

2. Кодолова О. П. Сравнение разных популяций двустворчатых моллюсков *Unio pictorum* и *Unio tumidus* (Unionidae) по системам миогенов и морфологии раковины / О. П. Кодолова, Б. М. Логвиненко // Зоол. журн. – 1973. – Т. 52, № 7. – С. 988–993.
3. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
4. Наумов А. Д. Изменчивость формы раковины *Portlandia arctica* (Mollusca, Bivalvia) из Белого моря / А. Д. Наумов, Е. Н. Нинбург, Н. С. Ростова // Зоол. журн. – 1983. – Т. 62, №1. – С. 45–50.
5. Стадниченко А. П. Перлівнищеві. Кулькові (Фауна України; Т. 29, вип. 9) / А. П. Стадниченко – К.: Наукова думка, 1984. – 384 с.
6. Хлус Л. М. Мінливість конхологічних параметрів локальної популяції *Unio pictorum* L. (Bivalvia, Unionidae) / Л. М. Хлус, К. М. Хлус, О. В. Колотило // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол. Спец. вип. “Гідроекологія”. – 2001. – № 3 (14). – С. 164–169.

Л.Н. Хлус¹, К.Н. Хлус²

¹Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича, Украина

²Буковинский государственный медицинский университет, Украина

АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ ФОРМЫ РАКОВИНЫ *UNIO PICTORUM* L.

Исследована конхологическая изменчивость пресноводного моллюска *Unio pictorum* L. (Lamellibranchia: Actinodontida: Unionidae) из одной локальной популяции (р. Гукив, приток р. Прут, в Черновицкой обл.). Установлены величины абсолютных и относительных меристических показателей, корреляционные зависимости между ними, характер их изменений с возрастом, а также параметры основных факторов изменчивости формы раковин. Наиболее надежной популяционной характеристикой является показатель удлиненности раковины.

Ключевые слова: *Unio pictorum*, река Гукив, изменчивость, конхологические показатели, рост

Khlus L.N.¹, Khlus K.N.²

¹Yu. Fedkovich Chernivtsy National University, Ukraine

²Bukovinian State Medical University, Ukraine

ANALYSIS OF THE VARIABILITY OF THE SHELL *UNIO PICTORUM* L.

The variability of the shell size and form of local population of *Unio pictorum* L. (Lamellibranchia: Actinodontida: Unionidae) from r. Gukiv (the west part of Chotyn Hight, the tributary of r. Prut, basin of r. Danube) was investigated. All shell indexed (elongation=height/length, saggital curvature=thickness/length, frontal curvature=thickness/height) depend on age, i.e. linear size. The index of elongation is the safest for ecologic populative considerations.

Keywords: *Unio pictorum*, river Hukiv, variability, conhologic parameters, growth

УДК 639.21:577.128

В.О. ХОМЕНЧУК

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027, Україна

МЕХАНІЗМИ КОНТРОЛЮ АКУМУЛЮВАННЯ МЕТАЛІВ У РИБ

В роботі, переважно на результатах власних досліджень, проаналізовано функціонування деяких біологічних бар'єрів у риб, що лімітують проникнення, забезпечують ефективний розподіл, зв'язування та виведення металів з організму за підвищених концентрацій останніх у водному середовищі.

Показано, що в процесі адаптивної еволюції у гідробіонтів виробилися універсальні механізми захисту від токсичного впливу металів, що залежно від зовнішніх умов, природи металу та внутрішнього стану організму можуть набувати високої специфічності.

Ключові слова: токсичність, адаптація, метали, риби

Нині метали є одними з найнебезпечніших забруднювачів водних екосистем України. Збільшення вмісту металів у воді часто призводить до надмірного акумулювання їх рибами. Накопичення металів у риб залежить від фізико-хімічних характеристик металу, біологічних потреб та метаболічних особливостей організму риб [1].

Оскільки біологічна функція металів здійснюється при досить низьких їх концентраціях, то перевищення необхідного фізіологічного рівня металів у органімі риб часто є причиною порушення нормального функціонування метаболічних систем у гідробіонтів.

