

20. Rethinking glycolysis: on the biochemical logic of metabolic pathways / A. Bar-Even, A. Flamholz, E. Noor [et al.] // *Nature Chemical Biology*. — 2012. — Vol. 8. — P. 509—517.
21. Viskupicova J. Effect of high glucose concentrations on human erythrocytes *in vitro* / J. Viskupicova, D. Blaskovic, S. Galiniak [et al.] // *Redox biology*. — 2015. — Vol. 5. — P. 381—387.
22. Deklaratsiynyy patent Ukrainy na korysnu model' Sposib induktsii hiperhlikemii u koropovykh ryb / H.I. Fal'fushyn'ska, O. B. Stoliar, O. I. Horyn, V. V. Khoma, L. L. Hnatyshyna, H. B. Buiak — No u201811223; zaiavl. 15.11.2018. (in Ukrainian).

O.I. Horyn, H.I. Falfushynska

Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University, Ukraine

MOMORDICA EXTRACT DIMINISHES OXIDATIVE STRESS SIGNS AND RATE OF HEMOLYSIS IN COMMON CARP RED BLOOD CELLS UNDER THE GLUCOSE TREATMENT

Phytoextracts and natural antioxidants should provide promising results in therapeutic intervention for diabetes mellitus when they include into medical treatment scheme. The present study aimed to investigate the effect of *Momordica charantia* phytoextract alone and in complex-form with nano zinc oxide as well as zinc compounds on rate of hemolysis and oxidative stress parameters in *Cyprinus carpio* red blood cells (RBC) after their exposure to high glucose *in vitro*. The results have shown that the glucose treatment was capable to promote an increase in oxidative damage of lipids and proteins, the break of balance in antioxidant defence and enhance the rate of hemolysis and methylglyoxal concentration. When glucose-treated RBC were probed with *M. charantia* extract, nZnO- *Momordica*, nZnO and zinc picolinate specific response to different co-exposures was disclosed. Zinc picolinate in general had no significant effect on the studied parameters with few exceptions, then ZnO nanoparticles made glucose effects more profound. *Momordica* in herbal extract form and, particularly, in green synthesized ZnO nanoparticle have caused the decrease in lipid and protein peroxidation, glutathione transferase activity, rate of hemolysis and methylglyoxal, and the increase in catalase and glutathione up to control baseline. These results have pointed to the necessity of further investigations of antihyperglycemic activity of *Momordica* and mechanistic explanation of its potentials.

Key words: Momordica charantia, green synthesis, ZnO nanoparticle, phytocomplex, oxidative stress, hemolysis

Надійшла 28.01.2019.

УДК 577.125: (597.551.2+ 597.552.1): 546.723

doi:10.25128/2078-2357.19.1.4

В.З. КУРАНТ, В.О. ХОМЕНЧУК

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

вул. Максима Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027

e-mail: khomenchuk@tnpu.edu.ua

ВПЛИВ ІОНІВ МАНГАНУ, ЦИНКУ, КУПРУМУ ТА ПЛЮМБУМУ НА ВМІСТ ВІЛЬНИХ АМІНОКИСЛОТ В ОРГАНІЗМІ КОРОПА

У роботі досліджено динаміку вмісту вільних амінокислот у тканинах коропа за дії на його організм іонів Мангану, Цинку, Купруму та Плюмбуму водного середовища. Показано важливу роль цих метаболітів у процесах обміну у риб за умов впливу на них підвищених концентрацій іонів важких металів. Відмічено використання вільних амінокислот як додаткового субстрату окиснення. Різниця в динаміці досліджуваних показників у м'язах та печінці риб дозволяє зробити висновок про першочергову мобілізацію вільних амінокислот м'язів та наступне використання амінокислот білкових резервів печінки.

Ключові слова: короп, метаболізм, амінокислоти, важкі метали

Вільні амінокислоти відіграють важливу роль у процесах обміну речовин в організмі тварин: вони є субстратом для синтезу структурних та функціональних білків, використовуються в підтриманні енергетичного гомеостазу, є попередниками цілої низки біологічно активних речовин та регуляторів метаболізму.

Метаболізм амінокислот є одним із важливих чинників, який забезпечує біохімічну адаптацію організмів гідробіонтів до змін умов навколишнього середовища [32]. Особливої уваги заслуговує визначення вмісту в тканинах риб вільних амінокислот, оскільки вони є резервами для синтезу білків і нуклеїнових кислот, беруть участь у субстратному забезпеченні ліпогенезу та глюконеогенезу, звільненні та зв'язуванні аміаку, виконують функції нейромедіаторів, використовуються в енергетичному забезпеченні організму [3, 19].

Для окремих видів риб, до яких відноситься і короп, участь амінокислот та білків в енергетичному обміні може складати 50–90%, а окремі амінокислоти служать кращим джерелом енергії, ніж вуглеводи [27].

Організм риб активно окиснює як екзогенні амінокислоти, що утворюються в результаті перетравлювання харчових білків, так і ендогенні, джерелом яких служать процеси метаболічного оновлення білків самого організму. Отже, вільні амінокислоти відіграють важливу роль в організмі риб у забезпеченні багатьох обмінних процесів [19, 21].

Динаміка вільних амінокислот у тканинах риб відображає загальні тенденції метаболізму та стан метаболічного гомеостазу в їх організмі [8]. Значне збільшення пулу вільних амінокислот, як правило, є свідченням посилення катаболічних процесів та мобілізації білків або як джерел енергії, або для використання у адаптивних перебудовах метаболізму та структурних компонентів клітин [18]. Зниження вмісту вільних амінокислот, загалом, є свідченням їх мобілізації як резервних енергетичних ресурсів організму. Зазначені тенденції характерні для організму риб, особливо в умовах стресу, викликаного несприятливою дією чинників водного середовища [21].

Ефекторною щодо амінокислот стресорною дією володіють токсиканти водного середовища, у тому числі іони важких металів [12]. Щодо останніх, то механізм їх впливу на білковий обмін визначається проникністю металів у клітини та хімічною природою, яка визначає здатність до комплексоутворення з білками та амінокислотами в цілому та ферментами зокрема. Крім того, іони важких металів, діючи безпосередньо на ферменти або опосередковано, через утворення регуляторних метаболітів та комплексів, здатні змінювати інтенсивність та напрямок метаболізму. Саме тому в нашій роботі представлено динаміку вмісту вільних амінокислот в тканинах коропа за умови дії на його організм іонів Мангану, Цинку, Купруму та Плюмбуму.

Матеріал і методи досліджень

Об'єктом дослідження був короп лускатий – *Cyprinus carpio* L. Для експерименту використовували риб дворічного віку масою 250–300 г, яких відбирали з природних ставків в Тернопільському облрибкомбінаті (урочище Залісці).

Для дослідження риб виловлювали із ставка шляхом тралового відлову промисловим способом. Після цього їх транспортували в лабораторію, де короп утримувався в басейні упродовж 2–3 діб для адаптації в нових умовах. Експерименти проводилися в 200 літрових акваріумах, які заповнювали відстояною водопровідною водою, з підтриманням постійного газового та температурного режимів, що не відрізнялися від природних. Вміст кисню у воді акваріумів становив 7,0–8,0 мг/дм³, вуглекислого газу – 2,2–2,8 мг/дм³. Значення рН було близьким до 7,7–7,9. Вміст основних катіонів та аніонів був близьким до норми згідно вимог технології вирощування риби у ставкових господарствах [22]. Температура в акваріумах, у яких утримувалися контрольні та піддослідні риби, підтримувалася такою ж, як і в природних умовах. Під час експерименту риб не годували.

Вивчався вплив іонів Мангану, Цинку, Купруму та Плюмбуму у двох концентраціях, які відповідали 2 та 5 рибогосподарським гранично допустимим концентраціям (ГДК) [2]. При цьому концентрації досліджуваних металів у перерахунку на іони були наступні: Мангану – 2,4 і 6,0 мг/дм³; Цинку – 2,0 і 5,0 мг/дм³; Купруму – 0,2 і 0,5 мг/дм³ та Плюмбуму – 0,2 і 0,5 мг/дм³. Ці концентрації є такими, що здебільшого використовуються в дослідженнях при вивченні

водних інтоксикацій і викликають формування в організмі риб адаптивної реакції на стрес-фактор [6, 24]. Використання менших концентрацій було б недоцільним з причини відсутнього ефекту їх впливу на досліджувані показники як у гострому, так і в хронічному експериментах.

