

УДК 577.1+579.8

DOI <https://doi.org/10.32851/wba.2021.1.7>

ВПЛИВ ПРОБІОТИКУ ТА БІОГЕННОГО НАНОСЕЛЕНУ НА МОРФОМЕТРИЧНІ І БІОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ НИВКІВСЬКОГО ЛУСКАТОГО КОРОПА

¹Олешко О.А. – к.с.-г.н., доцент,

¹Бітюцький В.С. – д.с.-г.н., професор,

¹Мельниченко О.М. – д.с.-г.н., професор,

²Демченко О.А. – к.с.-г.н., с.н.с.,

²Тимошок Н.О. – к.б.н., с.н.с.,

¹Білоцерківський національний аграрний університет,
²Інститут мікробіології і вірусології імені Д.К. Заболотного
Національної академії аграрних наук України,
Oleshko-bc@ukr.net

Однією з найбільш розповсюджених форм стресового явища, що суттєво впливає на продуктивність галузі аквакультури, є окислювальний стрес. Знизити негативну дію цього явища можна за допомогою введення до складу кормів пробіотиків та біогенних елементів. Такі функціональні корми можуть бути альтернативою при необхідності підвищення природнього захисту риб та інших об'єктів аквакультури. Вони являють собою особливі дієтичні композиції, які містять добавки для оптимізації антиоксидантного статусу та імунного захисту організму.

Дослід по перевірці ефективності використання біогенного наноселену в комплексі з пробіотиком проводили в лабораторії аквакультури Білоцерківського НАУ. Збагачення біогенним наноселеном пробіотичної добавки проведено в Інституті мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України, у відділі проблем інтерферону та імуномодуляторів.

Комбікорм з додаванням пробіотику *L. Plantarum* та пробіотику, збагаченого наноселеном, використовували при годівлі однорічок коропа з метою визначення впливу складових раціону на темпи росту і біохімічні показники крові. Найкращі результати за динамікою живої маси були отримані у дослідної групи, в раціон якою були додані наночастинки селену та пробіотичний препарат. При аналізі показників крові досліджуваних груп, була зафіксована аналогічна картина до оптимізації метаболічного та антиоксидантного статусу. Проведеними дослідженнями встановлено, що додавання наноселену в комплексі з пробіотиками підсилює активність каталази, супероксиддисмутази (SOD) та глутатіон пероксидази (GPx), а також знижує біомаркери окислювального стресу і перекисного окислення ліпідів, оптимізуючи метаболічні показники та знижуючи окислювальний стрес у риби.

Ключові слова: однорічки коропа, наноселен, пробіотик, селеніт натрію, окислювальний стрес, морфометричні показники, біохімічні показники.

Постановка проблеми. Галузь аквакультури постійно трансформується відповідно до вимог у вирішенні проблем забруднення оточуючого

середовища, змін клімату, стресів та інших чинників, які можуть призводити до зниження продуктивності рибогосподарської діяльності.

В процесі вирощування різних об'єктів аквакультури патогени бактеріальної і вірусної природи, являють постійну загрозу для виробництва. Механізм дії багатьох вірусів риби на даний момент не до кінця вивчений, і постійно проводяться дослідження і пошуки можливих рішень для посилення природних способів захисту риби. Забруднення навколишнього середовища, зміна клімату, а також патогенні інвазії підсилюють стресовий вплив, що призводить до зниження продуктивності. Однією з найбільш розповсюджених форм стресового явища, що суттєво впливає на продуктивність галузі аквакультури, є окислювальний стрес.

Знизити негативну дію цього явища можна за допомогою введення до складу кормів пробіотиків та біогенних елементів. Такі функціональні корми можуть бути альтернативою при необхідності підвищення природнього захисту риб та інших об'єктів аквакультури. Вони являють собою особливі дієтичні композиції, які містять добавки для оптимізації антиоксидантного статусу та імунного захисту організму [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Створення комплексних селеновмісних пробіотичних препаратів обумовлено властивостями селену (Se) – металоїду окислювально-поновлюваної дії, який приймає участь у редокс-процесах організму, та є фундаментальним для функціонування Se-містких білків – селенпротеїнів, кількість яких є різною для різних видів [2; 3]. В даний час велика увага приділяється біодоступним формам селену, у тому числі, біоселену, який можна отримувати за допомогою пробіотичних мікроорганізмів. З розвитком нанотехнологій нано-Se зацікавив дослідників аквакультури своєю високою каталітичною активністю, антимікробними властивостями та меншою токсичністю ніж неорганічний селен [4–7].

З літературних джерел відомо, що ефективність добавки Se залежить від форми Se, складу раціону, виду риб і розміру тіла [8; 9]. Зазвичай Se можна включати в корм для аквакормів в неорганічній формі. Однак використання високих концентрацій неорганічного Se викликало екологічні проблеми через велику кількість екскреції Se з фекаліями. Останнім часом інтерес до використання наноформ мікроелементів в якості добавок до корму для тварин зріс через більш високу біодоступність у порівнянні з неорганічними солями [10–12]. Наночастинки є більш доступними для біологічних систем і при цьому можуть суттєво впливати на організм при менших концентраціях, ніж інші форми. В кінцевому результаті, це зменшує витрати на годівлю та знижує собівартість продукції [13; 14]. Дослідження в аквакультурі проводились на різних видах риб по застосуванню Nano-Se при їх вирощуванні. Були

отримані позитивні результати щодо загального стану об'єктів, їх продуктивності та підвищенню імунітету [15–17]. Наприклад, активність СОД у рибок даніо була збільшена за рахунок Se-NPs в раціоні [18] (Bai, Z., 2019). Nano-Se доступніший для біологічної системи, і його ефективність швидко розпізнається кишечником і органами травлення, що збільшує абсорбцію і використання корму, тобто прискорюється темп росту [14–17].

