



CHEMICAL AND BIOCHEMICAL INDICATORS IN THE CARP ORGANISM UNDER THE ADMINISTRATION OF COENZYME FEED ADDITIVE

H.V. Merzlova, V.V. Mishchenko

Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine

ORCID

H.V. Merzlova: <https://orcid.org/0000-0002-2394-9118>

V.V. Mishchenko: <https://orcid.org/0009-0007-0772-9637>

E-mail: merzlovagv@ukr.net

Abstract. The paper presents the results of a comprehensive study of the effect of a coenzyme-containing feed additive with α -lipoic acid on the chemical and biochemical parameters of the liver of carp fry. The relevance of the study is due to the growing interest in the use of natural coenzymes as regulators of metabolic processes, which allows increasing the productivity and stability of fish in conditions of intensive aquaculture. The aim of the work was to determine the effect of different doses of the supplement on the content of total protein, lipids, Cobalt, Zinc and the activity of aminotransferases (AST and ALT) in the liver of fish, which are indicators of protein, lipid and mineral metabolism.

The study was conducted on five experimental groups (250 specimens each), which were fed compound feeds with doses of the supplement of 0.02–0.10%, and a control group without the supplement. The content of protein, lipids and minerals was determined by approved methods, the activity of aminotransferases - using standard reagent sets.

The results showed that α -lipoic acid contributes to a dose-dependent increase in total protein in the liver, especially at medium and high doses, which indicates a moderate activation of protein synthesis processes and an increase in the energy supply of cells. The activity of AST and ALT increased in proportion to the dose of the feed additive, remaining within the physiological norm, which indicates an effective intensification of amino acid transamination without liver overload. The lipid content tended to decrease at high doses, and the concentrations of Cobalt and Zinc increased, which is consistent with the improvement of metabolic homeostasis and the potential participation of α -lipoic acid in the regulation of enzymatic and redox-dependent processes.

Thus, the coenzyme-containing feed additive has a complex effect on protein, lipid and mineral metabolism, does not disrupt the functional state of the liver, and contributes to increasing the productivity and stability of carp fry. The results of the study confirm the feasibility of using α -lipoic acid as a functional component of compound feeds and open prospects for further research on long-term effects, dosage optimization and interaction with other nutrients in the diet of carp fish.

Key words: *α -lipoic acid, protein metabolism, mineral homeostasis, liver.*

ХІМІЧНІ ТА БІОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ОРГАНІЗМУ КОРОПА ЗА ЗГОДОВУВАННЯ КОРМОВОЇ ДОБАВКИ КОЕНЗИМУ

Г.В. Мерзлова, В.В. Міщенко

Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква, Україна

E-mail: merzlovagv@ukr.net

Анотація. У роботі представлено результати комплексного дослідження впливу коензимвмісної кормової добавки з α -ліпоєвою кислотою на хімічні та біохімічні показники печінки малька коропа. Актуальність дослідження зумовлена зростаючим інтересом до застосування природних коензимів як регуляторів метаболічних процесів, що дозволяє підвищувати продуктивність і стійкість риби в умовах інтенсивної аквакультури. Метою роботи було визначити вплив різних доз добавки на вміст загального білка, ліпідів, Кобальту, Цинку та активність амінотрансфераз (АсАТ і АлАТ) у печінці риби, що є показниками білкового, ліпідного та мінерального обміну.

Дослідження проводили на коропах п'яти дослідних груп ($n = 250$), яким згодовували комбікорм з дозою добавки 0,02–0,10 % та контрольної групи (без добавки). Вміст білка, ліпідів і мінералів визначали за апробованими методиками, активність амінотрансфераз — із застосуванням стандартних наборів реактивів.

Результати показали, що α -ліпоєва кислота сприяє дозозалежному підвищенню загального білка у печінці, особливо за середніх і високих доз, що свідчить про помірну активізацію білоксинтезувальних процесів та підвищення енергетичного забезпечення клітин. Активність АсАТ і АлАТ зростала пропорційно дозі кормової добавки, залишаючись у межах фізіологічної норми, що вказує на ефективну інтенсифікацію трансамінування амінокислот без перевантаження печінки. Вміст ліпідів мав тенденцію до зниження за високих доз, а концентрації Кобальту і Цинку зростали, що узгоджується з покращенням метаболічного гомеостазу та потенційною участю α -ліпоєвої кислоти у регуляції ферментативних і редокс-залежних процесів. Отже, коензимвмісна кормова добавка впливала на білковий, ліпідний та мінеральний обмін, не порушувала функціональний стан печінки, сприяла підвищенню продуктивності та стійкості малька коропа. Результати дослідження підтвердили доцільність застосування α -ліпоєвої кислоти як функціонального компонента комбікормів та відкривають перспективи для подальших досліджень щодо довготривалого використання, оптимізації дозування і взаємодії з іншими нутрієнтами у раціоні коропових риб.

