

2. Лаврушенко Л.Ф. Основні аспекти механізму токсичної дії ксенобіотиків Праці VII Українського біохімічного з'їзду. К., 1997. ч.ІІІ. С. 150-151.
3. Смоляр В.І. Токсичні ефекти харчових добавок *Проблеми харчування*, 2005. №1. С. 5–15.
4. Malik, V. S.; Popkin, B. M.; Bray, G. A.; Despres, J.-P.; Willett, W. C.; Hu, F. B. (2010). "Sugar-sweetened beverages and risk of metabolic syndrome and type 2 diabetes: A meta-analysis". *Diabetes Care*. 33 (11): 2477–83.
5. U.S. Department of Health and Human Services (HHS). The health consequences of smoking: A report of the Surgeon General. Atlanta, Georgia: National Center for Chronic Disease and Prevention and Health Promotion, Office on Smoking and Health; 2004. Available from: http://www.cdc.gov/tobacco/data_statistics/sgr/sgr_2004/index.htm.

УДК (546.56 +546.48) : (597.554.3+ 597.552.1) : 577.152.1

**ДІЯ ІОНІВ Cu^{2+} ТА Cd^{2+} НА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ СТАТУС
КОРОПА ТА ЩУКИ**

**Вознюк О.О., Хоменчук В.О., Вовчек Н.О., Рабченко О.О.,
Курант В.З.**

Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка

E-mail: khomenchuk@tnpu.edu.ua

Важкі метали є одними із найнебезпечніших компонентів забруднення поверхневих вод. Окремі метали, такі як Fe, Zn, Cu, Co, Cr, Mn і Ni, необхідні для метаболізму в слідових кількостях (есенціальні); однак їх більша доза може викликати токсичні ефекти. Інші, такі як Pb, Hg, Cd і As, не виконують біологічних функцій і є токсичними [2].

Риби є першочерговими мішенями впливу важких металів у гідроекосистемах, які страждають найбільше. Підвищення концентрацій вищевказаних металів у водному середовищі в тій чи іншій формі вище допустимих рівнів, у свою чергу, призводить до надмірного акумулювання їх водними

організмами, що обумовлює порушення нормального функціонування метаболічних систем. При надходженні в організм риб іонів металів у кількостях, які перевищують фізіологічну потребу, вони можуть суттєво порушувати роботу ферментів енергетичного обміну [5]. Тому метою нашої роботи було дослідження енергетичного статусу організму риб за інтоксикації іонами купруму та кадмію.

Дослідження проведено на коропах (*Cyprinus carpio* L.) та шуках (*Esox lucius* L.) дворічного віку з середньою масою 300–350 г. Риб утримували в акваріумах об'ємом 200 дм³ з відстояною водопровідною водою (вміст O₂ – 7,5±0,5 мг/дм³; CO₂ – 2,5±0,3 мг/ дм³; рН – 7,8±0,1). Усі дослідження на тваринах були виконані відповідно до принципів «Міжнародної Європейської конвенції із захисту хребетних тварин, які використовуються з експериментальною та іншою науковою метою» (Страсбург, 1986).

Вивчали вплив іонів кадмію та купруму в концентраціях 0,005 і 0,02 мг/дм³ для Cu²⁺ та 0,005 мг/дм³ і 0,02 мг/дм³ для Cd²⁺, що відповідають 0,5 та 2,0 рибогосподарським ГДК. Необхідні концентрації іонів металів у воді акваріумів створювали внесенням солей CuSO₄·5H₂O та CdCl₂·2,5H₂O кваліфікації “х.ч.”. Риб за час експерименту не годували. Період аклімації у риб у токсичних умовах становив 14 діб, що є достатнім для формування адаптивної відповіді на дію стрес-чинника.

Відповідно до поставлених завдань для дослідження відбирали тканини передньої долі печінки, зябрових дуг та білих м'язів риб. Всі процедури відбору тканин після інвазії риб виконували на холоді. Досліджували наступні показники: активність цитохромоксидази і сукцинатдегідрогенази в мітохондріальних фракціях зябер та печінки, а також активність лактатдегідрогенази у цитоплазмі усіх дослідних тканин.

Перед виділенням субклітинних фракцій тканини гомогенізували в охолодженому розчині такого складу: 0,22 М сахароза, 10⁻⁴ М ЕДТА та 0,01 М тріс-НCl (рН 7,2) у співвідношенні 1:5. Ядра виділяли центрифугуванням при 2000-2500 об./хв 20 хв. Осад аналізували як ядерну фракцію, а надосад зливали і центрифугували 30 хв. при 12000 об./хв. Надосад використовували як цитоплазматичну фракцію, осад як фракцію

мітохондрій.

