

УДК: 597.554.3:628.394.1

Ю.О. КОВАЛЕНКО, доктор філософії, пров. інж.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: Kovalenkoyuliia888@gmail.com
ORCID 0000-0003-4818-4542

О.С. ПОТРОХОВ, д. б. н., ст. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна
ORCID 0000-0002-8274-6898

М.В. ПРИЧЕПА, к. б. н., наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ, 04210, Україна
ORCID 0000-0002-3114-2402

ОСОБЛИВОСТІ ФІЗІОЛОГО-БІОХІМІЧНИХ РЕАКЦІЙ АМУРСЬКОГО ЧЕБАЧКА (*PSEUDORASBORA PARVA*) ТА ГІРЧАКА ЄВРОПЕЙСЬКОГО (*RHODEUS AMARUS*) НА ДІЮ ФЕНОЛУ

Проникнення чужорідних видів риб в озера та водотоки, на тлі інтенсивного антропогенного навантаження призводить до значного тиску на аборигенну їх-тіофауну, особливо у водоймах міської агломерації. З огляду на цю проблему, в статті розглянуто резистентність та фізіолого-біохімічні реакції амурського чебачка (*Pseudorasbora parva* (Temminck et Schlegel, 1846)) та гірчака європейського (*Rhodeus amarus* (Bloch, 1782)) за впливу фенолу. В модельних експериментах досліджували вплив фенолу в різних концентраціях (0,01, 0,1, 1,0 та 5,0 мг/дм³) впродовж 14 діб. За результатами досліджень підтверджено більшу резистентність амурського чебачка до дії фенолу відносно гірчака європейського. За дії 5,0 мг/дм³ фенолу протягом 14 діб смертність гірчака європейського становила 88 %, а амурського чебачка — 22 %. Фізіолого-біохімічні реакції амурського чебачка супроводжувались збільшенням активності лактатдегідрогенази (у 1,6—2,1 раза) та лужної фосфатази (на 9,5— 56,7 %), значним використанням енергоємних речовин, зокрема ліпідів і білків. Проте гірчак європейський реагував збільшенням активності сукцинатдегідрогенази (у 2,2—3,6 раза) та лужної фосфатази (на 35,2—72,8 %) і переважним використанням загальних ліпідів порівняно з білками. Це вказує на істотне залучення аеробних окисно-відновних процесів у адаптивні реакції цього виду за дії фенолу. Показано, що аборигенний вид — гірчак європейський та інвазійний — амурський чебачок використовують різні механізми адаптації до впливу високих концентрацій фенолу.

Ц и т у в а н н я: Коваленко Ю.О., Потрохов О.С., Причепка М.В. Особливості фізіолого-біохімічних реакцій амурського чебачка (*Pseudorasbora parva*) та гірчака європейського (*Rhodeus amarus*) на дію фенолу. *Гідробіол. журн.* 2021. Т. 57. № 3. С. 93—104.

Ключові слова: фенол, гірчак європейський, амурський чебачок, резистентність, біохімічні реакції, активність ферментів, енергоємні сполуки.

Фенол та його сполуки часто використовуються у токсикологічних дослідженнях [20]. Основним джерелом їх надходження у природне середовище є промислові виробництва: паперу, барвників, лаків, медичних препаратів, меблів тощо. Крім того, феноли є похідними від пестицидів [5]. У світі, зокрема в країнах Південно-Східної Азії, також існує проблема, викликана забрудненням водойм і водотоків сполуками фенолів [10, 20]. В Україні сполуки фенолу не включені до переліку основних забруднювачів природних водойм, проте у окремих регіонах зафіксовано перевищення фонового референтного рівня цих сполук у водоймах і водотоках [7, 8].

Безпосереднє або опосередковане надходження сполук фенолів до організму гідробіонтів, зокрема риб [20], стає причиною порушень їх нормального росту і розвитку [16], репродуктивного статусу, а також змін виживаності у забрудненому середовищі. Крім того, вони впливають на активність ферментів та можуть призводити до багатьох непередбачуваних змін в організмі [21].

Антропогенне забруднення водойм і водотоків, на тлі проникнення чужорідних видів риб, призводить до значного тиску на аборигенну іхтіофауну, особливо у водоймах міської агломерації [13].

Яскравим прикладом вдалої інвазії може бути інвазія амурського чебачка, який активно поширює свій ареал [12]. У зв'язку з цим дослідження його резистентності, фізіолого-біохімічних реакцій на дію токсичних речовин порівняно з аборигенними видами має велике як наукове, так і практичне значення. Зазначені процеси можна вивчати за дії на організм референтних токсикантів, зокрема фенолу.

З огляду на це метою роботи було дослідити стійкість і фізіолого-біохімічні реакції інвазійного виду — амурського чебачка та аборигенного — гірчака європейського за дії різних концентрацій фенолу.