Ключові слова: α -ліпоєва кислота, білковий обмін, мінеральний гомеостаз, печінка.

Вступ. Актуальність теми. До коензимів відносять небілкові молекули, які, зв'язуючись із ензимами, регулюють їх каталітичну активність. Коензими беруть участь у окисно-відновних процесах. У живих організмах постійно проходить зв'язування і від'єднання коензимів від ензимів. Основним джерелом коензимів для тваринних організмів є корм (Hubskey, 2000).

Важливе біологічне значення для організму тварин має коензим α -ліпоєва кислота, яка синтезується у тваринних і рослинних організмах. Біологічне значення цієї кислоти в основному полягає у генеруванні енергії для метаболічних процесів в організмі. Вона бере участь у перетворенні глюкози в енергію. α -ліпоєва кислота має здатність легко проникати через клітинні мембрани (Bast & Haenen, 2003). Коензим має антивірусну і гепатотпротекторну дію (Meng et al., 2008).

У Білоцерківському національному аграрному університеті використовуючи рослинну і тваринну сировину, було одержано коензимвмісну кормову добавку із вмістом α -ліпоєвої кислоти, вивчено її нешкідливість та гостру токсичність. Не вивченим

залишається питання ефективності використання різних доз кормової добавки із вмістом α -ліпоевої кислоти у складі комбікормів на біохімічні та хімічні показники в організмі малька коропа.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Активаторами ензимів є кофактори ензимів. До кофактрів відносяться іони металів-біотиків та коензими. Біологічні властивості α -ліпоевої кислоти дозволяють віднести її до коензимів. Коензими та їх попередники можливо використовувати на практиці як засоби, що активують ензими і метаболічні процеси (Levtova et al., 2019; Zaika et al., 2020).

α -ліпоева кислота має біологічний вплив на низку ензимів енергетичного обміну, пришвидшує синтез оксиду нітрогену та підсилює антиокиснювальну дію вітамінів та коензиму Q₁₀. Джерелом цього коензиму можуть бути тваринні і рослинні організми (Levtova et al., 2019; Zaika et al., 2019; Zaika et al., 2020).

Anthony et al. (2021), Sztolsztener & Chabowski (2024) та Kabin et al. (2023) досліджували антиоксидантну, металорегулюючу та метаболічну властивість α -ліпоевої кислоти. Дослідження проводили на різних видах сільськогосподарських та лабораторних тварин згідно яких було доведено можливість α -ліпоевої кислоти впливати на ліпідний, білковий та мінеральний обмін у печінці безпосередньо за умов метаболічного стресу, порушень мікроелементного гомеостазу, а також токсичного навантаження.

За додаткового ведення α -ліпоевої кислоти до раціонів лабораторних мишей та щурів встановлено підвищення концентрації загального білка в печінці та зниження інтенсивності його катаболічних процесів (Shanshan et al., 2023). Дослідженнями встановлено, що введення α -ліпоевої кислоти лабораторним тваринам сприяє зниженню інтенсивності оксидативного стресу, покращенню антиоксидантного статусу та нормалізації функціональної активності печінкових ферментів (Dogan et al., 2023). У досліджах на рибі показано, що додавання α -ліпоевої кислоти до комбікормів сприяє покращенню антиоксидантного захисту, імунних показників та загального фізіологічного стану організму (Behairy et al., 2023).

Skibska et al. (2023) та Hasan et al. (2022) наводять інформацію, що α -ліпоева кислота може опосередковано діяти на гомеостаз металобіотика Цинку. Автори стверджують, що в моделях оксидативного та токсичного навантаження α -ліпоева кислота сприяє відновленню концентрації Цинку у печінці та плазмі крові.

На відміну від отриманих даних щодо впливу коензиму на метаболізм Цинку, кількість робіт, спрямованих на безпосереднє визначення впливу α -ліпоевої кислоти на зміни вмісту металобіотика Кобальту в печінці, є обмеженими. Дослідники вказують здебільшого на непрямий вплив α -ліпоевої кислоти через поліпшення метаболізму у печінці (Palumaa, 2023).

У літературі відсутня інформація щодо використання в годівлі малька коропа кормової добавки із вмістом α -ліпоевої кислоти у складі екстрактів із сировини рослинного або тваринного походження. Поглиблених досліджень потребує встановлення впливу на ряд хімічних і біохімічних показників у печінці малька коропа різних доз α -ліпоевої кислоти у складі кормової добавки.

