

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ КАДМІЮ І НІКЕЛЮ В ОРГАНАХ І ТКАНИНАХ *CYPRINUS CARPIO* L.

I.З. Дрогомирецька, д.мед.н., проф. М.А. Мазепа, д.мед.н., проф. І.В. Мазепа

Прикарпатський національний університет ім. В. Стефаника, м. Івано-Франківськ

РЕЗЮМЕ. Встановлено, накопичення металів відбувається переважно тканинами коропа, що безпосередньо контактують з навколишнім середовищем. Дана тенденція характерна як для кадмію, так і для нікелю. Висока спорідненість до важких металів відзначена для нирок, зябер і печінки. При зростанні концентрації іонів металу у воді ступінь акумулювання його тканинами коропа зростає. Концентрація іонів кадмію в органах і тканинах *Cyprinus carpio* після 96-годинної експозиції риб із 0,025 і 0,05 мг/л Cd^{2+} зменшувалась в ряду: зябра > нирки > печінка > кров > селезінка > шкіра > м'язи. За здатністю до накопичення іонів нікелю органи і тканини риб, що піддавались 96-годинній дії 0,5 і 1,0 мг/л Ni^{2+} , можна розташувати в ряду: нирки > зябра > печінка > кров > селезінка > шкіра > м'язи.

Ключові слова: кадмій, нікель, *Cyprinus carpio*, нирки, печінка, зябра, кров, селезінка, шкіра, м'язи.

РЕЗЮМЕ. Установлено, накопление металлов происходит преимущественно тканями карпа, что непосредственно контактируют с окружающей средой. Данная тенденция характерна как для кадмия, так и для никеля. Высокое родство к тяжелым металлам отмечено для почек, жабр и печени. При повышении концентрации ионов металла в воде степень аккумуляции его тканями карпа увеличивается. Концентрация ионов кадмия в органах и тканях *Cyprinus carpio* после 96-часовой экспозиции рыб из 0,025 и 0,05 мг/л Cd^{2+} уменьшалась в ряду: жабры > почки > печень > кровь > селезенка > кожа > мышцы. За способностью к накоплению ионов никеля органы и ткани рыб, которые поддавались 96-часовому действию 0,5 и 1,0 мг/л Ni^{2+} , можно расположить в ряду: почки > жабры > печень > кровь > селезенка > кожа > мышцы. Ключевые слова: кадмий, никель, *Cyprinus carpio*, почки, печень, жабры, кровь, селезенка, кожа, мышцы.

SUMMARY. It was showed that cadmium and nickel accumulate in carp tissues that directly contact with water. A high cognation to the heavy metals was observed for kidney, gills and liver. The accumulation of metals by carp tissues increased with increase of metal concentration in water. Exposition of fish with 0.025 and 0.05 mg/l Cd^{2+} during 96 hours led to decrease cadmium ion concentration in the organ and tissues in the following order: gills > kidney > liver > blood > spleen > skin > muscles. After 96 hours exposition of fish with 0.5 and 1.0 mg/l Ni^{2+} the tissues accumulated nickel in the following order: kidney > gills > liver > blood > spleen > skin > muscles.

Key words: cadmium, nickel, *Cyprinus carpio*, kidney, liver, gills, blood, spleen, skin, muscles.

Збільшення вмісту токсичних металів у водному середовищі внаслідок широкого використання їх у промисловості призводить до накопичення металів в організмі гідробіонтів, зумовлюючи надмірне акумулювання їх водними організмами і порушення обміну речовин [1]. Залежно від природи металу, концентрації та форми його існування у воді, вплив важких металів у біологічній системі може бути стимулюючий, пригнічуючий або нейтральний. Біологічний ефект металів на живі організми проявляється, як правило, за досить низьких концентрацій. При підвищенні концентрацій мікроелементів у воді та харчових об'єктах ріст та розвиток організмів мають певні закономірності — на ранніх стадіях спостерігається інтенсифікація, а потім сповільнення з одночасним зниженням синтезу біоактивних сполук, погіршенням здатності до розмноження та порушенням імунобіологічних реакцій організму [2].