Активність сукцинатдегідрогенази (СДГ) визначали ферриціанатним методом [6]. Активність цитохромоксидази визначали за Штраусом [4]. Активність лактатдегідрогенази (ЛДГ) визначали за швидкістю окиснення НАДН, яку реєстрували за зменшенням величини оптичної густини при 340 нм [1]. Вміст білка в пробах досліджуваних зразків тканини визначали за методом Лоурі [3] і виражали у мг. Всі одержані дані було оброблено статистично з використанням t-критерію Стьюдента.

Сукцинатдегідрогеназа (КФ.1.3.99.1) каталізує окиснення янтарної кислоти до фумарової та є одним з ключових регуляторних ферментів циклу трикарбонових кислот. Вона бере участь у забезпеченні регуляції і взаємозв'язку окремих шляхів не тільки окисного, але й пластичного обміну.

Аналіз отриманих результатів показав, що за інтоксикації іонами металів встановлено дозозалежні та тканиноспецифічні зміни активності сукцинатдегідрогенази у досліджуваних груп риб. Так, за дії 0,5 ГДК іонів Cu^{2+} металу встановлено зростання активності ферменту у клітинах зябер і печінки коропа та щуки, відповідно, у 1,50 і 1,14 раза та у 1,24 і 1,31 раза. Натомість за дії сублетальної концентрації купруму достовірні зміни каталітичної активності ензиму відмічено лише у мітохондріях печінки риб. При цьому активність СДГ зросла у 1,73 раза в коропа та у 1,58 раза в щуки. В мітохондріях зябер на відміну від печінки, чітко простежується концентраційна залежність дії іонів купруму - стимулювання активності за дії допорогової концентрації металу, тоді як за експозиції 2 ГДК металу було відмічено повернення показників активності ферменту до контрольних значень.

За дії 0,5 ГДК йонів Cd^{2+} , типового токсиканта, було відмічено достовірне зростання активності сукцинатдегідрогенази у зябрах та печінці досліджуваних риб, відповідно, у 1,28 і 1,19 раза в коропа та у 1,29 і 1,23 раза в щуки. Із одержаних даних видно, що зміни активності СДГ більш виражені у клітинах зябер, порівняно з гепатоцитами риб. За дії сублетальної концентрації токсиканту активність СДГ достовірно знижується як у зябрах, так і печінці риб, відповідно, у 1,65 і 1,46 раза в коропа та у 1,54 і 1,32 раза в щуки. Такі зміни каталітичної активності, очевидно, є наслідком комплексного впливу іонів

кадмію на фермент.

Цитохромоксидаза мітохондрій (Цитохром с: O_2 – оксиредуктаза; МКФ 1.9.3.1) – термінальний фермент дихального ланцюга, який є надзвичайно чутливим до лігандів різної природи. Результати досліджень показали, що зміни активності цитохромоксидази у клітинах зябер та печінки досліджуваних риб за впливу іонів металів є дозозалежними. Так, за дії 0,5 ГДК іонів Cu^{2+} встановлено достовірне зростання активності ферменту у зябрах та печінці, відповідно, у 1,62 і 1,49 раза в коропа та у 1,38 і 1,25 раза у щуки. Такі зміни каталітичної активності, очевидно, є наслідком структурних змін у внутрішній мембрані мітохондрій, а, отже, і в кінетичних параметрів ензимів дихального ланцюга.

Вплив сублетальної концентрації іонів купруму (II) індукує зниження каталітичної активності ферменту у 1,89 і 1,39 раза, відповідно, в зябрах та гепатопанкреасі коропа та у 1,58 і 1,27 раза – в щуки ($p < 0,05$). Токсичний ефект йонів Cu^{2+} на енергетичне забезпечення клітини можна пов'язати із порушеннями транспорту протонів у мітохондріях.

За впливу допорогової кількості іонів кадмію в печінці коропа та щуки активність цитохромоксидази достовірно зростала у 1,13 і 1,17 раза. Натомість за дії 0,5 та 2 ГДК іонів Cd^{2+} у зябрах та за впливу 2 ГДК металу в гепатопанкреасі коропа та щуки встановлена загальна тенденція до зниження активності цього ферменту. Можна припустити, що при цьому, також, порушується мембранний потенціал, що здійснює опосередкований вплив і на функціонування цитохром с оксидази.

