

ЕКОЛОГІЧНА ФІЗІОЛОГІЯ І БІОХІМІЯ ВОДНИХ ТВАРИН

УДК 547.953(639.215.2+639.214):546.723

В.О. ХОМЕНЧУК, к. б. н., доцент, доцент,
Тернопільський національний педагогічний університет,
вул. Максима Кривоноса 2, Тернопіль, 46027, Україна
e-mail: khomenchuk@tnpu.edu.ua

О.О. РАБЧЕНЮК, к. б. н., лаборант,
Тернопільський національний педагогічний університет,
вул. Максима Кривоноса 2, Тернопіль, 46027, Україна

Ю.І. СЕНИК, к. б. н., лаборант,
Тернопільський національний педагогічний університет,
вул. Максима Кривоноса 2, Тернопіль, 46027, Україна

Г.М. ГОЛІНЕЙ, к. с-г. н., доцент, доцент,
Тернопільський національний педагогічний університет,
вул. Максима Кривоноса 2, Тернопіль, 46027, Україна

В.З. КУРАНТ, д. б. н., професор,
Тернопільський національний педагогічний університет,
вул. Максима Кривоноса 2, Тернопіль, 46027, Україна

ФОСФОЛІПІДНИЙ СКЛАД ТКАНИН КОРОПА І ШУКИ ЗА ДІЇ ЙОНІВ Fe^{3+}

*Досліджено фракційний склад фосфоліпідів зябер, печінки, нирок і м'язів коропа (*Surpinus carpio* L.) і щуки (*Esox lucius* L.) за дії 0,2 та 0,5 мг/дм³ йонів Fe^{3+} у воді, що становить 2 та 5 ГДК_{рибгосп}. Встановлено, що зміни відносного вмісту фосфоліпідів у тканинах риб є видоспецифічними і залежними від концентрації йонів Fe^{3+} . У цілому зміни співвідношення фосфоліпідів тканин коропа та щуки за дії підвищених концентрацій йонів Fe^{3+} спрямовані на підтримання ефективного функціонування біологічних мембран з метою їх адаптації до дії стрес-чинника.*

Ключові слова: короп, щука, зябра, печінка, нирки, м'язи, фосфоліпіди, йони Fe^{3+} .

Зростання надходження металів у довкілля із антропогенних джерел та внаслідок порушення колообігів мінеральних елементів у земній корі призводить до збільшення їх вмісту у водному середовищі, що зумовлює накопичення металів у організмі гідробіонтів та веде до зниження продуктивності екосистем [18, 31]. Входячи до складу живого, сполуки металів визначають фізіологічні функції організму та є регуляторами багатьох біохімічних процесів. Біологічна дія металів неоднозначна: з одного боку, у незначних кількостях вони необхідні для нормального перебігу

Ц и т у в а н н я: Хоменчук В.О., Рабченко О.О., Сенік Ю.І., Голіней Г.М., Курант В.З. Фосфоліпідний склад тканин коропа і щуки за дії йонів Fe^{3+} . *Гідробіол. журн.* 2020. № 2 (332). С. 59—69.

ISSN 0375-8990 Гідробіологічний журнал. 2020. № 2 (332)

59

фізіолого-біохімічних процесів, а з іншого — при підвищеному вмісті діють як токсиканти. Тому нормальне функціонування організму визначається наявністю у клітинах оптимальної кількості металів та формою їх надходження [16, 17].

Ферум є одним з найбільш поширених елементів у земній корі, але через низьку міграційну здатність його концентрація у природних водах дуже низька і його прийнято відносити до числа мікроелементів [31]. Співвідношення між формами Fe у природних водах залежить від температури, рН, наявності хелатуючих агентів і вмісту кисню [22], він є необхідним для життєдіяльності тварин у середовищі, багатому на кисень [20].

Разом з тим, зростання концентрації Fe у водному середовищі може призводити до його біоконцентрування в організмі риб, що значною мірою впливає на стан їх популяцій [15], оскільки надмірне надходження модифікує всі ланки метаболізму і може мати виражений токсичний ефект [20]. На даний час особливості фосфоліпідного складу тканин риб за дії підвищених концентрацій Fe у воді досліджені недостатньо. Модифікація фосфоліпідів клітинних мембран риб з однієї сторони лімітує проникнення йонів металу до організму, а з іншої — забезпечує їх посилену екскрецію з організму [8]. Саме тому значний практичний та теоретичний інтерес становить дослідження впливу підвищених концентрацій йонів Fe³⁺ у воді на вміст та співвідношення фосфоліпідів у тканинах прісноводних риб.

