрема й мінеральних речовин (Varvarenko et al., 2021). Однак створені нові форми органічних сполук мінеральних елементів потребують глибокого та всебічного вивчення їх хімічних та фізичних властивос-

тей і біодоступності для організму тварин. Відсутні дані про застосування сполук мікроелементів з похідними глютамінової кислоти на продуктивних тварин.

Отже, органічні форми мікроелементів мають кращу ефективність і сьогодні все частіше ними рекомендують замінювати неорганічні солі мікроелементів. Кількість введення органічних сполук мікроелементів є нижчою, порівняно до неорганічних, але межа, до якої можна знизити їх рівень у раціоні, чітко не визначена. Крім цього, синтезуються різні сполуки для створення органічних форм мінеральних речовин, тому важливим є встановити для кожної з них найбільш біодоступні та ефективні дози.

### Мета дослідження

Метою наших досліджень було встановити особливості впливу органічних сполук мікроелементів (купрум, манган, цинк, ферум) у складі кормової добавки на якісну характеристику м'яса свиней, а також біохімічні та антиоксидантні показники тканин.

### Матеріал і методи досліджень

Органічні форми мікроелементів було створено після з'єднання водних розчинів солей мікроелементів ( $CuSO_4 \times 2H_2O$ ,  $MnSO_4 \times 5H_2O$ ,  $ZnSO_4 \times 7H_2O$ ,  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \times 6H_2O$ ) з полімером-транспортером на основі N-пегельованої глютамінової кислоти (Oleksa et al., 2018). За допомогою атомноабсорбційного спектрофотометра встановлено, що у 1 грамі новоствореного препарату було 0,0222 ммоль купруму ( $Cu^{2+}$ ), 0,0359 ммоль мангану ( $Mn^{2+}$ ), 0,0319 ммоль цинку ( $Zn^{2+}$ ) та  $0,03 \div 0,05$  ммоль феруму ( $Fe^{2+/3+}$ ). Для виготовлення мікроелементної кормової добавки сполуки мікроелементів (Cu, Mn, Zn, Fe) з N-пегельованою глютаміновою кислотою наносили на комбікорм.

Для проведення дослідів у господарстві за принципом аналогів було утворено три групи гібридних свиней F-4, одну контрольну та дві дослідні, по 10 тварин у кожній. Свині знаходилися на відгодівлі та були у віці 75 діб. Контрольні та дослідні тварини отримували повноцінний комбікорм з власного комбікормового заводу з додаванням преміксу "БМД (4542) Макскер відгодівля Екс" (ТОВ Trouw Nutrition, Україна). Контрольним свиням до раціонів додавали мінеральну кормову добавку з неорганічними сульфатними формами мікроелементів. Вміст солей мікроелементів у раціоні контрольної групи становив у мг/кг: купруму – 17,6; мангану – 47,1; цинку – 100,1 і феруму – 148,0. Свині дослідних груп отримували аналогічний раціон, однак зі складу комбікорму були вилучені неорганічні солі мікроелементів (Cu, Mn, Zn і Fe). Замість них до складу раціонів була введена новостворена кормова добавка з комплексом мікроелементів ( $Cu^{+2}$ ,  $Mn^{+2}$ ,  $Zn^{+2}$ ,  $Fe^{+2/3+}$ ), з'єднаних з N-пегельованою глютаміновою кислотою. Першій (I) дослідній групі додавали до раціонів у мг/кг:  $Cu^{2+}$  – 8,7;  $Mn^{2+}$  – 27,3;  $Zn^{2+}$  – 79,8 і  $Fe^{2+/3+}$  – 95,4. Кількість мікроелементів, які отримувала I дослідна група, була зменшена, порівняно з контрольною групою, за вміс-

том  $Cu^{2+}$  до 49 %,  $Mn^{2+}$  до 58 %,  $Zn^{2+}$  до 80 % і  $Fe^{2+/3+}$  до 64 %. Друга (II) дослідна група отримувала у мг/кг:  $Cu^{2+}$  – 9,1;  $Mn^{2+}$  – 28,7;  $Zn^{2+}$  – 83,6 і  $Fe^{2+/3+}$  – 99,0 новоствореного преміксу, або 52 %, 61 %, 83 % і 67 % відповідно до кількості мікроелементів у контрольній групі.

Після закінчення експерименту для забою було відібрано по 3 свині з контрольної та дослідних груп. Жива маса свиней перед забоєм становила 110–120 кг. Після 24-годинної голодної витримки тварин забивали у спеціалізованому підприємстві. Після забою у пробах з найдовшого м'яза спини визначали якісні показники м'яса: рН на 1 і 3 доби зберігання, загальну вологу, суху речовину, золу, вміст внутрішньом'язового жиру і протеїну.