Інтоксикацію моделювали внесенням у воду акваріумів, де знаходилися дослідні групи риб, солей $MnCl_2 \cdot 4 H_2O$, $ZnSO_4 \cdot 7 H_2O$, $CuSO_4 \cdot 5 H_2O$ та $Pb(NO_3)_2$ до досягнення концентрацій іонів вказаних металів, відповідних 2 і 5 ГДК_{риб-госп.} З метою зниження впливу на риб їх власних екзометаболітів воду в акваріумах змінювали кожні дві доби.

Для досягнення стану розвитку та максимального прояву функціонування компенсаторно-адаптивних реакцій до токсиканту аклімацію риб здійснювали впродовж 14 діб. Цей період, за даними автора [25], є достатнім для формування адаптивних реакцій в організмі екзотермних тварин. Слід відзначити, що короткий період експозиції риб в токсичному середовищі (до 14 діб), в силу фазовості відповіді організму на токсичний стрес, не дає можливість прогнозувати дію важких металів у природних умовах, де їх вплив носить хронічний характер. Саме тому нами було використано такий термін експозиції, при якому виявляється адекватна картина формування адаптації організму риб до дії іонів важких металів.

Для дослідження відбирали тканини білих м'язів спини та передньої долі печінки, в яких визначали вміст вільних амінокислот – зразки тканин (200 мг) гомогенізували в розчині Рінгера для холоднокровних (рН=7,2) і центрифугували при охолодженні упродовж 15 хвилин при 3000 об/хв. Супернатант осаджували 2% розчином сульфосаліцилової кислоти. Іонообмінну хроматографію вільних амінокислот проводили на приладі ААА-339 (Чехословакія) згідно інструкції [9].

Одержані результати піддавали статистичній обробці за загальноприйнятою методикою з використанням t-критерія Стьюдента для визначення достовірної різниці [14].

Результати досліджень та їх обговорення

Зміна вмісту вільних амінокислот в тканинах коропа при дії іонів Мангану. Манган є мікроелементом, який тісно пов'язаний з білковим обміном: він входить до складу багатьох ферментів, а також активує ряд металоферментних комплексів [17]. Реакції карбоксилювання та декарбоксилювання, що проходять з участю Мангану, відіграють важливе значення в процесі синтезу білків, а також в обміні амінокислот [16].

У результаті проведених досліджень встановлено, що пул вільних амінокислот м'язів та печінки коропа при вмісті у воді підвищених концентрацій іонів Мангану відрізняється від показників у контрольних риб. Характерною особливістю відповіді м'язової тканини на токсичні концентрації іонів Мангану (табл. 1.) було зростання вмісту майже всіх вільних амінокислот за винятком глутамінової кислоти та гліцину.

Так, сумарний вміст вільних амінокислот при 2 ГДК збільшився у 1,2 рази, а при 5 ГДК – в 1,1 рази. Вміст замічних амінокислот при цьому майже не змінюється. Значніші відхилення від контролю при дії на організм риб іонів Мангану виявлені у зростанні вмісту суми незамінних амінокислот. Цей показник збільшувався у 1,4 та 1,3 рази у першій та другій дослідній групах риб, що вказує на високий рівень катаболізму м'язових білків та недостатню активність використання цих амінокислот у процесах адаптації. Оскільки іони Мангану підвищують активність тканинних протеїназ [20], то за дії їх токсичних рівнів зростає протеоліз білків у м'язовій тканині. Нижчий рівень амінокислот (як замічних так і незамінних) при концентрації металу 5 ГДК не можна пояснити зниженням катаболізму білків при збільшенні дози токсиканту. Очевидно, за даних умов більш активно функціонують адаптаційні механізми, що залучають вільні амінокислоти в субстратне забезпечення енергетичних процесів організму риб.

Підвищені концентрації іонів Мангану у воді ведуть до зміни концентрації окремих амінокислот у м'язовій тканині коропа (табл. 1).

Зокрема, як зазначалося раніше, при дії іонів Мангану в м'язах риб спостерігається значне зниження вмісту глутамінової амінокислоти (в 1,9 рази при обох концентраціях металу). Зменшення кількості цієї кислоти може бути пов'язане з детоксикацією аміаку, вміст якого у випадку інтоксикації організму риб іонами важких металів зростає [37]. Знижується при вмісті 2 ГДК металів у воді і концентрація аспарагінової кислоти. У роботі [31] було показано, що

аміди глутамінової та аспарагінової кислот, утворюючись в тканинах за рахунок приєднання вільного аміаку до амінокислот, захищають організм риб від його дії.

Щодо гліцину, то зниження його вмісту можна пояснити тим, що ця амінокислота широко використовується для енергетичного забезпечення організму риб як в нормі, так і при дії токсикантів, якими є іони важких металів [11]. Показано, що гліцин є домінуючою амінокислотою в білих м'язах коропа, яка активно акумулюється в цій тканині і служить своєрідним депо Нітрогену [28].

Слід також відзначити значне зростання в м'язах дослідних риб кількості сірковмісних амінокислот. Зокрема, концентрація цистеїнової кислоти в цій тканині збільшується на 118,8% при 2 ГДК і на 137,7% при 5 ГДК, концентрація цистину на 59,1 і 122,9% та метіоніну на 51,5 і 46,4% відповідно. Відомо, що саме ці амінокислоти активно зв'язують іони двовалентних металів, виступаючи лігандами в цих реакціях [23]. Можливо, таким чином знижується токсична дія досліджуваного металу.

Таблиця 1

Вплив іонів Мангану на вміст вільних амінокислот в м'язах коропа (нмоль/г вологої тканини, $M \pm m$, $n=5$)

№ п/п	Амінокислота	Контроль	2 ГДК	5 ГДК
1.	Цистеїнова к-та	53,0±9,2	116,0±13,1*	126,0±11,4*
2.	Аспарагінова к-та	298,0±10,2	247,0±11,5*	335,0±12,6*
3.	Треонін	855,0±18,3	1125,0±17,4*	992,0±13,9*
4.	Серин	1056,0±11,3	1575,0±29,6*	1708,0±19,7*
5.	Глутамінова к-та	807,0±17,9	432,0±7,9*	425,0±7,0*
6.	Гліцин	2270,0±25,5	1590,0±22,7*	1340,0±21,8*
7.	Аланін	797,0±18,7	929,0±17,5*	473,0±15,5*
8.	Валін	623,0±17,6	993,0±21,3*	855,0±18,1*
9.	Цистин	284,0±13,6	452,0±15,7*	633,0±16,9*
10.	Метіонін	427,0±8,3	647,0±11,8*	625,0±11,9*
11.	Лейцин	617,0±10,5	716,0±17,3*	685,0±20,4*
12.	Ізолейцин	507,0±9,7	709,0±16,9*	656,0±18,6*
13.	Тирозин	316,0±8,4	679,0±18,7*	580,0±19,5*
14.	Фенілаланін	270,0±8,9	465,0±16,3*	838,0±13,7*
15.	Лізин	401,0±19,6	573,0±12,5*	555,0±10,8*
16.	Гістидин	575,0±12,4	617,0±16,3	444,0±14,2*
	Сума амінокислот	10156±13,7	11865±16,6	11270±15,4
	Замінні амінокислоти	5881±14,3	6020±17,1	5620±15,5
	Незамінні амінокислоти	4275±13,2	5845±16,2	5650±15,2

Примітка: * тут і далі різниця вірогідна порівняно з контролем ($P < 0,05$)

Дещо інший характер зміни вмісту вільних амінокислот під впливом іонів Мангану виявлено в печінці піддослідних риб. У цьому органі, на відміну від м'язів, іони Мангану приводять до зменшення вмісту як замінних, так і незамінних амінокислот (табл. 2.). Зокрема, кількість замінних амінокислот знизилася на 12,8% при 2 ГДК металу у воді та на 24,1% при 5 ГДК. У першій дослідній групі вміст незамінних амінокислот становив 83,7% від норми, а у другій – 75,5%.