Матеріал і методика досліджень

Моделльні дослідження були проведені на Білоцерківській експериментальній гідробіологічній станції Інституту гідробіології НАН України. Біологічними об'єктами досліджень були особини гірчака європейського (*Rhodeus amarus* (Bloch, 1782)) та амурського чебачка (*Pseudorasbora parva* (Temminck et Schlegel, 1846)) — виду, який використовують для модельних токсикологічних досліджень [11]. Обидва об'єкти досліджень відносяться до короткоциклових видів риб, мають невеликі розмірно-масові характеристики, що дає підстави для порівняння реакцій їхнього організму на дію різних концентрацій фенолу.

Перед початком проведення дослідів риби проходили аклімацію впродовж трьох діб в акваріумах по 35 ос/30 дм³ води. Гірчак європейський мав лінійний розмір 3—4 см і масу 5,0—5,5 г, амурський чебачок — 4—5 см і 6,5—7,0 г.

В експерименті досліджували вплив різних концентрацій фенолу (0,01, 0,1, 1,0 та 5,0 мг/дм³) впродовж 14 діб. Риб годували кожного ранку личинками хірономід. Кожної доби в ємностях проводили заміну 1/3 об'єму води з відповідним розчином фенолу. Середня температура води становила 19—20 °С, концентрація розчиненого у воді кисню — 5,0 мг/дм³. Експерименти проводили у трьох повторах.

Активність лактатдегідрогенази (КФ 1.1.1.27) визначали з використанням стандартного набору «ЛДГ, Філісіт-Діагностика» (Україна), сукцинатдегідрогенази (КФ 1.3.5.1) — методом Векса [4], активність лужної фосфатази (КФ 3.1.3.1) встановлювали за розщепленням фенілфосфату з утворенням фенолу з використанням стандартного набору «Лужна фосфатаза, Реагент» (Україна) [1].

Вміст загальних білків встановлювали за Лоурі [15], а вміст загальних ліпідів — із використанням фосфорнованілінового реактиву [4].

Дані обробляли статистично з допомогою програм Statistica. 10, програм Excel із пакету Microsoft Office.

Під час проведення експериментальних досліджень було враховано положення, узгоджені «Європейською конвенцією про захист хребетних тварин, які використовуються для експериментів та інших цілей» (Страсбург, Франція, 1985) [6].

Результати досліджень та їх обговорення

Токсикорезистентність гірчака європейського. Впродовж досліджень як у контрольних, так і у дослідних (за концентрації фенолу 0,01 мг/дм³) акваріумах смертність гірчака європейського була відсутньою.

За дії концентрацій фенолу 0,1 та 1,0 мг/дм³ початок загибелі риб спостерігали на шосту добу з поступовим зростанням відповідно до 41 та 53 % на 14-ту добу дослідю.

При концентрації фенолу 5,0 мг/дм³ вже на першу добу експозиції загибель риб дорівнювала 23 %. Наступний пік смертності припав на 9-ту, тоді загинуло 35 % дослідних риб, а наприкінці експерименту смертність становила 88 % (рис. 1).

Варто зазначити, що серед дослідних риб за дії концентрацій фенолу 0,1 та 1,0 мг/дм³ підвищену резистентність мали відповідно 59 та 47 % риб.

Концентрація фенолу 5,0 мг/дм³ викликала загибель риб вже на першу годину дослідю і свідчила про його можливу нервово-паралітичну дію [21].

Концентрація фенолу 0,01 мг/дм³ не викликала видимих фізіологічних реакцій гірчака європейського, і його поведінка була наближена до такої риб контрольної групи. При концентраціях фенолу вище 0,01 мг/дм³ вже у перші 12 год у риб спостерігається висока рухова активність та їх скупчення.

Токсикорезистентність амурського чебачка. На відміну від гірчака європейського, за дії мінімальної концентрації фенолу 0,01 мг/дм³ загибель поодиноких особин амурського чебачка спостерігалась вже на по-

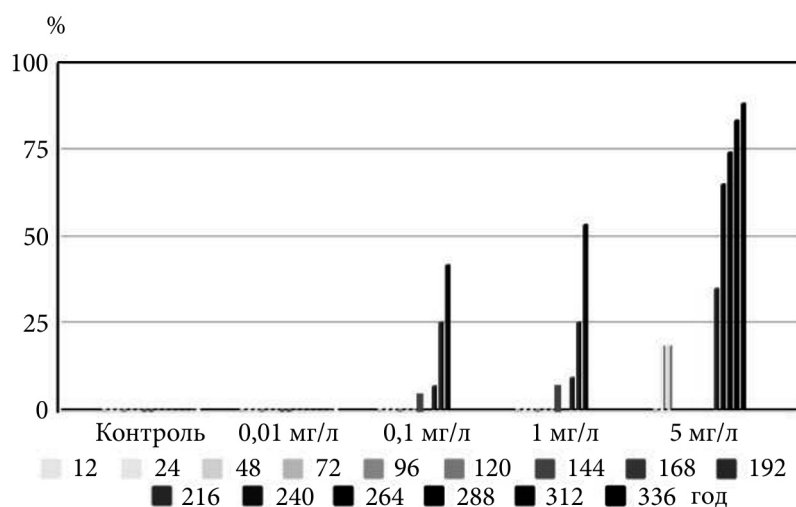


Рис. 1. Смертність гірчачка європейського під впливом фенолу, % ($n = 105$).