Для лабораторних досліджень було відібрано проби з найдовшого м'яза спини, нирки, печінки та селезінки. У відібраних зразках тканин визначали вміст загального протеїну та холестеролу і активність аспартатамінотрансферази (АСТ), аланінамінотрансферази (АЛТ) та гамма-глютамінотрансферази (ГГТ), а також активність супероксиддисмутази (СОД), глутатіонпероксидази (ГПО), каталази (КАТ) та вміст ТБК-активних продуктів (Vlizlo et al., 2012).

Утримання, годівлю, догляд, забій та усі маніпуляції з тваринами здійснювали згідно з Європейською конвенцією про захист хребетних тварин, що використовуються для дослідних та інших наукових цілей (Страсбург, 1986) і "Загальними етичними принципами експериментів на тваринах", ухваленими Першим національним конгресом з біоетики (Київ, 2001). Експерименти проводили з дотриманням принципів гуманності, викладених у директиві Європейської Спільноти.

Отримані результати обробляли методами варіційної статистики з використанням пакета програм StatPlus 7.6.5.0. Дані представляли у вигляді середніх значень зі стандартним відхиленням за рівнем довірчої ймовірності 95 %, вірогідність отриманих результатів оцінювали за критерієм Фішера.

### Результати та їх обговорення

Важливе значення у забезпеченні мінеральними речовинами має їх біодоступність для організму. Доведено, що біодоступність органічних форм мікроелементів є вищою, ніж неорганічних (Holder et al., 2016; Araújo et al., 2019). Тому рекомендують органічні сполуки мікроелементів вводити в раціони замість неорганічних солей мінеральних речовин (Khatun et al., 2019; Byrne et al., 2021). Застосовані нами органічні сполуки купруму, мангану, цинку та феруму у складі мінеральної кормової добавки показали позитивний вплив на загальну вологість м'яса піддослідних свиней. Показники майже не відрізнялися між тушами контрольної та дослідних груп і становили від 71,66 до 72,14 %. Вміст сухої речовини у м'язі свиней контрольної групи дорівнював 28,3 %, а у I і II дослідних групах був меншим на 0,2 і 0,6 %, відповідно. За вмістом золи між групами різниці також були мінімальними і коливалися в межах 0,9 – 1,1 %.

Харчова цінність м'яса значною мірою зумовлена вмістом протеїну та жиру. З сухої речовини протеїну в контрольній і I дослідній групах вміст був однаковий ( $24,80 \pm 1,41$  та  $24,89 \pm 2,46$  %), а у II дослідній дещо меншим ( $24,45 \pm 1,74$  %). За внутрішньом'язовим жиром, який забезпечує соковитість і мармуровість та смакові якості продуктів, найнижчі показники були встановлені у свиней I дослідної групи ( $2,30 \pm 0,014$  %) і дещо вищі у контрольній ( $2,44 \pm 0,166$  %) і II дослідній ( $2,41 \pm 0,160$ ) групах.

За зберігання м'яса його кислотність зростала. Це відбувається внаслідок автолітичних змін і накопичення у м'язових волокнах молочної та піровиноградної кислот. Зокрема, рН м'язової тканини через 24 години після забою свиней становив у контрольній групі  $6,43 \pm 0,054$ , а в I і II дослідних групах  $6,23 \pm 0,027$  і  $6,27 \pm 0,027$ , відповідно. Через 3 доби після забою тварин рН м'яса контрольної групи знизився на 4,1 % ( $6,17 \pm 0,12$ ), у I дослідній – на 0,5 % ( $6,20 \pm 0,08$ ) і у II дослідній – на 3,2 % ( $6,07 \pm 0,07$ ). На основі аналізу основних показників складу м'язової тканини свиней контрольної та дослідних груп можна констатувати, що м'ясо характеризується високою якістю з стандартним вмістом загальної вологи, сухої речови-

ни, золи, протеїну та жиру, а також величиною рН (Peshuk et al., 2023).