Рівень накопичення важких металів в органах і тканинах риб залежить від геохімічного складу середо-

вища, типу водойми, функціонального стану організму, характеру харчових взаємовідносин, тривалості експозиції, а також інших чинників, таких як температура, вік риб, взаємодія з іншими металами, метаболічна активність риб [2, 3, 4].

Відомо, що важкі метали, а саме, кадмій і нікель мають здатність накопичуватися та перерозподілятися в тканинах водних організмів [5, 6] зумовлюючи зміну біологічних ефектів.

Матеріали та методи дослідження

Дослідження проводились на дворічках коропа *Cyprinus carpio* L. масою 250 — 350 г. Розчини солей важких металів $3CdSO_4 \cdot 8H_2O$ та $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ вносили безпосередньо у воду акваріумів. Вміст у воді іонів кадмію становив 0,025 і 0,05 мг/л та іонів нікелю — 0,5 і 1,0 мг/л, які відповідали 5 і 10 рибогосподарським граничнодопустимим концентраціям (ГДК) [7]. Тривалість експозиції становила 96 годин для іонів кадмію та нікелю. Контрольну групу риб витримували протягом такого ж терміну в звичайних умовах акваріуму.

Для досліджень кров забирали із хвостової артерії живих риб за допомогою шприца. Перед забором органів риб декапітували. Для визначення концентрації іонів кадмію та нікелю забирали наступні органи і тканини риб: зябра, печінку, селезінку, нирки, шкіру і м'язи. Концентрацію іонів кадмію та нікелю в органах і тканинах риб визначали за допомогою атомно-абсорбційного спектрофотометра С115-М1 після висушування проб при температурі 100 °С до постійної маси і наступного озоловання при температурі 500 °С з використанням азотної кислоти [8].

Статистичну обробку отриманих даних проводили за допомогою комп'ютерної програми "Mynova". Дані представлені як середнє \pm похибка середнього ($M \pm m$). Для знаходження вірогідної відмінності між досліджуваними групами використовували критерій Ст'юдента [9].

Результати дослідження та їх обговорення

При дослідженні специфіки розподілу металів в організмі *Cyprinus carpio* встановлено, що у контрольній групі риб органи, які найбільше

Розподіл іонів кадмію в органах і тканинах *Syrprinus carpio*, мкг/г сирової маси

Назва органів	Умови експерименту		
	Контроль	0,025 мг/л Cd ²⁺	0,05 мг/л Cd ²⁺
Нирки	36,7±0,56	58,2±1,01*	88,8±0,48*
Печінка	28,5±0,43	42,0±0,86*	63,5±0,92*
Зябра	24,0±0,77	61,2±0,60*	91,2±0,70*
Кров	18,0±0,37	27,2±0,31*	40,0±0,37*
Селезінка	14,3±0,95	18,8±1,80*	27,7±1,12*
Шкіра	4,18±0,57	6,35±0,07*	7,48±0,83*
М'язи	2,00±0,23	2,68±0,39	3,28±0,43*

Примітка. "*" — достовірна відмінність від контролю, $P < 0,05$. $M \pm m$, $n=6$.

акумуляють іони кадмію, є нирки, печінка і зябра, найнижча концентрація іонів металу спостерігалась у шкірі та м'язах риб (табл. 1).

У результаті 96-годинної експозиції риб у середовищі з підвищеними концентраціями кадмію (0,025 мг/л і 0,05 мг/л іонів металу) виявлено, що найвищу акумулюючу здатність щодо іонів кадмію мають зябра, в яких концентрація іонів металу збільшилась у 2,5 та 3,8 рази порівняно з контролем.