Сумарна кількість амінокислот в печінці дослідних риб знизилася на 14,0 % при концентрації металу 2 ГДК та на 24,2 % при 5 ГДК. За дії іонів Мангану відбувається прискорення процесів окислення амінокислот у печінці і активація ними таких біосинтетичних процесів як глюконеогенез та ліпогенез [16]. Саме таким чином іони Мангану можуть сприяти перетворенню амінокислот у глюкозу та ліпіди, забезпечуючи цим належний енергетичний та структурний гомеостаз клітин організму риб, що, можливо, має місце і в цьому випадку.

Щодо окремих амінокислот (табл. 2), то при дії іонів Мангану нами виявлено значне зниження вмісту в печінці дослідних риб аспарагінової та глутамінової кислот. Так, кількість

першої амінокислоти знижується на 39,3% при концентрації металу у воді 2 ГДК та на 43,3% при 5 ГДК, а кількість другої – на 30,7 і 51,7% відповідно. Виявлене явище, яке ми спостерігали і у м'язах, може свідчити про активну участь аспарагінової та глутамінової кислот в адаптаційно-компенсаторних процесах у тканинах коропа.

Слід відзначити також значне зниження в печінці дослідних риб концентрації лейцину. Кількість цієї амінокислоти знижується в 1,7 раза при концентрації Мангану 2 ГДК та в 1,8 раза при 5 ГДК. Лейцин у ссавців активно використовується як енергетичний субстрат [29]. Можливо, і в тканинах риб лейцин виконує цю функцію, коли в умовах інтоксикації їх організму є потреба у додаткових джерелах енергії.

Звертає на себе увагу факт зростання в печінці дослідних риб вмісту валіну, серину та гістидину. Особливо значні відхилення від контролю спостерігали в риб, які перебували у воді з коцентрацією іонів Мангану 2 ГДК. Так, зокрема, кількість валіну зростала при цьому в 2,1 рази, серину в 2,2 рази і гістидину в 2,5 рази. Можливо, це пов'язано з тим, що названі амінокислоти є компонентами буферних систем [13]. При більш високій концентрації металу (5 ГДК) починається активніше функціонування цих систем і більшою мірою використовуються згадані амінокислоти.

Таблиця 2

Вплив іонів Мангану на вміст вільних амінокислот в печінці коропа (нмоль/г вологої тканини, $M \pm m$, $n=5$)

№ п/п	Амінокислота	Контроль	2 ГДК	5 ГДК
1.	Цистеїнова к-та	125,0±3,2	64,0±2,2*	34,0±1,3*
2.	Аспарагінова к-та	2058,0±12,7	1249,0±7,6*	1167,0±9,3*
3.	Треонін	1549,0±17,0	1039,0±18,0*	1020,0±25,6*
4.	Серин	1024,0±28,4	2182,0±35,3*	1764,0±28,3*
5.	Глутамінова к-та	1900,0±22,9	1317,0±18,7*	917,0±20,0*
6.	Гліцин	1280,0±12,7	1190,0±12,3*	1390,0±19,7*
7.	Аланін	324,0±8,2	296,0±5,6*	213,0±3,8*
8.	Валін	298,0±14,2	624,0±25,5*	328,0±23,4
9.	Цистин	1382,0±18,5	1046,0±11,8*	995,0±5,3*
10.	Метіонін	1619,0±46,3	1132,0±31,8*	1178,0±42,*0
11.	Лейцин	151,0±7,2	86,0±3,2*	84,0±3,7*
12.	Ізолейцин	196,0±3,6	135,0±3,0*	147,0±3,3*
13.	Тирозин	871,0±16,2	474,0±17,3*	324,0±8,5*
14.	Фенілаланін	599,0±28,7	311,0±12,0*	216,0±12,8*
15.	Лізін	286,0±9,2	212,0±6,3*	295,0±9,6
16.	Гістидин	231,0±7,5	588,0±6,2*	453,0±4,7*
	Сума амінокислот	13895±16,0	11945±13,5	10525±13,8
	Замінні амінокислоти	8964±15,3	7818±13,8	6804±12,0
	Незамінні амінокислоти	4931±16,7	4127±13,2	3721±15,6

Одержані дані свідчать про те, що високі концентрації іонів Мангану у воді впливають на вміст вільних амінокислот в печінці та м'язах коропа, що веде до порушення білкового метаболізму в організмі риб.

Зміна вмісту вільних амінокислот в тканинах коропа при дії іонів Цинку. Цинк є мікроелементом, який міститься в живих організмах у значній кількості. У тканинах риб він сполучається з білками, амінокислотами, пуриновими основами та нуклеїновими кислотами [17]. Більшість цинквмісних білків є ферментами, зокрема протеаза, глутаматдегідрогеназа, протеїназа [16]. При нестачі Цинку в організмі спостерігається порушення синтезу білків та нуклеїнових кислот, мінерального обміну, а також росту та функціонування деяких органів та тканин [17].

Нами досліджено вплив іонів Цинку в кількості 2 та 5 ГДК на вміст вільних амінокислот у м'язах та печінці коропа. Із наведених у табл. 3. даних видно, що в м'язовій тканині сумарна кількість

амінокислот зросла на 13,4% при концентрації металу у воді 2 ГДК та на 7,8% при 5 ГДК. При цьому кількість замінних амінокислот дещо знижувалася при обох досліджуваних концентраціях, а кількість незамінних, навпаки, зростала (на 31,7% при 2 ГДК та на 21,4 % при 5 ГДК).

Значне зростання кількості незамінних амінокислот, як і в дослідях з Манганом, свідчить про високий рівень катаболізму м'язових білків та недостатнє використання цих амінокислот у процесах адаптації. Більш лабільними в цьому відношенні, мабуть, є замінні амінокислоти, рівень яких при дії іонів Цинку знижується.

Із окремих амінокислот, вміст яких збільшується під впливом іонів Цинку найбільше, слід відзначити серин, треонін, валін, цистин та метіонін (табл. 3). Зростання кількості оксикислот, зокрема серину, може відбуватися за рахунок їх утворення з аланіну, вміст якого при дії іонів цинку знижується. Хоча, можливо, спад концентрації аланіну в м'язах відбувається в результаті його участі в глікозо-аланіновому циклі, який активується при інтоксикації організму риб іонами важких металів [7].

Під впливом підвищених концентрацій іонів Цинку в м'язах коропа збільшується кількість усіх сірковмісних амінокислот. Так, концентрація цистеїнової кислоти зростає на 49,0% при вмісті металу у воді 2 ГДК та на 60,8% при 5 ГДК, цистину – відповідно на 58,8% і 92,8% і метіоніну – на 51,5% і 47,1%.

При дії іонів Цинку, як і при дії Мангану, у м'язах дослідних риб знижується вміст гліцину (на 18,3% при 2 ГДК і на 34,6% при 5 ГДК), що свідчить про використання цієї амінокислоти в процесах метаболізму, зокрема в енергетичній його гілці.

Відомо, що іони Цинку досить легко утворюють комплекси з багатьма амінокислотами, впливаючи таким чином на їх метаболізм [23]. Найбільшою мірою це стосується сірковмісних, рівень яких у м'язовій тканині коропа при досліджуваному токсикозі різко зростає. Виявлено також пригнічення високими концентраціями Цинку активності цілого ряду ферментів, що пояснюється їх здатністю до неспецифічної взаємодії з металом [17]. Таким чином відбувається антагоністичне заміщення іонами Цинку іонів інших металів у складі ферментів [26].