чатку експерименту (рис. 2). На 3-ю добу вона становила 2 %, а наприкінці — 8 %. Можна припустити, що така реакція вказує на високу різноякісність угруповання риб та їхню чутливість до дії фенолу.

У концентраціях фенолу 0,1 і 1,0 мг/дм³ загибель амурського чебачка розпочалась на 3-тю добу від початку експерименту і становила 10 і 10 %, а наприкінці (14-та доба) — 18 і 18 %.

За дії фенолу 5,0 мг/дм³ перша загибель риб була зареєстрована через 3 год після внесення фенолу. На 3-тю добу в цій концентрації так само, як і у попередніх двох, загибель становила 10%, а наприкінці досліду — 22 %.

Загибель відповідної кількості риб у всіх концентраціях фенолу, що були використані, вказує на високу чутливість амурського чебачка до дії токсиканту. Це знаходить підтвердження і в дослідженнях інших авторів, за результатами яких амурський чебачок проявив чутливість до шести різних токсичних речовин. Найбільша чутливість риб спостерігалась до дії речовин органічного походження. Через це автори дослідження наголошують, що амурський чебачок може бути ідеальним організмом-індикатором для моніторингу стану водного середовища [22].

Локомоторна активність амурського чебачка за дії фенолу в концентраціях 0,01, 0,1 і 1,0 мг/дм³ спостерігалась через 30 хв від початку експерименту і, порівняно з контролем, проявлялась у хаотичному русі риб, який супроводжував стан тривоги чи стресу [19].

За концентрації фенолу 0,1 мг/дм³ через півтори години рухова активність риб послаблювалась, а за дії фенолу 1,0 мг/дм³ — продовжувала бути високою. Через 6,5 год поведінка всіх дослідних риб не відрізнялась від поведінки особин із контрольної групи.

За найбільшої концентрації токсиканту (5,0 мг/дм³) особини амурського чебачка перебували на дні акваріуму в нерухомому стані. Така по-

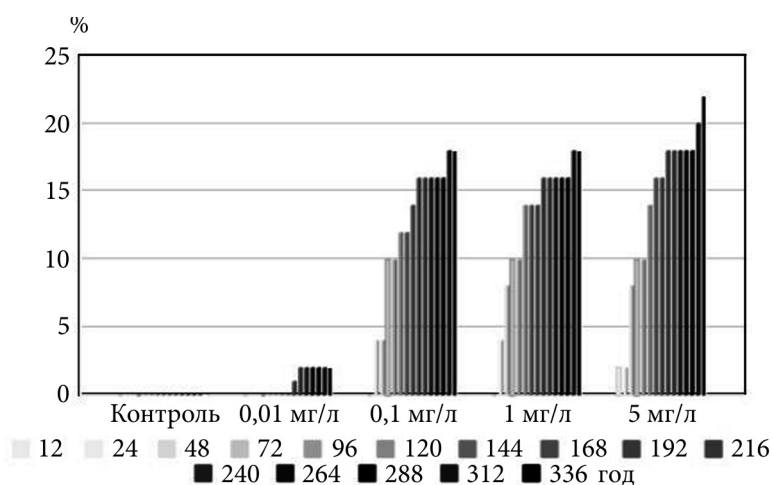


Рис. 2. Смертність амурського чебачка під впливом фенолу, % ($n = 105$)

ведінка нагадувала шокове заціпеніння внаслідок різкого надмірного стресового навантаження, що може вказувати на більшу напругу дослідних риб, ніж за середньої та мінімальної концентрацій.

Таким чином, отримані результати токсикорезистентності гірчака європейського та амурського чебачка вказують на суттєву міжвидову відмінність риб. Так, аборигенний вид гірчак європейський не проявляв суттєвих ознак чутливості до дії токсиканту, на що вказує 100 %-ве виживання риб у концентрації фенолу 0,001 мг/дм³. За середніх і найбільших концентрацій фенолу дослідні особини гірчака європейського почали масово гинути на 8-му та 9-ту добу, і до кінця експерименту вижила значно менша частка вибірки порівняно з амурським чебачком.

Інвазивний вид амурський чебачок характеризувався значною чутливістю та водночас високою резистентністю до дії фенолу. Незалежно від того, що в концентрації фенолу 0,01 мг/дм³ відбувалась незначна загибель риб, в подальший період у всіх концентраціях переважна більшість вибірки (>80 %) проявила високу резистентність до дії фенолу. Ймовірно, у водоймах це дає змогу амурському чебачку шляхом природного добору починати формувати стійкі популяції навіть за дії мінімальних концентрацій токсикантів.

Варто зазначити, що для збереження популяції за дії негативних умов існування в природних водоймах важливим чинником також є біологічні особливості розмноження риб (тип нересту, екологічні групи). На відміну від гірчака європейського, амурський чебачок має порційний тип нересту, який не залежить від специфічного нерестового субстрату, що забезпечує пришвидшення природного добору стійких особин і надає йому додаткові переваги для виживання в умовах, що змінюються, та робить цей вид високопластичним, зокрема до дії токсичного забруднення.

