

## ВПЛИВ ІОНІВ ЦИНКУ ТА КАДМІЮ НА КУМУЛЯТИВНІ ТА ТРОФОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ СТАВКОВИКА ОЗЕРНОГО

Василенко О.М.

Житомирський державний університет імені Івана Франка  
вул. Велика Бердичівська, 40, 10008, м. Житомир  
o.vasyliisa@gmail.com

У статті досліджено кумулятивні особливості за дії низьких концентрацій іонів кадмію та цинку (2 ГДК) та їх вплив на основні трофологічні показники ставковика озерного.

*Lymnaea stagnalis* - є поширеним об'єктом біомоніторингу, за рахунок його значущої ролі у функціонуванні водних екосистем, зокрема у самоочищенні води та формуванні трофічних зв'язків у гідроценозах.

Експериментальні дослідження проведені з використанням 261 екз. моллюсків, зібраних у басейні річки Тетерів (Середній Дніпро). У лабораторних умовах тварини піддавали впливу іонів  $Zn^{2+}$  та  $Cd^{2+}$  у концентраціях, що відповідають допустимому рівню забруднення для рибогосподарських вод. Методами спектрофотометрії, біохімічного аналізу та трофологічного моніторингу оцінювали накопичення важких металів у тканинах (мантия, гепатопанкреас, нога, гемолімфа) та їх вплив на основні показники трофічної активності: середньодобовий раціон (ВСР), тривалість проходження корму (ТПК), коефіцієнт засвоюваності корму (КЗК), швидкість добової продукції екскрементів (ШДПЕ) та швидкість добової асиміляції (ШДА).

Отримані результати демонструють, що іони цинку накопичуються переважно у мантиї, виконуючи фізіологічну роль мікроелемента, який стимулює метаболічні процеси. За впливом цинку відзначено зростання ВСР (1,83–2,12 рази), ТПК (1,33–1,70 рази), КЗК (1,37–1,54 рази) та ШДА (1,86–3,29). рази) у неінвазованих моллюсків. У випадку інвазованих особин позитивний вплив  $Zn^{2+}$  менш виражений, хоча також спостерігалось зростання зазначених показників.

Іони кадмію, навпаки, виявляють високу токсичність, що проявляється пригнітінням усіх трофологічних параметрів. У моллюсків, експонованих  $Cd^{2+}$ , спостерігалось зменшення ВСР (1,69–2,81 рази), ТПК (2,13–3,22 рази), КЗК (1,29–1,64 рази) та ШДА (2,17–4,60 рази). Такий вплив впливає на формування депресивної фази трофічної активності, що є ознакою патологічного стану організму.

Отримані результати свідчать про диференційований вплив  $Zn^{2+}$  та  $Cd^{2+}$  на фізіологічні процеси у *Lymnaea stagnalis*. Іони цинку в низьких концентраціях чинять стимулюючий ефект, тоді як кадмій створює значне токсикологічне навантаження. Висновки дослідження мають практичне значення для моніторингу. *Ключові слова:* *Lymnaea stagnalis*, іони кадмію, іони цинку, кумуляція, трофіка.

### **Influence of zinc and cadmium ions on cumulative and trophology indicators of *Lymnaea stagnalis*. Vasylenko O.**

The article investigates the cumulative features of exposure to low concentrations of cadmium and zinc ions (2 MPC) and their impact on the main trophic indicators of the lake pondweed.

*Lymnaea stagnalis* - is a common object of biomonitoring, due to its significant role in the functioning of aquatic ecosystems, in particular in the self-purification of water and the formation of trophic relationships in hydrocoenoses.

Experimental studies were conducted using 261 individuals of mollusks collected in the Teteriv River basin (Seredniy Dnipro). In laboratory conditions, animals were exposed to  $Zn^{2+}$  and  $Cd^{2+}$  ions in concentrations corresponding to the permissible level of pollution for fishery waters. The accumulation of heavy metals in tissues (mantle, hepatopancreas, leg, hemolymph) and their influence on the main indicators of trophic activity were assessed using spectrophotometry, biochemical analysis and trophic monitoring methods: average daily ration (ADR), feed passage duration (FPT), feed digestibility coefficient (FDC), daily excrement production rate (DEP) and daily assimilation rate (DAR). The results obtained demonstrate that zinc ions accumulate mainly in the mantle, performing the physiological role of a trace element that stimulates metabolic processes. Under the influence of zinc, an increase in ADR (1.83–2.12 times), FPT (1.33–1.70 times), FDC (1.37–1.54 times) and DAR (1.86–3.29 times) was noted in uninfested mollusks. In the case of infested individuals, the positive effect of  $Zn^{2+}$  is less pronounced, although an increase in these indicators was also observed.