Матеріал і методика досліджень

Дослідження проведено на дворічках коропа (*Cyprinus carpio*) і щуки (*Esox lucius*) середньою масою 300—350 г. Риб утримували в акваріумах об'ємом 200 л з відстояною водопровідною водою та стандартним гідрохімічним режимом (вміст O₂ — 7,5 ± 0,5 мг/дм³, CO₂ — 2,5 ± 0,3 мг/дм³, рН — 7,8 ± 0,1). Досліджували фосфоліпідний склад окремих тканин риб за дії йонів Fe³⁺ у концентраціях 0,2 і 0,5 мг/дм³, що відповідали 2 та 5 ГДК [5]. Необхідні концентрації йонів металу у воді створювали внесенням солі FeCl₃ × 6 H₂O кваліфікації «х. ч.». У зазначених умовах риб утримували 14 діб, що є достатнім для формування адаптивної відповіді на дію стрес-чинника [10, 11]. Риб під час експерименту не годували.

Для біохімічного дослідження вмісту ліпідів та їх окремих класів були використані зразки зябер, печінки, нирок і м'язів. Тканини подрібнювали на холоді у скляних гомогенізаторах з наступним екстрагуванням загальних ліпідів з тканини хлороформ-метаноловою сумішшю у відношенні 2 : 1 за методом Фолча [21]. До однієї масової частини тканини додавали 20 частин екстрагуючої суміші і залишали на 12 год для екстракції. Неліпідні домішки з екстракту видаляли відмиванням 1%-ним розчином KCl [6].

Розділення фосфоліпідів на окремі фракції проводили методом висхідної одновірної тонкошарової хроматографії на пластинках Sorbfil. Для визначення фракцій фосфоліпідів пластинки елюювали у суміші хло-

роформ — метанол — льодяна оцтова кислота — дистильована вода у співвідношенні 60 : 30 : 7 : 3. Одержані хроматограми проявляли у камері, насиченій парами йоду, для ідентифікації окремих фракцій ліпідів використовували специфічні реагенти і очищені стандарти [2]. Кількість фосфоліпідів визначали за методом Васьковського [30].

Було ідентифіковано такі фракції: лізофосфатидилхолін (ЛФХ), фосфатидилсерин (ФС), фосфатидилетаноламін (ФЕА), фосфатидилхолін (ФХ), фосфатидилінозитол (ФІ) та сфінгомієлін (СМ). Всі одержані експериментальні дані піддавали статистичній обробці за загальноприйнятою методикою з використанням *t*-критерію Стьюдента [4].

Результати досліджень та їх обговорення

За дії йонів Fe³⁺ відмічено додозалежні та видоспецифічні зміни фосфоліпідного спектру клітин зябер досліджуваних видів риби. Так, за дії 2 ГДК частки ФХ у зябрах коропа зростає у 2,05 разу (табл. 1), що може бути пов'язане з активацією його синтезу з ФЕА за участю метилтрансфераз [24]. Це підтверджується достовірним зниженням вмісту ФЕА у зябрах в 1,49 разу. Очевидно, що внаслідок зниження відносного вмісту ФЕА відбувається активація шляхів відновлення його пулу, одним з яких є декарбоксілювання ФС [25], що у свою чергу підтверджується зниженням вмісту останнього в 1,63 разу.

Таблиця 1

Вміст окремих класів фосфоліпідів (% загального вмісту) у зябрах риби за дії йонів Fe³⁺

Класи ФЛ	Контроль	0,2 мг/дм ³	0,5 мг/дм ³
Короп			
ЛФХ	5,74 ± 0,64	7,21 ± 0,30*	10,93 ± 0,52*
ФХ	16,90 ± 0,81	34,76 ± 0,31*	7,04 ± 0,30*
ФС	8,83 ± 0,22	5,38 ± 0,61*	2,26 ± 0,38*
ФІ	8,11 ± 0,84	11,38 ± 0,85*	2,47 ± 0,37*
ФЕА	53,73 ± 1,27	36,03 ± 0,74*	75,00 ± 0,99*
СМ	6,71 ± 0,46	5,25 ± 0,46*	2,30 ± 0,38*
Щука			
ЛФХ	7,38 ± 1,05	14,39 ± 0,56*	22,87 ± 1,55*
ФХ	24,59 ± 1,48	16,00 ± 0,84*	19,77 ± 0,67*
ФС	6,26 ± 1,00	3,12 ± 0,37*	4,99 ± 0,93*
ФІ	9,75 ± 0,78	5,02 ± 0,88*	5,35 ± 0,53*
ФЕА	41,31 ± 2,20	56,55 ± 2,08*	37,82 ± 2,50
СМ	10,72 ± 0,77	4,93 ± 0,29*	9,21 ± 0,81

* Тут і далі зміни порівняно з контролем достовірні ($p < 0,05$); $M \pm m$, $n = 5$.