Негативний ефект впливу іонів важких металів на організм проявляється як на молекулярному, так і на метаболічному рівнях. Механізм такого впливу може бути пов'язаний з можливістю проходження таких процесів:

- заміщення токсичним металом біогенного іону в активних центрах зв'язування молекул;
- зв'язування металом частини молекули, необхідної для забезпечення нормальної життєдіяльності організму з порушенням її функцій;
- зшивання макромолекул або їх фрагментів з утворенням біологічних агрегатів, що є функціонально неактивними або небезпечними для організму;
- деполяризація біологічно важливих молекул;
- помилкові з'єднання основ нуклеотидів, а також порушення при реплікації, транскрипції, трансляції, посттрансляційних модифікаціях при синтезі білків;
- зміна кінетичних характеристик ферментів та мембранних переносників;
- модифікація молекул ферментів шляхом алостеричного зв'язування та зміни іонного мікрооточення молекул;
- порушення мобілізації резервних енергетичних і пластичних субстратів та зміна співвідношення і спрямованості процесів катаболізму і анаболізму [5].

Тому для риб життєво необхідним є підтримання оптимальної кількості металів в організмі, що в свою чергу включає регулювання надходження, зв'язування та екскреції металу.

Процеси, що відбуваються в системі «середовище ↔ метал ↔ організм», включають: проникнення металу в клітину; зв'язування його метаболітами чи специфічними переносниками; транспорт та розподіл (в клітинах, тканинах, органах); акумулювання; виведення (рис. 1.) Порушення балансу цієї системи, неможливість організму контролювати необхідний рівень металу визначають токсичну дію останнього.

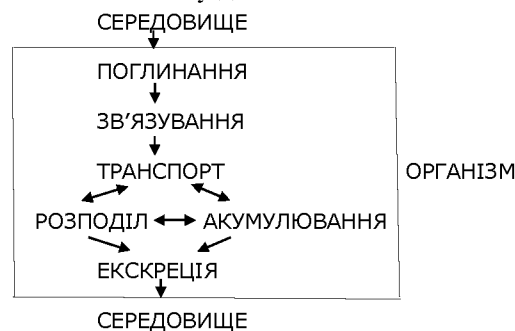


Рис. 1. Етапи взаємодії організму з металом

З огляду на вище зазначене метою роботи було проаналізувати функціонування деяких біологічних бар'єрів у риб, що лімітують проникнення, забезпечують ефективний розподіл, зв'язування та виведення металів з організму, за підвищених концентрацій останніх у водному середовищі.

Матеріал і методи досліджень

Дослідження проведено на прісноводних видах риб: карась сріблястий – *Carassius auratus gibelio* (Bloch); щука – *Esox lucius* L., короп – *Cyprinus caprio* L. Риб утримували в акваріумах об'ємом 200 л з відстояною водопровідною водою та стандартним гідрохімічним режимом (вміст O_2 складав $7,5 \pm 0,5$ мг/дм³; CO_2 – $2,5 \pm 0,3$ мг/ дм³; рН – $7,8 \pm 0,1$). Вивчали вплив на риб

йонів мангану, міді та цинку в концентраціях від 0,5 до 5 рибогосподарських гранично допустимих концентрацій (ГДК).

Згідно поставлених задач досліджували кінетику поглинання йонів металів зябрами риб, рівень тканинного акумулювання металів в організмі риб, особливості субклітинного розподілу металів у окремих тканинах риб, зміни ліпідного складу клітинних мембран за дії підвищених концентрацій йонів металів та активність окремих ферментів, що беруть участь у детоксикації металів.

Результати досліджень та їх обговорення

Поглинання. Основна частина металів потрапляє в організм двома головними шляхами – через шлунково-кишковий тракт та зябра, між якими існує чітка взаємодія щодо регуляції кількості надходження металів в організм [7].

Молекулярні механізми поглинання металів рибами є недостатньо вивченими. Відомо, що в загальному проникнення іонів важких металів в організм гідробіонтів включає чотири етапи: зв'язування з слизовим епітелієм; транспорт через апікальну мембрану, який, як вважають, здійснюється шляхом дифузії; проникнення металу через базолатеральну мембрану, на рівні якої проходить регуляція надходження і яке, в основному, здійснюється з допомогою активного транспорту; транспортування металів током крові до всіх частин тіла у зв'язаній з протеїнами та пептидами формі [8].

Важливу роль щодо зменшення кількості поглинутого металу відіграє також ізоляція організму від токсичних агентів середовища, яка досягається шляхом гіпертрофії слизових і паличкових клітин зябер. Останнім належить головна роль у виведенні конгломератів секрету у вигляді гранул слизу на поверхню апікальної мембрани клітин, за рахунок чого відбувається конденсація на поверхні слизу речовин, що забруднюють середовище. У такий спосіб досягається ефект детоксикації, послаблення прямої дії токсиканта на клітини зябрового епітелію і запобігання їх проникненню в організм зябровим шляхом [6].