Накопичення металу зябрами залежить від фізіологічного стану тканини, структурної та функціональної організації цього органа. Розгалужена структурна організація зябер, значна площа поверхні разом з проходженням великої кількості води через поверхню зябер та відносно малою біомасою, порівняно з площею їх поверхні, роблять зябра основним місцем накопичення кадмію у риб [10]. Зябра знаходяться у прямому контакті із водним середовищем і є фізіологічно складною і уразливою структурою, що робить їх органами-мішенями для отруйних речовин, які надходять через воду [4]. Відомо, що накопичення кадмію зябрами значно збільшується з підвищенням концентрації металу і тривалістю експозиції риб [3]. Окрім того, протягом дії металу, кількість слизу на поверхні зябер збільшувалася що, можливо, призводить до збільшення концентрації металу на поверхні зябер внаслідок спорідненості кадмію до SH-груп, присутніх у слизу [10].

Окрім зябер, ми спостерігали велике навантаження на органи детоксикації організму — нирки та печінку, рівень металу в яких становив у нирках (58,2 і 88,8 мкг/г) і печінці (42,0 і 63,5 мкг/г) відповідно.

Печінка і нирки не мають прямого контакту із середовищем з кадмієм, як у випадку із зябрами. Однак нирка є наступним органом після зябер щодо кількості накопичення кадмію. Тканина нирок, яка володіє екскреторною функцією, має високу здатність накопичувати важкі метали. Тканини печінки і нирок багаті на кадмій-зв'язуючі SH-групи і тому не є несподіваним те, що іони металу утворюють комплекси в цих органах [10]. Висока концентрація кадмію в нирках і печінці

пояснюється детоксикаційними процесами, які відбуваються в цих органах [11]. Кадмій може транспортуватися туди з інших тканин, включаючи зябра і м'язи, з метою наступної елімінації. Метали, зокрема кадмій, можуть реабсорбуватися при механізмі активного транспорту в клітинах проксимальних звивистих каналців нирок і зв'язуватися металотіонеїнами в результаті їх акумуляції [3, 10].

У крові і селезінці дослідної групи риб нами встановлено, що концентрація кадмію за дії 0,025 мг/л Cd²⁺ збільшилась в 1,5 і 1,3 рази та за дії 0,05 мг/л Cd²⁺ в 2,2 і 1,9 рази відповідно. Найменша здатність акумулювати іони кадмію при 96-год дії була характерна для шкіри і м'язів.

М'язи є неактивною тканиною щодо акумуляції металів [6]. Однією з причин, яка пояснює низькі показники біоаккумуляції кадмію в м'язах, є те, що м'язи не перебувають у прямому контакті із середовищем токсиканта, мають загальний зовнішній захист — шкіру, яка в багатьох випадках запобігає проникненню токсиканта [10].

Хоча шкіра як окрема тканина, має максимальну площу поверхні та прямий контакт із середовищем токсиканта, накопичення кадмію в ній у наших дослідженнях було значно нижчим, у порівнянні з такими тканинами як зябра, нирки, печінка у 9,6, 9,2, 6,6 рази (при 0,025 мг/л Cd²⁺) та 12,2, 11,9, 8,5 рази (при 0,05 мг/л Cd²⁺) відповідно.

Таким чином, шкіра, будучи в прямому контакті з токсикантом,

має набагато нижчий показник біоаккумуляції. Відомо, що мукогенетична активність епітелію шкіри тіла в риб є набагато вищою, порівняно з такою в зябрах. Таке підвищення мукогенезу, можливо, відіграє вирішальну роль у перешкоджанні іонам кадмію проникати в тіло риб. Підсилюючий ефект у цьому процесі має коагульований слиз разом з відмерлими клітинами шкіри на тілі риб, які утворюють потужну захисну плівку [10].

Таким чином, ступінь накопичення іонів кадмію в органах і тканинах дослідних груп *Syrprinus carpio* зменшувався в ряду: зябра > нирки > печінка > кров > селезінка > шкіра > м'язи. Отримані нами дані свідчать про органно-тканинні відмінності у накопиченні кадмію у коропових риб, які зумовлені їх морфофункціональними характеристиками, на що вказують й інші дослідники [12].