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що наноселен і пробіотики при годівлі різних об'єктів аквакультури використовувались в якості імуномодуляторів та антиоксидантів як окремі компоненти, а про їх комплексне використання інформації мало. Таким чином, в нашому дослідженні ми використовували Nano-Se, який був одержаний методом біологічного синтезу за допомогою пробіотичного штаму лактобактерій для визначення його впливу на морфометричні і біохімічні показники однорічок коропа.

Матеріали і методи дослідження. Збагачення біогенним наноселеном пробіотичної добавки проведено в Інституті мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України, у відділі проблем інтерферону та імуномодуляторів. Дослід по перевірці ефективності використання біогенного наноселену в комплексі з пробіотиком проводили в лабораторії аквакультури Білоцерківського НАУ на однорічках коропа української селекції – нивківський лускатий відповідно до науково-методичних рекомендацій В. Стеффенсона [18]. Фізичні та хімічні показники води в дослідних ємностях відповідали загальним вимогам та нормам для рибогосподарських підприємств [19], які підтримували протягом 40 діб за допомогою фільтраційних систем, аераторів і терморегуляторів. Відповідно до схеми досліду, після підготовчого періоду, було сформовано чотири групи по п'ятнадцять екземплярів (табл. 1). В якості основного раціону (ОР) використовували збалансований комбікорм для однорічок коропа К-111/2, який призначений як для ставів, так і для годівлі в індустріальних умовах.

Контрольну групу годували комбікормом К-111/2. Дослідну групу № 1 комбікормом К-111/2 з додаванням пробіотику (*L. Plantarum*); дослідну групу № 2 – *L. Plantarum*, збагачений біогенним наноселеном, дослідну групу № 3 – *L. Plantarum* + наноселен, одержаний фізико-хімічними методами. Культуру *L. Plantarum* вирощували на MRS broth (Difco) при збагаченні культурального середовища Na_2SeO_3 в концентрації 0,05 мг/мл аеробно, трансформацією неорганічної форми селена в наноселен та з послідуною ліофілізацією культур. Тривалість досліду складала 40 діб. Годівля проводилась відповідно до складеного графіку два рази на добу. Морфометричний аналіз досліджуваних риб проводили за загальноприйня-

тими методиками в іхтіології [20]. Визначали масу риб (М), іхтіологічну довжину (L) і максимальну висоту (Н) тіла. Відбір крові проводили відповідно до методичних вказівок [21].

Таблиця 1. Схема дослідів

Дослідна група	Раціон
1-15 доба дослідів	
контроль	К111/2
дослідна група I	К111/2 + <i>L. Plantarum</i> (1/1000)
дослідна група II	К111/2 + <i>L. Plantarum</i> +селеніт Na (1/1000)
дослідна група III	К111/2 + <i>L. Plantarum</i> +наноселен (1/1000)
16-25 доба дослідів	
контроль	К111/2 + дафнія
дослідна група I	К111/2 + дафнія
дослідна група II	К111/2 + дафнія
дослідна група III	К111/2 + дафнія
26-40 доба дослідів	
контроль	К111/2
дослідна група I	К111/2 + <i>L. Plantarum</i> (1/1000)
дослідна група II	К111/2 + <i>L. Plantarum</i> , збагачений біогенним наноселеном (1/1000)
дослідна група III	К111/2 + <i>L. Plantarum</i> +наноселен (1/1000)

Для оцінки показників системи ПОЛ-АОЗ в сироватці крові проводили визначення вмісту гідропероксидів ліпідів [22], ТБК-активних продуктів (продуктів, що реагують з тіобарбітуровою кислотою [23] та активність глутатіонпероксидази [24], супероксиддисмутази [25], каталази [26].

Вміст білку, тригліцеридів, креатинину, активність амінотрансфераз (АЛАТ, АСАТ) проведено з використанням загальноприйнятих методик за допомогою тест-наборів “Філісіт-Діагностика” (Україна).

Статистичну обробку усіх результатів досліджень проводили з використанням програмного пакета для персональних комп’ютерів «Microsoft Excel» для Windows. Результати досліджень обробляли статистично з обчисленням середніх арифметичних величин (М), стандартної похибки (m), середнього квадратичного відхилення (σ). Для оцінки достовірності різниці між статистичними характеристиками двох альтернативних сукупностей даних обраховували коефіцієнт Стьюдента.

Результати досліджень. На початку дослідів за масою тіла однорічки всіх дослідних груп істотно не відрізнялись, середні значення цього показнику були в межах 17,4–17,6 г. За показниками висоти і довжини тіла також не було істотної різниці (табл. 2).

