



## БІОЛОГІЯ

УДК 594.381.5:574.64

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.5.2023.1>

### ВПЛИВ ІОНІВ КАДМІЮ НА ВМІСТ ОКРЕМИХ ГРУП ЛІПІДІВ В ТКАНИНАХ І ОРГАНАХ *LYMNAEA STAGNALIS*

Г. Є. Киричук<sup>1</sup>, А. В. Музика<sup>2</sup>, М. М. Микула<sup>3</sup>, О. А. Веселовська<sup>4</sup>,  
Ю. С. Довжинець<sup>5</sup>

Розглянуто особливості вмісту загальних ліпідів та їх окремих груп (триацилгліцероли (ТАГ), диацилгліцероли (ДАГ), неетерифіковані жирні кислоти (НЕЖК) та фосфоліпіди (ФЛ)) у гемолімфі, гепатопанкреасі, мантії та нозі *Lymnaea stagnalis* за дії іонів кадмію в концентрації, що відповідає 5 ГДК<sub>рибозосп.</sub> З'ясовано, що вміст зазначених сполук в організмі *L. stagnalis* є різноплановим, органоспецифічним та значною мірою залежить від тривалості дії токсиканту (2, 7 діб).

<sup>1</sup> доктор біологічних наук, професор,  
професор кафедри ботаніки,  
біоресурсів та збереження біорізноманіття  
(Житомирський державний університету імені Івана Франка, м. Житомир)  
e-mail: kyrychuk@zu.edu.ua  
ORCID: 0000-0002-1059-2834

<sup>2</sup> кандидат біологічних наук, доцент кафедри ботаніки,  
біоресурсів та збереження біорізноманіття  
(Житомирський державний університету імені Івана Франка, м. Житомир)  
e-mail: lidiya.muzyka@ukr.net  
ORCID: 0000-0001-7752-7853

<sup>3</sup> кандидат медичних наук, доцент,  
доцент кафедри фізіології  
(Національний медичний університет імені О. О. Богомольця, м. Київ)  
e-mail: mykula.nmu@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-9752-8711

<sup>4</sup> здобувач вищої освіти другого  
(магістерського) рівня вищої освіти  
спеціальності 091 Біологія  
(Житомирський державний університету імені Івана Франка, м. Житомир)  
e-mail: oksanaveselovska81@gmail.com  
ORCID: 0009-0006-7526-6550

<sup>5</sup> здобувач вищої освіти другого  
(магістерського) рівня вищої освіти  
спеціальності 091 Біологія  
(Житомирський державний університету імені Івана Франка, м. Житомир)  
e-mail: chix1410694@gmail.com  
ORCID: 0009-0001-4043-7069

Встановлено, що іони  $Cd^{2+}$  незалежно від тривалості експозиції обумовлюють зменшення вмісту ТАГ у гепатопанкреасі, мантії та нозі *L. stagnalis* на 16,16–38,76% ( $p \leq 0,05-0,01$ ), що, імовірно, свідчить про активацію ліпаз та посилення процесів ліполізу задля компенсації високих енергетичних витрат, пов'язаних із адаптацією організму молюсків до дії досліджуваного токсиканта. Поряд із зниженням показників ТАГ у гепатопанкреасі *L. stagnalis* зафіксовано збільшення вмісту ДАГ та НЕЖК на 10,43–34,59% ( $p \leq 0,05-0,01$ ) за короткострокової дії  $Cd^{2+}$  (2 доби), а при пролонгуванні до 7 діб відмічено суттєве накопичення ДАГ в органі. Щодо показників НЕЖК, то статистично достовірних відмінностей з контрольною групою тварин для гепатопанкреасу не встановлено. У мантії, нозі та гемолімфі вміст окремих ліпідних груп специфічний та обумовлений часом перебування *L. stagnalis* у токсичному середовищі. Отримані нами свідчать з одного боку про активацію захисних механізмів у досліджуваних тварин, а з іншого – про фізіологічні та біохімічні зрушення в організмі.

Отже, вміст ліпідів досліджених груп відображає адаптивну реакцію організму *L. stagnalis* на зміну чинників навколишнього середовища.

**Ключові слова:** триацилгліцероли, діацилгліцероли, неестерифіковані жирні кислоти, фосфоліпіди, іони важких металів, прісноводні молюски, окислювальний стрес.

## THE INFLUENCE OF CADMIUM IONS ON CERTAIN LIPID GROUPS IN LYMNAEA STAGNALIS TISSUES AND ORGANS

G. Ye. Kyrychuk, L. V. Muzyka, M. M. Mykula, Y. S. Dovzhynets, O. A. Veselovska

The quantity of total lipids and their separate groups (triacylglycerols (TAG), diacylglycerols (DAG), non-esterified fatty acids (NEFA) and phospholipids (PL)) in the hemolymph, hepatopancreas, mantle and leg of *Lymnaea stagnalis* was studied under the influence of cadmium ions at a concentration of 5 maximum permissible concentrations for fishing ponds. It was found that the quantity of these compounds in the body of *L. stagnalis* is diverse, organ-specific and largely depends on the duration of the influence of the toxicant (2, 7 days).