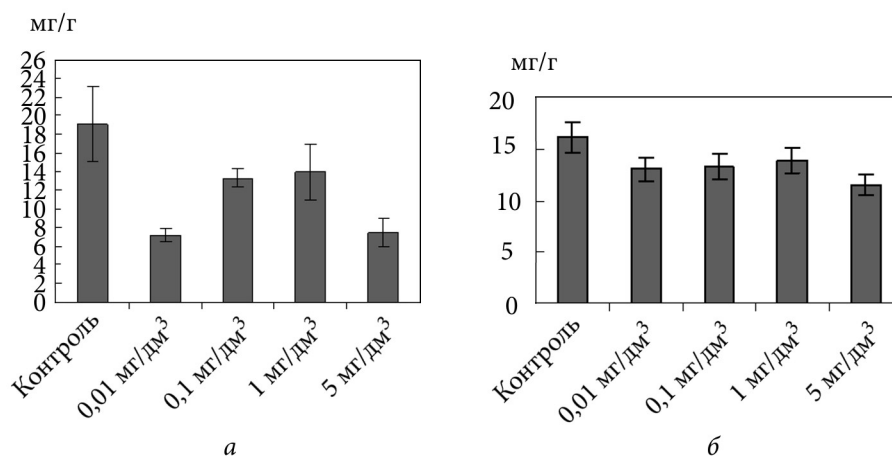


Рис. 3. Вміст загальних ліпідів у амурського чебачка (а) та гірчака європейського (б) під впливом фенолу ($M \pm m$, $n = 5-8$)

Особливості біохімічних реакцій. Оцінка фізіолого-біохімічного стану гірчака європейського та амурського чебачка, які вижили у різних концентраціях фенолу і характеризувалися високою токсикорезистентністю, показала, що гірчак європейський у процесах пристосування до негативних умов меншою мірою використовує ліпіди, ніж амурський чебачок. Так, за концентрацій фенолу 0,01—5,0 мг/дм³ вміст ліпідів у м'язовій тканині гірчака європейського та амурського чебачка знизився ($P \leq 0,05$) відповідно на 63—27 та 28,5—13,6 % порівняно з контролем (рис. 3).

Крім того, нами було виявлено зниження вмісту білків у тканинах м'язів обох досліджуваних видів (рис. 4). Слід зауважити, що особини амурського чебачка під дією сполук фенолів інтенсивніше, ніж особини гірчака європейського, залучають білки як додаткові джерела енергії. Відомо, що у стані стресу білки можуть використовуватись для енергетичної підтримки організму для виживання за дії токсичних сполук. Встановлено, що за заданих концентрацій у амурського чебачка вміст білка був недостовірно меншим, ніж у контролі (див. рис. 4), а у гірчака європейського відмічено його достовірне зменшення, але лише за концентрацій 0,1 та 5,0 мг/дм³. Отримані результати використання енергетичних резервів гірчака європейського та амурського чебачка ілюструють реакції цих риб на дію фенолу. Амурський чебачок використовує ліпіди більш активно, ніж гірчак європейський.

Далі нами було проаналізовано зміну активності ферментів енергетичного обміну, зокрема лактатдегідрогенази (ЛДГ), яка бере участь у реакціях гліколізу [18], та сукцинатдегідрогенази (СДГ), яка бере участь як у електронному транспортному ланцюжку, так і у циклі трикарбонових кислот [9, 17]. Було встановлено, що під впливом фенолу в концентраціях 0,01, 0,1, 1,0 та 5,0 мг/дм³ активність ЛДГ у м'язах піддослідних груп амурського чебачка [2] та гірчака європейського зроста відповідно у 1,9,

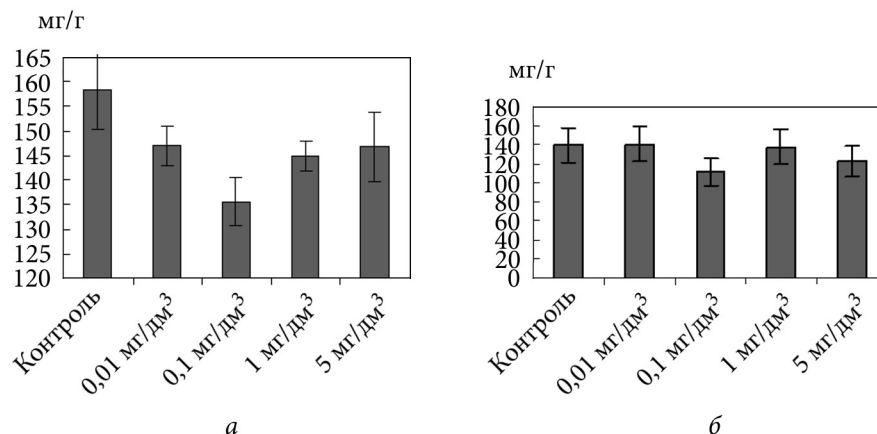


Рис. 4. Вміст загального білка в м'язах амурського чебачка (а) та гірчака європейського (б) під впливом фенолу ($M \pm m$, $n = 5-8$)

2,1, 1,6 та 1,6 і 1,6, 2,8, 4,1 та 2,8 рази ($P \leq 0,05$) відносно контролю (рис. 5). Це може вказувати на наявність напруженого фізіологічного стану в організмі обох видів риб. Варто зазначити, що активність ЛДГ у контрольній групі амурського чебачка перевищує відповідний показник у контрольній групі гірчака європейського у 4,3 рази. Це ілюструє відмінності аборигенного та інвазійного видів.