Таблиця 2. Морфометричні і вагові показники однорічок коропа*

Показник	Дослідна група			
	контроль	I	II	III
Початок дослідю				
М, г	17,6±0,50	17,6±0,50	17,5±0,45	17,4±0,51
L, см	8,7±0,9	8,7±0,12	8,6±0,11	8,7±0,10
H, см	3,0±0,03	3,1±0,05	3,0±0,04	3,0±0,04
15 доба дослідю				
М, г	28,3±0,61	30,2±0,56	31,2±0,43	29,7±0,7
L, см	9,2±0,05	9,3±0,05	9,4±0,06	9,3±0,05
H, см	3,4±0,05	3,5±0,04	3,5±0,04	3,4±0,05
26 доба дослідю				
М, г	32,8±0,69	35,2±0,19	36,3±0,52	33,9±0,57
L, см	10,1±0,09	10,3±0,09	10,6±0,09	10,3±0,06
H, см	3,7±0,05	3,9±0,05	3,9±0,05	3,7±0,06
Кінець дослідю				
М, г	39,2±0,60	45,1±0,72	46,3±0,54	43,5±0,58
L, см	11,6±0,19	12,1±0,11	12,3±0,07	12,0±0,05
H, см	4,1±0,04	4,2±0,04	4,4±0,05	4,1±0,05

*М – маса тіла; L – довжина тіла; H – висота тіла.

На 15 добу дослідю результати вагового аналізу показали, що найбільші значення приросту спостерігалися в I і II дослідних групах, середні значення показника «маса тіла» становили 30,2±0,56 і 31,2±0,43 г відповідно. В контрольній групі середня маса була на рівні 28,3±0,61 г. Середньоарифметичне значення маси тіла в третій дослідній групі на 15 добу дослідю було 29,7±0,7 г. Схожа тенденція відзначалась і за показниками довжини і висоти тіла. Найвищі значення були зафіксовані в I і II дослідних групах.

Аналогічні результати можна було спостерігати протягом всього періоду дослідження. Середньоарифметичний показник маси тіла в кінці дослідю для однорічок коропа в I дослідній групі становив 45,1±0,72 г при довжині тіла 12,1±0,11 см і висоті тіла 4,2±0,04 см. В другій дослідній групі значення цих показників були ще вищими – 46,3±0,54 г; 12,3±0,07 і 4,4±0,05 см відповідно.

Приріст в контрольній групі за дослідний період склав 21,6 г; в першій – 27,5 г; в другій – 28,8 г; в третій – 26,1 г. Тобто, в порівнянні з контрольною групою в усіх варіантах дослідю було відзначені більш високі значення вагових і морфометричних показників однорічок коропа.

Таким чином, максимальний позитивний ефект при отриманні рибопосадкового матеріалу коропа підвищеної ваги, спостерігався при введенні до основного раціону пробіотика *L. Plantarum* в комплексі із селенітом натрія із розрахунку 1 г на 1 кг комбікорму.

За результатами біохімічних досліджень було встановлено, що рівні загального білку в сироватці крові риби дослідних груп, які отримували добавку пробіотику, пробіотика і селеніту натрію та наночастинок селену і пробіотика, підвищилися, достовірні ці зміни були в II ($p \leq 0,01$) і III ($p \leq 0,001$) групах (табл. 3).

Вплив пробіотику в комплексі з неорганічною формою селену і наноселеном призвело до зниження окислених форм ліпідів на достовірну величину в порівнянні з контрольною групою відповідно на ($p \leq 0,05$) і ($p \leq 0,001$). Вміст сечової кислоти, загальних ліпідів і тригліцеридів не зазнало істотних змін у порівнянні з контрольною групою. Рівень продуктів первинної ланки ліпопероксидації (гідропероксидов) і вторинних продуктів пероксидного окислення ліпідів (ТБК-АП) в крові знижувався у риб дослідних груп від $p \leq 0,05$ до $p \leq 0,001$.

Таблиця 3. Біохімічні показники крові однорічок коропа ($M \pm m$; $n=5$)

Показник	Контроль	Група досліді		
		I	II	III
Загальний білок, г/л	21,85±1,52	26,02±1,74	34,65±2,81**	27,42±2,31
Загальні ліпіди, г/л	4,82±0,54	6,12±0,63	5,63±0,39	5,98±0,42
Каталаза, ммоль H ₂ O ₂ /мг білка /хв.	21,1±1,12	22,67±1,27	29,79±0,80***	23,67±1,24
Гідропероксида, од.Е/мл	2,69±0,23	1,79±0,09*	1,12±0,05***	1,57±0,11**
ТБК-АП, мкмоль/л	5,11±0,07	4,72±0,14*	3,04±0,07***	4,42±0,18**
Сечова кислота, мкмоль/л	264,7±22,14	288,50±31,42	278,4±25,41	291,7±31,12
Триацилгліцероли, ммоль/л	1,32±0,06	1,42±0,03	1,56±0,05	1,39±0,04
Супероксиддисмутаза, у.о./мг білка	3,32±0,16	3,68±0,23	4,85±0,35**	3,92±0,31
ГП, мкмоль GSH/мг білка· хв	25,9±1,04	27,3±1,4	34,6±1,15***	31,42±1,64
Креатинин ммоль/л	0,34 ± 0,06	0,29 ± 0,04	0,26 ± 0,05	0,30 ± 0,04
АЛТ ммоль/(л×ч)	0,29 ± 0,07	0,27 ± 0,06	0,25 ± 0,04	0,28 ± 0,02
АСТ ммоль/(л×ч)	0,48 ± 0,09	0,47 ± 0,11	0,38 ± 0,06	0,44 ± 0,07