Метою дослідження було визначити вміст загального білка, ліпідів, Кобальту, Цинку та амінотрансфераз у печінці малька коропа за згодовування кормової добавки із вмістом α -ліпоевої кислоти.

Завдання дослідження: провести оцінку безпечності коензимвмісної кормової добавки з α -ліпоевою кислотою у складі комбікормів для малька коропа; визначити вплив добавки на білковий обмін у печінці малька коропа; дослідити ефект α -ліпоевої кислоти на мінеральний обмін у печінці малька; проаналізувати взаємозв'язок білкового та мінерального обміну у печінці риби за дії коензимвмісної добавки.

Матеріал і методи досліджень. Для експериментів відбирали проби печінки у малька коропа лускатого (*Cyprinus carpio*) живою масою 57-69 г. Перед відбором проб риби згодовували повнораціонні комбікорми із різним вмістом кормової добавки із вмістом α -

ліпоєвої кислоти. У контрольній групі комбікорм, рецептура якого представлена у табл. 1, не містив кормової коензимвмісної добавки. Для годівлі малька коропа використовували гранульований комбікорм із величиною гранул 2,2 мм.

Таблиця 1

Рецептура комбікорму, який використовували для годівлі малька коропа

Показник	Одиниці виміру	Норам ведення
Дерть ячмінна	%	5,0
Дерть кукурудзяна	%	32,0
Дерть пшенична	%	8,0
Шрот соняшниковий	%	18,0
Шрот соєвий	%	24,0
Кров'яне борошно	%	5,0
Рибне борошно	%	4,0
Крейда кормова	%	1,5
Сіль кухонна (NaCl)	%	0,5
Вітамінно-мінеральна добавка	%	2,0
L-лізин	мг/кг	50,0
Антиоксидантний комплекс	мг/кг	140,0

Комбікорми для малька коропа із I дослідної групи містили 200 мг/кг кормової коензимвмісної добавки. Риба із II дослідної групи споживала повнораціонний комбікорм, який містив конензимвмісну кормову добавку у дозі 400 мг/кг (табл. 2).

Таблиця 2

Схема експерименту

Група	Риби, екземплярів	Умови дослідю
контрольна	250	Згодовування повнораціонного комбікорму (ПК) без вмісту кормової коензимвмісної добавки
I дослідна	250	ПК із вмістом 0,02 % кормової коензимвмісної добавки
II дослідна	250	ПК із вмістом 0,04 % кормової коензимвмісної добавки
III дослідна	250	ПК із вмістом 0,06 % кормової коензимвмісної добавки
IV дослідна	250	ПК із вмістом 0,08 % кормової коензимвмісної добавки
V дослідна	250	ПК із вмістом 0,10 % кормової коензимвмісної добавки

Мальки коропа із III та IV дослідної груп отримували комбікорми, які містили, відповідно, по 600, та 800,0 мг/кг коензимвмісної кормової добавки. Найбільший вміст кормової добавки містилось у комбікормах, які згодовували риби із V дослідної групи.

По завершенню дослідження із кожної групи відбирали по 5 рибин. Дотримуючись чинних вимог закону України щодо захисту тварин та біоетики, проводили забій риби (із проведенням анестезії) дотримуючись вимог *Yevropeiska konventsiiia* (2000), *Zakon Ukrainy* (2006). У малька коропа відбирали органи для виконання хімічних і біохімічних досліджень.

У печінці малька коропа визначали вміст загального білка, керуючись методикою Lowry O.H. (1951), активність аспартамінотрансферази і аланінамінотрансферази за використання стандартних наборів реактивів (Reitman & Frankel, 1957). Визначення вмісту важких металів у печінці риби виконували згідно методик, описаних в національному стандарті ДСТУ 7965:2015. Визначення ліпідів у печінці проводили, застосовуючи методику, описану Kovalenko Yu.O. (2020).

Результати досліджень та їх обговорення. Уміст загального білка у печінці малька коропа контрольної групи, які споживала комбікорм без α -ліпоєвої кислоти, був на рівні $135,2 \pm 2,35$ мг/г. За згодовування найменшої дози коензимвмісної кормової добавки вміст загального білка у печінці риби був на рівні контролю (табл. 3).