Cadmium ions, on the contrary, exhibit high toxicity, which is manifested by the suppression of all trophic parameters. In mollusks exposed to  $Cd^{2+}$ , a decrease in HRV (1.69–2.81 times), TPC (2.13–3.22 times), CPC (1.29–1.64 times) and SDA (2.17–4.60 times) was observed. Such an effect affects the formation of a depressive phase of trophic activity, which is a sign of a pathological state of the organism.

The results obtained indicate a differentiated effect of  $Zn^{2+}$  and  $Cd^{2+}$  on physiological processes in *Lymnaea stagnalis*. Zinc ions in low concentrations have a stimulating effect, while cadmium creates a significant toxicological load. The findings of the study have practical significance for monitoring. *Key words:* *Lymnaea stagnalis*, cadmium ions, zinc ions, accumulation, trophic.

Забруднення водних екосистем важкими металами є однією з ключових екологічних проблем сучасності, яка стає значною загрозою для біорізноманіття та стабільності екосистем. Метали, такі як цинк (Zn) та кадмій (Cd), потрапляючи у воду з промисловими стоками та іншими джерелами антропо-

генного впливу, здатні кумулюватися в організмах гідробіонтів, впливаючи на їх фізіологічний стан, репродуктивну здатність та життєві функції [1].

Прісноводні моллюски, відіграють важливу роль у трофічних мережах та самоочищенні водойм, є чутливими до таких забруднень, що робить їх

ефективними індикаторами екологічного стану водних об'єктів [2].

Актуальність дослідження зумовлена недостатністю розуміння специфіки дії цих металів на біохімічні та фізіологічні процеси гідробіонтів. Це дозволяє не лише оцінити ризики, пов'язані із забрудненням водних екосистем, але й розробити ефективні стратегії моніторингу та зменшення впливу токсикантів. Дослідження спрямоване на розв'язання актуальних завдань екологічної токсикології, що мають важливе значення як для фундаментальної науки, так і для прикладних досліджень. Вивчення впливу іонів важких металів (Zn і Cd) на фізіологічні та трофологічні показники молюсків *Lymnaea stagnalis* дозволяє не лише поглибити знання про фізіологічні адаптації молюсків до дії токсикантів, але й розробити ефективні методи біомоніторингу для оцінки екологічного стану водних екосистем та мінімізації впливу антропогенних забруднень.

Отримані результати можуть бути використані також для розробки екологічних стандартів і нормативів, що регулюють допустимі концентрації важких металів у водах. Це покращує ефективність контролю за станом водних об'єктів і збереженням біорізноманіття шляхом раннього виявлення екологічних загроз.

Дослідження впливу важких металів на водні організми активно вивчають в галузі екологічної токсикології. Попередні роботи [3] засвідчили, що важкі метали, такі як цинк (Zn) і кадмій (Cd), здатні накопичуватися в тканинах гідробіонтів, впливаючи на їх метаболізм і фізіологічні функції. Особливу увагу приділено вивченню ролі важких металів у порушенні метаболізму, енергетичних процесів та ферментативної активності, а також їх взаємодії з іншими абіотичними чинниками середовища.

Роботи Романенка В.Д. детально описують роль Zn як незамінного мікроелемента, що бере участь у численних ферментативних процесах, включаючи карбоангідразу, фосфатазу та дегідрогеназу. Водночас Cd відомий своєю токсичною дією, яка проявляється через заміщення Zn в біологічних структурах і порушення ензиматичних функцій [4]. Інші дослідження [5] демонструють, що Cd викликає депресивні стани через його антагоністичний вплив на Zn, що у своєму випадку порушує нормальні фізіологічні процеси у гідробіонтів.