It was determined that  $Cd^{2+}$  ions, regardless of the duration of exposure, cause a decrease of triacylglycerols in the hepatopancreas, mantle and leg of *L. stagnalis* by 16.16–38.76% ( $p \leq 0.05-0.01$ ), which probably indicates the activation of lipases and strengthening of lipolysis processes to compensate the high energy loss associated with adaptation of the mollusk body to the action of the toxicant. Along with a decrease in triacylglycerols in the hepatopancreas of *L. stagnalis*, an increase in the content of diacylglycerols and non-esterified fatty acids by 10.43–34.59% ( $p \leq 0.05-0.01$ ) was recorded under the short-term effect of  $Cd^{2+}$  (2 days), and with prolongation up to 7 days significant accumulation of diacylglycerols in the body was noted. As for the indicators of NEFA, no statistically significant differences with the control group of animals for the hepatopancreas were established. In the mantle, leg, and hemolymph, the content of individual lipid groups is specific and determined by the time *L. stagnalis* is in a toxic environment. The results obtained by us indicate, on the one hand, the activation of protective mechanisms in the studied animals, and on the other hand, physiological and biochemical changes in the body.

Therefore, the lipid content of the studied groups reflects the adaptive response of the *L. stagnalis* organism to changes in environmental factors.

**Key words:** triacylglycerols, diacylglycerols, non-esterified fatty acids, phospholipids, heavy metal ions, freshwater mollusks, oxidative stress.

### Вступ

Іони кадмію є одним із найнебезпечніших забруднювачів водного середовища, який надходить у природні води, насамперед, у результаті вилуговування з ґрунтів та гірських порід, зі стоками гірничодобувної, збагачувальної і електролізної промисловості, а також при інтенсифікації сільськогосподарського виробництва (Дудник і Євтушенко, 2013; Lee et al., 2023). Іони кадмію є ксенобіотиком, що не характеризу-

ється вираженою біологічною активністю та навіть у залишкових концентраціях виявляє пряму токсичну дію на організми гідробіонтів, викликаючи незворотні ушкодження їх фізіологічних систем, порушуючи цілісність біологічних мембран і маючи високу спорідненість із сульфгідрильними, карбоксильними та фосфатними групами, інгібує активність ферментів та порушує метаболічні процеси (Liu et al., 2022; Lee et al., 2023). Окрім цього, іони кадмію здатні індукувати

утворення активних форм кисню (АФК) на клітинному рівні та знижувати антиоксидантну активність клітин, що призводить до розвитку окислювального стресу, утворення вільних радикалів, прискорення процесів перекисного окиснення, зміни мітохондріального метаболізму та гомеостазу деяких основних іонів (Ren et al., 2013; Choong et al., 2014; Liu et al., 2022; Lee et al., 2023). Це спричинює порушення фізіологічних та біохімічних процесів, розвитку патологічних змін та загибель гідробіонтів, які за масового вимирання можуть виступати джерелами вторинного забруднення водних екосистем іонами важких металів (Okocha & Adedeji, 2011; Дудник і Євтушенко, 2013; Крайнюков і Тімченко, 2016).

Зважаючи на те, що однією з перших структур клітини, яка відчуває вплив стресових чинників є клітинна мембрана, очевидним наслідком дії токсичних речовин є порушення ліпідного бішару, що в свою чергу веде за собою зміни вмісту біохімічних показників клітини, зокрема ліпідів та їх складових компонентів (Rajakumar et al., 2016a). У зв'язку з цим, вивчення динаміки ліпідного статусу прісноводних молюсків є актуальним, адже може відображати вплив екологічних чинників навколишнього середовища на початковому біохімічному етапі, задовго до появи фізіологічних змін в живому організмі та трансформації на вищих рівнях біологічної організації.

На сьогодні вивченню впливу іонів важких металів на вміст ліпідів в організмі морських молюсків, риб та ссавців присвячено низку наукових праць, водночас як для прісноводної малакофауни обговорюваний показник вивчено фрагментарно. Прісноводні молюски ж здатні біоакумулювати, концентрувати та передавати ланцюгами живлення забруднюючі речовини, зокрема й іони важких металів (Ситник та ін., 2012), у зв'язку з чим є індикаторами забруднення природних вод та слугують гарною моделлю у дослідженнях механізмів відповіді на зміну екологічних чинників водного середовища.