Таблиця 3

Показники білкового обміну у печінці малька коропа, $M \pm m$, $n =$

Група	Вміст загального балка, мг/г	Активність АсАт, мкмоль/год/г	Активність АлАт, мкмоль/год/г
Контрольна	135,2±2,35	7,5±0,35	5,3±0,19
I дослідна	135,3±4,15	7,9±0,25	5,1±0,18
II дослідна	139,2±3,85	8,0±0,29	5,3±0,22
III дослідна	140,3±3,24	8,1±0,34	5,5±0,32
IV дослідна	142,5±3,98	8,1±0,38	5,9±0,37
V дослідна	142,4±3,85	8,3±0,45	6,0±0,38

У мальків коропа II дослідної групи вміст загального білка був вищим, ніж у контролі на 2,9 %. Встановлено тенденцію щодо підвищення вмісту білка у печінці риби, яка споживала комбікорм із вмістом 0,06 % кормової коензимвмісної добавки. Найбільший вміст білка був у печінці малька коропа із IV дослідної групи. Різниця із контролем становила 5,3 % ($p > 0,05$).

Поряд із підвищенням вмісту загального білка у печінці риби було встановлено зростання активності амінотрансфераз. Виявлено, що за додавання до комбікормів 0,04 % кормової коензимвмісної добавки активність АсАт у печінці малька коропа була більшою на 6,6 % ($p > 0,05$). Встановлена тенденція щодо підвищення активності АсАт у печінці риби III та IV дослідних груп. Найвища активність ензиму була встановлена у печінці риби, яка споживала 0,10 % кормової коензимвмісної добавки у складі комбікорму ($p > 0,05$).

Досліджуючи вміст ліпідів у печінці мальків коропа, було встановлено, що у контрольній групі цей показник становив 26,2 мг/г. Споживання комбікормів із вмістом 0,02 % кормової добавки майже не вплинуло на вміст ліпідів у печінці малька коропа (рис. 1).

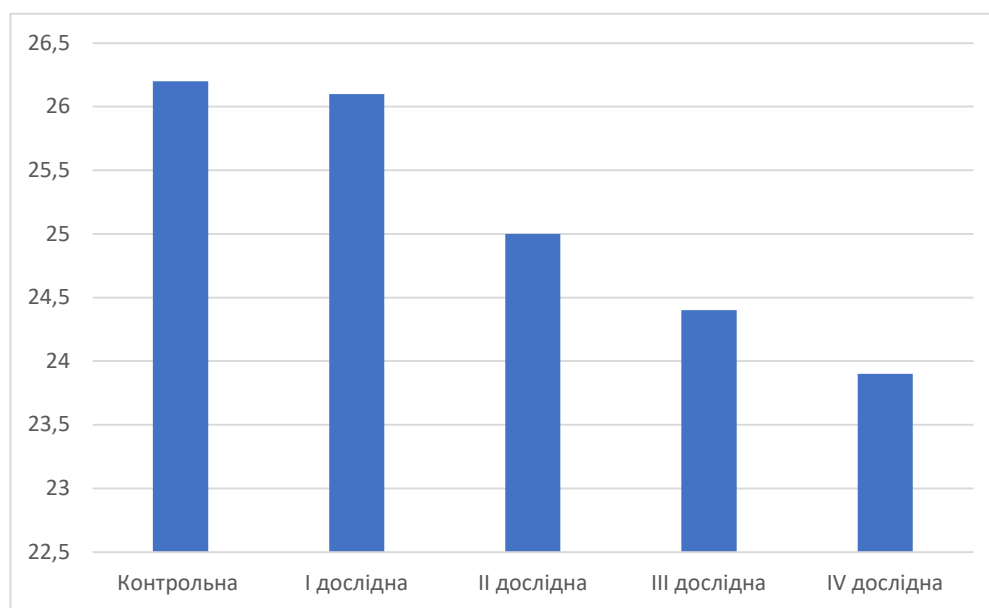


Рис. 1. Вміст ліпідів у печінці мальків коропа дослідних груп, мг/г

У печінці риби II дослідної групи вміст ліпідів був меншим на 4,5 % ($p > 0,05$). Різниця із контролем була на рівні 6,8 %. Найменший вміст ліпідів був у печінці риби IV дослідної групи, яка споживала комбікорм із вмістом 0,08 % коензимвмісної добавки ($p > 0,05$). За вмісту найбільшої дози кормової добавки у складі раціону (V дослідна група) теж встановлено тенденцію щодо зниження вмісту загальних ліпідів у печінці риби ($p > 0,05$).

Нами також були проведені дослідження щодо впливу різних доз кормової коензимвмісної добавки на мінеральний обмін у печінці малька коропа. Встановлено, що найменший вміст Кобальту був у печінці риби із контрольної групи. Використання

комбікорму із вмістом 0,02 % кормової добавки сприяло підвищенню вмісту металобіотику на 4,8 % у порівнянні із контролем. Різниця була в межах похибки. Аналогічні результати були отримані і від риби із II дослідної групи (рис. 2).