Проте, незважаючи на значний прогрес у розумінні впливу важких металів на водні організми, досі залишається недостатньо дослідженим вплив низьких концентрацій Zn і Cd на трофологічні показники молюсків, зокрема їхню здатність до асиміляції корму, швидкість обміну речовин та динаміку накопичення металів у різних тканинах. Крім того, вплив паразитарних інвазій

Для проведення трофологічних досліджень було використано 261 екз. виду *Lymnaea stagnalis*. Для визначення ступеня накопичення іонів важких

металів (міді, цинку, кадмію та свинцю), було відібрано 73 екз. *L. stagnalis*. Молюсків збирали вручну у вересні з 2020 по 2024 рік у басейні Середнього Дніпра (річка Тетерів, Житомир). Концентрація кисню у водному середовищі коливалася від 8,2 до 8,5 мг/дм<sup>3</sup>, показник рН становив від 7,4 до 7,8, температура утримуваної води була в межах 18-20°C, а освітлення акваріумів забезпечувалося природним світлом. Вагу молюсків та досліджуваних зразків визначали за допомогою електронної ваги типу WPS 1200/С. Показник рН вимірювали іонметрично за допомогою приладу рН-1500М. Вміст кисню визначали методом Вінклера. У токсикологічних експериментах використовували ZnCl<sub>2</sub> та CdCl<sub>2</sub>·2,5H<sub>2</sub>O чистоти ч.д.а. у концентраціях, що відповідали двом гранично допустимим рибо-господарських концентраціям (0,01 мг/дм<sup>3</sup> та 0,0005 мг/дм<sup>3</sup>) [6]. Розрахунки базуються на катіонному аналізі. Тривалість експозиції склала 14 діб, при цьому токсичне середовище змінювалося щоденно.

Визначення основних трофологічних показників проводили за методикою Вискушенка Д.А. [7]. У якості корму використовували листя частухи (*Alisma plantago*), рдесника (*Potamogeton natans*) та промацероване протягом п'яти діб і проварене листя тополі (*Populus alba*).

Зараженість молюсків паразитами та личинками трематод визначали шляхом мікроскопічного дослідження (збільшення 7x8) гістологічних препаратів, виготовлених із тканини гепатопанкреасу. Видову ідентифікацію трематод на живих зразках відповідно до методики [8]. Виявлено, що молюски були інвазовані редіями та церкаріями *Echinoparyphium aconiatum* Dietz.

Для аналізу вмісту важких металів досліджували черепашку, гепатопанкреас, ногу, мантию та гемолімфу молюсків. Зразки готували методом К'єльдаля, включаючи повне витягування тканини, фіксацію в 96% етиловому спирті (з подальшим випаровуванням при температурі 105°C протягом 6-12 годин) та спалювання в азотній кислоті (ОСЧ) до повного знебарвлення (12-24 години). Вміст важких металів визначали за допомогою атомно-адсорбційного спектрофотометра С-115М з напівм'яким аналізатором (стандарт СЭВ 5346). Загалом виконано 1292 аналізи, а концентрації металів виражено в мг/кг сирової маси з урахуванням природної вологоти тканини. Статистична обробка результатів виконувалась за стандартними методиками [9].

Експериментальне утримання молюсків у середовищі, забрудненому іонами цинку та кадмію, призвело до нерівномірного накопичення важких металів у організмі *L. stagnalis*, крім того, кадмій і цинк найбільше зберігалися в мантиї, тоді як свинець мав досить стабільний рівень у різних тканинах молюсків. Аналіз накопичення іонів важких металів крім органів і тканин показав, що найбільшу кількість депонують цинк, а най-

меншу – кадмій і мідь. Переважний рівень цинку в досліджуваних моллюсках пов'язаний з тим, що цинк є необхідним компонентом карбоангідрази, яка розщеплює вугільну кислоту. Його відбувається порушує тканинний обмін. Співвідношення важких металів у черепашці, гепатопанкреазі та нозі як у вільних від інвазії моллюсків, так і в інвазованих, було аналогічним. За показниками накопичення важких металів у цих тканинах утворювалися такі ряди:  $Cu < Cd < Pb < Zn$ . Відмінності в рівнях накопичення важких металів у черепашці, гепатопанкреазі та нозі стосуються трьох іонів – кадмію, цинку та міді. Ступінь накопичення ВМ органами та тканинами гідробіонтів залежить не лише від концентрації металів у навколишньому середовищі, але й від їх взаємодії під час обміну речовин у організмі тварин.

Цинк є складовою частиною карбоангідразу, дегідрогеназ, фосфатаз, протеїназ, пептидаз та ферментів нуклеїнового обміну, а також важливу роль у механізмах спадковості завдяки участі у стабілізації рибосом та біополімерів [10]. Кількість цинку в організмі впливає на протікання гліколітичних та окислювальних процесів у м'язовій тканині [11]. Для металів, які не забезпечують фізіологічних функцій у організмі (кадмій, свинець), характерний низький рівень регуляції їх надходження [12]. Відомо [13], що кадмій є антагоністом цинку, що призводить до заміщення останнього в біологічних структурах та порушення ензиматичних процесів [14].