#### **Матеріал та методи**

Матеріалом для дослідження слугували молюски виду *Lymnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758), відібрані у жовтні 2022 в р. Тетерів (м. Коростишів, Житомирський район, Житомирська область). Для аклімації до лабораторних умов молюсків по 10 екз. утримували протягом 14 діб в акварію-

мах з відстояною протягом доби аерованою водопровідною водою ( $t = 18\text{--}20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $\text{pH} = 7,3\text{--}7,7$ ; вміст кисню =  $8,5\text{--}8,9\text{ мг/дм}^3$ ). Як токсикант використано  $\text{CdCl}_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$  в концентрації  $0,0025\text{ мг/дм}^3$ , яка відповідає  $5\text{ ГДК}_{\text{рибобосп}}$ . Розрахунок концентрації проведено на катіон. Експозиція – 2 та 7 діб. Для контрольної групи *L. stagnalis* інкубаційним середовищем слугувала водопровідна дехлорована вода без додавання токсиканту. Для експерименту відібрано особин однієї і тієї ж розмірної групи ( $m = 4,64 \pm 1,32\text{ г}$ ;  $l = 43,2 \pm 2,67\text{ мм}$ ;  $h = 25,12 \pm 2,81\text{ мм}$ ). Морфометричні параметри вимірювали штангенциркулем, а масу визначали електронними вагами (Axis A500) з точністю до  $0,01\text{ г}$ . Для біохімічного дослідження відібрано гепатопанкреас, мантію та ногу, які отримували, анатомуючи тварин. Гемолімфу отримували методом прямого знекровлення (Киричук і Стадниченко, 2003). Трематодну інвазію виявляли на тимчасових гістологічних препаратах, виготовлених із тканин гепатопанкреасу *L. stagnalis*. Для забезпечення чистоти токсикологічного дослідження для експерименту відібрано лише неінвазовані екземпляри.

Загальні ліпіди з тканин екстрагували сумішшю хлороформ-метанол (співвідношення 2:1) за методом Фолча (Folch et al., 1957). Кількість загальних ліпідів визначали ваговим методом. Розділення ліпідів на окремі групи здійснювали методом висхідної одномірної тонкошарової хроматографії на пластинках «Sorbfil» (ПТСХ-АФ-А) в системі розчинників гексан-диетилловий ефір-льодяна оцтова кислота (співвідношення 70:30:1). Одержані хроматограми піддавали дії проявника, яким виступали пари кристалічного йоду. Кількість окремих груп ліпідів визначали за методиками (Kates, 1972). Усі використані реактиви мали кваліфікацію ч.д.а.

Статистичну обробку результатів дослідження проводили загальноприйнятими статистичними методами із застосуванням t-критерію Ст'юдента. Розбіжності вважали статистично вірогідними при  $p \leq 0,05\text{--}0,001$ .

У процесі виконання експерименту норми біоетики порушені не були.

#### **Результати та обговорення**

Ліпіди є одним із найважливіших компонентів живих організмів, що слугують біологічними ефекторами, регуляторами та медіаторами багатьох фізіолого-біохімічних процесів, є джерелом метаболічної енергії та пластичним матеріалом для формування

клітинних мембран (Lehninger et al., 2008). Відомо, що модифікація вмісту ліпідів та співвідношення окремих ліпідних груп у відповідь на токсичну дію іонів ВМ є компенсаторною реакцією гідробіонтів та відіграє важливу роль в розвитку їх фізіолого-біохімічної адаптації, що дозволяє використовувати ці речовини як біохімічні індикатори фізіологічного стану обговорюваних тварин і середовища їх існування (Vance D. & Vance J., 2002; Hochachka & Somero, 2002; Ekin et al., 2011).

У зв'язку із цим, очікуваним є суттєвий вплив іонів кадмію на динаміку вмісту загальних ліпідів та їх окремих груп в організмі *L. stagnalis*, модуляція якого, як з'ясовано, є різноплановою, органоспецифічною та в значній мірі залежить від концентрації токсиканту та тривалості його дії.

У результаті проведених нами досліджень з'ясовано, що в організмі контрольної групи молюсків (експозиція 2 доби) вміст ліпідів складає 10,33–25,53 мг/г сирої маси тканини (органу). При цьому, найвищі показники зафіксовано у мантиї молюсків, а найнижчі – у гемолімфі. Розподіл загальних ліпідів на окремі групи показав відмінності у їх накопиченні дослідженими нами тканинами й органами. Метаболічні ряди в порядку збільшення кількісних значень мають наступний вигляд:

Триацилгліцероли: гемолімфа → гепатопанкреас → нога → мантия.

Диацілгліцероли: гемолімфа → гепатопанкреас → нога.

Неетерифіковані жирні кислоти: гепатопанкреас → нога → мантия.

Фосфоліпіди: гемолімфа → гепатопанкреас → нога → мантия.

Така динаміка, очевидно, визначається фізіологічним станом тварини, особливостями метаболізму її організму та метаболічною роллю окремих органів та тканин (Ekin et al., 2011).