За застосування комбікорму із вмістом 0,06 % кормової добавки спостерігали тенденцію щодо підвищення вмісту Кобальту у печінці малька коропа. Виявлено також тенденцію щодо підвищення вмісту металобіотику у печінці риби, яка споживала комбікорм із найбільшими дозами (IV та V дослідні групи).

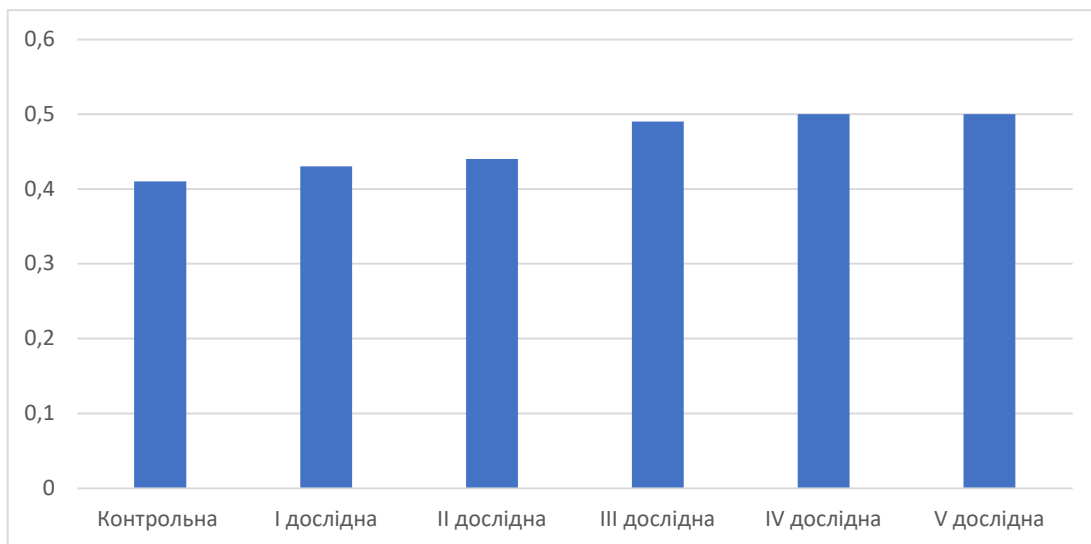


Рис. 2. Уміст Кобальту у печінці мальків коропа дослідних груп, мг/кг

У контрольній групі вміст Цинку у печінці малька коропа був на рівні 22,1 мг/кг. Уміст металобіотику у печінці риби із I дослідної групи були низьким і становило 0,4 %, що дозволяє вважати, що показник був на рівні контролю. За згодовування риби комбікормів із вмістом 0,04 % кормової добавки підвищення вмісту Цинку у її печінці було на рівні 3,6 %. Різниця була в межах похибки (рис. 3).

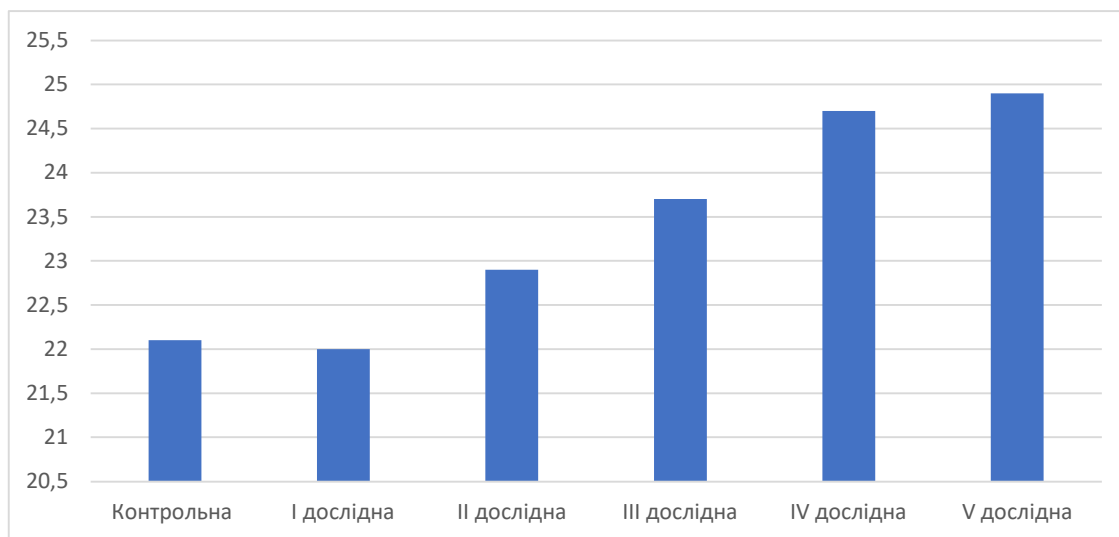


Рис. 3. Уміст цинку у печінці мальків коропа дослідних груп, мг/кг

Із підвищенням вмісту кормової добавки у комбікормі вміст металобіотику у печінці малька коропа зростає. Так, у III дослідній групі показник був більшим, ніж у контролі, на 7,2 %. Найбільший вміст Цинку було виявлено у печінці риби, яка споживала комбікорм із вмістом 0,10 % кормової добавки.