У м'язах гірчака європейського було встановлено більшу, ніж у контролі, активність СДГ відповідно до заданих концентрацій фенолу (0,01, 0,1, 1,0 та 5,0 мг/дм³) — у 3,6, 3,7, 3,5 і 2,2 разів. За менших концентрацій фенолу (0,01 та 0,1 мг/дм³) у м'язах амурського чебачка достовірної відмінності у активності СДГ щодо контролю встановлено не було. За вищих концентрацій токсиканту (1,0 та 5,0 мг/дм³) активність цього ферменту була більшою, ніж у контролі, відповідно у 2,0 та 1,7 разів (рис. 6) [2]. Це може вказувати на інтенсифікацію аеробних процесів при високих концентраціях токсичної речовини.

За активністю цього ферменту в контрольних групах риб теж існує суттєва відмінність між двома видами, оскільки активність СДГ у амурського чебачка була у 5,5 рази нижчою, ніж у гірчака європейського.

У м'язах гірчака європейського в усіх дослідних риб було встановлено збільшення активності ЛДГ та СДГ відповідно до заданих концентрацій фенолу. У амурського чебачка збільшення активності обох ферментів відбулось лише за найбільших концентрацій фенолу (1,0 та 5 мг/дм³).

Описані біохімічні реакції амурського чебачка та гірчака європейського на дію фенолу вказують на загальне посилення енергетичного обміну, що забезпечує залучення додаткової кількості енергії для подолання токсичного впливу та наслідків стресу. Характерно те, що види відрізняються між собою за біохімічними реакціями. Так, у гірчака євро-

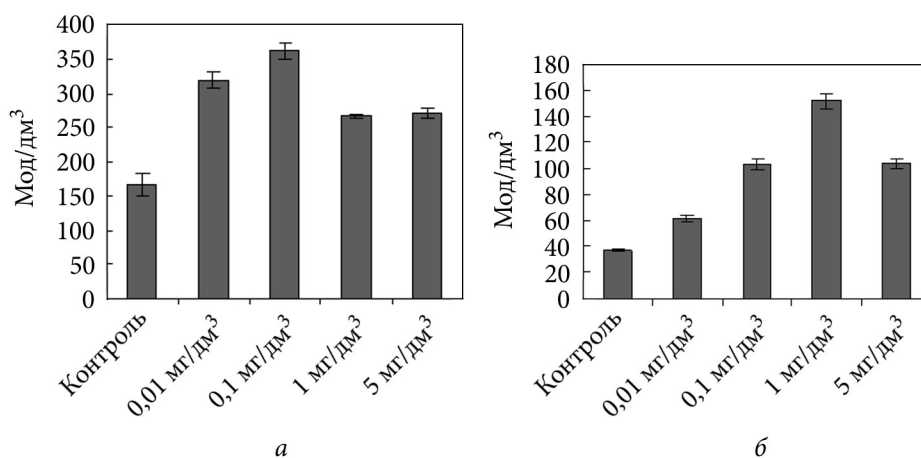


Рис. 5. Активність лактатдегідрогенази у м'язах амурського чебачка (а) та гірчака європейського (б) під впливом фенолу ($M \pm m$, $n = 5-8$)

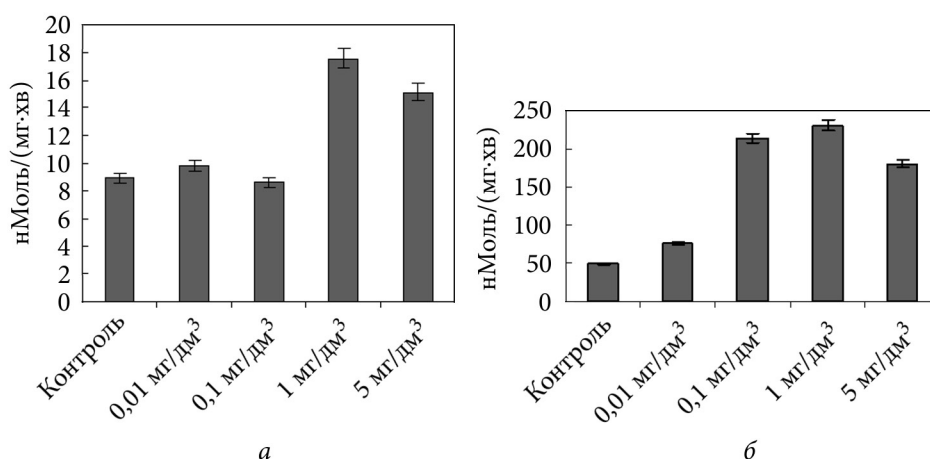


Рис. 6. Активність сукцинатдегідрогенази у м'язах амурського чебачка (а) та гірчака європейського (б) під впливом фенолу ($M \pm m$, $n = 5-8$)

пейського більшою мірою задіюються аеробні окисно-відновні процеси, тоді як у амурського чебачка, навпаки, — анаеробні, незважаючи на те, що вони є енергозатратнішими. Можливо, із цим також пов'язане істотне зменшення вмісту ліпідів і білків у тканинах амурського чебачка порівняно з гірчаком європейським.