Нами експериментально доведено, що поглинання міді через зябра коропа є до певної межі регульованим та концентраційнозалежним процесом (рис. 2). Поглинання металу включає швидку сорбцію на зябровій поверхні та більш повільне транспортування всередину клітин. Апікальні мембрани клітин зябер та кишечника за низьких концентрацій йонів металу у воді (до 2 мг/дм³) доволі ефективно регулюють його надходження в клітину. Подальше зростання концентрації йонів Cu²⁺ (>2 мг/дм³) призводить до стрімкого їх транспортування через мембрану (накопичення), що свідчить про виснаження їх бар'єрних функцій [3].

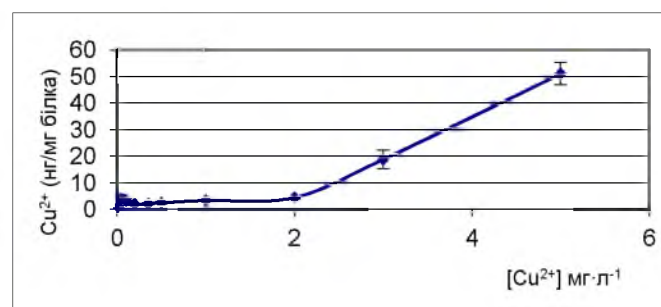


Рис. 2. Поглинання іонів міді зябрами коропа *in vitro* (18 °С, 30 хв)

Бар'єрні можливості мембрани залежать окрім концентраційного чинника і від температури. Доведено, що мінімальна кількість міді через зябра коропа потрапляє за оптимальної температури (18±2°С) для даного виду риб (рис. 3) [3].

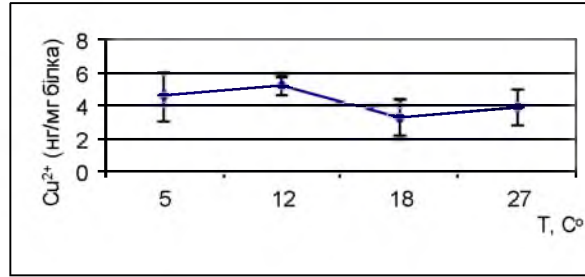


Рис. 3. Температурна залежність поглинання іонів міді зябрами коропа *in vitro* (30 хв, [Cu²⁺] = 0,125 мг/дм³)

Окрім того було показано, що преадаптація риб до низьких концентрацій іонів Cu²⁺ та Mn²⁺ протягом 14 діб призводила до зменшення кількості їх поглинання через зябра, що може бути обумовлено структурно-функціональними перебудовами біліпідного шару клітинних мембран (рис. 4).

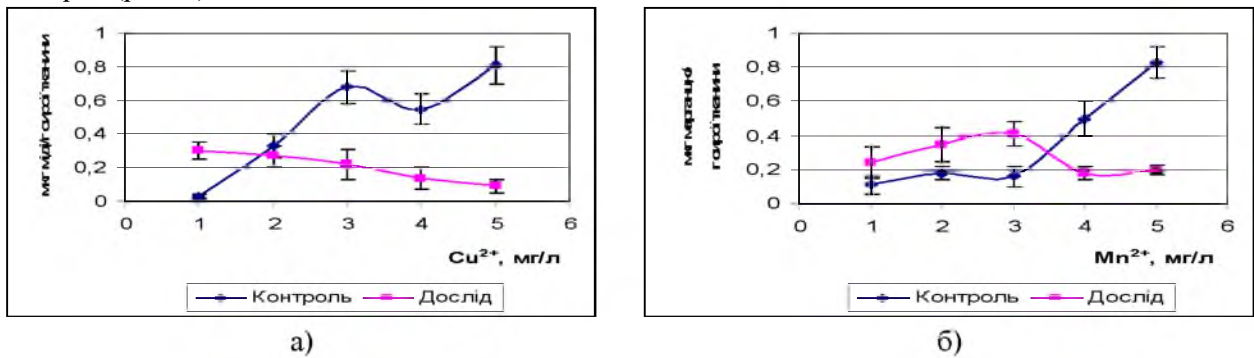


Рис. 4. Поглинання йонів Cu²⁺ (а) та Mn²⁺ (б) зябрами коропа за умов преадаптації до Cu²⁺ і Mn²⁺ (14 діб; 0,5 ГДК)

Структурно-функціональні перебудови клітинних мембран за дії підвищених концентрацій йонів металів в окремих тканинах (зябра, печінка) в цілому спрямовані на обмеження накопичення металів шляхом ущільнення біліпідного шару, тоді як в інших структурних компонентах проходить зростання проникності біомембрани (клітини крові, ниркового епітелію) з метою посиленої екскреції металів з організму.