Таблиця 3

Вплив іонів Цинку на вміст вільних амінокислот у м'язах коропа (нмоль/г вологої тканини, $M \pm m$, $n=5$)

№ п/п	Амінокислота	Контроль	2 ГДК	5 ГДК
1.	Цистеїнова к-та	51,0±6,7	76,0±8,4*	82,0±7,2*
2.	Аспарагінова к-та	312,0±9,1	214,0±6,3*	285,0±8,5
3.	Треонін	843,0±14,4	1106,0±19,5*	1104,0±12,2*
4.	Серин	962,0±11,9	1405,0±24,6*	1687,0±18,5*
5.	Глутамінова к-та	895,0±13,2	648,0±11,0*	512,0±8,8*
6.	Гліцин	2028,0±23,8	1656,0±20,6*	1327,0±16,2*
7.	Аланін	879,0±16,4	757,0±16,8*	576,0±15,7*
8.	Валін	682,0±19,4	1023,0±24,5*	878,0±18,7*
9.	Цистин	318,0±12,9	505,0±13,6*	613,0±15,4*
10.	Метіонін	431,0±12,9	653,0±17,6*	634,0±15,6*
11.	Лейцин	517,0±9,8	578,0±12,4*	467,0±12,3*
12.	Ізолейцин	495,0±10,4	519,0±11,6	382,0±8,7*
13.	Тирозин	256,0±10,2	428,0±14,3*	486,0±17,6*
14.	Фенілаланін	254,0±6,7	427,0±12,0*	584,0±10,1*
15.	Лізин	513,0±17,3	598,0±15,5*	466,0±12,2
16.	Гістидин	524,0±11,6	705,0±16,2*	657,0±13,4*
	Сума амінокислот	9960±12,9	11298±15,3	10740±13,2
	Замінні амінокислоти	5701±13,0	5689±14,4	5568±13,5
	Незамінні амінокислоти	4259±12,8	5609±16,2	5172±12,9

При дослідженні впливу іонів Цинку на вміст вільних амінокислот у печінці коропа відмічено зростання сумарної кількості амінокислот на 16,9% при вмісті Цинку у воді 2 ГДК та на 26,1 % при 5 ГДК (табл. 4). Ці зміни, головним чином, зумовлює зростання вмісту замінних амінокислот, у той час як рівень незамінних варіює меншою мірою.

Як відомо, Цинку належить важлива роль в активації карбоксипептидази, ферменту, який бере участь у відщепленні амінокислот від поліпептидів з боку карбоксильної групи [1]. Можливо, саме завдяки посиленню активації цього процесу іонами Цинку в печінці дослідних риб зростає вміст як суми вільних амінокислот, так і замінних та незамінних їх представників. У цьому органі можна виділити 2 групи амінокислот за типом відповіді на інтоксикацію організму риб Цинком: 1) при 2 ГДК вміст вільної амінокислоти знижується, а при 5 ГДК збільшується і залишається близьким до контролю: глутамінова кислота, метіонін, ізолейцин, тирозин, гістидин, лізин; 2) вміст амінокислоти збільшується як при 2 ГДК, так і при 5 ГДК: аспарагінова кислота, серин, валін, аланін, фенілаланін (табл. 4).

Виявлено, що у воді при вмісті Цинку в кількості 5 ГДК відхилення від контролю для більшості амінокислот дещо менші, ніж при 2 ГДК. Очевидно, що незначне зростання рівня окремих вільних амінокислот при концентрації іонів Цинку 5 ГДК пов'язано з їх активним використанням у структурних перебудовах та процесах енергетичного забезпечення організму риб.

Із окремих амінокислот варто виділити аспарагінову кислоту, валін та серин, вміст яких у печінці дослідних риб значно зростає. Так, кількість аспарагінової кислоти в печінці коропа збільшується в 2,6 рази при концентрації іонів Цинку 2 ГДК та в 2,9 рази при 5 ГДК, кількість валіну збільшується відповідно в 2,4 і 2,8 рази, а серину – в 1,4 і 1,5 рази.

Слід також відзначити, що концентрація гліцину в печінці дослідних риб майже не відрізняється від концентрації в контрольній групі, що свідчить про те, що названа амінокислота не використовується в адаптаційному процесі в цьому органі.

Таблиця 4

Вплив іонів Цинку на вміст вільних амінокислот у печінці коропа (нмоль/г вологої тканини, $M \pm m$, $n=5$)

№ п/п	Амінокислота	Контроль	2 ГДК	5 ГДК
1.	Цистеїнова к-та	102,0±4,2	83,0±3,5*	30,0±1,8*
2.	Аспарагінова к-та	1540,0±8,4	4047,0±12,7*	4591,0±17,3*
3.	Треонін	1354,0±32,1	1433,0±24,4	1049,0±13,1*
4.	Серин	1063,0±45,8	1449,0±56,7*	1565,0±51,3*
5.	Глутамінова к-та	1810,0±21,6	1292,0±17,8*	1375,0±16,7*
6.	Гліцин	1368,0±30,1	1306,0±23,1	1305,0±18,9
7.	Аланін	217,0±5,8	230,0±7,3	235,0±6,7
8.	Валін	444,0±6,7	1060,0±10,7*	1275,0±18,7*
9.	Цистин	1173,0±12,3	967,0±18,1*	914,0±16,3*
10.	Метіонін	1001,0±11,1	749,0±11,3*	939,0±19,1*
11.	Лейцин	172,0±8,3	124,0±8,4*	94,0±6,8*
12.	Ізолейцин	182,0±7,8	164,0±6,5	179,0±5,3
13.	Тирозин	710,0±12,6	428,0±5,7*	613,0±11,0*
14.	Фенілаланін	389,0±17,9	395,0±19,2	499,0±23,2*
15.	Лізин	263,0±7,9	149,0±4,5*	292,0±10,7
16.	Гістидин	249,0±4,2	196,0±6,9*	222,0±8,6
	Сума амінокислот	12037±14,8	14072±14,8	15177±15,03
	Замінні амінокислоти	7983±17,6	9802±18,1	10628±17,5
	Незамінні амінокислоти	4054±12,0	4270±11,5	4549±13,2

Одержані результати свідчать про вплив, який здійснюють підвищені концентрації іонів Цинку у воді, на вміст в печінці та м'язах коропа вільних амінокислот. Виявлені також тканинні особливості цього показника при дії різних концентрацій досліджуваного металу.

Зміна вмісту вільних амінокислот у тканинах коропа при дії іонів Купруму. Участь Купруму в метаболічних процесах визначається його специфічними фізико-хімічними властивостями [17]. Вони полягають у тому, що іони Купруму більш активно, ніж іони інших металів, реагують з амінокислотами і білками, утворюючи більш стабільні комплекси. Крім того, іони Купруму володіють каталітичними властивостями, які посилюються при зв'язуванні з білковою молекулою [23].

Купрум входить до складу цілої низки ферментів [16]. Цей мікроелемент бере участь у процесах тканинного дихання, кровотворення, а також мінерального та азотного обміну [17]. Надлишок Купруму досить токсично діє на організм, приводячи до атрофії окремих органів та тканин.

Одержані нами дані свідчать про те, що підвищені концентрації іонів Купруму у воді приводять до зміни вмісту вільних амінокислот у тканинах коропа. Особливістю динаміки вільних амінокислот у м'язах коропа в результаті дії іонів Купруму було зростання вмісту більшості із них (табл. 5). При цьому більшою мірою відбувається зростання кількості незамінних амінокислот (на 31,2 % при 2 ГДК та на 9,5 % при 5 ГДК). Виявлений ефект є свідченням того, що токсичний стрес, викликаний дією іонів Купруму, спричиняє посилення катаболізму білків м'язів риб. Тому можна передбачити, що постійні високі рівні іонів Купруму у воді викликать розвиток в організмі риб стрес-катаболічного синдрому, а в кінцевому результаті – загибель організму.

Щодо зміни вмісту окремих амінокислот в м'язах (табл. 5.), то слід звернути увагу на треонін, серин, валін та гістидин, рівень яких при дії підвищених концентрацій іонів Купруму значно зростає. Зокрема, кількість серину збільшується на 35,4% при вмісті металу у воді 2 ГДК та на 82,7% при 5 ГДК, кількість валіну – на 43,4% і 21,8% і кількість гістидину на 55,3% і 71,8% відповідно.