Вплив досліджуваних концентрацій фенолу спричинив зміни в активності лужної фосфатази (ЛФ), яка каталізує реакції відщеплення фосфату від різноманітних молекул, зокрема білків, нуклеотидів. Зміни активності ЛФ часто використовують як індикатор наявності стресових

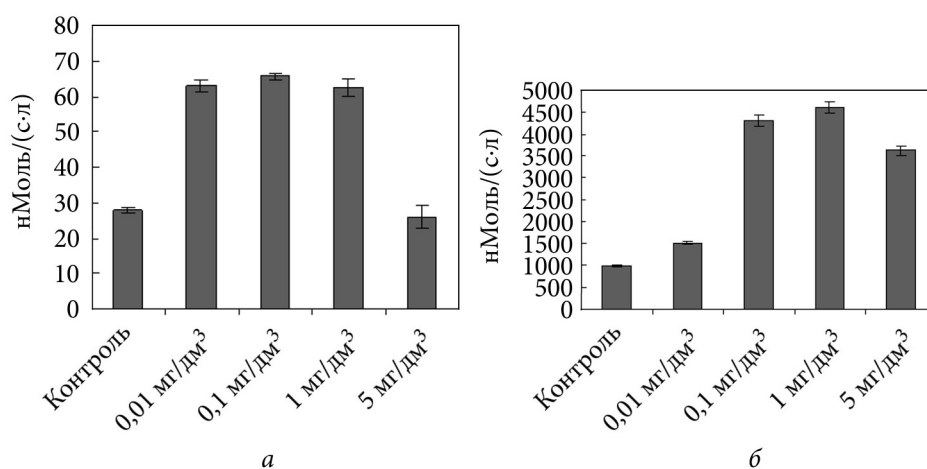


Рис. 7. Активність лужної фосфатази у м'язах амурського чебачка (а) та гірчака європейського (б) під впливом фенолу ($M \pm m$, $n = 5-8$)

явищ [14, 21]. Було встановлено, що у обох видів риб у всіх дослідних концентраціях (0,01—5 мг/дм³) активність ЛФ збільшилась: у гірчака європейського — на 35,2, 77,1, 78,7 та 72,8 % ($P \leq 0,05$), а у амурського чебачка — на 54,3, 56,7, 55,1 та 9,5 % ($P \leq 0,05$) (рис. 7). Як показано раніше [3], за дії іншого референтного токсиканту (калію дихромату) у концентрації 2,5—20,0 мг/дм³ у гірчака європейського та амурського чебачка активність цього ферменту пригнічувалась, що вказує на особливості перебігу біохімічних реакцій за дії різних токсикантів.

За дії фенолу в дослідних риб відбулась активація процесів фосфорилування, що необхідно для забезпечення протидії негативному впливу зазначеного токсиканту. За концентрації 5,0 мг/дм³ у гірчака європейського та амурського чебачка відбувається посилення активності ЛФ меншою мірою, ніж за дії інших дослідних концентрацій. Це може вказувати на певне виснаження організму як аборигенного, так і інвазійного виду риб. Про це свідчить зростання кількості летальних випадків у дослідних концентраціях (див рис. 1, 2).

Висновки

Отримані результати щодо резистентності та фізіолого-біохімічних реакцій амурського чебачка та гірчака європейського на дію різних концентрацій фенолу (0,01, 0,1, 1,0 та 5,0 мг/дм³) впродовж 14 діб вказують на більшу життєздатність інвазійного виду — амурського чебачка порівняно з аборигенним гірчаком європейським. Це яскраво проілюстровано за дії найбільшої концентрації фенолу (5 мг/дм³), при якій смертність амурського чебачка становила 22 %, тоді як смертність гірчака європейського — 88 %.

З'ясовано, що особини амурського чебачка за дії різних концентрацій фенолу істотно відрізняються за фізіологічними (поведінковими) реакціями. Це вказує на те, що амурський чебачок раніше реагує на зміни умов існування. За рахунок таких реакцій у природних водоймах амурський чебачок може швидше, ніж гірчак європейський, мігрувати із забрудненої зони. В умовах експерименту це давало йому можливість раніше перелаштовувати метаболізм для подолання токсичного стресу, який спричинив значну загибель особин гірчака європейського за аналогічних умов.

Встановлено, що дослідні види характеризуються різними шляхами подолання стресу та різними фізіологічними та біохімічними особливостями.