При дослідженні вмісту розчинного протеїну у тканині найдовшого м'язу спини свиней контрольної та дослідних груп не виявлено вірогідних різниць, а показник знаходився в межах  $48,90 - 49,78$  мг/гр тканини, різниця – 1,8 % в межах похибки середнього арифметичного (табл. 1). Вміст холестеролу був найвищим у м'язовій тканині свиней контрольної групи, а у дослідних – нижчим на 44,3 та 47,2 % у I та II групах, відповідно. У тканині м'язу тварин дослідних груп встановлена підвищена активність ензимів трансамінування. Зокрема, порівняно з контрольними зразками, активність АСТ у пробах м'яса свиней з II дослідної групи була вищою на 16,6 %, а I дослідної – на 12,8 %. Подібні зміни було встановлено за визначення активності АЛТ. Так, активність АЛТ була вищою, порівняно з контрольною, у пробі м'язу свиней II дослідної групи у 2,9 рази і I дослідної – у 2,8 рази. Різниця між контрольною та дослідними групами була вірогідною ( $P < 0,05$ ). Активність ГГТ була високою у тканинах м'язів свиней контрольної групи. У пробах м'язів тварин I дослідної та II дослідної груп активність була нижчою на 60,7 % та 70,0 %, відповідно.

**Таблиця 1**

Вміст загального протеїну та холестеролу і активність АСТ, АЛТ та ГГТ в органах і тканинах свиней,  $n = 3$ ,  $M \pm m$

Показник	Групи тварин		
	Контрольна	Перша дослідна	Друга дослідна
тканина найдовшого м'язу спини			
Вміст загального протеїну, г/кг тканини	$49,60 \pm 2,82$	$49,78 \pm 4,92$	$48,90 \pm 3,48$
Вміст холестеролу, ммоль/л	$16,1 \pm 3,0$	$8,9 \pm 1,5$	$8,4 \pm 1,7$
АСТ, ммоль/хв×мг протеїну	$3,60 \pm 0,11$	$4,06 \pm 0,46$	$4,20 \pm 0,45$
АЛТ, ммоль/хв×мг протеїну	$1,87 \pm 0,93$	$5,29 \pm 0,43^*$	$5,49 \pm 0,49^*$
ГГТ, ммоль/хв×мг протеїну	$0,33 \pm 0,07$	$0,13 \pm 0,04$	$0,10 \pm 0,07$
тканина печінки			
Вміст загального протеїну, г/кг тканини	$12,45 \pm 0,26$	$16,13 \pm 3,62$	$12,23 \pm 2,30$
Вміст холестеролу, ммоль/л	$260 \pm 39$	$120 \pm 34$	$160 \pm 80$
АСТ, ммоль/хв×мг протеїну	$13,2 \pm 0,82$	$10,3 \pm 2,33$	$13,7 \pm 1,74$
АЛТ, ммоль/хв×мг протеїну	$16,7 \pm 0,56$	$13,3 \pm 3,16$	$18,0 \pm 3,47$
ГГТ, ммоль/хв×мг протеїну	$32,5 \pm 5,42$	$31,5 \pm 6,55$	$31,3 \pm 6,76$
тканина нирки			
Вміст загального протеїну, г/кг тканини	$34,28 \pm 2,84$	$33,40 \pm 1,05$	$39,77 \pm 3,92$
Вміст холестеролу, ммоль/л	$190 \pm 10$	$148 \pm 12$	$120 \pm 11^{**}$
АСТ, ммоль/хв×мг протеїну	$7,42 \pm 0,59$	$8,37 \pm 0,62$	$5,75 \pm 0,57$
АЛТ, ммоль/хв×мг протеїну	$4,14 \pm 0,42$	$4,92 \pm 0,30$	$3,81 \pm 0,41$
ГГТ, ммоль/хв×мг протеїну	$35,8 \pm 3,19$	$38,8 \pm 2,57$	$32,7 \pm 3,24$

Примітка: у цій та наступній таблиці \*  $P < 0,05$  та \*\*  $P < 0,01$  різниця вірогідна між контрольною та дослідними групами

При дослідженні проб печінки встановлено, що відносно свиней контрольної групи, вміст загального протеїну у пробах II дослідної групи не відрізнявся, а у I дослідної – був вищою на 29,5 % (табл. 1). Кількість холестеролу в тканині печінки дослідних груп була нижчим більш ніж удвічі у I групі та на 38,5 % – у II дослідній, порівняно з показниками контрольних тварин. Активність АСТ у тканинах печінки тварин з контрольної та II дослідної груп не відрізнялася, а у зразках I дослідної групи була нижчою на 22,0 %. При дослідженні активності АЛТ у пробах печінки I дослідної групи активність була нижчою на 18,6 %, а у II

дослідній – на 7,8 % вищою, порівняно з контрольними. Активність ГГТ у тканині печінки дослідних груп свиней була однаковою і незначно нижчою, ніж у контрольних.