Підвищений рівень активність ЛДГ є маркером ураження тканин риб, гіпоксичних станів та служить хорошим діагностичним інструментом в токсикології. Аналіз отриманих результатів показав, що за дії підвищених концентрацій іонів металів спостерігався дозозалежний характер змін активності ЛДГ у досліджуваних тканинах коропа та щуки. Так, за експозиції допорогової концентрації іонів Cu^{2+} встановлено зниження активності ферменту у зябрах і печінці коропа та щуки, відповідно, у 1,14 і 1,47 раза та у 1,33 і 1,73 раза, що, ймовірно, може бути пов'язано з активацією аеробного шляху

енергозабезпечення. У той же час за дії 2 ГДК іонів купруму спостерігалось достовірне зростання ферментативної активності ЛДГ у всіх досліджуваних тканинах риб.

Як показали результати досліджень за дії допорогової кількості іонів Cd^{2+} відзначалось достовірне зниження активності ЛДГ у 1,23 раза в клітинах печінки щуки, що, ймовірно, пов'язано з активацією аеробного шляху метаболізму в цій тканині. За впливу сублетальної концентрації іонів кадмію спостерігалась загальна тенденція до зростання ферментативної активності ЛДГ у зябрах, печінці та м'язах риб.

Отже, допорогові концентрації іонів купруму спричиняють послаблення анаеробного метаболізму, тоді як за сублетальних концентрацій металу енергозабезпечення процесів детоксикації проходить, в основному, за рахунок гліколізу. Дія допорогових концентрацій іонів кадмію активувала сукцинатдегідрогеназу печінки та зябер коропа, тоді як вплив 2 ГДК металу інгібував активність СДГ у досліджуваних тканинах риб. За дії 2 ГДК іонів обох металів відмічалось достовірне зменшення активності цитохромоксидази зябер та печінки коропа, що може бути обумовлено значним накопиченням металів у мітохондріях. Активність лактатдегідрогенази тканин риб за інтоксикації іонами Cd^{2+} в більшості випадків зростала, що може бути свідченням посилення анаеробних процесів.

Список літератури

1. Bergmeyer H.G., Bernet E. *Methods of enzymatic analysis*. Viena: Verlag Chemie, 1974. P. 324–328.
2. Gautam R. K., Sharma S. K., Mahiya S., Chattopadhyaya M. C. *Contamination of Heavy Metals in Aquatic Media: Transport, Toxicity and Technologies for Remediation, in Heavy Metals In Water: Presence, Removal and Safety*, 2014. P. 1-24.
3. Protein measurement with folin phenol reagent /O.H. Lorry, H.J. Rosebrough, A.L. Farr, R.J. Randall. *J. Biol. Chem.* 1951. Vol. 191. P. 265-275.
4. Straus W. Colorimetric microdetermination of cytochrome c oxidase. *J. Biol. Chem.* 1954. Vol. 207, №2. P. 733.

5. Transcriptional responses to environmental metal exposure in wild yellow perch (*Perca flavescens*) collected in lakes with differing environmental metal concentrations (Cd, Cu, Ni) / Pierron F., Bourret V., St-Cyr J. et al. *Ecotoxicology*. 2009. Vol. 18. Vol. 620–631.
6. Vinogradov A. D., Ackrell B. A. C., Singer T. P. On the possible interrelations of the reactivity of soluble succinate dehydrogenase with ferricyanide, reconstitution activity, and the HiPiP iron sulfur center. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 1975. Vol. 67. P. 803-809.

УДК УДК 581.46:582.632.2(477.84)

**МОРФОЛОГІЯ ПИЛКОВИХ ЗЕРЕН ДЕЯКИХ ВИДІВ
РОДУ *QUERCUS* L.**

Герц Н.В., Винярчук О., Савчук Т.

Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка

E-mail: herts_nv@chem-bio.com.ua

На сьогоднішній день паліноморфологічні ознаки багатьох представників покритонасінних широко використовуються як для вирішення таксономічних проблем роду, так і для з'ясування питань філогенії та систематики багатьох груп квіткових рослин. Відомо, що ознаки скульптури пилкових зерен є одними з найбільш стабільних в еволюційному відношенні, тому вони успішно використовуються в якості надійних діагностичних критеріїв для ідентифікації або диференціації не лише таксонів вищих рівнів – секцій, родів, родин і т. п. – але й видів, особливо морфологічно близьких. Паліноморфологічні дані дозволяють, судити про філогенетичні взаємозв'язки між видами, визначати напрямок еволюційного розвитку конкретних морфолого-географічних рас, висвітлювати найбільш вірогідні шляхи та закономірності історичного розвитку окремих груп рослин. У палінологічному відношенні рід *Quercus* L. вивчений недостатньо, що обумовило актуальність даного наукового дослідження [1].

Об'єктами досліджень були взяті види роду *Quercus*, що належить до родини *Fagaceae* Dumort. У процесі досліджень