Так, за дії допорогових концентрацій йонів цинку протягом 14 діб було відмічено зростання кількості холестеролу, фосфатидилхоліну, етаноламіну, сфінгомієліну та співвідношення холестерол/фосфоліпіди в мембранах печінки та зябер та щуки, що сприяло зменшенню проникності клітинних мембран, а у еритроцитах картина загалом була протилежною (рис. 5-7). Такі зміни обумовлені мобілізацією пулу відповідних ліпідів для перебудови мембран в напрямку протидії стрес-чинника [2].

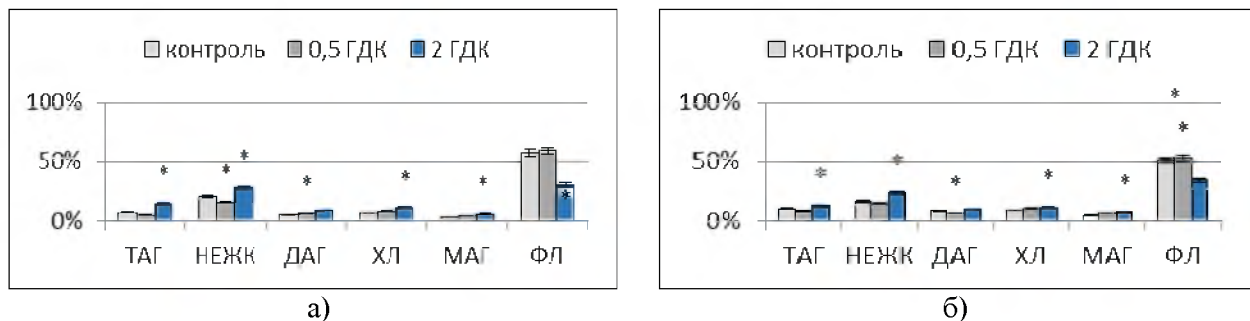


Рис. 5. Співвідношення нейтральних ліпідів у зябрах (а) та печінці (б) щуки за дії йонів цинку (% від загальної кількості)

Примітки: ФЛ – фосфоліпіди, ХЛ – холестерол, ДАГ – диацилгліцероли, НЕЖК – неетерифіковані жирні кислоти, ТАГ – триацилгліцероли, МАГ – моноацилгліцероли.

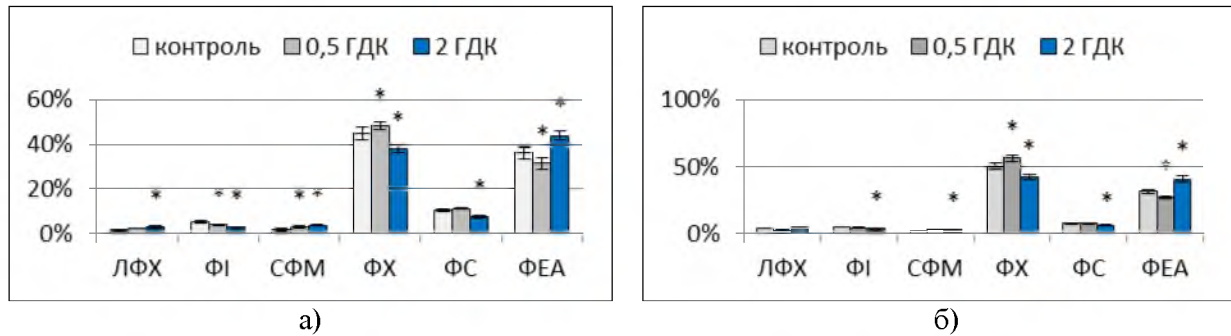


Рис. 6. Співвідношення полярних ліпідів у зябрах (а) та печінці (б) шуки за дії йонів цинку (% від загальної кількості)

Примітки: СМ – сфінгомієлін, Л-ФХ – лізофосфатидилхолін, ФХ – фосфатидилхолін, ФС – фосфатидилсерин, ФІ – фосфатидилінозитол, ФЕА – фосфатидилетаноламін.