У тканинах нирки вміст загального протеїну був найвищим у свиней II дослідної групи і відносно контрольних свиней зростав на 16,0 % (табл. 1). Вміст загального протеїну у нирці тварин I дослідної групи мало відрізнявся від контрольної. Вміст холестеролу був найвищим у нирці свиней контрольної групи. У пробах I дослідної групи кількість холестеролу була нижчою на 28,1 %, а у II дослідній – на 36,8 % ( $P <$

0,01), ніж у контрольній. При дослідженні активності ензимів у пробах нирок після забою свиней встановлено, що показники АСТ у I дослідній групі були на 12,8 % вищими, а у II – на 22,5 % нижчими, порівняно з контрольними. Активність АЛТ у нирці першої дослідної групи, порівняно з контрольною групою, була вищою на 18,8 %, а у другій – нижчою на 8,0 %. Активність ГГТ у пробах з нирки свиней була вищою на 8,4 %, а II дослідної – на 8,7 % нижчою від контрольних.

Купрум, манган, цинк та ферум необхідні для утворення та функціонування ензимів антиоксидантової системи і забезпеченні імунного захисту організму тварин (Venkata et al., 2021; Silva et al., 2022; Mion et al., 2023). При дослідженні тканини найдовшого м'яза спини встановлено, що у свиней контрольної групи показники ТБК-активних продуктів були дещо нижчими порівняно з дослідними (табл. 2). Так, у м'язі I дослідної групи вміст ТБК-активних продуктів був вищим від показників контрольної групи на 17,2 %, а II дослідної – на 5,4 %.

**Таблиця 2**

Вміст ТБК-активних продуктів та активність ензимів антиоксидантного захисту у тканинах свиней, n = 3; M ± m

Показник	Групи тварин		
	Контрольна	Перша дослідна	Друга дослідна
тканина найдовшого м'язу спини			
ТБК-активні продукти, нмоль/мг протеїну	0,093 ± 0,009	0,109 ± 0,019	0,098 ± 0,014
СОД, МО/мг протеїну	2,40 ± 0,31	0,73 ± 0,13**	0,88 ± 0,34*
ГПО, мкмоль/хв×мг протеїну	0,10 ± 0,03	0,15 ± 0,03	0,16 ± 0,02
КАТ, мкмоль/хв×мг протеїну	0,90 ± 0,08	0,92 ± 0,12	1,04 ± 0,13
тканина печінки			
ТБК-активні продукти, нмоль/мг протеїну	1,90 ± 0,19	1,33 ± 0,21	2,35 ± 0,46
СОД, МО/мг протеїну	21,50 ± 0,78	18,86 ± 1,77	17,19 ± 3,28
ГПО, мкмоль/хв×мг протеїну	0,70 ± 0,06	0,39 ± 0,07*	0,53 ± 0,12
КАТ, мкмоль/хв×мг протеїну	4,26 ± 0,18	3,51 ± 0,77	4,43 ± 0,87
тканина нирки			
ТБК-активні продукти, нмоль/мг протеїну	0,217 ± 0,040	0,359 ± 0,053	0,394 ± 0,036*
СОД, МО/мг протеїну	1,72 ± 0,49	2,12 ± 0,59	1,87 ± 0,42
ГПО, мкмоль/хв×мг протеїну	0,13 ± 0,010	0,13 ± 0,005	0,11 ± 0,013
КАТ, мкмоль/хв×мг протеїну	1,48 ± 0,13	1,55 ± 0,05	1,31 ± 0,14
тканина селезінки			
ТБК-активні продукти, нмоль/мг протеїну	0,714 ± 0,035	0,996 ± 0,116	0,998 ± 0,144
СОД, МО/мг протеїну	1,83 ± 0,32	3,58 ± 0,61	3,52 ± 0,39*
ГПО, мкмоль/хв×мг протеїну	0,26 ± 0,04	0,35 ± 0,09	0,37 ± 0,02
КАТ, мкмоль/хв×мг протеїну	1,53 ± 0,19	2,05 ± 0,21	2,10 ± 0,17

Активність СОД у тканині найдовшого м'язу спини була максимальною у свиней контрольної групи. Відповідно у тварин II дослідної групи показники були нижчими на 63,4 % (P < 0,05), а першої дослідної – на 69,6 % (P < 0,01). Інші ензими антиоксидантної системи мали найнижчу активність у тканині найдовшого м'язу спини контрольних свиней. Так, порівняно до показників контрольної групи, активність ГПО у тканині м'язу була вищою у I дослідної групи на 50,0 %, а II дослідної – на 60,0 %. Активність КАТ у тканині найдовшого м'язу спини I дослідної груп була вищою від контрольної незначно (2,2 %), а II дослідної – зростала на 15,5 %.