Під впливом іонів кадмію спостерігалось збільшення вмісту кадмію в гепатопанкреазі, мантиї та гемолімфі (рис. 1). Вплив іонів цинку спричинив зростання їх вмісту лише в мантиї піддослідних тварин.

Дія іонів цинку призвела до збільшення всіх трофологічних показників, окрім ШДПЕ у неінвазованих особин ставковика озерного. Як у інвазованих, так і у неінвазованих моллюсків було зафіксовано статистично значуще підвищення ВСП від 1,83 до 2,12 рази (рис. 2). Зростала також тривалість ТПК (від 1,33 до 1,70) (рис. 3). Значення КЗК збільшилося від 1,37 до 1,54 у неінвазованих особин, тоді як при споживанні листя рдесника в інвазованих особин показник збільшився на 13%. При інших видах корму в інвазованих тварин із забрудненого середовища значення КЗК залишилися в межах показників контрольної групи (рис. 4).

Також було зафіксовано підвищення показника ШДА як у інвазованих, так і в інтактних особинах від 1,86 до 3,29 рази (рис 5). Щодо ШДПЕ, інвазія виявилась стимулюючим фактором, що виражалось у підвищених показниках цього показника від 1,13 до 2,25 рази (за іншими листками рдесника) (рис. 6). Водночас у інтактних тварин спостерігалось зниження цього показника.

Результати проведеного дослідження демонструють специфіку накопичення важких металів у тканинах *Lymnaea stagnalis*, можуть бути використані для моніторингу забруднення водних екосистем. Визначення концентрацій важких металів у моллюс-

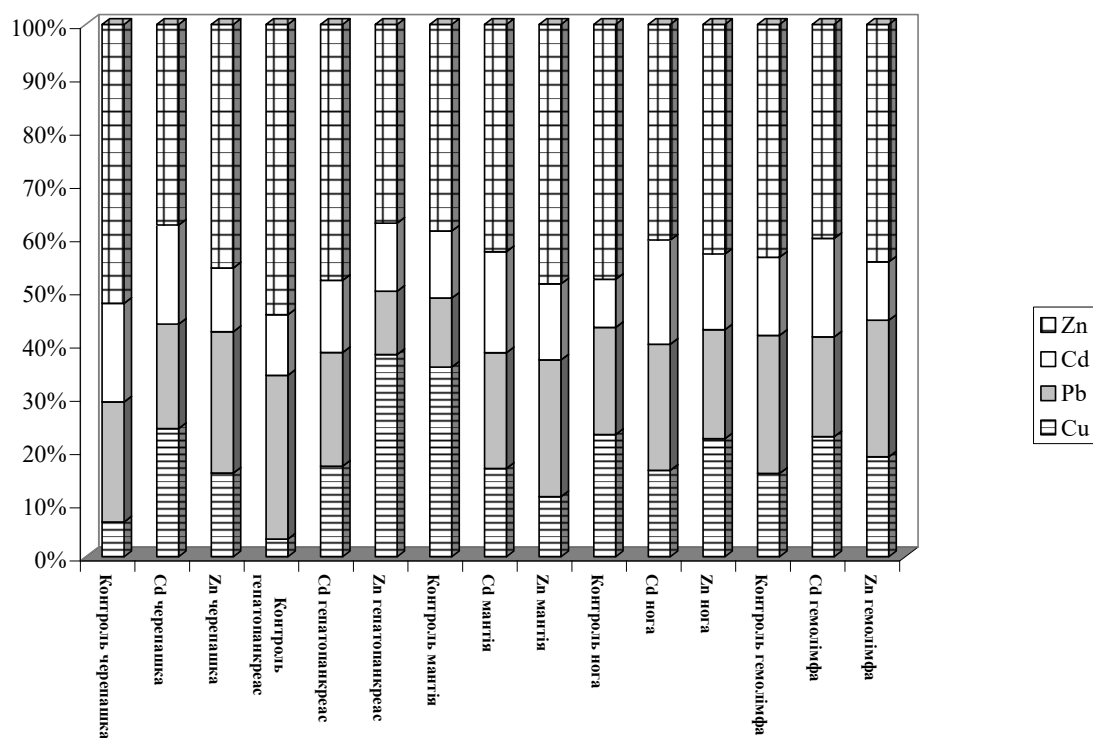


Рис. 1. Розподіл іонів важких металів в організмі *Lymnaea stagnalis* за дії іонів кадмію та цинку