Примітка: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$ порівняно з контрольною групою

Перекисне окислення ліпідів або реакція кисню з ненасиченими ліпідами утворює широкий спектр продуктів окислення. Основними первинними продуктами перекисного окислення ліпідів є гідропероксида ліпідів (LOOH). Серед безлічі різних альдегідів, які можуть утворюватися як вторинні продукти під час перекисного окислення ліпідів, малоновий діальдегід (MDA), пропанал, гексанал та 4-гідроксиноненал (4-HNE). MDA

виявляється найбільш мутагенним продуктом перекисного окислення ліпідів, тоді як 4-HNE є найбільш токсичним [27; 28]. МДА – високотоксична речовина, що виробляється при розкладанні перекису ліпідів, яке може викликати пошкодження організму, відображаючи ступінь пошкодження клітин і перекисного окислення ліпідів в клітинах тварин.

Таким чином, аналізуючи характер зміни такого показника, як ТБК-АП, необхідно враховувати його пріоритетне значення в порівнянні з іншими показниками ПОЛ, оскільки до складу ТБК-АП входить ряд високореакційних сполук, які діють на всі компоненти клітини, включаючи ДНК, і призводять до дезорганізації мембранної структури клітин. Утворені в процесі ПОЛ ТБК-ативні продукти забезпечують багатофакторне явище, яке визначається як ендогенна інтоксикація, і спільно з накопиченням середньомолекулярних пептидів, обтяжують перебіг захворювань, що супроводжуються підвищенням концентрації цих продуктів ПОЛ [29].

Нами встановлено, що активність каталази, СОД і глутатіонпероксидази вірогідно збільшилася в крові у риб, які зазнали впливу біогенного наноселену і пробіотику в порівнянні з контрольною групою ($p \leq 0,001$).

Реакція антиоксидантного захисту після окислювального стресу, викликаного факторами навколишнього середовища, є важливою реакцією, оскільки вона знижує якість м'яса через пероксидне окиснення ліпідів і негативно впливає на здоров'я риб [30; 31]. Активність SOD, CAT та GPX, як один із важливих антиоксидантних ферментів, можна розглядати як біомаркери окисного стресу на додаток до вказівки на антиоксидантну здатність водних організмів [32].

В наших дослідженнях додавання Nano-Se успішно збільшувало активність SOD, CAT та GPX і зменшувало вміст кінцевих продуктів пероксидного окислення ліпідів (ТБК-АП), головним з яких є малоновий діальдегід (МДА).

Підвищення активності антиоксидантних ферментів за додавання сполук селену був повідомлений іншими дослідниками [33; 34]. Підвищення антиоксидантних властивостей у риб після споживання Nano-Se може бути пов'язано з роллю Se в утворенні селеноцистеїну, який присутній в активному центрі ферменту GPX [35].

Вміст креатиніну в сироватці крові, як маркера для оцінки функції нирок, тригліцеридів, загальних ліпідів, сечової кислоти не мали суттєвих змін відносно контрольної групи.

Активність ферментів-маркерів цитолізу гепатоцитів (ALT та AST) мала тенденцію до зменшення, що свідчить про певну гепатопротекторну дію пробіотику та комплексу пробіотику та наноселену.

Висновки. Проведено дослідження щодо встановлення ефективності додавання в комбікорма пробіотику *L. Plantarum* та різних форм селену, які

використовували при годівлі однорічок коропа з метою визначення впливу складових раціону на темпи росту і біохімічні показники крові. Найкращі результати за динамікою живої маси, метаболічного та антиоксидантного статусу були отримані у дослідної групи, в раціон якою були додані наночастинки біогенного селену та пробіотик. Додавання наноселену в комплексі з пробіотиками підсилює активність каталази, супероксиддисмутази (SOD) та глутатіонпероксидази (GPx), а також знижує біомаркери оксидативного стресу і перекисного окислення ліпідів, оптимізуючи метаболічні показники та знижуючи оксидативний стрес у риби, що вказує на те, що біогенний нано-Se в комплексі з пробіотиком є ефективним джерелом отримання селену у складі комбікорма для цього виду риб.

INFLUENCE OF PROBIOTICS AND BIOGENIC NANOSELANS ON MORPHOMETRIC AND BIOCHEMICAL INDICATORS OF NIVK SCALP CARP

¹*Oleshko O.A. – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor,*

¹*Bityutsky V.S. – Doctor of Agricultural Sciences, Professor,*

¹*Melnychenko O.M. – Doctor of Agricultural Sciences, Professor,*

²*Demchenko O.A. – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher,*

²*Timoshok N.O. – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher,*

¹*Bila Tserkva National Agrarian University,*

²*Institute of Microbiology and Virology. D.K. Zabolotny NAS of Ukraine,*

Oleshko-bc@ukr.net

One of the most common forms of stress, which significantly affects the productivity of the aquaculture industry, is oxidative stress. You can reduce the negative effects of this phenomenon with help introduction of probiotics and nutrients into the feed. Such functional feeds can be an alternative if you need to increase the natural protection of fish and other aquaculture facilities. They are special dietary compositions that contain supplements to optimize antioxidant status and immune protection.