У тканині печінки свиней вміст ТБК-активних продуктів був нижчий у I дослідній групі на 30,0 %, а у II дослідній групі – вищий на 23,7 % порівняно до контрольних (табл. 2). У тканині печінки активність СОД у свиней I і II дослідних груп була нижчою, ніж у контрольної, відповідно на 12,3 і 20,1 %. Порівняно з контрольними тваринами, активність ГПО у свиней I дослідної групи була нижчою на 44,3 % (P < 0,05), а II – на 24,3 %. Активність КАТ у тканині печінки свиней II дослідної групи була дещо вищою від контрольних (4,0 %), а у I дослідній, навпаки, нижчою – на 17,6 %.

У тканині нирки вміст ТБК-активних продуктів був найнижчим у свиней контрольної групи, у дослідних групах він мав вищі показники на 65,4 % та 81,5 % (P < 0,05) у тварин I та II груп, відповідно (табл. 2). Активність СОД у тканині нирки була у першій дослідній групі вищою на 23,3 %, а у другій – на 8,7 %, порівняно з контрольною. Активність ГПО у нирці контрольної та дослідних групах була на одному рівні. Водночас, активність КАТ у тканині нирки була у I дослідній групі на 4,7 % вищою, а у II групі – на 11,5 % нижчою, порівняно з контрольною.

У тканині селезінки вміст ТБК-активних продуктів був вищим у дослідних свиней і, порівняно з контрольними, зростав на 39,5 та 39,7 %, відповідно у I та II групах (табл. 2). Активність СОД у пробах селезінки була вищою у тварин з I дослідної групи на 95,6 % та II дослідної – на 92,3 % (P < 0,05), ніж контрольної. Аналогічно, у тканині селезінки свиней дослідних груп активність ГПО і КАТ була вищою від контрольних. Зокрема, активність ГПО зростала у I дослідній групі на 34,6 %, а КАТ – на 34,0 %, у II дослідній активність ГПО – на 42,3 %, а КАТ на 37,2 %.

Отже, після згодовування нами свиням органічних сполук мікроелементів у нижчих, порівняно з неорганічними мінеральними солями дозах, забезпечувало

високу якість м'яса і стабільний перебіг метаболічних та антиоксидантних процесів у життєво важливих органах і системах. На це вказували у своїх роботах й інші дослідники (Taylor-Pickard et al., 2013; Delles et al., 2016; Zhang et al., 2021), які застосовували різні сполуки органічних мікроелементів.

### Висновки

Органічні сполуки мікроелементів (купруму, мангану, цинку, феруму) з N-пегельованою глутаміновою кислотою у складі мінеральної кормової добавки у дозах нижчих, порівняно з неорганічними сульфатними формами мікроелементів, для  $\text{Cu}^{+2}$  на 51 та 48 %,  $\text{Mn}^{+2}$  – на 42 та 39 %,  $\text{Zn}^{+2}$  – на 20 та 17%,  $\text{Fe}^{+2/3+}$  – на 36 та 33 % мали позитивний вплив на якісні показники м'яса відгодівельних свиней. Загальна вологість та кислотність м'яса, вміст сухої речовини, розчинного протеїну та внутрішньом'язового жиру згідно ветеринарно-санітарної оцінки знаходилися у нормативних межах. Біохімічні та антиоксидантні дослідження тканин (найдовший м'яз спини, печінка, нирка, селезінка) свиней вказували на активний перебіг метаболічних процесів та стабільний антиоксидантний захист в організмі за згодовування нижчих доз органічних сполук купруму, мангану, цинку та феруму.