Таблиця 5

Вплив іонів Купруму на вміст вільних амінокислот у м'язах коропа (нмоль/г вологої тканини, $M \pm m$, $n=5$)

№ п/п	Амінокислота	Контроль	2 ГДК	5 ГДК
1.	Цистеїнова к-та	49,0±4,2	36,0±3,9	40,0±4,4
2.	Аспарагінова к-та	346,0±8,7	202,0±5,1*	256,0±6,8*
3.	Треонін	831,0±10,5	1079,0±11,6*	1217,0±14,5*
4.	Серин	912,0±14,6	1235,0±19,6*	1666,0±21,3*
5.	Глутамінова к-та	976,0±12,3	864,0±16,2*	600,0±10,6*
6.	Гліцин	1810,0±22,1	1730,0±18,6*	1330,0±16,2*
7.	Аланін	982,0±18,6	622,0±14,3*	619,0±16,0*
8.	Валін	744,0±25,3	1067,0±29,5*	906,0±19,3*
9.	Цистин	375,0±10,2	563,0±18,4*	568,0±12,4*
10.	Метіонін	455,0±15,5	732,0±21,6*	650,0±21,4*
11.	Лейцин	427,0±10,2	448,0±11,2	268,0±6,7*
12.	Ізолейцин	412,0±12,8	358,0±8,4*	106,0±4,8*
13.	Тирозин	204,0±12,3	196,0±10,6	418,0±18,9*
14.	Фенілаланін	218,0±6,4	430,0±9,8*	258,0±8,3*
15.	Лізін	604,0±15,1	605,0±18,5	318,0±15,9*
16.	Гістидин	510,0±12,9	792,0±19,2*	876,0±16,1*
	Сума амінокислот	9855±13,2	10959±14,8	10096±13,1
	Замінні амінокислоти	5654±12,9	5448±13,3	5497±13,3
	Незамінні амінокислоти	4201±13,6	5511±16,2	4599±13,4

Виявлене явище може бути пов'язане з тим, що названі амінокислоти є компонентами буферних систем [13] і беруть активну участь у підтриманні гомеостазу в організмі риб при інтоксикації. Особливо важлива роль названих амінокислот у процесах осморегуляції. У різних видів риб спектр амінокислот, які беруть участь у цих процесах, дещо відрізняється, але, в основному, це серин, треонін, гліцин, аланін, валін, гістидин [30].

Щодо інших амінокислот, які беруть участь у адаптаціях до несприятливих умов існування риб, слід відзначити гліцин, рівень якого зменшується, особливо при 5 ГДК металу у воді (на 26,5%). Як вже зазначалося, ця амінокислота є добрим енергетичним субстратом, який активно використовується в стресових умовах [11].

Іншою амінокислотою, вміст якої зазнає значного зниження в результаті дії іонів Купруму, є аланін. Його кількість в м'язах риб зменшується на 36,7 % при обох концентраціях металу у воді, що, можливо, пояснюється участю аланіну в підтриманні метаболічного гомеостазу глюкози в крові риб через його включення у функціонування глюкозо-аланінового циклу [7].

За дії іонів Купруму було відмічено зниження вмісту глутамінової кислоти. Якщо врахувати те, що при посиленні катаболічних процесів в м'язах риб підвищується вміст аміаку, то вказаний ефект стає зрозумілим, оскільки показана участь цієї амінокислоти в процесі детоксикації отруйного для клітин риб аміаку [5]. Таким чином перераховані амінокислоти виступають засобами забезпечення окремих метаболічних систем та чинниками регуляції гомеостазу організму риб.

Слід також звернути увагу на те, що при дії іонів Купруму в м'язах риб в 1,5 раза зростає вміст сірковмісних амінокислот – цистину та метіоніну. Це, на нашу думку, пов'язано з тим, що дані амінокислоти беруть участь у зв'язуванні іонів Купруму в сульфід-органічні комплекси, що сприяє зниженню токсичної дії іонів металу. Підтвердженням сказаного є також аналіз динаміки сірковмісних амінокислот у печінці риб. Вміст цистеїнової кислоти, метіоніну і, особливо, цистину при 5 ГДК зростають, що підтверджує їх суттєву роль у зв'язуванні іонів Купруму (табл. 5).

У результаті дії підвищених концентрацій іонів Купруму вміст більшості амінокислот (як заміінних, так і незамінних) у печінці знижується при 2 ГДК і зростає при 5 ГДК, що свідчить про розвиток стрес-катаболічного синдрому в цьому органі (табл. 6).

Зокрема, кількість заміінних амінокислот при 2 ГДК металу у воді знижується на 18,2%, а незамінних на 19,8%. При 5 ГДК вміст перших у печінці риб зростає на 11,7% (порівняно з контролем), а других – на 15,4%.

Серед окремих амінокислот у печінці риб (табл. 6) слід виділити цистеїнову кислоту, кількість якої зростає при обох концентраціях іонів Купруму у воді (на 31,3% і 29,5%), а також цистин та метіонін, вміст яких підвищується при 5 ГДК (на 32,5 і 20,6% відповідно). Описане є підтвердженням того, що сірковмісні амінокислоти в печінці, як і у м'язах риб, беруть активну участь у процесах зв'язування шкідливих для організму іонів Купруму.

Доступність Купруму, який з травного тракту переходить в кров, визначається, у першу чергу, характером лігандів, які зв'язують цей елемент. У якості останніх можуть виступати щавелева та фумарова кислоти, комплекси яких із Купрумом всмоктуються на 20% швидше, ніж сульфат Купруму, а також комплекси цього металу з амінокислотами, особливо з лейцином [35].

Слід зауважити, що кожна амінокислота здатна утворювати стійкі п'ятичленні хелатні цикли з іонами металу. Якщо в бічному ланцюгу немає донорних груп, то такими виступають аміно- та карбоксильні групи [36]. При зниженні водневого показника амінокислота може координуватися як нейтральний ліганд. Якщо карбоксильна група не бере участі в побудові п'ятичленного хелатного циклу, то утворюється чотирьохчленне кільце, у якому обидва атоми кисню зв'язані з металом. Найбільшу здатність до утворення хелатних комплексів виявлено у Купруму [38].

Вплив іонів Купруму на вміст вільних амінокислот у печінці коропа (нмоль/г вологої тканини, $M \pm m$, $n=5$)

№ п/п	Амінокислота	Контроль	2 ГДК	5 ГДК
1.	Цистеїнова к-та	166,0±2,8	218,0±3,0*	215,0±1,7*
2.	Аспарагінова к-та	1760,0±18,2	2095,0±20,7*	2273,0±15,1*
3.	Треонін	2558,0±32,4	1954,0±25,1*	2539,0±19,5
4.	Серин	2066,0±58,4	1691,0±24,3*	2575,0±56,2*
5.	Глутамінова к-та	2607,0±39,2	1385,0±29,6*	1975,0±37,3*
6.	Гліцин	1208,0±16,6	1255,0±18,1	1309,0±18,9*
7.	Аланін	326,0±4,2	275,0±14,3*	308,0±17,6
8.	Валін	310,0±15,8	224,0±15,1*	359,0±11,3
9.	Цистин	2310,0±28,4	1519,0±12,0*	3061,0±25,6*
10.	Метіонін	1691,0±35,3	1213,0±26,3*	2039,0±37,2*
11.	Лейцин	162,0±3,1	150,0±3,2*	201,0±4,2*
12.	Ізолейцин	171,0±5,7	117,0±5,8*	164,0±9,2
13.	Тирозин	544,0±10,4	549,0±16,4	563,0±15,9
14.	Фенілаланін	372,0±8,5	348,0±12,0	458,0±11,6*
15.	Лізин	248,0±5,4	403,0±11,7*	500,0±15,4*
16.	Гістидин	225,0±5,2	194,0±9,2*	360,0±7,1*
	Сума амінокислот	16724±18,1	13590±15,4	18899±19,0
	Замінні амінокислоти	10987±22,2	8987±17,3	12279±23,5
	Незамінні амінокислоти	5737±13,9	4603±13,5	6620±14,4

Отже, іони Купруму в досліджуваних концентраціях активно впливають на метаболізм амінокислот у печінці і м'язовій тканині коропа, зміщуючи його направленість у бік катаболізму.