Дія обох концентрацій у щуки та 5 ГДК у коропа індукували подібні зміни фосфоліпідного профілю. Так, відмічена загальна тенденція до зниження відносного вмісту ФХ та зростання — ЛФХ. Такі зміни вказують на інтенсифікацію процесів гідролізу ФХ внаслідок активації йонами металу лізосомальної фосфоліпази A_2 [27].

Частки ФЕА в зябрах обох видів риб зростали, що може бути викликано як інгібуванням йонами Fe^{3+} його перетворення у ФХ [1] за участю метилтрансфераз [24], так і можливою активацією його синтезу із ФС за участю фосфатидилсериндекарбоксилази [3, 9], оскільки вміст ФС у досліджуваній тканині риб знижувався. Такі зміни вмісту ФЕА можна розглядати як один з механізмів адаптації клітин риб до дії йонів Fe^{3+} , оскільки відомо, що його накопичення веде до ущільнення мембрани [23]. Відмічено також зниження частки ФІ у зябрах риб, що може бути компенсаторною реакцією на розвиток гіперкальцемії внаслідок дії йонів Fe^{3+} [12].

Для оцінки фізіолого-біохімічних змін в організмі риб було розраховано коефіцієнти відношення вмісту фракцій фосфоліпідів (табл. 2).

За дії 2 ГДК встановлено вірогідне збільшення відношення ФХ/(ФЕА+ФІ+ФС) у клітинах зябер коропа у 2,38 разу, що вказує на збільшення частки ліпідів зовнішнього шару мембрани. Відношення СМ/ФХ знизилось, а ФХ/ФС — зросло, що підтверджує інтенсифікацію синтезу ФХ з його попередників — ФЕА і ФС. За дії обох концентрацій Fe^{3+} у щуки та 0,5 мг/дм³ металу у коропа відношення ФХ/(ФЕА+ФІ+ФС) знижувалось, що вказує на накопичення ФЛ внутрішнього шару мембрани та сприяє збільшенню її мікрров'язкості. За впливу підвищених концентрацій йонів Fe^{3+} відмічена загальна тенденція зростання відношень ФХ/ФС та ФЕА/ФС, що може свідчити про перетворення ФС у ФЕА внаслідок його декарбоксилювання [3]. Зростання відношення СМ/ФХ у

Таблиця 2

Відношення різних фракцій фосфоліпідів у зябрах риб за дії йонів Fe^{3+}

Показники	Контроль	0,2 мг/дм ³	0,5 мг/дм ³
Короп			
ФХ/(ФЕА + ФІ + ФС)	0,24 ± 0,04	0,57 ± 0,08*	0,09 ± 0,01*
ФХ/ФС	1,91 ± 0,13	4,60 ± 0,32*	3,12 ± 0,23*
ФЕА/ФС	6,08 ± 0,21	6,49 ± 0,39	33,12 ± 0,53*
СМ/ФХ	0,4 ± 0,03	0,21 ± 0,04*	0,32 ± 0,02*
Щука			
ФХ/(ФЕА + ФІ + ФС)	0,43 ± 0,09	0,25 ± 0,04*	0,31 ± 0,05
ФХ/ФС	3,93 ± 0,32	5,13 ± 0,15*	4,96 ± 0,28
ФЕА/ФС	6,60 ± 0,29	18,13 ± 0,64*	7,58 ± 0,27*
СМ/ФХ	0,43 ± 0,04	0,31 ± 0,04*	0,52 ± 0,02*

з'ябрах щуки за впливу 5 ГДК вказує на перерозподіл фракцій ФЛ зовнішнього шару мембрани, що сприяє збільшенню її щільності.