An experiment to test the effectiveness of the use of biogenic nanoselenium in combination with a probiotic was performed in the aquaculture laboratory of BilaTserkva NAU. Enrichment of biogenic nanoselen probiotic additives was carried out at the Institute of Microbiology and Virology D.K. Zabolotny NAS of Ukraine, in the department of interferon and immunomodulators.

Compound feed with the addition of probiotic *L. Plantarum* and probiotic enriched with nanoselen, was used in the feeding of annual carp to determine the effect of dietary components on growth rates and biochemical parameters of the blood. The best results on the dynamics of live weight were obtained in the experimental group, in the diet of which were added selenium nanoparticles and a probiotic drug. In the analysis of blood parameters of the studied groups, a similar picture was recorded to optimize the metabolic and antioxidant status. Studies have shown that the addition of

nanoselen in combination with probiotics enhances the activity of catalase, superoxide dismutase (SOD) and glutathione peroxidase (GPx), as well as reduces biomarkers of oxidative stress and lipid peroxidation, optimizing metabolic and metabolic depressants.

Keywords: carp annuals, nanoselents, probiotic, sodium selenite, oxidative stress, morphometric parameters, biochemical parameters.

ЛІТЕРАТУРА

1. Pacitti D, Lawan M.M., Sweetman J., Martin S.A.M., Feldmann J., et al. (2016). Correction: Selenium Supplementation in Fish: A Combined Chemical and Biomolecular Study to Understand Sel-Plex Assimilation and Impact on Selenoproteome Expression in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). PLOS ONE 11(2): e0144681. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144681>.
2. Papp L. V., Lu J., Holmgren, A., Khanna, K.K. (2007). From selenium to selenoproteins: synthesis, identity, and their role in human health. *Antioxidants & redoxsignaling*, Vol. 9, no. 7, 775–806.
3. Lobanov A.V., Hatfield D.L., Gladyshev, V.N. (2009). Eukaryotic selenoproteins and selenoproteomes. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA). General Subjects*, Vol. 1790, no. 11, 1424–1428.
4. Tsekhmistrenko S.I., Bityutskyy V.S., Tsekhmistrenko O.S., Melnichenko, O.M., Kharchyshyn, V.M., Tymoshok, N.O., Demchenko, A.A. (2020). Effects of selenium compounds and toxicant action on oxidative biomarkers in quails. *Ukrainian Journal of Ecology*, Vol. 10, no. 2, 232–239.
5. Bityutskyy V., Tsekhmistrenko S., Tsekhmistrenko O. (2019). Effects of Different Dietary Selenium Sources Including Probiotics Mixture on Growth Performance, Feed Utilization and Serum Biochemical Profile of Quails. *Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations. Springer*. 623–632. doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5_61.
6. Tsekhmistrenko S.I., Bityutskyy V.S., Tsekhmistrenko O.S., Polishchuk V.M., Polishchuk S.A., Ponomarenko N.V., Spivak, M.Y. (2018). Enzyme-like activity of nanomaterials. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, Vol. 9, no. 3, 469–476.
7. Tsekhmistrenko O.S., Bityutskyy V.S., Tsekhmistrenko S.I., Melnichenko O.M., Tymoshok N.O., & Spivak M.Y. (2019). Use of nanoparticles of metals and non-metals in poultry farming. *Animal Husbandry Products Production and Processing*, Vol. 2, 113–130.
8. Aliko V., Qirjo M., Sula E., Morina V., Faggio C. (2018). Antioxidant defense system, immune response and erythron profile modulation in gold fish, *Carassius auratus*, after acute manganese treatment. *Fish Shellfish Immunol*, Vol. 76, 101–109.
9. Zhu L., Han D., Zhu X., Yang Y., Jin J., Liu H., Xie S. (2017). Dietary selenium requirement for on-growing gibel carp (*Carassius auratus gibelio* var. CAS III). *Aquac. Res.*, Vol. 48, no. 6, 2841–2851.