З'ясовано, що дія іонів кадмію в концентрації 0,0025 мг/дм<sup>3</sup> (5 ГДК) протягом 2 діб обумовлює збільшення вмісту загальних ліпідів у гепатопанкреасі досліджуваних молюсків на 91,38% ( $p < 0,01$ ) відносно контролю, що пов'язано із метаболічною роллю органу, який виконує функцію запасання та перерозподілу ліпідів в організмі гідробіонтів. Водночас, у гемолімфі *L. stagnalis* зафіксовано зниження обговорюваних показників на 12,90%, а у нозі та мантиї значення контрольної та дослідної груп виявились величинами одного

порядку. Імовірно, така динаміка свідчить про перерозподіл ліпідів між органами *L. stagnalis* за умови токсичного впливу.

Зважаючи на отриману динаміку, доцільним виявилось вивчити вплив іонів Cd<sup>2+</sup> у досліджуваній концентрації на співвідношення окремих груп неполярних ліпідів (ТАГ, ДАГ, НЕЖК) та фосфоліпідів (ФЛ) в тканинах і органах *L. stagnalis*.

Встановлено, що дія токсиканту протягом 2 діб обумовлює зменшення вмісту ТАГ у гепатопанкреасі, мантиї та нозі *L. stagnalis* на 16,16 – 27,99% ( $p \leq 0,05-0,01$ ), що, імовірно, відображає захисну реакцію досліджуваних молюсків, пов'язану із активацією ліпаз та фосфоліпаз і посиленням процесів ліполізу задля заповнення дефіциту енергетичних ресурсів, викликаного дією стресового чинника. Це підтверджується збільшенням показників ДАГ та НЕЖК в гепатопанкреасі на 10,43–34,59% ( $p \leq 0,05-0,01$ ) (рис. 1).

Окрім цього, слід відмітити суттєве накопичення в гемолімфі та мантиї досліджуваних тварин ДАГ, яких не було виявлено у молюсків контрольної групи. Щодо НЕЖК, то за дії іонів кадмію їх вміст зменшувався на 26,62–47,53% ( $p \leq 0,05-0,001$ ) у нозі та мантиї, а у гемолімфі за таких умов експерименту жирних кислот не було виявлено.

Підтвердженням активації ліполітичних процесів в організмі *L. stagnalis* за дії іонів кадмію є зниження вмісту фосфоліпідів в гепатопанкреасі, мантиї та нозі на 14,99–43,25 % ( $p \leq 0,05-0,001$ ). Крім того, така динаміка може пояснюватись особливостями дії Cd<sup>2+</sup>, які індукують перекисне окислення ФЛ мембран та обумовлюють їх деградацію, що призводить до зменшення кількісних показників ліпідної групи не лише в гепатопанкреасі, але і у інших досліджених нами органах.

Аналіз тканинно-органного розподілу досліджених ліпідних груп за дії Cd<sup>2+</sup> дозволив вибудувати такі метаболічні ряди (у порядку зменшення кількісних показників):

Триацилгліцероли: мантия → гепатопанкреас → нога → гемолімфа.

Диацілгліцероли: мантия → гепатопанкреас → гемолімфа → нога.

Неетерифіковані жирні кислоти: мантия → гепатопанкреас → нога.

Фосфоліпіди: мантия → гепатопанкреас → нога → гемолімфа.