Зміни фракційного складу ФЛ у печінці риб за впливу іонів Fe^{3+} характеризувалися видовою специфікою. Так, за дії 2 ГДК у коропа відмічено збільшення частки ФХ і СМ відповідно у 2,65 і 1,64 разу, а за дії 5 ГДК — відповідно в 1,70 і 2,12 разу (табл. 3). Вміст ФЕА у печінці коропа за дії 2 та 5 ГДК знизився відповідно у 2,23 і 1,44 разу. За дії 2 ГДК вмісту ФІ зріс у 1,72 раз, а за дії 5 ГДК — знизився, що ймовірно, зумовлено негативним впливом Fe^{3+} на ензими, що беруть участь у метаболізмі ФІ [28]. За дії 2 ГДК частка ФС зросла в 1,24 разу, що, ймовірно, є компенсаторною реакцією на інтенсифікацію використанням ФЕА як попередника холінвмісних ФЛ. У той же час за дії 5 ГДК його частка знизилась, що пов'язано з можливістю використання ФС як попередника у синтезі ФЕА, адже кількість останнього зросла порівняно з дією 2 ГДК.

Зміни у співвідношенні ФЛ печінки щуки в експерименті аналогічні змінам у з'ябрах. Так, частка ФХ знизилась, а ЛФХ — зросла, при цьому найвища інтенсивність гідролізу фосфатидилхоліну фосфоліпазою A_2 [27] була за дії 2 ГДК. Частка ФЕА зросла, а вміст ФС достовірно знизився. Відмінність полягає у збільшенні частки ФІ, що може бути зумовлене зростанням необхідності у регуляції пластичного обміну у гепатоцитах внаслідок зростання кількості акумульованого металу [13, 19].

Таблиця 3

Вміст окремих класів (% загального вмісту) фосфоліпідів у печінці риб за дії іонів Fe^{3+}

Фракції	Контроль	0,2 мг/дм ³	0,5 мг/дм ³
Короп			
ЛФХ	3,22 ± 0,49	8,99 ± 0,66*	18,30 ± 0,95*
ФХ	11,97 ± 0,57	31,71 ± 0,23*	20,37 ± 0,66*
ФС	8,61 ± 0,58	10,65 ± 0,12*	1,79 ± 0,24*
ФІ	5,57 ± 0,52	9,57 ± 1,08*	1,82 ± 0,11*
ФЕА	64,53 ± 1,12	28,97 ± 0,87*	44,79 ± 1,71*
СМ	6,11 ± 0,35	10,11 ± 0,38*	12,94 ± 0,65*
Щука			
ЛФХ	4,82 ± 0,87	9,79 ± 0,23*	15,18 ± 1,08*
ФХ	15,32 ± 0,79	4,84 ± 0,35*	11,11 ± 0,51*
ФС	5,69 ± 0,82	3,01 ± 0,38*	2,37 ± 0,57*
ФІ	2,51 ± 0,52	8,83 ± 0,63*	6,52 ± 0,85*
ФЕА	61,45 ± 1,46	71,33 ± 1,09*	61,07 ± 2,42
СМ	10,22 ± 0,62	2,21 ± 0,35*	3,77 ± 0,73*

Одержані відношення вмісту окремих фракцій фосфоліпідів (табл. 4) підтверджують описані вище перебудови клітинної мембрани. Так, за дії обох досліджених концентрацій металу встановлено вірогідне збільшення відношення ФХ/(ФЕА+ФІ+ФС) у клітинах печінки коропа, що вказує на збільшення частки ліпідів зовнішнього шару мембрани. Подібна асиметрія розміщення фосфоліпідів сприяє модуляції її проникності. Дозозалежне зростання показників ФХ/ФС і ФЕА/ФС підтверджує інтенсифікацію синтезу ФХ з його попередників — ФЕА і ФС. Зниження відношення СМ/ФХ за дії 2 ГДК зумовлене достовірним накопиченням ФХ і незначним достовірним зростанням частки СМ порівняно з контрольними значеннями.

У печінці щуки відмічено протилежний характер змін відношень фракцій ФД. Вірогідне зниження відношення ФХ/(ФЕА+ФІ+ФС) вказує на накопичення фосфоліпідів внутрішнього шару мембрани. Зниження ФХ/ФС та зростання ФЕА/ФС підтверджує інгібування синтезу ФХ. Зниження СМ/ФХ у печінці щуки свідчить про перерозподіл фракцій ФЛ зовнішнього шару мембрани за дії йонів Fe³⁺.

Аналіз отриманих результатів показав, що достовірні зміни часток окремих фракцій ФЛ у нирках встановлені у коропа і щуки за дії 5 ГДК (табл. 5). За дії 2 ГДК у коропа частка ФХ зросла в 1,24 разу, а ЛФХ — знизилась в 1,33 разу, при цьому частка ФЕА також знизилась (в 1,17 разу).

За дії 5 ГДК зміни ФЛ спектру у клітинах нирок обох досліджених видів були подібними. Так, частка ФХ зросла, а ФС — знизилась, що є наслідком зниження кількості ФЕА. Накопичення СМ, ймовірно, викликає активізацію перетворення ФХ у СМ [25].