10. Dawood M.A., Eweedah N.M., Moustafa Moustafa E., Shahin M.G. (2019). Effects of feeding regimen of dietary *Aspergillus oryzae* on the growth performance, intestinal morphometry and blood profile of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquac. Nutr.*, Vol. 25, no. 5, 1063–1072.
11. Saffari S, Keyvanshokoo S, Zakeri M, Johari SA, Pasha-Zanoosi H. (2017). Effects of different dietary selenium sources (sodium selenite, selenomethionine and nanoselenium) on growth performance, muscle composition, blood enzymes and antioxidant status of common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquac.Nutr.*, Vol. 23, no. 3, 611–617.
12. Zhou X., Wang Y., Gu Q., Li W. (2009). Effects of different dietary selenium sources (selenium nanoparticle and selenomethionine) on growth performance, muscle composition and glutathione peroxidase enzyme activity of crucian carp (*Carassius auratus gibelio*). *Aquaculture*, no. 291, 78–81.
13. Naderi M., Keyvanshokoo S., Ghaedi A., Salati A.P. (2019). Interactive effects of dietary Nano-selenium and vitamin E on growth, haematology, innate immune responses, antioxidant status and muscle composition of rainbow trout under high rearing density. *Aquac.Nutr.*, Vol. 25, no. 5, 1156–1168.
14. Wang Y., Yan X., Fu L. (2013). Effect of selenium nanoparticles with different sizes in primary cultured intestinal epithelial cells of crucian carp, *Carassius auratus gibelio*. *Int J Nanomedicine*, Vol. 8, no. 1, 4007–4013.
15. Ashouri S., Keyvanshokoo S., Salati A.P., Johari S.A., Pasha-Zanoosi H. (2015). Effects of different levels of dietary selenium nanoparticles on growth performance, muscle composition, blood biochemical profiles and antioxidant status of common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*, no. 446, 25–29.
16. Wang Y., Han J., Li W., Xu Z. (2007). Effect of different selenium source on growth performances, glutathione peroxidase activities, muscle composition and selenium concentration of allogynogenetic crucian carp (*Carassius auratus gibelio*). *Anim Feed Sci Technol*, Vol. 134, no. 3, 243–251.
17. Lee S., Lee J.H., Bai S.C. (2008). Effects of different levels of dietary selenium (se) on growth, tissue se accumulations and histopathological changes in black sea bream, *Acanthopagrus schlegeli*. *Asian Australas J Anim Sci*, no. 21, 1794–1799.
18. Bai Z., Ren T., Han Y., Hu Y., Schohel M. R., & Jiang Z. (2019). Effect of dietary Bio-fermented selenium on growth performance, nonspecific immune enzyme, proximate composition and bioaccumulation of zebrafish (*Danio rerio*). *Aquaculture Reports*, no. 13, 100–180.
19. Стеффенс В. Индустриальные методы выращивания рыбы. Москва, 1985. 384 с.
20. СОУ-05.01-37-385:2006. Вода рибогосподарських підприємств. Загальні вимоги та норми. Київ: Міністерство АПК України, 2006. 15 с.

21. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. Москва, 1966. 376 с.
22. Пряхин Ю.В., Шицкий В.А. Методы рыбохозяйственных исследований. Кубань, 2006. 214 с.
23. Олексюк Н.П., Янович В.Г. (2010). Активність про- і антиоксидантних систем у печінці прісноводних риб у різні пори року. *Укр. біохім. журн.*, Вип. 82(3), С. 41–48.
24. Моин В.М. (1986). Простой и специфический метод определения активности глутатионпероксидазы в эритроцитах. *Лабораторное дело*, № 12, С. 724–727.
25. Дубинина Е.Е., Сальникова Л.Я., Ефимова Л.Я. (1983). Активность и изоферментный спектр СОД эритроцитов. *Лабораторное дело*, № 10, С. 30–33.
26. Королюк М.А., Иванова Л.И., Майорова И.Г., Токарев В.Е. (1988). Метод определения активности каталазы. *Лабораторное дело*, № 1, С. 16–18.
27. Esterbauer H., Eckl P., Ortner A. (1990). Possible mutagens derived from lipids and lipid precursors. *Mutation Research*, Vol. 238, no. 3, 223–233.
28. Ayala A., Muñoz M.F., Argüelles S. (2014). Lipid peroxidation: production, metabolism, and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-hydroxy-2-nonenal. *Oxidative medicine and cellular longevity*. doi: 10.1155/2014/360438.
29. Kolesnikova L.I., Vlasov B.Y., Kravtsova O.V., Dolgikh M.I., Natyaganova L.V. (2014). Features of lipid peroxidation-antioxidant protection in adolescent girls in different groups of health. *Annals of the Russian academy of medical sciences*, Vol. 69, no. 3–4, 50–54.
30. Amaral A.B., Silva M.V.D., Lannes S.C.D.S. (2018). Lipid oxidation in meat: mechanisms and protective factors—a review. *Food Science and Technology*, no. 38, 1–15.
31. Dawood M.A., Zommara M., Eweedah N.M., Helal A.I., Aboel-Darag M.A. (2020). The potential role of nano-selenium and vitamin C on the performances of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 27, 9843–9852.
32. Abdel-Daim M.M., Eissa I.A., Abdeen A., Abdel-Latif H.M., Ismail M., Dawood M.A., Hassan A.M. (2019). Lycopene and resveratrol ameliorate zinc oxide nanoparticles-induced oxidative stress in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Environ Toxicol Pharmacol*, no. 69, 44–50.
33. Bai Z., Ren T., Han Y., Hu Y., Schohel M.R., Jiang Z. (2019). Effect of dietary bio-fermented selenium on growth performance, nonspecific immune enzyme, proximate composition and bioaccumulation of zebrafish (*Danio rerio*). *Aquac. Rep.*, no. 13, 100–180.