Так, збуджений стан та висока рухливість амурського чебачка супроводжувались зростанням активності досліджуваних ферментів, передусім ЛДГ (у 1,6—2,1 раза) та ЛФ (на 9,5—56,7 %). Також активно використовувались енергоємні сполуки (ліпіди та білки), ймовірно для забезпечення високої активності ферментів. Це можна розглядати як специфічну фізіолого-біохімічну стратегію інвазійного виду риб.

Дослідні види відрізняються за активністю СДГ. Якщо у гірчака європейського активність цього ферменту значно зросла у всіх дослідних групах (у 2,2—3,6 раза), то у амурського чебачка вона збільшилась лише за високих концентрацій фенолу — 1,0 та 5,0 мг/дм³ (відповідно у 1,9 та 1,7 раза щодо контролю). Вміст ліпідів і білків у м'язах гірчака європейського зменшився, але статистично недостовірно, що може вказувати на їхнє незначне залучення у забезпечення високої активності дослідних ферментів. Збільшення активності ЛДГ, СДГ та ЛФ могло здійснюватись за рахунок інших швидкодоступних енергоємних сполук.

Характерно, що за рівнем активності ЛФ амурський чебачок, на відміну від гірчака європейського, миттєво реагує на найменші концентрації фенолу (0,01 мг/дм³). Таким чином, амурський чебачок завчасно перелаштовує свій метаболізм на продукування більшої кількості енергії, необхідної для адаптації до негативного чинника. Така стратегія надає цьому виду можливість розширювати свій ареал. Особливості фізіолого-біохімічної реакції амурського чебачка на діючий чинник, а також еколого-фізіологічні характеристики забезпечують його резистентність і домінування у надмірно забруднених природних водоймах, не придатних для існування риб-конкурентів і хижаків.

Список використаної літератури

1. Вогнівенко Л.П., Євтушенко М.Ю., Шевряков М.В., Пентиліук С.І. Біохімія гідробіонтів. Херсон : Олді-плюс, 2009. 536 с.
2. Коваленко Ю.О. Вплив фенолу на активність ферментів енергетичного та азотного обміну в м'язах молоді чебачка звичайного. Водні екосистеми та збереження їх біорізноманіття : матеріали I Всеукр. наук-практ. конф. Житомир, 11—12 квіт. 2018 р. Житомир, 2018. С. 19—22.

3. Коваленко Ю.О., Потрохов О.С., Зінковський О.Г. Фізіолого-біохімічні особливості реакції гірчака звичайного за хронічної дії дихромату калію. *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біологія*. 2018. Т. 74, № 3—4. С. 58—66.
4. Методы биохимических исследований (липидный и энергетический обмен) / под ред. проф. М.И. Прохоровой. Ленинград : Изд-во Ленинград. ун-та, 1982. 272 с.
5. Петрук В.Г., Ранський А.П., Васильківський І.В. та ін. Технології знезараження непридатних пестицидів : навч. посібник. Вінниця : Вінницьк. нац. техн. ун-т, 2012. 265 с.
6. Резніков О.Г. Проблеми етики при проведенні експериментів медичних та біологічних досліджень на тваринах України. *Вісн. НАН України*. 2001. № 11. С. 30—33.
7. Стан підземних вод України : щорічник / за ред.: В.С. Лабузна, В.Ф. Величко. Київ : ДНВП «Геоінформ України», 2019. 131 с.
8. Томільцева А.І., Яцик А.В., Мокін В.Б. Екологічні основи управління водними ресурсами : навч. посібник. Київ : Ін-т екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. 200 с.
9. Chitra K.C., Sajitha R. Effect of bisphenol-a on the antioxidant defense system and its impact on the activity of succinate dehydrogenase in the gill of freshwater fish, *Oreochromis mossambicus*. *J. of Cell & Tissue Research*. 2014. № 14 (2). P. 4219—4226.
10. Hori T.S., Avilez I.M., Inoue L.K., Moraes G. Metabolical changes induced by chronic phenol exposure in matrinxn *Brycon cephalus* (Teleostei: Characidae) juveniles. *Comp. Biochem. Physiol. C Toxicol. Pharmacol.* 2006. Vol. 143, N 1. P. 67—72.
11. Jia Y., Kennard M. J., Liu Y. et al. Understanding invasion success of *Pseudorasbora parva* in the Qinghai-Tibetan Plateau: Insights from life-history and environmental filters. *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 694. P. 133—139.
12. Karabanov D.P., Kodukhova Y.V., Artaev O.N., Levin B.A. The topmouth gudgeon *Pseudorasbora parva* (Temminck et Schlegel, 1846) (Actinopterygii: Cyprinidae): A new species in the ichthyofauna of the Republic of Abkhazia. *Inland Water Biology*. 2016. Vol. 9 (1). P. 104—106.
13. Kovalenko Yu.O., Prychepa M.V., Potrokhov O.S., Zinkovskyi O.G. Impact of antropogenic pollution on activity of the energy metabolism enzymes in *Carassius auratus* and *Scardinius erythrophthalmus*. *Hydrobiol. J.* 2021. Vol. 57, N 1. P. 47—57.
14. Liu Wei, Zhang Xiu-Mei, Wang Li-Bo Digestive enzyme and alkaline phosphatase activities during the early stages of *Silurus soldatovi* development. *Zool. Research*. 2010. N 31 (6). P. 627—632.
15. Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L., Randall R.J. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 1951. Vol. 193, N 1. P. 265—275.
16. Mukherjee D., Bhattacharya S., Kumar V., Moitra J. Biological significance of [C]-phenol accumulation in different organs of a murrel *Channa punctatus*, and the common carp, *Cyprinus carpio*. *Biomed. Environ. Sci.* 1990. Vol. 3. P. 337—342.
17. Nath A.K., Ryu J.H., Jin Y.N. et al. PTPMT1 Inhibition Lowers Glucose through Succinate Dehydrogenase Phosphorylation. *Cell Reports*. 2015. N 10 (5). P. 694—701.
18. Neelima P., Rao K.G., Rao N.G., Jammu C.S.R. Enzymatic alterations as biomarkers of cypermethrin (25% EC) toxicity in a freshwater fish, *Cyprinus carpio* (Linn.). *Intern. J. Fish. Aquat. Stud.* 2015. N 3 (1). P. 149—158.
19. Powell C.S., Jackson R.M. Mitochondrial complex I, aconitase, and succinate dehydrogenase during hypoxia-reoxygenation: modulation of enzyme activities by MnSOD. *Amer. J. of Physiology — Lung Cellular and Molecular Physiology*. 2003. N 285 (1). P. 189—198.
20. Remya Varadarajan H.S.H., Jose J., Philip B. Sublethal effects of phenolic compounds on biochemical, histological and ionoregulatory parameters in a tropical teleost fish *Oreochromis mossambicus* (Peters). *Intern. J. Sci. and Res. Publ.* 2014. Vol. 4 (3). P. 2250—3153.