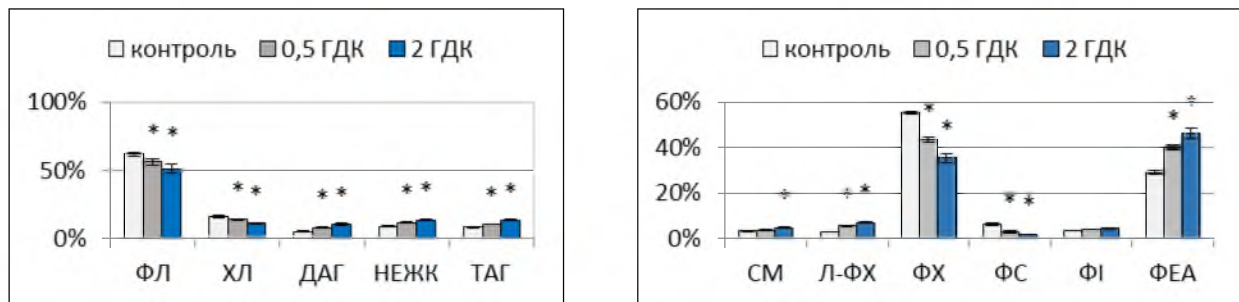


Рис. 7. Співвідношення нейтральних (а) та полярних (б) ліпідів у мембранах еритроцитів шуки за дії йонів цинку (% від загальної кількості)

Тканинний та субклітинний розподіл як спосіб зменшення шкідочинності металів. Адаптивна відповідь організму визначається, в першу чергу, ступенем акумулювання металу в метаболічно-активних структурах, а також природою металу та його фізіологічною роллю організмі. Тому досить важливо з'ясувати, як організм риб реалізує систему захисту шляхом перерозподілу металів при водних інтоксикаціях з метою підтримання на оптимальному рівні метаболічної активності.

Аналіз даних щодо накопичення важких металів в окремих органах показав, що поряд з високою специфічністю дії кожного металу є ряд спільних рис їх акумулювання. В першу чергу накопичення досліджуваних металів проходить в зябрах, як органі, що межує з зовнішнім середовищем. Це характерно для міді, свинцю і, особливо, марганцю. Мідь найбільш активно накопичується в печінці, що пов'язано з депонуючою її роллю для даного металу. До певної межі спостерігається кореляція між кількістю металу в водному середовищі та їх накопиченням в організмі. Проте слід відмітити високу здатність регулювати кількість всіх досліджуваних металів при дії низьких концентрацій. Мінімальні кількості металу акумулюються м'язами, проте слід відмітити їх важливу роль в перерозподілі марганцю та цинку при дії їх підвищених концентрацій. Кількість марганцю при дії 2 та 5 ГДК_{риб-госп} зростає в печінці та зябрах, а зменшується в м'язах. Дослідження показують, що найдосконаліша система регулювання кількості металу в організмі є для цинку поряд з його найбільшою кількістю в організмі. Очевидно проходить його тканинний перерозподіл між печінкою, зябрами та м'язами, що забезпечує мінімальне акумулювання в печінці та зябрах [3].

Аналіз кінетичних закономірностей накопичення іонів цинку та міді в карася показав, що цей процес визначається не лише швидкістю надходження та виведення металів у організмі, але й зв'язуючою здатністю клітинних та тканинних структур (рис. 8). Мідь найефективніше акумулюється в шкірі та печінці, де рівень металу зростає з часом пропорційно. Цинк найбільше накопичується у м'язах. Виявлено активну участь шкіри, кишечника та зябер карася у виведенні надлишкових кількостей міді та цинку з організму тварин.