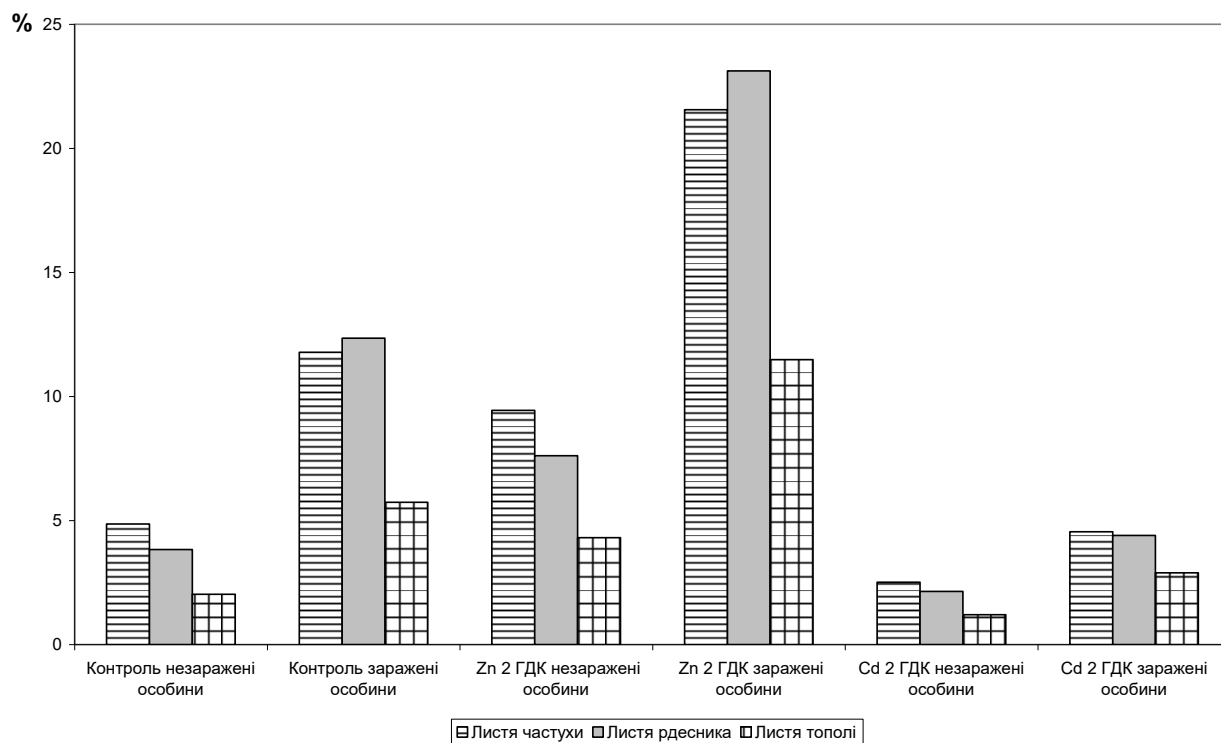


Рис. 2. Вплив іонів важких металів на величину середньодобового раціону *Lymnaea stagnalis*