21. Saha N.C., Bhunia, F., Kaviraj A. Toxicity of Phenol to Fish and Aquatic Ecosystems. *Bull. of Environ. Contamination and Toxicology*. 1999. Vol. 63 (2). P. 195—202. doi:10.1007/s001289900966.

22. Wang X.N., Liu, Z.T., Yan Z.G. et al. Species sensitivity evaluation of *Pseudorasbora parva*. *Huan jing ke xue = Huanjing kexue*. 2013. Vol. 34 (6). P. 2329—2334.

Надійшла 20.04.2021

Yu.O. Kovalenko, PhD, Senior Engineer,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
12 Geroyiv Stalingrada Ave, Kyiv, 04210, Ukraine,
e-mail: Kovalenkoyuliiia888@gmail.com
ORCID 0000-0003-4818-4542

O.S. Potrokhov, Dr. Sci. (Biol.), Senior Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine
12 Geroyiv Stalingrada Ave, Kyiv, 04210, Ukraine
ORCID 0000-0002-8274-6898

M.V. Prychepa, PhD (Biol.), Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine
12 Geroyiv Stalingrada Ave, Kyiv, 04210, Ukraine
ORCID 0000-0002-3114-2402

FEATURES OF PHYSIOLOGICAL-BIOCHEMICAL REACTIONS OF STONE
MOROKO *PSEUDORASBORA PARVA* AND EUROPEAN BITTERLING *RHODEUS
AMARUS* ON THE ACTION OF PHENOL

The penetration of alien fish species into water bodies and watercourses in combination with an intense anthropogenic load leads to a significant load on the aboriginal ichthyofauna, which is especially noticeable in water bodies of urban agglomeration. Considering this problem, the article discusses the resistance and physiological and biochemical reactions of *Pseudorasbora parva* (Temminck & Schlegel, 1846) and *Rhodeus amarus* (Bloch, 1782) when exposed to phenol. In model experiments, the effect of phenol concentrations (0,01, 0,1, 1,0 and 5,0 mg/dm³) was studied for 14 days. According to the research results, the high resistance of *Pseudorasbora parva* to the action of phenol was confirmed relative to *Rhodeus amarus*. When exposed to phenol 5,0 mg/dm³ for 14 days, the mortality rate of *R. amarus* was 88%, and *P. parva* 22 %. Physiological and biochemical reactions of *P. parva* were accompanied by an increase in the activity of lactate dehydrogenase (1,6—2,1 times) and alkaline phosphatase (by 9,5—56,7%), a significant consumption of energy-intensive substances, in particular lipids and proteins. However, *R. amarus* reacted by increasing the activity of succinate dehydrogenase (by 2,2—3,6 times) and alkaline phosphatase (by 35,2—72,8%), as well as by mainly using conventional lipids rather than proteins. This indicates a significant participation of aerobic redox processes in adaptive reactions of this type to the action of phenol. It was shown that the aboriginal species *R. amarus* and the invasive *P. parva* use different mechanisms of adaptation to the effects of high phenol concentrations.

Keywords: phenol, *Pseudorasbora parva*, *Rhodeus amarus*, resistance, biochemical reactions, enzyme activity, energy-intensive compounds.