Заслужують на увагу результати, наведені авторами [13], які показали, що високі концентрації кадмію знижують опір організму щодо інфекцій, а нижчі дози підвищують його опірність.

У результаті 96-годинного перебування риб у звичайних умовах акваріуму спостерігали наступне накопичення іонів нікелю в органах і тканинах *Syrprinus carpio*: нирки > печінка > зябра > кров > селезінка > шкіра > м'язи (табл. 2).

Як свідчать дані таблиці 2, в результаті 4-х добової дії іонів нікелю найбільш чутливими до даного металу виявились нирки і зябра, в яких спостерігався максимум накопичен-

Таблиця 2
Розподіл іонів кадмію в органах і тканинах *Surginus carpio*, мкг/г сирової маси

Назва органів	Умови експерименту		
	Контроль	0,5 мг/л Ni ²⁺	1,0 мг/л Ni ²⁺
Нирки	70,7±1,76	154,8±1,22*	233,5±1,59*
Печінка	59,8±1,68	95,8±2,21*	136,3±1,73*
Зябра	56,0±2,24	100,5±1,28*	166,5±1,43*
Кров	30,2±0,75	47,5±0,56*	69,2±0,79*
Селезінка	24,0±2,35	36,2±2,43*	46,5±1,73*
Шкіра	16,2±1,05	22,2±1,49*	29,5±2,54*
М'язи	5,70±0,63	7,50±0,45*	9,03±0,99*

Примітка. "*" — достовірна відмінність від контролю, P < 0,05. M±m, n=6.

ня. Аналогічні ефекти за дії іонів нікелю були відзначені іншими дослідниками [14, 15, 16].

Зябра, як біологічні мішені, що безпосередньо контактують з оточуючим водним середовищем, забезпечують важливі функції обміну речовин, які пов'язані з процесами дихання та осморегуляції. Зябра і кишечник, якими основна частина важких металів потрапляє до організму риб, формують взаємодію та механізми регуляції співвідношення кількості транспортованих металів з водою та їжею, забезпечують іонний гомеостаз в організмі риб [17].

Оскільки зябровий епітелій порівняно із зовнішніми покривами риб має значно більшу поверхню і активно взаємодіє із зовнішнім середовищем, то зябра фактично позбавлені захисту від дії токсикантів, наявних у воді [18]. Метали транспортуються в організмі риб потоком крові та вступають у прямиий контакт з органами і тканинами, в яких можуть накопичуватися [19].

Так, високі концентрації іонів нікелю (табл. 2) нами були виявлені у печінці дослідної групи риб, які в 1,6 та 2,3 раза перевищували контрольні показники.

Печінка риб як детоксикаційний орган організму володіє високою акумулюючою здатністю до накопичення важких металів [8, 18]. Основна функція печінки — зв'язувати в організмі токсичні речовини тіоловими групами металотіонеїнів. При зв'язуванні токсинів із рідин біологічного походження зменшується кількість циркулюючих токсичних субстанцій [14, 15] і

зменшується їх токсичний вплив.

За вмістом іонів нікелю кров і селезінка посідають проміжне положення, концентрація металу в них збільшувалась в 1,5-2,3 раза відповідно, порівняно з відповідними показниками у контролі. Темп накопичення нікелю в селезінці пов'язаний із структурою і функціонуванням цього органу [14].

Кінцевими ланками у розподілі іонів нікелю з мінімальними концентраціями виступали шкіра та м'язова тканина, хоча при 96-год експозиції риб у середовищі з нікелем відбувалось підвищення накопичення металу в даних тканинах.

Таким чином, нами встановлено, що накопичення металів проходить переважно тканинами коропа, що безпосередньо контактують з навколишнім середовищем. Дана тенденція характерна як для кадмію, так і для нікелю. Висока спорідненість до важких металів відзначена для нирки, зябер і печінки. При зростанні концентрації іонів металів у воді ступінь акумулювання їх тканинами коропа зростає, аналогічно як в експериментах інших авторів [1].