При збільшенні часу контакту тварин із токсикантом до 7 діб зафіксовано зни-

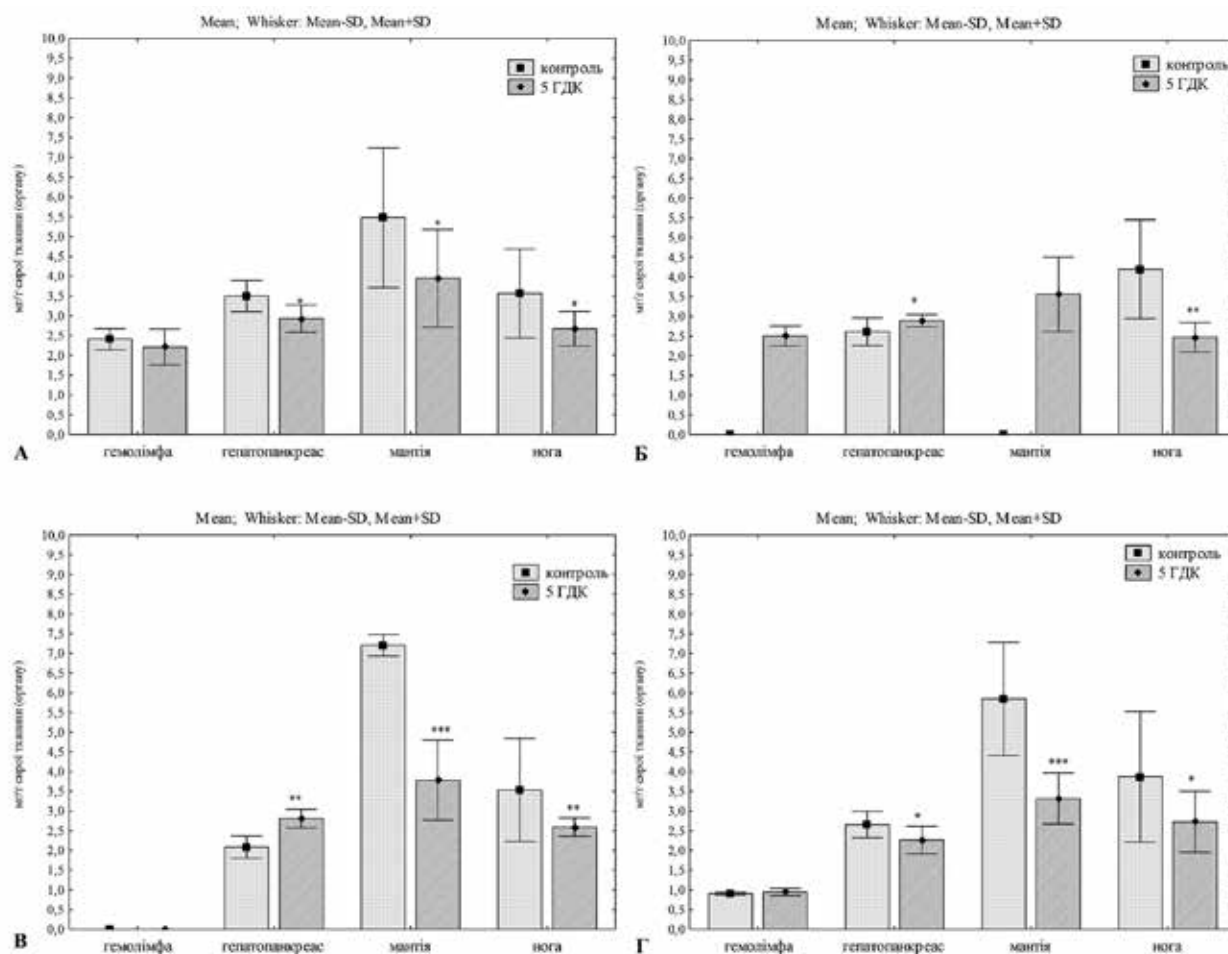


Рис. 1. Вплив іонів Cd<sup>2+</sup>, концентрацією, що відповідає 5 ГДК (експозиція – 2 доби) на окремих груп ліпідів у тканинах і органах *L. stagnalis*: А – ТАГ, Б – ДАГ, В – НЕЖК, Г – ФЛ; \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$

ження показників вмісту триацилгліцеролів у гепатопанкреасі, мантії та нозі *L. stagnalis* на 35,47–38,76% ( $p < 0,05$ ), що, імовірно, пов'язано із компенсацією високих енергетичних витрат, викликаних адаптацією до дії іонів кадмію, адже відомо, що запасні ТАГ здатні швидко мобілізуватися в організмі та забезпечувати в 2,5 рази більше енергії на одиницю маси, ніж вуглеводи (Ekin et al., 2011). Окрім цього, така динаміка може свідчити про використання структурних елементів триацилгліцеролів для синтезу інших біологічно активних речовин у клітині, енергетичних субстратів вуглеводної та білкової природи, а також про метаболічні перебудови між резервними та структурними ліпідними фракціями за умови токсичного впливу (Chan et al., 2018). Водночас, для гемолімфи за обговорюваним показником не встановлено статистично достовірних відмінностей від контролю (рис. 2).

З'ясовано, що, дія Cd<sup>2+</sup> (7 діб) викликає накопичення ДАГ у гепатопанкреасі та

гемолімфі досліджуваних молюсків (у тварин контрольної групи ліпідної фракції не виявлено) та зниження показників на 42,73–42,85% ( $p \leq 0,05-0,01$ ) у їх мантії та нозі.

Динаміка вмісту НЕЖК органоспецифічна: показники зростали на 30,40% у нозі, знижувались на 24,16% у мантії, а у гепатопанкреасі не встановлено статистично достовірних відмінностей від контролю

Вміст фосфоліпідів зменшувався на 37,92% ( $p < 0,001$ ) у гепатопанкреасі, збільшувався (на 17,38–27,73%) у гемолімфі та мантії, а в нозі показники контрольної та дослідної групи знаходились в одному діапазоні значень. Імовірно, отримані нами результати, свідчать з одного боку про безпосередню дію токсиканту на метаболізм фосфоліпідів та втрату цілісності біологічної мембрани, а з іншого – про метаболічні перебудови в організмі досліджуваних молюсків, пов'язані із мобілізацією пулу відповідних фосфоліпідів з метою структурних перебудов ліпідного бішару (Ячна та ін., 2019).