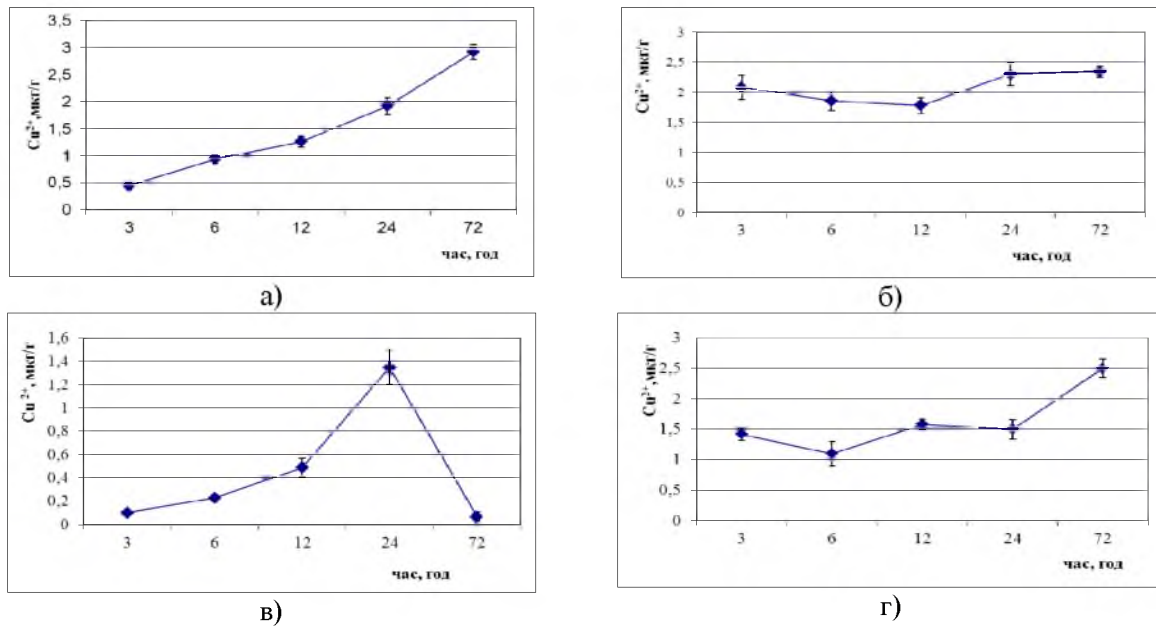


Рис. 8. Часова залежність накопичення іонів міді в печінці (а), зябрах (б), м'язах (в) та шкірі (г) карася

Тканинний перерозподіл іонів важких металів за дії їх підвищених концентрацій, може бути ефективним засобом щодо підтримання оптимального рівня металів в організмі, а отже механізмом формування гомеостазу вмісту металів, що не порушує нормального фізіологічного стану організму.

Аналіз результатів акумулювання металів в субклітинних фракціях показує, що адаптивно-компенсаторні механізми захисту при дії підвищених концентрацій важких металів можуть реалізуватися шляхом їх клітинного перерозподілу (рис. 9). Можна відмітити різну спорідненість металів до досліджуваних клітинних органел, яка, в свою чергу, визначається концентраційним фактором. На основі власних експериментальних досліджень показано, що за дії 0,5 ГДК_{риб-госп} іонів Mn²⁺ більшою мірою марганець акумулювався в мітохондріальній та ядерній фракціях порівняно з цитоплазмою, що очевидно забезпечує оптимальне функціонування ферментативних систем клітини [4].