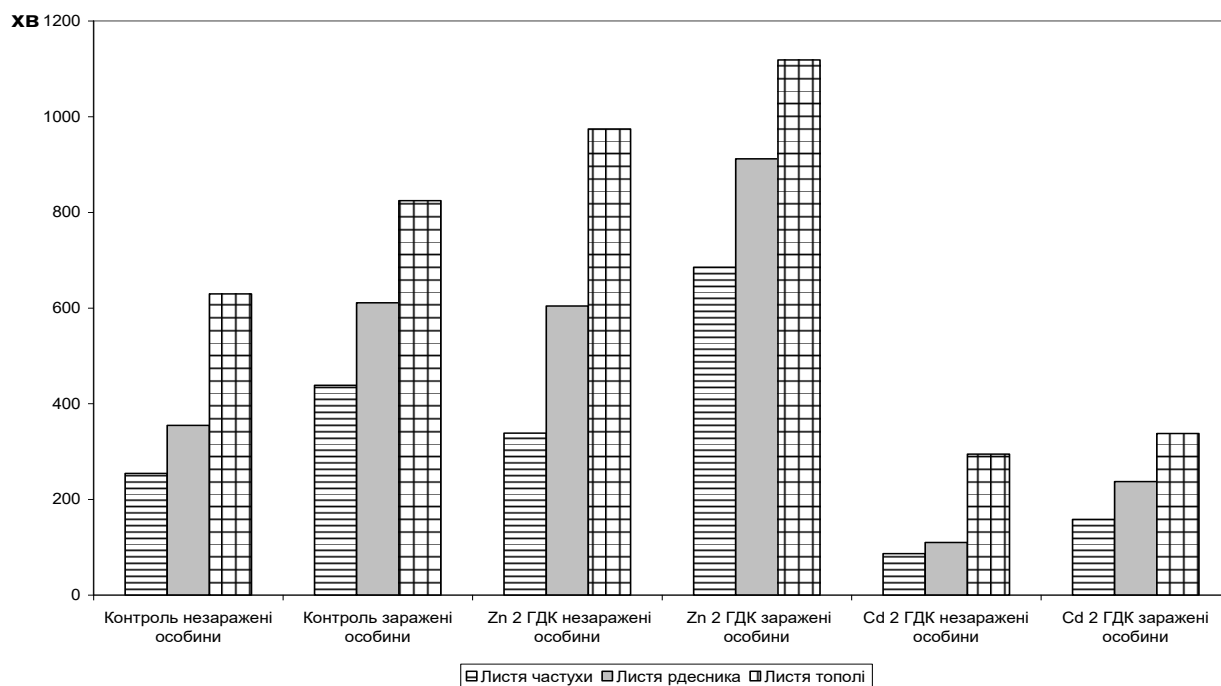


Рис. 3. Вплив іонів важких металів на тривалість проходження корму *Lymnaea stagnalis*

ках може служити біоіндикатором рівня антропогенного навантаження на водні об'єкти.

Накопичувальні властивості *Lymnaea stagnalis* щодо важких металів вказують на потенціал їх використання в біоремедіації забруднених вод. Моллюски

можуть бути частиною системи зниження біофільтрації, забезпечуючи рівень токсичних елементів у воді.

Інформація про фізіологічний стан інвазованих моллюсків дозволяє глибше зрозуміти взаємодію паразитів і хазяїв у контексті забруднених середовищ.

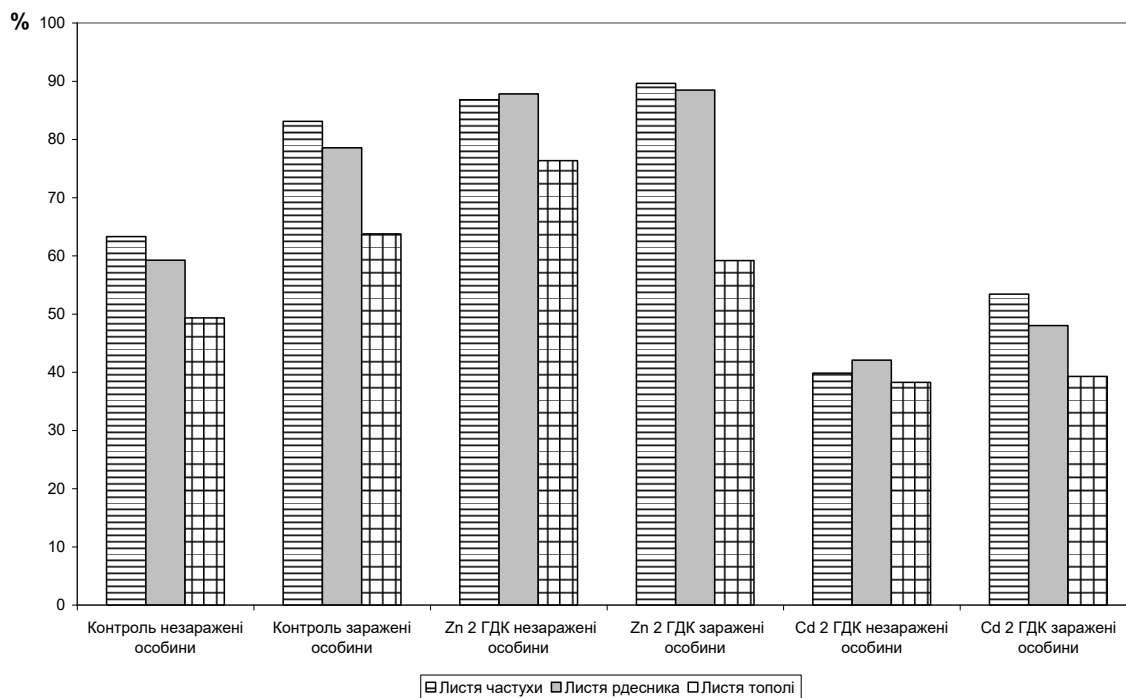


Рис. 4. Вплив іонів важких металів на коефіцієнт засвоюваності корму *Lymnaea stagnalis*