34. Khan K.U., Zuberi A., Nazir S., Fernandes J.B.K., Jamil Z., Sarwar H. (2016). Effects of dietary selenium nanoparticles on physiological and biochemical aspects of juvenile *Tor putitora*. *Turk J Zool.*, Vol. 40, no. 5, 704–712.
35. Köhrle J., Brigelius-Flohé R., Böck A., Gärtner R., Meyer O., Flohé L. (2000). Selenium in biology: facts and medical perspectives. *Biological chemistry*, no. 9–10, 849–864.

REFERENCES

1. Pacitti D, Lawan M.M., Sweetman J., Martin S.A.M., Feldmann J., et al. (2016). Correction: Selenium Supplementation in Fish: A Combined Chemical and Biomolecular Study to Understand Sel-Plex Assimilation and Impact on Selenoproteome Expression in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *PLOS ONE* 11(2): e0144681. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144681>.
2. Papp L. V., Lu J., Holmgren, A., Khanna, K.K. (2007). From selenium to selenoproteins: synthesis, identity, and their role in human health. *Antioxidants & redoxsignaling*, Vol. 9, no. 7, 775–806.
3. Lobanov A.V., Hatfield D.L., Gladyshev, V.N. (2009). Eukaryotic selenoproteins and selenoproteomes. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA). General Subjects*, Vol. 1790, no. 11, 1424–1428.
4. Tsekhmistrenko S.I., Bityutskyy V.S., Tsekhmistrenko O.S., Melnichenko, O.M., Kharchyshyn, V.M., Tymoshok, N.O., Demchenko, A.A. (2020). Effects of selenium compounds and toxicant action on oxidative biomarkers in quails. *Ukrainian Journal of Ecology*, Vol. 10, no. 2, 232–239.
5. Bityutskyy V., Tsekhmistrenko S., Tsekhmistrenko O. (2019). Effects of Different Dietary Selenium Sources Including Probiotics Mixture on Growth Performance, Feed Utilization and Serum Biochemical Profile of Quails. *Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations*. Springer. 623–632. doi.org/10.1007/978-3-030-14918-5_61.
6. Tsekhmistrenko S.I., Bityutskyy V.S., Tsekhmistrenko O.S., Polishchuk V.M., Polishchuk S.A., Ponomarenko N.V., Spivak, M.Y. (2018). Enzyme-like activity of nanomaterials. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, Vol. 9, no. 3, 469–476.
7. Tsekhmistrenko O.S., Bityutskyy V.S., Tsekhmistrenko S.I., Melnichenko O.M., Tymoshok N.O., & Spivak M.Y. (2019). Use of nanoparticles of metals and non-metals in poultry farming. *Animal Husbandry Products Production and Processing*, Vol. 2, 113–130.
8. Aliko V., Qirjo M., Sula E., Morina V., Faggio C. (2018). Antioxidant defense system, immune response and erythron profile modulation in gold fish, *Carassius auratus*, after acute manganese treatment. *Fish Shellfish Immunol*, Vol. 76, 101–109.

9. Zhu L., Han D., Zhu X., Yang Y., Jin J., Liu H., Xie S. (2017). Dietary selenium requirement for on-growing gibel carp (*Carassius auratus gibelio* var. CAS III). *Aquac. Res.*, Vol. 48, no. 6, 2841–2851.
10. Dawood M.A., Eweedah N.M., Moustafa Moustafa E., Shahin M.G. (2019). Effects of feeding regimen of dietary *Aspergillus oryzae* on the growth performance, intestinal morphometry and blood profile of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquac. Nutr.*, Vol. 25, no. 5, 1063–1072.
11. Saffari S, Keyvanshokoo S, Zakeri M, Johari SA, Pasha-Zanoosi H. (2017). Effects of different dietary selenium sources (sodium selenite, selenomethionine and nanoselenium) on growth performance, muscle composition, blood enzymes and antioxidant status of common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquac.Nutr.*, Vol. 23, no. 3, 611–617.
12. Zhou X., Wang Y., Gu Q., Li W. (2009). Effects of different dietary selenium sources (selenium nanoparticle and selenomethionine) on growth performance, muscle composition and glutathione peroxidase enzyme activity of crucian carp (*Carassius auratus gibelio*). *Aquaculture*, no. 291, 78–81.
13. Naderi M., Keyvanshokoo S., Ghaedi A., Salati A.P. (2019). Interactive effects of dietary Nano-selenium and vitamin E on growth, haematology, innate immune responses, antioxidant status and muscle composition of rainbow trout under high rearing density. *Aquac.Nutr.*, Vol. 25, no. 5, 1156–1168.
14. Wang Y., Yan X., Fu L. (2013). Effect of selenium nanoparticles with different sizes in primary cultured intestinal epithelial cells of crucian carp, *Carassius auratus gibelio*. *Int J Nanomedicine*, Vol. 8, no. 1, 4007–4013.
15. Ashouri S., Keyvanshokoo S., Salati A.P., Johari S.A., Pasha-Zanoosi H. (2015). Effects of different levels of dietary selenium nanoparticles on growth performance, muscle composition, blood biochemical profiles and antioxidant status of common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*, no. 446, 25–29.
16. Wang Y., Han J., Li W., Xu Z. (2007). Effect of different selenium source on growth performances, glutathione peroxidase activities, muscle composition and selenium concentration of allogynogenetic crucian carp (*Carassius auratus gibelio*). *Anim Feed Sci Technol*, Vol. 134, no. 3, 243–251.
17. Lee S., Lee J.H., Bai S.C. (2008). Effects of different levels of dietary selenium (se) on growth, tissue se accumulations and histopathological changes in black sea bream, *Acanthopagrus schlegeli*. *Asian Australas J Anim Sci*, no. 21, 1794–1799.
18. Bai Z., Ren T., Han Y., Hu Y., Schohel M. R., & Jiang Z. (2019). Effect of dietary Bio-fermented selenium on growth performance, nonspecific immune enzyme, proximate composition and bioaccumulation of zebrafish (*Danio rerio*). *Aquaculture Reports*, no. 13, 100–180.