### Відомості про конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

### References

- Araújo, C. S. S., Hermes, R. G., Bittencourt, L. C., Silva, C. C., Araújo, L. F., Granghelli, C. A., Pelissari, P. H., Roque, F. A., & Leite, B. G. S. (2019). Different dietary trace mineral sources for broiler breeders and their progenies. *Poultry Science*, 98, 4716–4721. DOI: 10.3382/ps/pez182.
- Boddu, S. H. S., Bhagav, P., Karla, P. K., Jacob, S., Adatiya, M. D., Dhameliya, T. M., Ranch, K. M., & Tiwari, A. K. (2021). Polyamide/poly(amino acid) polymers for drug delivery. *Journal of functional biomaterials*, 12(4), 58. DOI: 10.3390/jfb12040058.
- Broom, L. J., Monteiro, A., & Piñon, A. (2021). Recent advances in understanding the influence of zinc, copper, and manganese on the gastrointestinal environment of pigs and poultry. *Animals*, 11, 1276. DOI: 10.3390/ani11051276.
- Byrne, L., Hynes, M. J., Connolly, C. D., & Murphy, R. A. (2021). Influence of the chelation process on the stability of organic trace mineral supplements used in animal nutrition. *Animals*, 11(6), 1730. DOI: 10.3390/ani11061730.
- Byrne, L., & Murphy, R. A. (2022). Relative bioavailability of trace minerals in production animal nutrition: a review. *Animals*, 12, 1981. DOI: 10.3390/ani12151981.
- Chekh, B. O., Ferens, M. V., Ostapiv, D. D., Samaryk, V. Y., Varvarenko, S. M., & Vlizlo, V. V. (2017). Characteristics of novel polymer based on pseudo-polyamino acids GluLa-DPG-PEG600: binding of albumin, biocompatibility, biodistribution and potential crossing the blood-brain barrier in rats. *Ukrainian biochemical journal*, 89(4), 13–21. DOI: 10.15407/ubj89.04.013.
- Daniel, J.-B., Brugger, D., van der Drift, S., van der Merwe, D., Kendall, N., Windisch, W., Doelman, J., & Martín-Tereso, J. (2023). Zinc, copper, and manganese homeostasis and potential trace metal accumulation in dairy cows: Longitudinal study from late lactation to subsequent mid-lactation. *The Journal of Nutrition*, 153(4), 1008–1018. DOI: 10.1016/j.tjnut.2023.02.022.
- Delles, R. M., Naylor, A., Kocher, A., Dawson, K. A., & Samuel, R. S. (2016). Diets with organic trace minerals Bioplex® and yeast Protein (NuPro®) improved the water-holding capacity of pork loin meat. *Journal of Animal Science*, 94(2), 66. DOI: 10.2527/msasas2016-142.
- Fihurka, N., Tarnavchyk, I., Nosova, N., Varvarenko, S., Dron, I., Ostapiv, D., Vlizlo, V. & Samaryk, V. (2024). Surface active polyesters based on N-substituted glutamic acid as promising materials for biomedical applications. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*. 73(14), 1207–1215. DOI: 10.1080/00914037.2023.2274591.
- Goff, J. P. (2018). Invited review: Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid-base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. *Journal of Dairy Science*, 101, 2763–2813. DOI: 10.3168/jds.2017-13112.
- Holder, V. B., Jennings, J. S., & Covey, T. L. (2016). Effect of total replacement of trace minerals with Bioplex® proteinated minerals on the health and performance of lightweight, high-risk feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 94, 120. DOI: 10.2527/jam2016-0252.
- Iskra, R. Ya., Vlizlo, V. V., & Fedoruk, R. S. (2017). Biologic efficiency of citrates of microelements in animal breeding. *Agricultural Science and Practice*, 4(3), 28–34. DOI: 10.15407/agrisp4.03.028.
- Khatun, A., Chowdhury, S. D., Roy, B. C., Dey, B., Haque, A., & Chandran, B. (2019). Comparative effects of inorganic and three forms of organic trace minerals on growth performance, carcass traits, immunity, and profitability of broilers. *Journal of advanced veterinary and animal research*, 6(1), 66–73. DOI: 10.5455/javar.2019.f313.
- Kozak, M., Petruh, I., Kovalchuk, I., & Vlizlo, V. (2025). Toxicity analysis of amoxicillin, polyphosphate ester and its complex with amoxicillin on mice. *Scientific Reports*, 15, 18150. DOI: 10.1038/s41598-025-94916-z.
- Levchenko, V. I., Vlizlo, V. V., & Kondrakhin, I. P. (2015). Vnutrishni chvoroby tvaryn [Internal diseases of animals]. Bila Tserkva: Bila Tserkva National Agrarian University. Part 2 (in Ukrainian).
- Levchenko, V. I., & Vlizlo, V. V. (2019). Veterynarna klinichna biokhimija [Veterinary clinical biochemistry]. Bila Tserkva: Bila Tserkva National Agrarian University (in Ukrainian).
- Lin, G., Guo, Y., Liu, B., Wang, R., Su, X., Yu, D., & He, P. (2020). Optimal dietary copper requirements and relative bioavailability for weanling pigs fed either copper proteinate or tribasic copper chloride. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 11, 54. DOI: 10.1186/s40104-020-00457-y.
- Ma, L., He, J., Lu, X., Qiu, J., Hou, Ch., Liu, B., Lin, G., & Yu, D. (2020). Effects of low-dose organic trace minerals