За дії обох концентрацій Fe у коропа та за дії 5 ГДК у щуки відношення ФХ/(ФЕА+ФС+ФІ) зростало (табл. 6), що вказує на перебудову ліпід-

Таблиця 4

Відношення фракцій фосфоліпідів у печінці риб за дії йонів Fe³⁺

Показники	Контроль	0,2 мг/дм ³	0,5 мг/дм ³
Короп			
ФХ/(ФЕА+ФІ+ФС)	0,15 ± 0,03	0,64 ± 0,06*	0,42 ± 0,08*
ФХ/ФС	1,39 ± 0,15	2,98 ± 0,24*	11,38 ± 0,31*
ФЕА/ФС	7,49 ± 0,28	2,72 ± 0,17*	25,02 ± 0,39*
СМ/ФХ	0,51 ± 0,05	0,32 ± 0,07*	0,64 ± 0,05*
Щука			
ФХ/(ФЕА+ФІ+ФС)	0,22 ± 0,04	0,06 ± 0,01*	0,16 ± 0,01*
ФХ/ФС	2,69 ± 0,18	1,61 ± 0,12*	2,21 ± 0,16*
ФЕА/ФС	10,80 ± 0,25	23,69 ± 0,24*	25,77 ± 0,22*
СМ/ФХ	0,67 ± 0,07	0,46 ± 0,04*	0,34 ± 0,03*

ного метаболізму у бік накопичення фосфоліпідів зовнішнього шару мембрани. Опосередкованим підтвердженням таких змін є зростання відношення ФХ/ФС і ФЕА/ФС. За дії 2 ГДК у нирках щуки ФХ/(ФЕА+ФС+ФІ) знижувалось в 1,14 разу, що можна розглядати як адаптивну відповідь на дію іонів Fe³⁺.

Таблиця 5

Вміст окремих класів фосфоліпідів (% загального вмісту) у нирках риб за дії іонів Fe³⁺

Фракції	Контроль	0,2 мг/дм ³	0,5 мг/дм ³
Короп			
ЛФХ	5,30 ± 0,50	3,99 ± 0,36*	3,38 ± 0,15*
ФХ	39,82 ± 0,30	47,41 ± 0,23*	55,55 ± 0,26*
ФС	9,47 ± 0,79	8,65 ± 0,19	4,32 ± 0,28*
ФІ	6,35 ± 0,54	5,97 ± 0,28	5,82 ± 0,11*
ФЕА	32,70 ± 1,33	27,97 ± 0,47*	22,99 ± 0,31*
СМ	6,37 ± 0,41	6,01 ± 0,38	7,94 ± 0,65*
Щука			
ЛФХ	5,97 ± 0,64	5,53 ± 0,22	4,17 ± 0,14*
ФХ	34,87 ± 0,32	37,07 ± 0,23	44,25 ± 0,38*
ФС	13,69 ± 0,28	12,89 ± 0,21	9,85 ± 0,37*
ФІ	5,04 ± 0,17	5,42 ± 0,27	4,83 ± 0,15
ФЕА	33,41 ± 0,54	32,23 ± 0,19	28,17 ± 0,41*
СМ	7,03 ± 0,29	6,86 ± 0,25	10,73 ± 0,19*

Таблиця 6

Відношення різних фракцій фосфоліпідів в нирках риб за дії іонів Fe³⁺

Показники	Контроль	0,2 мг/дм ³	0,5 мг/дм ³
Короп			
ФХ/(ФЕА+ФІ+ФС)	0,82 ± 0,06	1,11 ± 0,08*	1,68 ± 0,10*
ФХ/ФС	4,21 ± 0,18	3,48 ± 0,14*	12,85 ± 0,26*
ФЕА/ФС	3,45 ± 0,21	3,23 ± 0,11	5,32 ± 0,09*
СМ/ФХ	0,16 ± 0,02	0,13 ± 0,02	0,14 ± 0,02
Щука			
ФХ/(ФЕА+ФІ+ФС)	0,67 ± 0,08	0,72 ± 0,06	1,03 ± 0,07*
ФХ/ФС	2,55 ± 0,12	2,88 ± 0,14	4,49 ± 0,16*
ФЕА/ФС	2,44 ± 0,15	2,50 ± 0,11	2,86 ± 0,12
СМ/ФХ	0,20 ± 0,02	0,19 ± 0,02	0,22 ± 0,03

Вплив йонів Fe^{3+} на м'язи досліджених риб викликав менш виражені зміни (табл. 7), ніж у зябрах і печінці, хоча вони і залежали від концентрації і виду риб [7]. У коропа частки ФХ знижувалась, а ЛФХ — зростала, що вказує на посилення ліполізу [27].