За згодовування мальку коропа підвищених доз кормової коензимвмісної (за α -ліпоєвою кислотою) добавки було встановлено ряд закономірностей щодо її впливу на вміст

загального білка, ліпідів, Кобальту, Цинку та активності амінотрансфераз у печінці риби. За вмісту у комбікормі 0,08 та 0,10 % кормової добавки спостерігали тенденцію щодо збільшення вмісту загального білка у печінці риби. Отримані нами результати свідчать про можливий вплив α -ліпоєвої кислоти на білковий обмін у печінці коропа. Відомо, що α -ліпоєва кислота бере участь у регуляції клітинного метаболізму та може впливати на сигнальні шляхи енергетичного обміну, зокрема АМПК, які пов'язані з балансом анаболічних і катаболічних процесів. Дані експериментальних досліджень *in vitro* та на тваринних моделях підтверджують участь α -ліпоєвої кислоти в регуляції процесів апоптозу, енергетичного метаболізму та функціонування мітохондріальних систем (Meng et al., 2008; Wehbe et al., 2019).

Результати експериментів на сільськогосподарських ссавцях, птиці та рибі доповнюють дані щодо підвищення антиоксидантного статусу організму за використання α -ліпоєвої кислоти (Behairy et al., 2023; Zhang et al., 2025). Виявлення тенденції щодо підвищення активності амінотрансфераз у печінці риби, яка споживала кормову коензимвмісну добавку є підтвердженням стимуляції метаболізму білка.

Встановивши тенденцію щодо зниження вмісту ліпідів у печінці малька коропа за згодовування комбікорму з вмістом 0,08 та 0,10 % кормової коензимвмісної добавки, нами додатково був підтверджений факт впливу α -ліпоєвої кислоти на ліпідний обмін. Аналогічні результати отримані у дослідженнях Cheng et al. (2025) та узагальнені в огляді Liu et al. (2025), де показано, що α -ліпоєва кислота сприяє зниженню вмісту тригліцеридів, корекції стеатозу, інгібує *de novo* ліпогенез і стимулює β -окиснення жирних кислот. Зазначені ефекти реалізуються, зокрема, через активацію АМПК та регуляцію факторів SREBP.

У наших дослідженнях встановлено тенденцію до підвищення вмісту Цинку в печінці риби за згодовування кормової коензимвмісної добавки. Отримані результати узгоджуються з даними Skibska et al. (2023) та Hasan et al. (2022), які показали, що за умов токсичного або оксидативного навантаження α -ліпоєва кислота сприяє відновленню концентрації есенціального мікроелемента Zn у печінці та плазмі тварин, імовірно, через активацію металозв'язувальних білків. Дія α -ліпоєвої кислоти також пов'язана зі зниженням інтенсивності пероксидного окиснення ліпідів і збереженням функціональної активності білків-транспортів мікроелементів.

Показано, що ефекти α -ліпоєвої кислоти на мінеральний обмін більш виражені в умовах токсичного навантаження або порушення мікроелементного гомеостазу (Kabin et al., 2023). Отримані нами результати узгоджуються з наведеними даними та можуть пояснювати відсутність статистично значущого підвищення вмісту цинку в печінці риби за згодовування кормової коензимвмісної добавки, оскільки в експерименті на мальках коропа не застосовувалися стресові чинники.

Встановлена нами тенденція до підвищення вмісту Кобальту в печінці риби за згодовування підвищених доз кормової добавки частково узгоджується з даними Palumaa (2023), Chen et al. (2025). Зокрема, показано, що метаболізм мікроелементів тісно пов'язаний із функціонуванням вітаміну B₁₂, до складу якого входить Кобальт, а також із загальними механізмами регуляції метал-гомеостазу. Водночас, підкреслюється роль α -ліпоєвої кислоти як модулятора мінерального обміну, що реалізується через взаємодію з ферментативними системами, зокрема тими, які беруть участь у регуляції металотіонеїнів та функціонуванні метал-залежних білків.