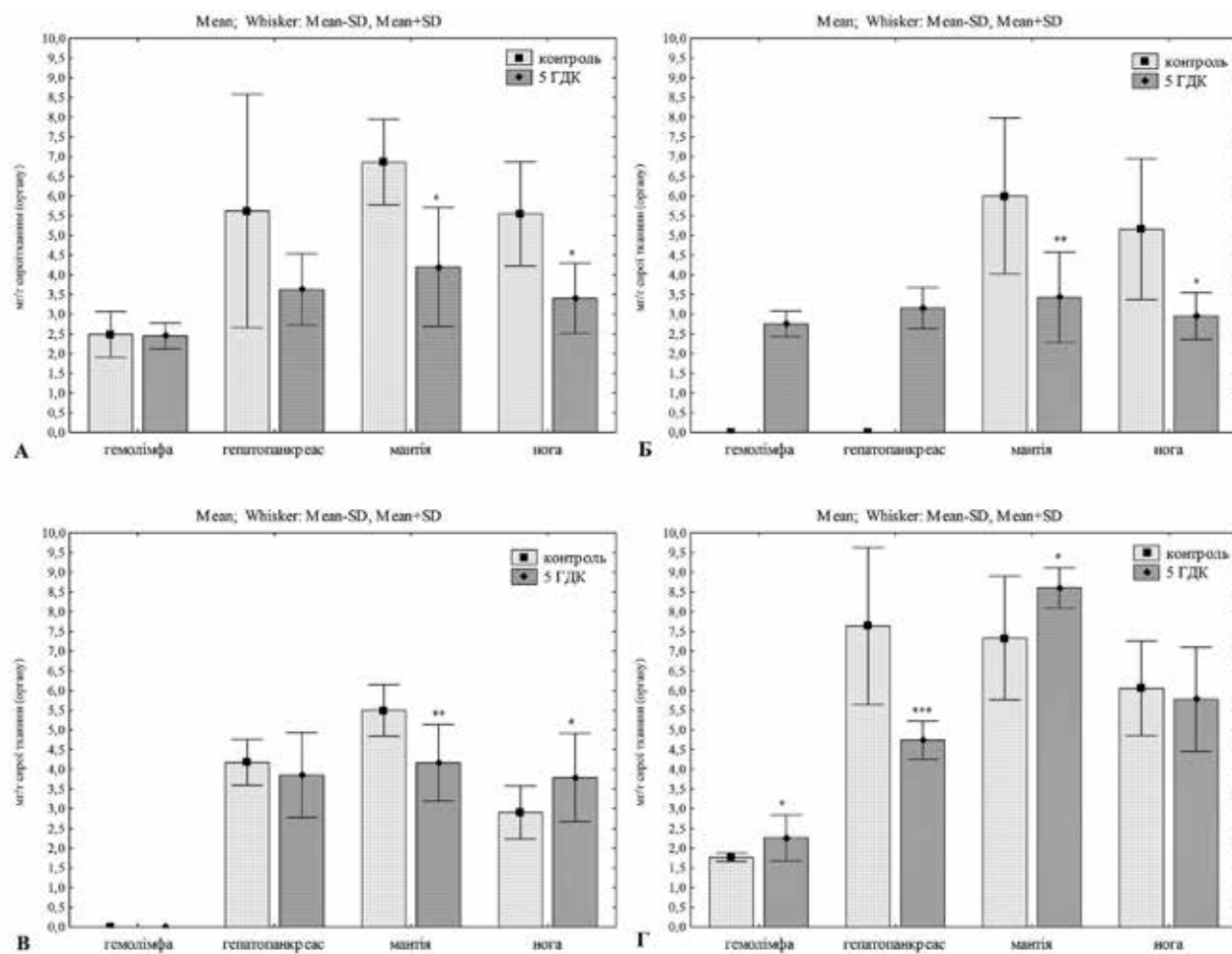


Рис. 2. Вплив іонів Cd<sup>2+</sup>, концентрацією, що відповідає 5 ГДК (експозиція – 7 діб) на окремих груп ліпідів у тканинах і органах *L. stagnalis*: А – ТАГ, Б – ДАГ, В – НЕЖК, Г – ФЛ; \* – p < 0,05; \*\* – p < 0,01; \*\*\* – p < 0,001

### Висновки

Отже, вміст і склад ліпідів є ключовим компонентом метаболічних реакцій *L. stagnalis*, що пов'язані із толерантністю та відображають компенсаторні реакції прісноводних молюсків на дію екологічних чинників водного середовища.