Таблиця 7

Вміст фракцій ФЛ (% загального вмісту) у м'язах риб за дії йонів Fe^{3+}

Фракції	Контроль	0,2 мг/дм ³	0,5 мг/дм ³
Короп			
ЛФХ	5,30 ± 0,50	6,79 ± 0,16*	7,88 ± 0,15*
ФХ	41,82 ± 0,30	35,41 ± 0,23*	30,74 ± 0,22*
ФС	7,47 ± 0,79	6,65 ± 0,16*	5,96 ± 0,23*
ФІ	3,35 ± 0,54	3,17 ± 0,28	3,22 ± 0,10*
ФЕА	35,70 ± 1,33	40,97 ± 0,25*	45,26 ± 0,37*
СМ	6,37 ± 0,41	7,01 ± 0,18*	7,54 ± 0,15*
Щука			
ЛФХ	5,97 ± 0,64	5,61 ± 0,16	4,87 ± 0,16*
ФХ	39,87 ± 1,08	44,07 ± 0,28*	50,09 ± 0,24*
ФС	8,69 ± 1,18	7,59 ± 0,61*	5,39 ± 0,30*
ФІ	5,04 ± 0,67	5,42 ± 0,27	4,89 ± 0,16
ФЕА	33,41 ± 1,24	29,23 ± 0,19	26,03 ± 0,56*
СМ	7,03 ± 0,55	8,06 ± 0,12*	8,73 ± 0,09*

Таблиця 8

Відношення фракцій фосфоліпідів у м'язах риб за дії йонів Fe^{3+}

Показники	Контроль	0,2 мг/дм ³	0,5 мг/дм ³
Короп			
ФХ/(ФЕА+ФІ+ФС)	0,89 ± 0,05	0,69 ± 0,05*	0,56 ± 0,08*
ФХ/ФС	5,61 ± 0,13	5,32 ± 0,19	5,16 ± 0,21
ФЕА/ФС	4,78 ± 0,26	6,16 ± 0,17*	7,59 ± 0,29*
СМ/ФХ	0,15 ± 0,02	0,20 ± 0,02*	0,24 ± 0,03*
Щука			
ФХ/(ФЕА+ФІ+ФС)	0,84 ± 0,05	1,04 ± 0,13*	1,38 ± 0,17*
ФХ/ФС	4,64 ± 0,09	5,80 ± 0,18*	9,29 ± 0,26*
ФЕА/ФС	3,84 ± 0,17	3,85 ± 0,22	4,83 ± 0,16*
СМ/ФХ	0,18 ± 0,03	0,18 ± 0,02	0,17 ± 0,03

Ймовірно, отримані показники пов'язані як з активацією ферментативної деградації ФХ, так і з інгібуванням йонами Fe^{3+} основного шляху його синтезу [24]. Загальна тенденція до збільшення вмісту СМ у зябрах риб, ймовірно, є результатом активації йонами металу перетворення ФХ у СМ [29], що призводить до структурно-функціональних змін у біомембранах [14]. Натомість у м'язах щуки було відмічено протилежний характер змін фосфоліпідного профілю. Так, за дії обох концентрацій Fe^{3+} частка ФХ зростала, тоді як частки ФЕА та ЛФХ знижувалися.

У м'язах коропа показника ФХ/(ФЕА+ФС+ФІ) знижувався (табл. 8), а ФЕА/ФС зростав, що вказує на активацію перетворення ФС у ФЕА внаслідок його декарбоксілювання. Відмічено загальну тенденцію до зростання відношення СМ/ФХ. У м'язах щуки відношення ФХ/(ФЕА+ФС+ФІ) зростало, що вказує на перебудову ліпідного метаболізму у бік накопичення фосфоліпідів зовнішнього шару біологічних мембран. Опосередкованим підтвердженням таких змін є зростання відношення ФХ/ФС та ФЕА/ФС.

Висновки

Співвідношення часток ФЛ у тканинах риб за дії іонів Fe^{3+} визначаються їх видовими особливостями, мають виражену тканинну специфіку і залежать від концентрації іонів у воді.