Висновки

1. Застосування коензимвмісної кормової добавки з α -ліпоєвою кислотою у застосованих дозах є безпечним для малька коропа та не порушує його фізіологічний стан.
2. Активність амінотрансфераз (AcAt, AlAt) у печінці мальків коропа зростала залежно від дози, залишаючись у межах норми, що вказує на помірну інтенсифікацію метаболізму.

3. Концентрація цинку у печінці мальків коропа за використання кормової добавки у різній дозі істотно не змінювалася.
4. Встановлено тенденцію до підвищення вмісту кобальту за високих доз добавки, що може бути пов'язано з активацією метаболізму та участю у синтезі вітаміну В₁₂.
5. Отримані результати підтверджують доцільність використання α -ліпоєвої кислоти у годівлі коропа; перспективним є подальше дослідження щодо тривалого ефекту та оптимальних доз.

References

- Anthony, R. M., MacLeay, J. M., & Gross, K. L. (2021). Alpha-lipoic acid as a nutritive supplement for humans and animals: an overview of its use in dog food. *Animals : an open access journal from MDPI*, 11(5), 1454. <https://doi.org/10.3390/ani11051454>
- Bast, A., & Haenen, G. R. (2003). Lipoic acid: a multifunctional antioxidant. *BioFactors (Oxford, England)*, 17(1-4), 207–213. <https://doi.org/10.1002/biof.5520170120>
- Behairy, A., Ghetas, H. A., Abd-Allah, N. A., El-Houseiny, W., Arisha, A. H., Metwally, M. M., Elshafey, B. A., Al-Sagheer, A. A., & Mohamed, E. M. (2023). Dietary alpha-lipoic acid boosts growth, immune-antioxidant traits, behavior, and transcriptomes of antioxidant, apoptosis, and immune-related genes to combat cold stress in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture International*, 32, 4061 - 4090. <https://doi.org/10.1007/s10499-023-01365-4>
- Chen, H., Li, D., Zhang, H., Zhang, M., Lin, Y., He, H., Liu, A., Shen, S., Wang, Y., & Han, Z. (2025). Mechanisms of copper metabolism and cuproptosis: implications for liver diseases. *Frontiers in immunology*, 16, 1633711. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2025.1633711>
- Cheng, T., Chen, J., Tan, B., & Chi, S. (2025). Effects of α -lipoic acid (LA) supplementation in high-fat diet on the growth, glycolipid metabolism and liver health of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Fish & shellfish immunology*, 157, 110072. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.110072>
- Dogan, U., Yilmaz, A. H., Yildirim, S., Ellidag, H. Y., Aslaner, A., Cakir, R. C., Koctekin, B., Karakas, B. R., & Cakir, T. (2023). The effect of alpha-lipoic acid on oxidative parameters, SCUBE-1 and SCUBE-2 in hepatic ischemia-reperfusion injury in cholestatic rats. *European review for medical and pharmacological sciences*, 27(15), 7037–7048. https://doi.org/10.26355/eurev_202308_33276
- DSTU 7965:2015 Kormy dlia tvaryn, syrovyna dlia vyhotovlennia povnoratsionnykh sumishei, vydilennia tvaryn. Vyznachannia vmistu kadmiiu, kobaltu, molibdenu, nikeliu ta khromu metodom atomno-absorbtsiinoi spektrometrii z elektrotermichnoiu atomizatsiieiu. vid 22 chervnia 2015 r. № 61 z 2017-01-01.
- Hasan, R. H., & Algareeb, A. (2022). Hepatoprotective effects of alpha-lipoic acid, Vitamin C alone, or in combination on methotrexate-induced liver injury. *Mustansiriya Medical Journal*, 21, 41-47. https://doi.org/10.4103/mj.mj_23_21
- Hubskiy Yu. I. (2000). *Biologichna khimiia: pidruchnyk*. Kyiv–Ternopil: Ukrmedknyha, ISBN 966-7364-41-0.
- Kabin, E., Dong, Y., Roy, S., Smirnova, J., Smith, J. W., Ralle, M., Summers, K., Yang, H., Dev, S., Wang, Y., Devenney, B., Cole, R. N., Palumaa, P., & Lutsenko, S. (2023). α -lipoic acid ameliorates consequences of copper overload by up-regulating selenoproteins and decreasing redox imbalance. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 120(40), e2305961120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2305961120>
- Kovalenko Yu. O. (2020). Fiziolo-ho-biokhimichni osoblyvosti formuvannia stiikykh populiatsii koropovykh ryb za dii toksychnoho zabrudnennia. Spetsialnist 091 «Biologhiia» dysertatsiia. 189 s.
- Levtova, A., Waters, P. J., Buhás, D., Lévesque, S., Auray-Blais, C., Clarke, J. T. R., Laframboise, R., Maranda, B., Mitchell, G. A., Brunel-Guitton, C., & Braverman, N. E. (2019). Combined malonic and methylmalonic aciduria due to ACSF3 mutations: Benign clinical course in an unselected cohort. *Journal of inherited metabolic disease*, 42(1), 107–116. <https://doi.org/10.1002/jimd.12032>
- Li, S., Wang, J., Xiong Y., Zheng J., Zhou D., Zhao J., & Ding Z. (2023). Protein-sparing effect of α -lipoic acid in diets with different protein/carbohydrate ratios for the oriental river prawn, *Macrobrachium nipponense*, *Hindawi Aquaculture Research*, Article ID 5614359, 12 pages. <https://doi.org/10.1155/2023/5614359>