На думку дослідників, рівень накопичення металів у м'язах залежить від розміру і віку риб, та від рівня токсичності металів [4, 14]. Низьке накопичення нікелю в м'язах пояснюють малим наповненням їх кров'ю та гнучкою і диференційованою структурою кровоносних судин [14], а особливості акумуляції дехто пов'язує з видоспецифічністю риб [15].

За здатністю до накопичення іонів нікелю органи і тканини риб,

що піддавались 96-год дії токсиканта, можна розташувати в ряду: нирки > зябра > печінка > кров > селезінка > шкіра > м'язи.

Особливістю металів як забруднювачів є те, що на відміну від органічних забруднюючих речовин, що піддаються метаболічному розпаду, метали здатні лише до міжорганного і міжклітинного специфічного перерозподілу [1]. Під час розподілу в тканинах метали зв'язуються з білками тканин, а також можуть проникати в клітини [4].

Як видно з отриманих даних, розглянуті важкі метали розподіляються в органах і тканинах нерівномірно. Це пояснюється різною акумулюючою здатністю тканин риб, що обумовлено їх неоднаковою хімічною і фізіологічною структурою та різним рівнем обміну речовин у тканинах. У більш активних у ферментативному відношенні органах (наприклад, в печінці) виявляються високі концентрації елементів [8]. Проведені дослідження показали, що концентрація іонів металу у водному середовищі є основним фактором, який впливає на проникнення і накопичення важких металів у тканинах коропа.

Висновки

1. Дослідження розподілу кадмію та нікелю в органах і тканинах контрольної групи риб показали, що органами, які найбільше акумулюють іони металів є нирки, печінка і зябра, найнижчі концентрації іонів кадмію та нікелю спостерігались у шкірі та м'язах риб.
2. У результаті 96-годинної експозиції *Surginus carpio* у середовищі із 0,025 і 0,05 мг/л іонів кадмію найвищу акумулюючу здатність до кадмію виявлено в зябрах, наступними були нирки та печінка. Найнижча концентрація іонів кадмію характерна була для шкіри і м'язів.
3. При дії іонів нікелю концентрацією 0,5 і 1,0 мг/л на *Surginus carpio* у нирках відзначено максимальне накопичення металу. Високі концентрації іонів нікелю спостерігались у зябрах і печінці досліджуваних риб, шкіра і м'язи характеризувались найменшою здатністю акумулювати нікель.