- on performance, mineral status, and fecal mineral excretion of sows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(1), 132–138. DOI: 10.5713/ajas.18.0861.
- Mion, B., Ogilvie, L., Van Winters, B., Spricigo, J. F. W., Anan, S., Duplessis, M., McBride, B. W., LeBlanc, S. J., Steele, M. A., & Ribeiro, E. S. (2023). Effects of replacing inorganic salts of trace minerals with organic trace minerals in the pre- and postpartum diets on mineral status, antioxidant biomarkers, and health of dairy cows. *Journal of Animal Science*, 101, skad041. DOI: 10.1093/jas/skad041.
- Oleksa, V., Nagorniak, M., Chekh, B., Ostapiv, R., Vlizlo, V., Varvarenko, S., & Samaryk, V. (2018). Polymer complexes of microelements based on N-derivatives of L-glutamic acid for correction of metabolism. *Ecology and human health*, Czestochowa Publishing house of Polonia University in Czestochowa “Educator”, 7–20. DOI: 10.23856/W1706.
- Qian, X., Wang, Z., Shen, G., Chen, X., Tang, Z., Guo, C., Gu, H., & Fu K. (2018). Heavy metals accumulation in soil after 4 years of continuous land application of swine manure: A field-scale monitoring and modeling estimation. *Chemosphere*, 210, 1029–1034. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.07.107.
- Numata, K. (2015). Poly(amino acid)s/polypeptides as potential functional and structural materials. *Polymer Journal*, 47, 537–545. DOI: 10.1038/pj.2015.35.
- Palomares, R. A. (2022). Trace minerals supplementation with great impact on beef cattle immunity and health. *Animals*, 12(20), 2839. DOI: 10.3390/ani12202839.
- Pejsak, Z., Kaźmierczak, P., Butkiewicz, A. F., Wojciechowski, J., & Woźniakowski, G. (2023). Alternatives to zinc oxide in pig production. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 26(2), 319–330. DOI: 10.24425/pjvs.2023.145033.
- Peshuk, L. V., Shtyk, I. I., Kryvobik, R. A., & Novikova, N. V. (2023). Bezpechnist ta yakist myasa i myasnykh produktiv [Safety and quality of meat and meat products]. *Oldi plus* (in Ukrainian).
- Pomport, P. H., Warren, H., & Taylor-Pickard, J. (2021). Effect of total replacement of inorganic with organic sources of key trace minerals on performance and health of high producing dairy cows. *Journal of Applied Animal Nutrition*, 9, 1–8. DOI: 10.3920/JAAN2020.0018.
- Shannon, M. C., & Hill, G. M. (2019). Trace mineral supplementation for the intestinal health of young monogastric animals. *Frontiers in Veterinary Science*, 13(6), 73. DOI: 10.3389/fvets.2019.00073.
- Silva, T. H., Guimaraes, I., Menta, P. R., Fernandes, L., Paiva, D., Ribeiro, T. L., Celestino, M. L., Netto A. S., Ballou M. A., & Machado V. S. (2022). Effect of injectable trace mineral supplementation on peripheral polymorphonuclear leukocyte function, antioxidant enzymes, health, and performance in dairy cows in semi-arid conditions. *Journal of Dairy Science*, 105(2), 1649–1660. DOI: 10.3168/jds.2021-20624.
- Song, Y., Weng, Y., Liu, Sh., Usman, M., Loor, J. J., Lin, G., Hu, Q., Luo, J., & Wang, P. (2024). Effects of reduced levels of organic trace minerals in proteinate forms and selenium-yeast in the mineral mix on lactation performance, milk fatty acid composition, nutrient digestibility and antioxidant status in dairy goats. *Journal of Animal Science*, 102, skae187. DOI: 10.1093/jas/skae187.
- Stasiuk, A., Fihurka, N., Vlizlo, V., Prychak, S., Ostapiv, D., Varvarenko, S., & Samaryk, V. (2022). Synthesis and properties of phosphorus-containing pseudo-poly(amino acid)s of polyester type based on n-derivatives of glutamic acid. *Chemistry & Chemical Technology*, 16(1), 51–58. DOI: 10.23939/chcht16.01.051.