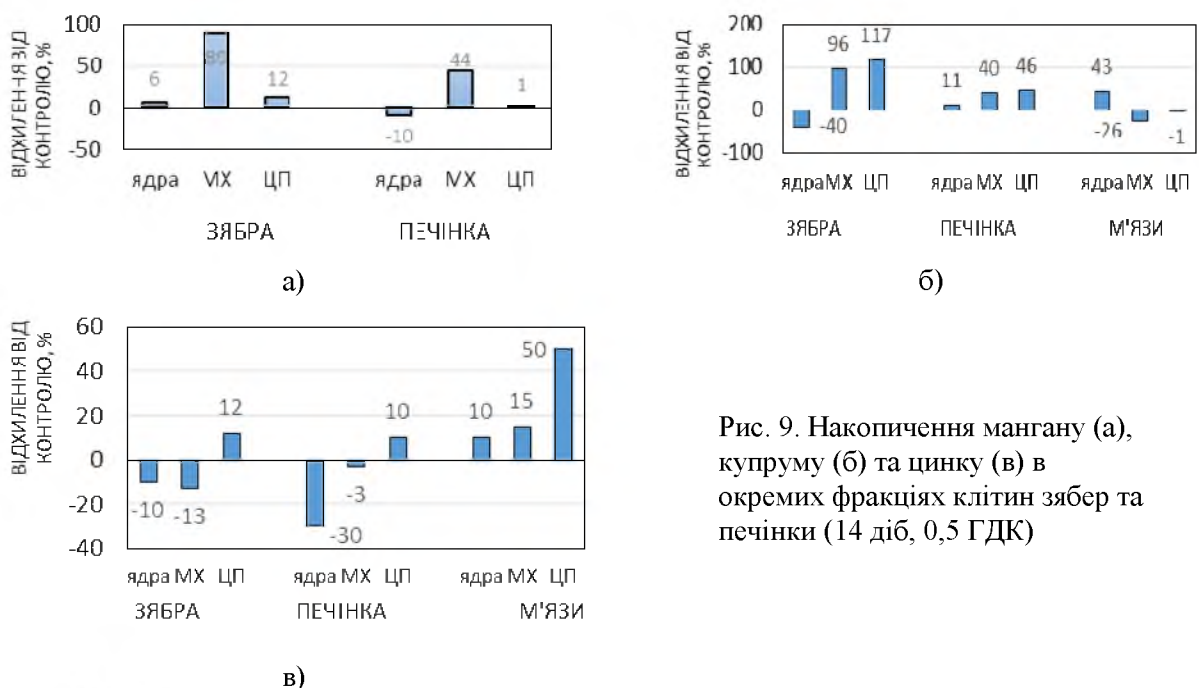


Рис. 9. Накопичення мангану (а), купруму (б) та цинку (в) в окремих фракціях клітин зябер та печінки (14 діб, 0,5 ГДК)

Підвищені концентрації Cu^{2+} призводили до першочергового його накопичення його у цитоплазмі, що, є наслідком зв'язування міді цитоплазматичними низькомолекулярними тіонеїнами. В результаті цього в гепатоцитах, можливо, реалізується захист генетичної інформації від мутагенної дії іонів міді, про що говорить і відносно невисокий рівень акумулювання міді в ядрах. Вплив допорогових концентрацій Zn^{2+} призводив до зменшення його вмісту у мітохондріях, ядрах печінки. Разом з тим зростала кількість цинку у цитоплазматичній фракції м'язів [3].

Зміна кінетичних характеристик ферментів та мембранних переносників відіграє ключову роль у зменшенні токсичної дії металів, ізоляції та виведенні останніх. Так, за дії допорогових концентрацій йонів цинку було відмічено зростання активності сукцинатдегідрогенази та цитохромоксидази у печінці та зябрах коропа, що обумовлено зростанням енерговитрат на підтримання сталого рівня металу в організмі [3].

Отже, загалом можемо стверджувати, що в процесі адаптивної еволюції у гідробіонтів виробилися універсальні механізми захисту від токсичного впливу металів, які в залежності від зовнішніх умов, природи металу та метаболічного статусу організму можуть набувати високої специфічності. Описані захисні механізми підвищують толерантність гідробіонтів до токсичних рівнів металів та можуть реалізуватися на різних етапах взаємодії металу з компонентами клітин, тканин та органів.

1. Мур Дж. Тяжелые металлы в природных водах (контроль и оценка влияния) / Дж. Мур, С. Рамамурти. – М. : Мир, 1987. – 286 с.
2. Роль фосфоліпідів мембран еритроцитів коропа у формуванні токсикорезистентності до дії підвищених концентрацій кадмію / Ю. І. Сенік, Ю. М. Потерба, Б. З. Ляврін [та ін.] // Наукові записки ТНПУ ім. Володимира Гнатюка Серія Біологія. – 2012. – № 1 (50). – С. 104–110.
3. Хоменчук В. О. Біохімічні особливості проникнення і розподілу деяких важких металів в організмі коропа лускатого : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : спеціальність 03.00.04 – Біохімія / В. О. Хоменчук. – Львів, 2003. – 19 с.
4. Хоменчук В. О. Особливості акумулювання деяких важких металів у субклітинних фракціях печінки коропа / В. О. Хоменчук, В. З. Курант, В. В. Грубінко // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету. Серія: Біологічні науки. – 2006. – № 1 (40). – С. 70–73.
5. Хочачка П. Биохимическая адаптация / П. Хочачка, Дж. Сомеро. – М. : Мир, 1988. – 568 с.
6. Arillo A. Protective effects mucosus against Cr (VI) pollution / A. Arillo, F. Melodia // Chemosphere. – 1990. – Vol. 20, № 3-4. – P. 397–402.
7. Copper metabolism and gut morphology in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during chronic sublethal dietary copper exposure / N. Kamunde, M. Grosell, J. N. A. Lott, C. M. Wood // Can. J. Fish. Aquat. Sci. – 2001. – Vol. 58, № 2. – P. 293–305.
8. Gastrointestinal uptake and distribution of copper in rainbow trout / S. J. Clearwater, S. J. Baskin, C. M. Wood, D. G. McDonald // J. Exp. Biol. – 2000. – Vol. 203. – P. 2455–2466.