Підвищені концентрації іонів Fe^{3+} у воді активують ліполіз у тканинах печінки та зябер досліджуваних риб, про що свідчить зростання частки ЛФХ і зменшення — ФХ, ФС і ФІ. У нирках встановлено зростання часток ФХ, СМ і зниження частки ФС і ФЕА. У м'язах коропа за дії іонів Fe^{3+} частка ФХ знижувалась, а ЛФХ — зростала, що також вказує на активацію ліполізу. Також зростала частка ФЕА, що, ймовірно, є наслідком активації фосфатидилсериндекарбоксілази, яка каталізує перетворення ФС у ФЕА. У м'язах щуки було відмічено протилежний характер змін фосфоліпідного профілю — зростання частки ФХ та зниження — ФЕА і ЛФХ.

Отже, у риб різних екологічних груп відмічена різна векторність змін фракційного складу фосфоліпідів тканин зябер, печінки, нирок та м'язів з метою протидії токсичному чиннику, що дає їм змогу адаптуватися до зміни умов їх існування.

Список використаної літератури

1. Владимиров Ю.А. Нарушение барьерных свойств внутренней и наружной мембран митохондрий, некроз и апоптоз. *Биологические мембраны*. 2002. № 19. С. 356—377.
2. Кейтс М. Техника липидологии. Выделение, анализ и идентификация липидов. М.: Мир, 1975. 322 с.
3. Климов А.Н. Обмен липидов и липопротеидов и его нарушения. Ч. 1. СПб., 1999. С. 55—56.
4. Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высш. шк., 1990. 352 с.
5. *Обобщенный перечень предельно-допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно-безопасных уровней воздействия вредных веществ (ОБУВ) для воды рыбохозяйственных водоемов*. Минрыбхоз СССР. М., 1990. 44 с.

6. Прохорова М.И. Методы биохимического исследования. Л.: Изд-во ЛГУ., 1982. 222 с.
7. Рабченюк О.О., Хоменчук В.О., Ляврін Б.З., Курант В.З. Накопичення феруму в організмі прісноводних риб за його підвищеного вмісту у водному середовищі. *Наук. зап. Терноп. пед. ун-ту. Сер. Біологія*. 2017. № 1. С. 98—103.
8. Сенник Ю.І. Зміни ліпідного складу тканин прісноводних риб за дії цинку та кадмію: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. Львів, 2015. 20 с.
9. Смирнов Л.П., Богдан В.В. Липиды в физиолого-биохимических адаптациях экотермных организмов к абиотическим и биотическим факторам среды. М.: Наука, 2007. 187 с.
10. Хлебович В.В. Акклимация животных организмов. Л.: Наука, 1981. 135 с.
11. Хочачка П., Сомеро Дж. Биохимическая адаптация. М.: Мир, 1988. 568 с.
12. Adiele R.C., Stevens D., Kamunde C. Reciprocal enhancement of uptake and toxicity of cadmium and calcium in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) liver mitochondria. *Aquat. Toxicol.* 2010. Vol. 96. P. 319—327.
13. Bootman M.D., Thomas D., Tovey S.C. et al. Nuclear calcium signalling. *Cell. Mol. Life Sci.* 2000. Vol. 57. P. 371—378.
14. Brown D.A., London E. Structure and function of sphingolipid- and cholesterol-rich membrane rafts. *J. Biol. Chem.* 2000. Vol. 275. P. 17221—17224.
15. Bury N.R., Grosell M. Waterborne iron acquisition by a freshwater teleost fish, zebrafish *Danio rerio*. *J. Exp. Biol.* 2003. Vol. 206. P. 3529—3535.
16. Chapman P.M., Wang F. Issues in ecological risk assessment of inorganic metals and metalloids. *Human Ecol. Risk Assess.* 2000. Vol. 6. P. 965—988.
17. Chapman P.M., Wang F., Janssen C.R. et al. Conducting ecological risk assessments of inorganic metals and metalloids: current status. *Ibid.* 2003. Vol. 9. P. 641—697.
18. Eichenberger E. The interrelation between essentiality and toxicity of metals in the aquatic ecosystem. *Metal ions in biological systems. Vol. 20. Concepts on metal ion toxicity*. New-York, 1986. P. 67—100.
19. Fosslien E. Mitochondrial medicine-molecular pathology of defective oxidative phosphorylation. *Ann. Clin. Lab. Sci.* 2001. Vol. 31. P. 25—67.
20. Gurzau E.S., Neagu C., Gurzau A.E. Essential metals — case study on iron. *Ecotoxicol. Environ. Safety.* 2003. Vol. 56. P. 190—200.
21. Hokin L.E., Hexum T.D. Studies on the characterization of the sodium-potassium transport adenosine triphosphatase: IX. On the role of phospholipids in the enzyme. *Arch. Biochem. Biophys.* 1972. Vol. 151, N 2. P. 453—463.
22. Jackson T.A., Kipphut G., Hesslein R.H., Schindler D.W. Experimental study of trace metal chemistry in soft-water lakes at different pH levels. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1980. Vol. 37, N 3. P. 387—402.
23. Knoll W., Frank C.W., Heibel C. et al. Functional tethered lipid bilayers. *J. Biotechnol.* 2000. Vol. 74, N 3. P. 137—158.
24. Kodaki T., Yamashita S. Yeast phosphatidylethanolamine methylation pathway. Cloning and characterization of two distinct methyltransferase genes. *J. Biol. Chem.* 1987. Vol. 262. P. 15428—15435.
25. Leslie J.M., Buckley J.T. Phospholipid composition of goldfish (*Carassius auratus* L.) liver and brain and temperature-dependence of phosphatidyl choline synthesis. *Comp. Biochem. Physiol. Part B: Comparative Biochem.* 1976. Vol. 53, N 3. P. 335—337.
26. Li Z., Agellon L.B., Allen T.M. et al. The ratio of phosphatidylcholine to phosphatidylethanolamine influences membrane integrity and steatohepatitis. *Cell Metabolism*. 2006. Vol. 3. P. 321—331.
27. Lindahl M., Tagesson C. Zinc (Zn²⁺) binds to and stimulates the activity of group I but not group II phospholipase A₂. *Inflammation*. 1996. Vol. 20. P. 599—611.