- Sun, X., Sarteshnizi, R. A., Boachie, R. T., Okagu, O. D., Abioye, R. O., Neves R. P., Ohanenye, I. C., & Udenigwe, C. C. (2020). Peptide–mineral complexes: understanding their chemical interactions, bioavailability, and potential application in mitigating micronutrient deficiency. *Foods*, 9(10), 1402. DOI: 10.3390/foods9101402.
- Taylor-Pickard, J. A., Nollet, L., & Geers, R. (2013). Performance, carcass characteristics and economic benefits of total replacement of inorganic minerals by organic forms in growing pig diets. *Journal of Applied Animal Nutrition*, 2, e3. DOI: 10.1017/jan.2013.10.
- Varvarenko, S., Oleksa, V., Stasiuk, A., Ostapiv, R., Vlizlo, V., Ostapiv, D., & Samaryk, V. (2021). Development of microelement supplements based on N-substituted glutamic acid for animals feed correction. *First Ukrainian-Polish Scientific Forum agrobioprospectives*, Lviv, Ukraine.
- Varvarenko, S., Samaryk, V., Vlizlo, V., Ostapiv, D., Nosova, N., Tarnachyk, I., Fihurka, N., Ferens, M., Nagornyak, M., & Taras, R. (2015). Fluorescein-containing theranostics based on the pseudo-poly(amino acid)s for monitoring of drug delivery and release. *Polymer Journal*, 37, 193–199. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Polimer\\_2015\\_37\\_2\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Polimer_2015_37_2_15).
- Venkata, R. R. S., Bhukya, P., Raju, M. V. L. N., & Ullengala, R. (2021). Effect of dietary supplementation of organic trace minerals at reduced concentrations on performance, bone mineralization, and antioxidant variables in broiler chicken reared in two different seasons in a tropical region. *Biological Trace Element Research*, 199, 3817–3824. DOI: 10.1007/s12011-020-02481-5.
- Vlizlo, V., Fedoruk, R., Kovalchuk, I., Tsap, M., Khrabko, M., Khomyn, M., & Ostapiv, D. (2023). Immunobiological reactivity of calf body during the compatible application of nanotechnological citrates of trace elements in the ration. *Studia Biologica*, 17(4), 63–72. DOI: 10.30970/sbi.1704.737.
- Vlizlo, V. V. (2012). *Laboratorni metody doslidzhen u biolohiyi, tvarynnytstvi ta veterynarniy medytsyni* [Laboratory methods of investigation in biology, stock breeding and veterinary]. Edited by V. V. Vlizlo. Lviv: Spolom (in Ukrainian).
- Wang, G., Liu, L. J., Tao, W. J., Xiao, Z. P., Pei, X., Liu, B. J., Wang, M. Q., Lin, G., & Ao, T. Y. (2019). Effects of replacing inorganic trace minerals with organic trace minerals on the production performance, blood profiles, and antioxidant status of broiler breeders. *Poultry Science*, 1, 98(7), 2888–2895. DOI: 10.3382/ps/pez035.
- Zelenina, O., Vlizlo, V., Kozak, M., Ostapiv, D., Samaryk, V., Dron, I., Stetsko, T., Skrypka, M., Tomchuk, V., Danchuk, O., & Levchenko, A. (2022). Antimicrobial activity of the PEGylated antibiotic enrofloxacin and its functional and structural effect on

- the liver in rats. *Journal of Applied Pharmaceutical*, 12(06), 068–075. DOI: 10.7324/JAPS.2022.120607.
- Zhang, W. F., Tian, M., Song, J. S., Chen, F., Lin, G., Zhang, S. H., & Guan, W. T. (2021). Effect of replacing inorganic trace minerals at lower organic levels on growth performance, blood parameters, antioxidant status, immune indexes, and fecal mineral excretion in weaned piglets. *Tropical Animal Health and Production*, 53, 121. DOI: 10.1007/s11250-021-02561-1.
- Xiong, Y., Zhao, F., Li, Y., Wu, Q., Xiao, H., Cao, S., Yang, X., Gao, K., Jiang, Z., & Hu, S. (2025). Impact of low-dose amino acid-chelated trace minerals on performance, antioxidant capacity, and fecal excretion in growing-finishing pigs. *Animals*, 15(9), 1213. DOI: 10.3390/ani15091213.
- Xu, W., Zhou, M., Yang, Z., Zheng, M. & Chen, Q. (2024). Organic trace elements enhance growth performance, antioxidant capacity, and gut microbiota in finishing pigs. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1517976. DOI: 10.3389/fvets.2024.1517976.