Зміна вмісту вільних амінокислот в тканинах коропа при дії іонів Плюмбуму. Особливе місце серед важких металів займає Плюмбум, рівень якого в прісних водоймах досить високий. Цей метал є сильним токсикантом для всіх організмів. Іони Плюмбуму порушують обмін речовин і виступають інгібіторами ферментів. При надходженні в організм Плюмбум приводить до порушення синтезу білків та генетичного апарату клітини, а також здійснює гонадотоксичну та ембріотоксичну дію [4]. Проте природа функціональних груп та біомолекул, які є молекулярними мішенями дії цього металу, досліджена недостатньо. Тому актуальним є пошук біохімічних показників, які б найбільш адекватно відображали вплив Плюмбуму на організм гідробіонтів.

У нашій роботі проаналізовано зміни концентрації вільних амінокислот у тканинах коропа, адаптованого до водного середовища із вмістом іонів Плюмбуму в кількості 2 та 5 ГДК. З одержаних даних (табл. 7.) видно, що у м'язах риб зростає сумарний вміст амінокислот на 24,6% при 2 ГДК металу у воді та на 15,7% при 5 ГДК. При цьому збільшується кількість як замінних, так і незамінних амінокислот. Особливо це проявляється при концентрації іонів Плюмбуму, рівній 2 ГДК, при якій вміст замінних амінокислот в м'язах зростає на 21,6%, а незамінних – на 28,9%. У воді при концентрації металу, рівній 5 ГДК, кількість замінних амінокислот майже повертається до норми, а кількість незамінних перевищує її на 35,8%. Із наведеного слідує, що при рівні іонів Плюмбуму у воді в кількості 5 ГДК має місце тенденція до посилення протеолізу білків у м'язовій тканині коропа. Про це свідчить і високий вміст аспарагінової та глутамінової кислот, які активно зв'язують аміак, що утворюється при інтоксикації організму риб (табл. 7).

Вплив іонів Плюмбуму на вміст вільних амінокислот у м'язах коропа (нмоль/г вологої тканини, $M \pm m$, $n=5$)

№ п/п	Амінокислота	Контроль	2 ГДК	5 ГДК
1.	Цистеїнова к-та	63,0±7,2	138,0±12,4*	165,0±13,4*
2.	Аспарагінова к-та	318,0±17,6	834,0±21,8*	521,0±19,9*
3.	Треонін	806,0±11,4	978,0±13,3*	1123,0±18,7*
4.	Серин	972,0±43,7	517,0±22,7*	410,0±17,2*
5.	Глутамінова к-та	1026,0±35,2	1523,0±83,6*	1325,0±66,2*
6.	Гліцин	1970,0±8,5	2020,0±7,7*	1630,0±6,5*
7.	Аланін	826,0±22,1	928,0±25,2*	721,0±26,5*
8.	Валін	912,0±27,6	1620,0±59,4*	1428,0±38,5*
9.	Цистин	317,0±8,2	456,0±9,3*	543,0±11,5*
10.	Метіонін	527,0±18,6	725,0±30,2*	803,0±22,0*
11.	Лейцин	312,0±11,4	924,0±37,4*	820,0±10,4*
12.	Ізолейцин	382,0±12,9	256,0±12,3*	420,0±13,2
13.	Тирозин	282,0±19,3	604,0±22,5*	527,0±16,2*
14.	Фенілаланін	210,0±13,7	162,0±10,2*	378,0±14,3*
15.	Лізін	513,0±19,4	422,0±17,5*	402,0±18,0*
16.	Гістидин	526,0±16,2	312,0±15,4*	312,0±13,6*
	Сума амінокислот	9962±18,3	12419±25,0	11528±20,4
	Замінні амінокислоти	5774±20,2	7020±25,6	5842±22,2
	Незамінні амінокислоти	4188±16,4	5399±24,5	5686±18,6

Слід також відзначити збільшення в м'язах дослідних риб кількості сірковмісних амінокислот, особливо цистеїнової кислоти, концентрація якої зростає в 2,2 рази при вмісті металу у воді 2 ГДК та в 2,6 рази при 5 ГДК. Можливо, що іони Плюмбуму, проявляючи ту ж ступінь окиснення, що і іони Купруму, зв'язуються в хелатні комплекси цими амінокислотами.

Характерною реакцією печінки на підвищені концентрації Плюмбуму було незначне зниження (на 4,7%) суми амінокислот при 2 ГДК та підвищення цього показника на 10,6% при 5 ГДК (табл. 8). Аналогічна тенденція спостерігалася в печінці і у зміні вмісту замінних амінокислот.

Кількість незамінних амінокислот зростала пропорційно концентрації металу у воді – на 6,8% при 2 ГДК та на 21,7% при 5 ГДК, що може свідчити про посилення процесів катаболізму в цьому органі.

Підвищені кількості іонів Плюмбуму у воді приводили до суттєвих змін концентрацій окремих амінокислот в печінці риб (табл. 8).

Серед них слід виділити цистин та метіонін, вміст яких у печінці риб, які утримувалися у воді з концентрацією іонів Плюмбуму 5 ГДК, зростає на 54,2% і 75,9% відповідно. На відміну від названих сірковмісних амінокислот, вміст лейцину в печінці дослідних риб при обох досліджених концентраціях металу знижується (на 34,4% при 2 ГДК і на 57,8% при 5 ГДК), що свідчить про активне його використання як енергетичного субстрату.

Результати наших досліджень узгоджуються з даними авторів, які спостерігали подібні зміни деяких показників азотого обміну в тканинах коропа при дії на його організм іонів Плюмбуму [10]. Вони полягають у зміщенні азотого метаболізму в бік активації процесів катаболізму, а також включення адаптивних систем, які забезпечують виведення його кінцевих продуктів.

Вплив іонів Плюмбуму на вміст вільних амінокислот у печінці коропа (нмоль/г вологої тканини, $M \pm m$, $n=5$)

№ п/п	Амінокислота	Контроль	2 ГДК	5 ГДК
1.	Цистеїнова к-та	185,0±15,2	67,0±12,3*	138,0±17,3
2.	Аспарагінова к-та	1270,0±12,4	1815,0±16,2*	2012,0±22,6*
3.	Треонін	1824,0±92,7	1254,0±51,5*	1082,0±38,5*
4.	Серин	2765,0±53,5	1810,0±38,6*	2217,0±43,2*
5.	Глутамінова к-та	2025,0±42,4	1324,0±38,2*	1872,0±32,6*
6.	Гліцин	1512,0±23,4	1973,0±12,4*	1328,0±19,5*
7.	Аланін	425,0±5,2	361,0±3,2*	565,0±12,5*
8.	Валін	316,0±12,5	815,0±22,5*	1067,0±36,2*
9.	Цистин	1254,0±28,6	1012,0±18,9*	1934,0±23,7*
10.	Метіонін	1826,0±55,7	2587,0±68,3*	3212,0±76,2*
11.	Лейцин	192,0±3,5	126,0±2,5*	81,0±2,2*
12.	Ізолейцин	132,0±4,2	141,0±8,2	225,0±4,8*
13.	Тирозин	625,0±18,4	610,0±12,6	466,0±8,7*
14.	Фенілаланін	452,0±13,1	408,0±10,4*	522,0±16,6*
15.	Лізин	325,0±12,4	217,0±8,3*	126,0±6,7*
16.	Гістидин	237,0±8,4	115,0±6,2*	142,0±9,5*
	Сума амінокислот	15365±25,1	14635±20,6	16989±23,2
	Замінні амінокислоти	10061±24,9	8972±19,0	10532±22,5
	Незамінні амінокислоти	5304±25,3	5663±22,2	6457±23,8

Висновки

Підсумовуючи все сказане, можна зробити висновок про важливу роль вільних амінокислот у процесах метаболізму в організмі коропа при дії на нього підвищених концентрацій іонів важких металів. При досліджуваному токсикозі амінокислоти піддаються деградації з утворенням продуктів розпаду, якими можуть бути 2-оксиглутарат, сукциніл-КоА, фумарат, оксалоацетат та піруват. Перші чотири є ще і проміжними сполуками циклу трикарбонових кислот, у той час як піруват може при дії піруватдекарбоксилази перетворюватися в оксалоацетат і тим самим ставати субстратом глюконеогенезу. Таким шляхом можуть метаболізувати всі досліджені нами амінокислоти, за винятком лейцину та лізину.