19. Steffens V. (1985). *Industrialnyye metody vyrashchivaniya ryby* [Industrial methods of fish farming]. Moscow. [in Russian].
20. Ministry of AIC of Ukraine (2006) *SOU-05.01.-37-385:2006. Voda rybohos-podars'kykhpidpryyemstv. Zahal'nyvymohy ta normy* [SOU-05.01.-37-385: 2006. Water of fishery enterprises. General requirements and norms], Kyiv: Ministry of AIC of Ukraine. [in Ukrainian].
21. Pravdin I.F. (1966) *Rukovodstvo po izucheniyu ryb* [Guide to the study of fish]. Moscow. [in Russian].
22. Pryakhin YU.V., Shitskiy V.A. (2006) *Metody rybokhozyaystvennykh issledovaniy* [Fisheries research methods]. Kuban. [in Russian].
23. Oleksyuk N.P., Yanovych V.H. (2010). *Aktyvnist' pro- i antyoksydantnykh system u pechintsi prysnovodnykh ryb u rizni pory roku* [Activity of pro- and antioxidant systems in the liver of freshwater fish at different times of the year]. *Ukr. biochemistry. Journal*, Vol. 82 (3), 41–48. [in Ukrainian].
24. Moin V.M. (1986). *Prostoy I spetsificheskyy metod opredeleniya aktivnosti glutationperoksidazy v eritrotsitakh* [A simple and specific method for determining the activity of glutathione peroxidase in erythrocytes]. *Laboratory business*, no. 12, 724–727. [in Russian].
25. Dubinina Ye.Ye., Sal'nikova L.Ya., Yefimova L.Ya. (1983). *Aktivnost' I izofermentnyy spektr SOD eritrotsitov* [Activity and isozyme spectrum of SOD of erythrocytes]. *Laboratory business*, no. 10, 30–33. [in Russian].
26. Korolyuk M.A., Ivanova L.I., Mayorova I.G., Tokarev V.Ye. (1988). *Metod opredeleniya aktivnosti katalazy* [Method for determining the activity of catalase]. *Laboratory business*, no. 1, 16–18. [in Russian].
27. Esterbauer H., Eckl P., Ortner A. (1990). Possible mutagens derived from lipids and lipid precursors. *Mutation Research*, Vol. 238, no. 3, 223–233.
28. Ayala A., Muñoz M.F., Argüelles S. (2014). Lipid peroxidation: production, metabolism, and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-hydroxy-2-nonenal. *Oxidative medicine and cellular longevity*. doi: 10.1155/2014/360438.
29. Kolesnikova L.I., Vlasov B.Y., Kravtsova O.V., Dolgikh M.I., Natyaganova L.V. (2014). Features of lipid peroxidation-antioxidant protection in adolescent girls in different groups of health. *Annals of the Russian academy of medical sciences*, Vol. 69, no. 3–4, 50–54.
30. Amaral A.B., Silva M.V.D., Lannes S.C.D.S. (2018). Lipid oxidation in meat: mechanisms and protective factors—a review. *Food Science and Technology*, no. 38, 1–15.
31. Dawood M.A., Zommara M., Eweedah N.M., Helal A.I., Aboel-Darag M.A. (2020). The potential role of nano-selenium and vitamin C on the performances of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 27, 9843–9852.

32. Abdel-Daim M.M., Eissa I.A., Abdeen A., Abdel-Latif H.M., Ismail M., Dawood M.A., Hassan A.M. (2019). Lycopene and resveratrol ameliorate zinc oxide nanoparticles-induced oxidative stress in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Environ Toxicol Pharmacol*, no. 69, 44–50.
33. Bai Z., Ren T., Han Y., Hu Y., Schohel M.R., Jiang Z. (2019). Effect of dietary bio-fermented selenium on growth performance, nonspecific immune enzyme, proximate composition and bioaccumulation of zebrafish (*Danio rerio*). *Aquac. Rep.*, no. 13, 100–180.
34. Khan K.U., Zuberi A., Nazir S., Fernandes J.B.K., Jamil Z., Sarwar H. (2016). Effects of dietary selenium nanoparticles on physiological and biochemical aspects of juvenile *Tor putitora*. *Turk J Zool.*, Vol. 40, no. 5, 704–712.
35. Köhrle J., Brigelius-Flohé R., Böck A., Gärtner R., Meyer O., Flohé L. (2000). Selenium in biology: facts and medical perspectives. *Biological chemistry*, no. 9–10, 849–864.