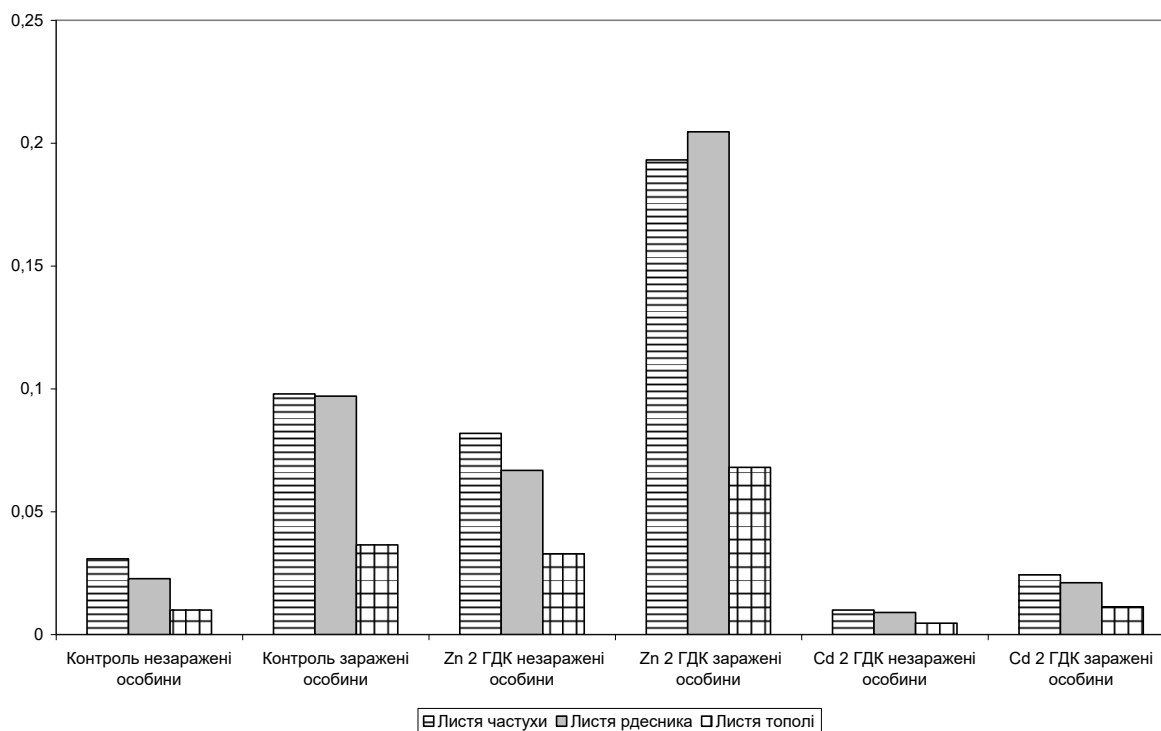


Рис. 5. Вплив іонів важких металів на швидкість добової асиміляції *Lymnaea stagnalis*