Нашими експериментами встановлено, що іони Cd<sup>2+</sup> (5 ГДК) викликають суттєві якісні та кількісні зміни вмісту досліджуваних груп ліпідів в організмі *L. stagnalis*, що свідчить з одного боку про активацію

захисних механізмів досліджуваних тварин, а з іншого – про фізіологічні та біохімічні зрушення в організмі. Відмічено тканинну специфічність динаміки ліпідного профілю досліджуваних молюсків за дії токсиканту, обумовлену метаболічною функцією тканин (органів) та роллю окремих ліпідних груп у реалізації адаптивних реакцій на зміну чинників середовища. Описано метаболічні ряди для кожної з досліджуваних ліпідних груп за умови токсичного впливу.

### Список використаної літератури

Дудник С.В., Євтушенко М.Ю. Водна токсикологія: основні теоретичні положення та їхнє практичне застосування : монографія, Київ : Вид-во Українського фітосоціологічного центру, 2013. 297 с.

Крайнюков О.М., Тімченко В.Д. Вплив хімічних речовин токсичної дії на представників біотичної складової водних екосистем. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. 2016. 38. С. 111–120.

Ситник Ю.М., Арсан О.М., Киричук Г.Є., Ляшенко А.В., Вітовецька Т.В. Вміст важких металів в органах та тканинах молюсків деяких водойм міської зони Києва. *Наукові записки*

Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. 2012. (51). С. 230–236.

Киричук Г.Є., Стадниченко А.П. Фізико-хімічні особливості гемолімфи *Planorbarius purpura* та *P. corneus* (Mollusca: Gastropoda: Pulmonata: Bulinidae). *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2003. 32. С. 239–245.

Ячна М.Г., Мехед О.Б., Третяк О.П., Яковенко Б.В. Вміст фосфоліпідів у тканинах коропа лускатого (*Syrpinus carpio* L.) за дії натрій лаурилсульфатвмісного та безфосфатного синтетичних миючих засобів. *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол.* 2019. № 2 (76). С. 48–52.

Chan C.Y., Wang W.X. A lipidomic approach to understand copper resilience in oyster *Crassostrea hongkongensis*. *Aquatic Toxicology*. 2018. 204. 160–170. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.09.011>.

Choong G., Liu Y., Templeton D.M. Interplay of calcium and cadmium in mediating cadmium toxicity. *Chemicobiological interactions*. 2014. 211. P. 54–65. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2014.01.007>.

Ekin I., Başhan M., Şeşen R. A comparison of the fatty acid composition of the phospholipid and neutral lipid of *Unio elongatulus* (Bourguignat, 1860) (Bivalvia: Unionidae) mussels from 4 different localities in southeastern Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Zoology*. 2011. 35 (6). P. 837–849. <https://doi.org/10.3906/zoo-1002-5>.

Folch J., Lees M., Sloane Stanley A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J Biol Chem*. 1957. 226 (1). P. 497–509. [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(18)64849-5).

Hochachka P.M., Somero G.N. *Biochemical Adaptation*. Oxford : Princeton University Press, 2002.

Kates M. Isolation, analysis and identification of lipids. *Techniques in Lipidology*. 1972. P. 268–618.

Lee J.W., Jo A.W., Choi C., Kim J.H. Review of cadmium toxicity effects on fish: oxidative stress and immune responses. *Environmental Research*. 2023. 236. 116600. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116600>.

Lehninger A.L., Nelson D.L., Cox M.M. *Lehninger principles of biochemistry*. Macmillan, 2005.

Liu Y., Chen Q., Li Y., Bi L., Jin L., Peng R. Toxic effects of cadmium on fish. *Toxics*. 2022. 10 (10). 622 p. <https://doi.org/10.3390/toxics10100622>.

Rajakumar S., Bhanupriya N., Ravi C., Nachiappan V. Endoplasmic reticulum stress and calcium imbalance are involved in cadmium-induced lipid aberrancy in *Saccharomyces cerevisiae*. *Cell Stress Chaperones*. 2016a. 21. P. 895–906. <https://doi.org/10.1007/s12192-016-0714-4>.

Ren J., Luo J., Ma H., Wang X., Ma L. Q. Bioavailability and oxidative stress of cadmium to *Corbicula fluminea*. *Environmental Science: Processes & Impacts*. 2013. 15 (4). P. 860–869. <https://doi.org/10.1039/c3em30288a>.

Vance D.E., Vance J.E. *Biochemistry of Lipids, Lipoproteins and Membranes*. 4th ed. Amsterdam : Elsevier, 2002.

### References (translated & transliterated)

Dudnyk, S.V., & Jevtushenko, M.Ju. (2013). *Vodna toksykologhija: osnovni teoretychni polozhennja ta jikhnje praktychne zastosuvannja* [Aquatic toxicology: basic theoretical principles and their practical application]. Publishing House of the Ukrainian Phytosociological Center. Kyiv [in Ukrainian].