ЛІТЕРАТУРА

1. Курант В.З. Вміст важких металів в організмі коропа при підвищеному їх вмісті у воді / В.З. Курант, В.О. Хоменчук, В.В. Грубінко // *Біологія тварин.* — 2002. — Т. 4, № 1-2. — С. 200-205.
2. Ситник Ю.М. Токсикологічні аспекти загибелі вугра в озері Чорне Велике Шацького національного природного парку / Ю.М. Ситник, П.Г. Шевченко, Ю.М. Забитківський // *Науковий вісник УкрДДТУ.* — Львів: УкрДДТУ. — 2006, Вип. 16.5. — С. 50-58.
3. Kim S.G. Cadmium accumulation and elimination in tissues of juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus* after sub-chronic cadmium exposure / S.G. Kim, J.H. Jee, J.C. Kang // *Environmental pollution.* — 2004. — Vol. 127. — P. 117-123.
4. Bochenek I. Concentrations of Cd, Pb, Zn, and Cu in roach, *Rutilus rutilus* (L.) from the lower reaches of the Oder river, and their correlation with concentrations of heavy metals in bottom sediments collected in the same area / I. Bochenek, M. Protasowicki, E. Brucka-Jastrzebska // *Archives of polish fisheries.* — 2008. — Vol. 16, N 1. — P. 21-36.
5. Ptashynski M.D. Accumulation and distribution of dietary nickel in lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*) / M.D. Ptashynski, J.F. Klaverkamp // *Aquatic toxicology.* — 2002. — Vol. 58, N 3-4. — P. 249-264.
6. Al-Weher S.M. Levels of heavy metal Cd, Cu and Zn in three fish species collected from the Northern Jordan Valley, Jordan / S.M. Al-Weher // *Jordan journal of biological sciences.* — 2008. — Vol. 1, N 1. — P. 41-46.
7. Филенко О.Ф. Основы водной токсикологии / О.Ф. Филенко, И.В. Михеева. — М.: Колос, 2007. — 144 с.
8. Федоненко О. Важкі метали в тканинах і органах сріблястого карася (*Carassius auratus Gibelio*) Запорізького водосховища / О. Федоненко, Т. Ананьєва, Н. Єсіпова // *Вісник Львівського університету, Серія біологічна.* — 2008. — Вип. 46. — С. 97-100.
9. Brooks S. P. A simple computer program with statistical tests for the analysis of enzyme kinetics / S. P. Brooks // *Biotechnology techniques.* — 1992. — Vol. 13. — P. 906-911.
10. Jayakumar P. Patterns of cadmium accumulation in selected tissues of the catfish *Clarias batrachus* (Linn.) exposed to sublethal concentration of cadmium chloride / P. Jayakumar, V.I. Paul // *Veterinarski arhiv.* — 2006. — Vol. 76, N 2. — P. 167-177.
11. Brucka-Jastrzebska E. Changes of cadmium content in various organs of common carp (*Cyprinus carpio* L.) during the fast growth period following initial rearing in contaminated water / E. Brucka-Jastrzebska, M. Protasowicki // *Archives of polish fisheries.* — 2006. — Vol. 14, N 2. — P. 183-194.
12. Мерва А.В. Вміст Fe, Mn, Cu, Zn, Cd в органах і тканинах коропа за різного вмісту селену у воді / А.В. Мерва, В.Г. Янович // *Біологія тварин.* — 2008. — Т. 10, № 1-2. — С. 150-155.
13. Immunotoxicity of heavy metals in relation to great lakes / J. Bernier, P. Brousseau, K. Krzystyniak [et al.] // *Environmental health perspectives.* — 1995. — Vol. 103. — N. 9. — P. 23-34.
14. Sobeska E. Changes in the iron level in the organs and tissues of wels catfish, *Silurus glanis* L. caused by nickel / E. Sobeska // *Acta ichthyologica et piscatoria.* — 2001. — Vol. 31, N 2. — P. 127-143.
15. Sobeska E. Changes in contents of zinc and copper in organs and blood of nickel-exposed european catfish, *Silurus glanis* L. / E. Sobeska, M. Protasowicki // *Acta ichthyologica et piscatoria.* — 2002. — Vol. 32, N 1. — P. 23-34.
16. Das K.K. Nickel, its adverse health effects and oxidative stress / K.K. Das, S.N. Das, S.A. Dhundasi // *Indian journal of medical research.* — 2008. — Vol. 128. — P. 412-425.
17. Пилипенко Ю.В. Міграційні шляхи розповсюдження іонів важких металів в органах і тканинах риби-біомеліораторів в умовах малих водосховищ / Ю.В. Пилипенко, О.О. Бедункова, Є.Ю. Пилипенко // *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування.* — 2007. — Вип. 2 (38). — С. 313-318.
18. Вміст та розподіл важких металів в органах і тканинах промислових видів риби Київського водосховища / А.П. Мельник, С.В. Курганський, Н.М. Власова [та ін.] // *Рибогосподарська наука України.* — 2009. — № 1. — С. 93-99.
19. Nussey G. Bioaccumulation of chromium, manganese, nickel and lead in the tissue of the moggel, *Labeo umbratus* (Cyprinidae), from Witbank Dam, Mpumalanga / G. Nussey, J.H.J. Vuren, H.H. Preez // *Water SA.* — 2000. — Vol. 26, N 2. — P. 269-283.

Надійшла до редакції 6.10.2010 р.