В.А. Хоменчук

Тернопольський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, Україна

МЕХАНИЗМИ КОНТРОЛЯ АККУМУЛИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ У РЫБ

В работе, на результатах собственных исследований, проанализированы механизмы функционирования некоторых биологических барьеров у рыб, которые лимитируют проникновение, обеспечивают эффективное распределение, связывание и выведение металлов из организма, при повышенных концентрациях последних в водной среде.

Показано, что в процессе адаптивной эволюции в гидробионтов выработались универсальные механизмы защиты от токсического воздействия металлов, которые в зависимости от внешних условий, природы металла и внутреннего состояния организма могут приобретать высокую специфичность.

Ключевые слова: токсичность, адаптация, металлы, рыбы

V.A. Khomenchuk

Volodymyr Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University, Ukraine

MECHANISMS OF CONTROL OF METALS ACCUMULATION IN FISH

Based on the results of own research, the mechanisms of some biological barriers in fish, which can restrict the penetration, provide the effective distribution, binding and elimination of metals from the body at higher concentration in the water environmental, were analyzed.

It is shown that in the process of adaptive evolution in aquatic organisms the universal protection mechanisms were developed against the toxic effects of metals, which can acquire the high specificity depending on the external conditions, the nature of the metal and the internal state of the body.

Key words: toxicity, adaptation, metals, fish

УДК 574. 583: 597.08 (262.5)

С.А. ХУТОРНОЙ

Институт морской биологии НАН Украины
ул. Пушкинская, 37, Одесса, 65011, Украина

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИХТИОПЛАНКТОНА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЧЕРНОГО МОРЯ У БЕРЕГОВ ОДЕССЫ

Изучение ихтиопланктона в Одесском заливе проводилось с 50-х годов прошлого столетия. Анализируются изменения ихтиопланктона и рассматривается его современный состав в прибрежных районах Черного моря у берегов Одессы в период 2012-2014 гг.

Ключевые слова: ихтиопланктон, Черное море, Одесский залив

Изучение раннего онтогенеза морских рыб напрямую связано с разработкой целого ряда важных практических и теоретических задач. Расширение ареалов видов, их приспособление к новым условиям существования в значительной степени определяются эколого-физиологической лабильностью популяций в раннем онтогенезе. Качественный и количественный учет ихтиопланктона можно рассматривать как одни из наиболее репрезентативных методов изучения видового состава и численности рыб. Многие виды рыб, в том числе и с демерсальной икрой, проходят в онтогенезе две фазы пелагического развития - икры и личинки, поэтому данные об ихтиопланктоне могут в значительной мере уточнить и дополнить состав ихтиофауны.

Материал и методы исследований

Изучение ихтиопланктона у берегов Одессы проводилось в период 2012-2014 гг. с февраля по октябрь. Для отбора проб использовались нейстонная сеть конструкции Ю. П. Зайцева с входным отверстием 50x20 см и ихтиопланктонная сеть модификации Богорова-Расса из мельничного газа № 23 с диаметром зева 50 см. Лов производился на трех мысах в Одесском заливе – Ланжерон, Малый Фонтан и Большой Фонтан на открытых акваториях с траверсов, которые наиболее далеко выдаются в море, и глубина у которых составляет от 1,5 до 3 м. Отобранные пробы переносились в пластиковые банки и фиксировались 4-5% раствором формальдегида в морской воде. В лаборатории пробы обрабатывались методом прямого количественного учета. Икра и личинки идентифицировались до вида. В дальнейшем велся пересчет численности на 100 м² с использованием коэффициента уловистости принятом 0,9.

Результаты исследований и их обсуждение

По литературным данным и личным наблюдениям, в Одесском заливе встречаются 14 видов рыб с пелагической икрой. С учетом донных видов рыб, имеющих планктонные этапы развития в виде икры и личинок, их численность может достигать 20. Вместе с тем, согласно