Kraynyukov, O.M., & Timchenko, V.D. (2016). *Vplyv khimichnykh rehovyn toksychnoyi diyi na predstavnykiv biotychnoyi skladovoyi ekosystemy* [Exposure to chemicals toxic effect on the representatives of the biotic component of aquatic ecosystems]. *Problemy okhorony navkolyshn'oho pryrodnoho seredov'yscha ta ekolohichnoyi bezpeky* [Problems of environmental protection and ecological safety], 38, 111–120 [in Ukrainian].

Sytnyk, Ju.M., Arsan, O.M., Kyrychuk, G.Je., Ljashenko, A.V., & Vitovec'ka, T.V. (2012). *Vmist vazhkykh metaliv v orghanakh ta tkanynakh moljuskiv dejakykh vodojm misjkoji zony Kyjeva* [The content of heavy metals ions in organs and tissues of mollusks from some Kyiv city water reservoirs]. *Naukovi zapysky Ternopil'skogoho nacional'nogho pedagoghichnogho universytetu imeni Volodymyra Ghnatjuka* [Scientific Issue Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University], 51, 230–236 [In Ukrainian].

Kyrychuk, H.Ye., & Stadnychenko A.P. (2003). *Fyzyko-khimichni osoblyvosti hemolimfy Planorbarius purpura ta P. corneus* (Mollusca: Gastropoda: Pulmonata: Bulinidae) [The physics-

chemical properties of the haemolymph of *Planorbarius purpura* and *P. corneus* (Mollusca: Gastropoda: Pulmonata: Bulinidae)]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya biologichna* [Visnyk of Lviv University. Biological series], 32, 239–245 [in Ukrainian].

Yachna, M.H., Mekhed, O.B., Tretiak, O.P., & Yakovenko, B.V. (2019). Vmist fosfolipidiv u tkanynakh koropa luckatoho (*Cyprinus carpio* L.) za dii natrii laurylsulfatvmisnoho ta bezfosfatnoho syntetychnykh myiuchykh zasobiv [Content of phospholipides in carp by surfactory active substances]. *Naukovi zapysky Ternopil'skogoho nacional'nogho pedagoghichnogho universytetu imeni Volodymyra Ghnatjuka* [Scientific Issue Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University], 2 (76), 48–52 [in Ukrainian].

Chan, C.Y., & Wang, W.X. (2018). A lipidomic approach to understand copper resilience in oyster *Crassostrea hongkongensis*. *Aquatic Toxicology*, 204, 160–170. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.09.011> [in English].

Choong, G., Liu, Y., & Templeton, D.M. (2014). Interplay of calcium and cadmium in mediating cadmium toxicity. *Chemicobiological interactions*, 211, 54–65. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2014.01.007> [in English].

Ekin, I., Bařhan, M., & řeřen, R. (2011). A comparison of the fatty acid composition of the phospholipid and neutral lipid of *Unio elongatulus* (Bourguignat, 1860) (Bivalvia: Unionidae) mussels from 4 different localities in southeastern Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 35 (6), 837–849. <https://doi.org/10.3906/zoo-1002-5> [in English].

Folch, J., Lees, M., & Sloane Stanley (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J Biol Chem*, 226 (1), 497–509. [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(18)64849-5) [in English].

Hochachka, P.M., & Somero, G.N. (2002). *Biochemical Adaptation*. Oxford : Princeton University Press [in English].

Kates, M. (1972). Isolation, analysis and identification of lipids. *Techniques in Lipidology*, 268–618 [in English].

Lee, J.W., Jo, A.W., Choi, C., & Kim, J.H. (2023). Review of cadmium toxicity effects on fish: oxidative stress and immune responses. *Environmental Research*, 236, 116600. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116600> [in English].

Lehninger, A.L., Nelson, D.L., & Cox, M.M. (2005). *Lehninger principles of biochemistry*. Macmillan [in English].

Liu, Y., Chen, Q., Li, Y., Bi, L., Jin, L., & Peng, R. (2022). Toxic effects of cadmium on fish. *Toxics*, 10 (10), 622. <https://doi.org/10.3390/toxics10100622> [in English].

Rajakumar, S., Bhanupriya, N., Ravi, C., & Nachiappan, V. (2016a). Endoplasmic reticulum stress and calcium imbalance are involved in cadmium-induced lipid aberrancy in *Saccharomyces cerevisiae*. *Cell Stress Chaperones*, 21, 895–906. <https://doi.org/10.1007/s12192-016-0714-4> [in English].

Ren, J., Luo, J., Ma, H., Wang, X., & Ma, L.Q. (2013). Bioavailability and oxidative stress of cadmium to *Corbicula fluminea*. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 15 (4), 860–869. <https://doi.org/10.1039/c3em30288a> [in English].

Vance, D.E., & Vance, J.E. (2002). *Biochemistry of Lipids, Lipoproteins and Membranes*. 4th ed. Amsterdam : Elsevier [in English].

Отримано: 18.09.2023

Прийнято: 08.10.2023