- Liu, F., Lv, J., Chen, Y., Wang, L., Liu, Z., & Li, X. (2025). Lipoic acid in metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease: a review. *Nutrition & metabolism*, 22(1), 56. <https://doi.org/10.1186/s12986-025-00954-9>
- Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L., & Randall, R. J. (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. *The Journal of biological chemistry*, 193(1), 265–275.
- Meng, X., Li, Z. M., Zhou, Y. J., Cao, Y. L., & Zhang, J. (2008). Effect of the antioxidant alpha-lipoic acid on apoptosis in human umbilical vein endothelial cells induced by high glucose. *Clinical and experimental medicine*, 8(1), 43–49. <https://doi.org/10.1007/s10238-008-0155-1>
- Palumaa, P. (2023). Metabolism of copper and possibilities for its regulation. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 72(4), 382. <https://doi.org/10.3176/proc.2023.4.03>
- Reitman, S., & Frankel, S. (1957). A colorimetric method for the determination of serum glutamic oxalacetic and glutamic pyruvic transaminases. *American journal of clinical pathology*, 28(1), 56–63. <https://doi.org/10.1093/ajcp/28.1.56>
- Skibska, B., Kochan, E., Stanczak, A., Lipert, A., & Skibska, A. (2023). Antioxidant and anti-inflammatory effects of α -lipoic acid on lipopolysaccharide-induced oxidative stress in rat kidney. *Archivum immunologiae et therapeuticae experimentalis*, 71(1), 16. <https://doi.org/10.1007/s00005-023-00682-z>
- Sztolsztener, K., & Chabowski, A. (2024). Hepatic-metabolic activity of α -lipoic acid-its influence on sphingolipid metabolism and PI3K/Akt/mTOR pathway in a rat model of metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease. *Nutrients*, 16(10), 1501. <https://doi.org/10.3390/nu16101501>
- Wehbe, Z., Behringer, S., Alatibi, K., Watkins, D., Rosenblatt, D., Spiekerkoetter, U., & Tucci, S. (2019). The emerging role of the mitochondrial fatty-acid synthase (mtFASII) in the regulation of energy metabolism. *Biochimica et biophysica acta. Molecular and cell biology of lipids*, 1864(11), 1629–1643. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2019.07.012>
- Yevropeiska konventsiiia pro zakhyst khrebetnykh tvaryn, shcho vykorystovuiutsia dlia doslidnykh ta inshykh naukovykh tsilei (Strasburh, 1986). Zbirka dohovoriv Rady Yevropy. Kyiv : Parlamentske vyd-vo, 2000. 57 s.
- Zaika S. V., Baranova I. I., & Bezpala Yu. O. (2019). Perspektyva vykorystannia alfa-lipoiovoi kysloty u pinomyinykh zasobakh. Suchasna farmatsiia: istoriia, realii ta perspektyvy rozvytku : materialy nauk.-prakt. konf. z mizhnar. uchastiu, prysviach. 20-y richnytsi zasnuvannia Dnia farmatsevt. pratsivnyka Ukrainy, m. Kharkiv, 19–20 veres. Kharkiv, 123–124.
- Zaika, S., Strilets, O. P., Baranova, I., Bezpala, Y. O., & Martyniuk T. V. (2020). Research of antimicrobial activity of foaming products samples with octopirox. *Annals of Mechnikov's Institute*, (1), 54–57. <https://journals.uran.ua/ami/article/view/199391>
- Zakon Ukrainy «Pro zakhyst tvaryn vid zhorstokoho povodzhennia». Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy. 2006. № 27. S. 990.
- Zhang, X., Song, K., Miao, J., Sun, S., Xiong, Y., & He, S. (2025). Effects of lipoic acid on production performance, meat quality, serum biochemistry and antioxidant function in heat-stressed broilers. *Tropical animal health and production*, 57(2), 35. <https://doi.org/10.1007/s11250-025-04280-3>