Два продукти розпаду амінокислот (ацетоацетат і ацетил-КоА) не можуть включатися в глюконеогенез в організмі тварин. Вони використовуються для синтезу кетонів тіл, жирних кислот та ліпідів. По цьому шляху метаболізують лейцин та лізин.

Враховуючи те, що в умовах токсикозу у риб в енергетичному забезпеченні організму переважає гліколіз, який значно вичерпує запаси вуглеводів і має порівняно з циклом Кребса меншу здатність до синтезу АТФ, можна вважати вірогідним використання вільних амінокислот як додаткового субстрату окиснення.

Різниця в динаміці досліджуваних показників у м'язах та печінці риб дозволяє зробити висновок про першочергову мобілізацію вільних амінокислот м'язів та наступне використання амінокислот білкових резервів печінки.

1. Беренштейн Ф.Я. Микроэлементы в физиологии и патологии животных. Минск: Госиздат, 1966. 146 с.
2. Беспмятнов Г.П., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде: справочник. Л.: Химия, 1985. 240 с.
3. Быков В.П. Белки и небелковые азотистые вещества рыб / Биологические ресурсы гидросферы и их использование. М., 1980. С.106-130
4. Вредные химические вещества. Справочник / Под. ред. В.А. Филова. – Л.: Химия, 1988. – 512 с.

5. Грубинко В.В. Роль глутаміна в забезпеченні азотистого гомеостазу у риб (обзор). Гидробиол. журн. 1991. Т.27, №4. С. 48–56.
6. Грубінко В.В. Адаптивні реакції риб до дії аміаку водного середовища: автореф. дис... докт. біол. наук: 03.00.18 / 03.00.04. К., 1995. 44 с.
7. Грубінко В.В., Арсан О.М. Роль глюкозо-аланінового циклу в адаптації риб до аміаку. Доповіді НАН України. 1995. Сер. Б, №1. С.102-105.
8. Гулый М.Ф. О некоторых проблемах биохимии. К.:Наукова думка,1997. С.6-34.
9. Дэвени Т., Гервей Я. Аминокислоты, пептиды и белки. М.: Мир, 1976. 364 с.
10. Коновец И.Н., Кулик В.А., Арсан О.М. и др. Влияние свинца на азотистый обмен у карпа при различной температуре водной среды. Гидробиол. журн. 1994. Т.30, №5. С.78-86.
11. Курант В.З. Особливості метаболізму гліцину в організмі коропа при дії іонів важких металів. Доповіді НАН України. 2001. Сер. Б, №1. С. 192-195.
12. Курант В.З. Роль білкового обміну в адаптації риб до дії іонів важких металів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. біол. наук : 03.00.10. К., 2003. 38 с.
13. Лав М.Р. Химическая биология рыб. М.: Пищевая промышленность, 1976. 349 с.
14. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.:Высшая школа,1990. 351 с.
15. Майстер А. Биохимия аминокислот. М.: Изд-во иностр. литературы, 1961. 530 с.
16. Никаноров А.М., Жулидов А.В., Покаржевский А.Д. Биомониторинг тяжелых металлов в пресноводных экосистемах. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 144 с.
17. Ноздрюхина Л.Р. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. М.: Наука, 1977. 184 с.
18. Ньюсхолм Э., Старт Н. Регуляция метаболизма. М.: Мир, 1977. 410 с.
19. Сидоров В.С. Аминокислоты рыб. Биохимия молоди пресноводных рыб. Петрозаводск, 1985. С.103–137.
20. Сологуб Л.І., Пашковська І.С., Антоняк Г.Л. Протеази клітин та їх функції. К.: Наукова думка, 1992. 196 с.
21. Сорвачёв К.Ф. Основы биохимии питания рыб. М.: Лёгкая и пищевая пром-сть, 1982. 247 с.
22. Технология производства рыбы в прудовых хозяйствах СССР / под ред. Федорченко В.И., Михеева В.П. М.: ВНИИПРХ, 1986. 161 с.
23. Уильямс Д. Металлы жизни. М.: Мир,1975. 236 с.
24. Филенко О.Ф. Некоторые универсальные закономерности действия химических агентов на водные организмы: автореф. дис...д-ра биол. наук: 03.00.18. М., 1990. 36 с.
25. Хлебович В.В. Акклимация животных организмов. Л.:Наука, 1981. 135 с.
26. Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений. Л.:Наука, 1974. 324 с.
27. Яковенко Б.В. Особливості метаболізму гліцину в організмі коропа лускатого: автореф. дис... докт. біол. наук: 03.00.04. Львів, 1993. 38 с.
28. Яковенко Б.В., Курант В.З., Явоненко О.Ф. Вміст і шляхи можливого використання гліцину у коропових риб: зб. тез доп. IV Укр. біохім. з'їзду: Дніпропетровськ, 1982. Т.1. С.157.
29. Янович В.Г., Вовк С.И. Использование аминокислот в энергетических процессах у сельскохозяйственных животных. Вестник с.-х. науки. 1989. №2. С.138-144.
30. Colley L., Fox F.R., Huggins A.K. The effect of changes in external salinity on the non-protein nitrogenous constituents of parietal muscle from *Agonis cataphractus*. Comp. Biochem. and Physiol. 1974. Vol.48A, N4. P.757-763.
31. Creac'h Y., Vellas F., Bauche G. Metabolisme azote chez les poissons. Bull. Union of oceanogr. France. 1974. Vol.6, N4. P.57-59.
32. Glutamine synthetase expression in liver, muscle, stomach and intestine of *Bostrichthys sinensis* in response to exposure to a high exogenous ammonia concentration / Anderson P.M. et al. J Exp. Biol. 2002. Vol. 205. P. 2053–2065.
33. Huggins A.K., Colley L. The changes in the non-protein nitrogenous constituents of muscle during the adaptation of the eel *Anguilla anguilla* from fresh water to sea water. Comp. Biochem. and Physiol. 1971. Vol.38B, N3. P.537-541.
34. Jures K. The effect of changes in external salinity on the free amino acids and two amino transferases of white muscel from fastet *Salmo gairdneri* R. Comp. Biochem. and Physiol. 1980. Vol.65A, N 4. P. 501-504.
35. Kirhgeßner M., Grassman E. The dynamics of copper absorption. Trase element metabolism in animal. Edinburgh: Livingstone, 1970. P.27-286.
36. McAuliffe C.A. In the chemical sasiety specialist periodical report on inorganic biochemistry. Inorg. Chem. 1979. Vol.1. P.1-6.
37. Meherle P.M., Bloomfield R.A. Ammonia detoxity mechanisms on reinbow trout altered by dietary diedrin. Toxicol. Appl. Pharmacol. 1974. Vol.27, №3. P. 335-365.
38. Wood Chris M., Farrell Anthony P., Brauner Colin J. Homeostasis and toxicology of essential metals edited. Fish Physiology. London : Academic Press. 2011. Vol. 31. Part A. P. 1–497.
- 40 ISSN 2078-2357. Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол., 2019, № 1 (75)