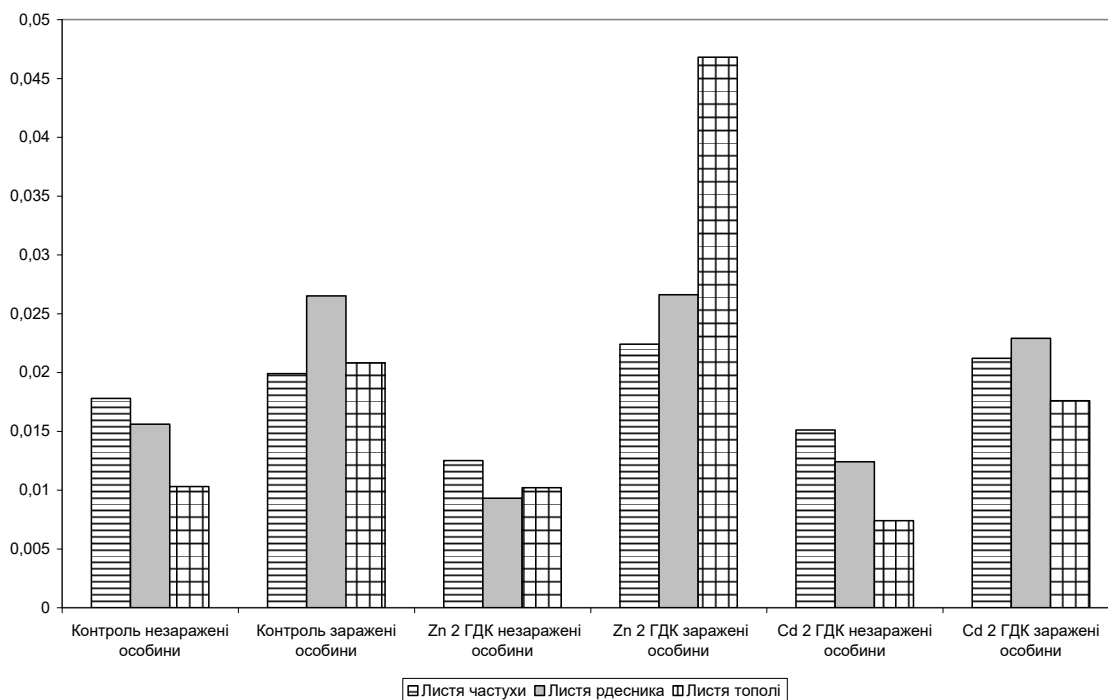


Рис. 6. Вплив іонів важких металів на швидкість добової продукції екскрементів *Lymnaea stagnalis*

### Література

1. Киричук Г. Є. Особливості кумуляції іонів важких металів у організмі прісноводних молюсків. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Серія: Біологія. 2019. № 2(51). С. 51–56.
2. Пінкіна Т. В., Пінкін А. А. Оцінка впливу іонів важких металів на харчову поведінку молюсків (Gastropoda). Біологія та екологія. 2019. Т. 5, № 2. С. 83–90.
3. Гандзюра В. П., Клименко М. О., Бедункова О. О. Біосистеми в токсичному середовищі: монографія. Рівне: НУВГП, 2021. 261 с.
4. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В. Д. Романенка. Київ: ЛОГОС, 2006. 628 с.
5. Василенко О. М. Вплив трематодної інвазії на особливості трофіки *Lymnaea balthica* (Mollusca: Pulmonata). Вісник Львівського університету. Серія біологічна. 2003. Вип. 33. С. 147–151.
6. Пінкіна Т. В. Екотоксикологічна характеристика ставника озера для дії на нього важких металів водного середовища. Природничий альманах. Серія: Біологічні науки. 2010. № 14. С. 138–151.
7. Вискушенко Д. Вплив сульфату міді та хлориду цинку на *Lymnaea stagnalis* L. Гідробіологічний журнал. 2002. Т. 38, № 4. С. 86–92.
8. Здун В. І. Личинки трематоди в прісноводних молюсках України. Київ: Вид-во АН УРСР, 1969. 141 с.
9. Головка Н. П., Головка Т. М., Геліх А. В. Дослідження накопичення важких металів у м'якому тілі прісноводних молюсків роду *Anodonta*. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Ветеринарна медицина. 2014. № 4(35). С. 45–49.
10. Киричук Г. Є., Стадніченко А. п. Вплив заряду трематодами та іонів цинку водного середовища на гемоцити та деякі гематологічні характеристики *Planorbis purpura* (Mollusca: Gastropoda: Pulmonata: Bulinidae). Гідробіологічний журнал. 2011. Т. 47, № 1. С. 105–113.
11. Лукашов Д. В. Використання молюсків як акумуляторів важких металів для моніторингу прісноводних екосистем. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Серія: Біологія. 2011. № 1(46). С. 123–128.
12. Грубінко В. В., Киричук Г. Є., Курант В. З. Енергетична роль амінокислот в адаптації до важких металів прісноводних риб і молюсків. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. 2019. № 51. С. 71–86.
13. Киричук Г. Є., Музика Л. В., Микула М. М. Особливості впливу низьких концентрацій іонів важких металів на вміст  $\beta$ -каротину в *Lymnaea stagnalis*. Гідробіологічний журнал. 2024. Т. 60, № 4. С. 72–84.
14. Киричук Г. Є. Фізіолого-біохімічні механізми адаптації прісноводних молюсків до зміни біотичних та абіотичних чинників водного середовища: автореф. дис. ... д-ра біол. наук: 03.00.17. Київ, 2011. 45 с.