References

1. Berenshteyn F.Ia. Mikroelementy v fiziologii i patologii zhivotnykh. Minsk: Gosizdat, 1966. 146 s. (in Russian).
2. Bepamiatnov G.P., Krotov Iu.A. Predel'no dopustimye kontsentratsii khimicheskikh veshchestv v okruzhaiushchey srede: spravochnik. L.: Khimiia, 1985. 240 s. (in Russian).
3. Bykov V.P. Belki i nebelkovye azotistye veshchestva ryb / Biologicheskies resursy gidrosfery i ikh ispol'zovanie. M., 1980. S.106-130. (in Russian).
4. Vrednye khimicheskie veshchestva. Spravochnik / Pod. red. V.A. Filova. – L.: Khimiia, 1988. – 512 s. (in Russian).
5. Grubinko V.V. Rol' glutamina v obespechenii azotistogo gomeostaza u ryb (obzor). *Gidrobiol. zhurn.* 1991. T.27, No4. S. 48–56. (in Russian).
6. Hrubinko V.V. Adaptivni reaktsii ryb do dii amiaku vodnoho seredovyshcha: avtoref. dys... dokt. biol. nauk: 03.00.18 / 03.00.04. K., 1995. 44 s. (in Ukrainian).
7. Hrubinko V.V., Arsan O.M. Rol' hliukoza-alaninovooho tsykladu v adaptatsii ryb do amiaku. *Dopovidi NAN Ukrainy.* 1995. Ser. B, No1. S.102-105. (in Ukrainian).
8. Gulyy M.F. O nekotorykh problemakh biokhimii. K.: Naukova dumka, 1997. S.6-34. (in Russian).
9. Deveni T., Gervy Ia. Aminokisloty, peptidy i belki. M.: Mir, 1976. 364 s. (in Russian).
10. Konovets I.N., Kulik V.A., Arsan O.M. i dr. Vliianie svintsia na azotistyy obmen u karpa pri razlichnoy temperature vodnoy sredy. *Gidrobiol. zhurn.* 1994. T.30, No5. S.78-86. (in Russian).
11. Kurant V.Z. Osoblyvosti metabolizmu hlitsynu v orhanizmi koropa pry dii ioniv vazhkykh metaliv. *Dopovidi NAN Ukrainy.* 2001. Ser. B, No1. S. 192-195 (in Ukrainian).
12. Kurant V.Z. Rol' bilkovoho obminu v adaptatsii ryb do dii ioniv vazhkykh metaliv : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia dokt. biol. nauk : 03.00.10. K., 2003. 38 s. (in Ukrainian).
13. Lav M.R. Khimicheskaiia biologiiia ryb. M.: Pishchevaia promyshlennost', 1976. 349 s. (in Russian).
14. Lakin G.F. Biometriia. M.: Vysshaia shkola, 1990. 351 s. (in Russian).
15. Mayster A. Biokhimiia aminokislot. M.: Izd-vo inostr. literatury, 1961. 530 s. (in Russian).
16. Nikanorov A.M., Zhulidov A.V., Pokarzhevskiy A.D. Biomonitoring tiazhelykh metallov v presnovodnykh ekosistemakh. L.: Gidrometeoizdat, 1985. 144 s. (in Russian).
17. Nozdriukhina L.R. Biologicheskaiia rol' mikroelementov v organizme zhivotnykh i cheloveka. M.: Nauka, 1977. 184 s. (in Russian).
18. N'iuskholm E., Start N. Reguliatsiia metabolizma. M.: Mir, 1977. 410 s. (in Russian).
19. Sidorov V.S. Aminokisloty ryb. Biokhimiia molodi presnovodnykh ryb. Petrozavodsk, 1985. S.103–137. (in Russian).
20. Sologub L.I., Pashkovs'ka I.S., Antoniak G.L. Proteazi klitin ta ikh funktsii. K.: Naukova dumka, 1992. 196 s. (in Ukrainian).
21. Sorvachev K.F. Osnovy biokhimii pitaniia ryb. M.: Legkaia i pishchevaia prom-st', 1982. 247 s. (in Russian).
22. Tekhnologiiia proizvodstva ryby v prudovykh khoziaystvakh SSSR / pod red. Fedorchenko V.I., Mikheeva V.P. M.: VNIIPRKh, 1986. 161 s. (in Russian).
23. Uil'iams D. Metally zhizni. M.: Mir, 1975. 236 s. (in Russian).
24. Filenko O.F. Nekotorye universal'nye zakonomernosti deystviiia khimicheskikh agentov na vodnye organizmy: avtoref. dis...d-ra biol. nauk: 03.00.18. M., 1990. 36 s. (in Russian).
25. Khlebovich V.V. Akklimatsiia zhivotnykh organizmov. L.: Nauka, 1981. 135 s. (in Russian).
26. Shkol'nik M.Ia. Mikroelementy v zhizni rasteniy. L.: Nauka, 1974. 324 s. (in Russian).
27. Yakovenko B.V. Osoblyvosti metabolizmu hlitsynu v orhanizmi koropa luskatooho: avtoref. dys... dokt. biol. nauk: 03.00.04. L'viv, 1993. 38 s. (in Ukrainian).
28. Yakovenko B.V., Kurant V.Z., Yavonenko O.F. Vmist i shliakhy mozhyvoho vykorystannia hlitsynu u koropovykh ryb: zb. tez dop. IV Ukr. biokhim. z'izdu: Dnipropetrovs'k, 1982. T.1. S.157. (in Ukrainian).
29. Ianovich V.G., Vovk S.I. Ispol'zovanie aminokislot v energeticheskikh protsessakh u sel'skokhoziaystvennykh zhivotnykh. *Vestnik s.-kh. nauki.* 1989. No2. S.138-144. (in Russian).
30. Colley L., Fox F.R., Huggins A.K. The effect of changes in external salinity on the non-protein nitrogenous constituents of parietal muscle from *Agonis cataphractus*. *Comp. Biochem. and Physiol.* 1974. Vol.48A, N4. P.757-763.
31. Creac'h Y., Vellas F., Bauche G. Metabolisme azote chez les poissons. *Bull. Union of oceanogr. France.* 1974. Vol.6, N4. P.57-59.
32. Glutamine synthetase expression in liver, muscle, stomach and intestine of *Bostrichthys sinensis* in response to exposure to a high exogenous ammonia concentration / Anderson P.M. et al. *J Exp. Biol.* 2002. Vol. 205. P. 2053–2065.

33. Huggins A.K., Colley L. The changes in the non-protein nitrogenous constituents of muscle during the adaptation of the eel *Anguilla anguilla* from fresh water to sea water. *Comp. Biochem. and Physiol.* 1971. Vol.38B, N3. P.537-541.
34. Jures K. The effect of changes in external salinity on the free amino acids and two amino transferases of white muscel from fastet *Salmo gairdneri* R. *Comp. Biochem. and Physiol.* 1980. Vol.65A, N 4. P. 501-504.
35. Kirhgessner M., Grassman E. The dynamics of copper absorption. *Trase element metabolism in animal.* Edinburgh: Livingstone, 1970. P.27-286.
36. McAuliffe C.A. In the chemical sasiety specialist periodical report on inorganic biochemistry. *Inorg. Chem.* 1979. Vol.1. P.1-6.
37. Meherle P.M., Bloomfield R.A. Ammonia detoxity mechanisms on reinbow trout altered by dietary diedrin. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 1974. Vol.27, №3. P. 335-365.
38. Wood Chris M., Farrell Anthony P., Brauner Colin J. Homeostasis and toxicology of essential metals edited. *Fish Physiology.* London : Academic Press. 2011. Vol. 31. Part A. P. 1–497.

V.Z. Kurant, V.O. Khomenchuk

Ternopil Volodymyr Hnatyuk National Pedagogical University, Ukraine

THE INFLUENCE OF IONS OF MAGANESE, ZINC, COPPER AND LEAD ON THE CONTENT OF FREE AMINO ACIDS IN THE ORGANISM OF CARP

The influence of ions of Manganese, Zinc, Copper and Lead in two concentrations, which corresponded to 2 and 5 MPC, on the content of free amino acids in the carp organism was studied. It is shown, that free amino acids are compounds, that are actively used in the energy supply of fish organisms. Their metabolism is one of the factors, that provides biochemical adaptation of fish to the changes of the conditions in the aquatic environment. The leading role in this process in carp organism have glycine, the content of which in the muscles of the control fish is quite high. It exceeds all other concentrations of amino acids in this tissue, and when exposed to the organism of fish, the ions of the investigated metals decreases to the greatest extent. Among other amino acids, it should be noted the growth both in the muscles and in the liver of experimental fish the amount of sulfur-containing. An important role in the detoxification of ammonia, which is formed under the influence on the organism of carp the elevated metal concentrations, belongs to aspartic and glutamic acids. In our studies, the content of free amino acids in the liver and muscle of fish is reduced by the action of metal ions, which may indicate an active involvement of aspartic and glutamic acid in the processes of detoxification of these ions. In general, the dynamics of free amino acids in carp tissues reflects the general tendencies of metabolism in its organism. Oxidation catabolism of amino acids of skeletal muscle and liver of fish is an important part of the integral physiological and biochemical mechanism, which provides energy homeostasis in their organism in conditions of intoxication.

Key words: carp, metabolism, amino acids, heavy metals

Надійшла 28.11.2018.