28. Liu N., Fukami K., Yu H., Takenawa T. A new phospholipase C delta 4 is induced at S-phase of the cell cycle and appears in the nucleus. *J. Biol. Chem.* 1996. Vol. 271. P. 355—360.
29. Merrill A.H.Jr., Sweeley C.C. Sphingolipids: metabolism and signaling. *Biochemistry of lipids, lipoproteins and membranes*. Ed. by D.E Vance, J.E. Vance. Amsterdam: Elsevier Science, 1996. P. 309—340.
30. Vaskovsky V.E., Kostetsky E.Y., Vasendin I.M. A universal reagent for phospholipid analysis. *J. Chromatogr. A.* 1975. Vol. 114 (1). P. 129—141.
31. Wood C.M., Farrell A.P., Brauner C.J. Fish physiology: Homeostasis and toxicology of essential metals. Vol. 31A. London: Academic Press, 2012. 497 p.

Надійшла 17.10.19

V.O. Khomenchuk, PhD (Biol.), Assistant Prof.,
Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University,
2 Maksyma Kryvonosa St., Ternopil, 46027, Ukraine,
e-mail: khomenchuk@tnpu.edu.ua

O.O. Rabcheniuk, PhD (Biol.), Engineer,
Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University,
2 Maksyma Kryvonosa St., Ternopil, 46027, Ukraine

Yu.I. Senyk, PhD (Biol.), Engineer,
Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University,
2 Maksyma Kryvonosa St., Ternopil, 46027, Ukraine

G.M. Goliney, PhD (Agr.), Assistant Prof.,
Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University,
2 Maksyma Kryvonosa St., Ternopil, 46027, Ukraine

V.Z. Kurant, Dr. Sci. (Biol.), Prof.,
Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University,
2 Maksyma Kryvonosa St., Ternopil, 46027, Ukraine,

PHOSPHOLIPID COMPOSITION OF CARP AND PIKE TISSUES UNDER THE IMPACT OF Fe^{3+} IONS

The fractional composition of phospholipids of gills, liver, kidneys and muscles in organism of carp (*Cyprinus carpio* L.) and pike (*Esox lucius* L.) under the impact of 0,2 and 0,5 mg/dm³ of Fe^{3+} water was studied. It was established, that changes in the concentration of phospholipids in fish tissues are species-specific and dependent of the concentration of Fe^{3+} ions in water. It is shown, that the influence of elevated concentrations of Fe^{3+} ions in water causes activation of lipolysis in liver and gills tissues of investigated species of fish, as evidenced by the increase in the content of lysophosphatidylcholine and the reduction of phosphatidylcholine, phosphatidylserine and phosphatidylinositol. In the kidneys, an increase in the percentage content of phosphatidylcholine, sphingomyelin, a decrease in the proportion of phosphatidylserine and phosphatidylethanolamine has been established. In the carp muscle, due to the action of Fe^{3+} ions, there was a decrease in the proportion of phosphatidylcholine and the increase of lysophosphatidylcholine indicating lipolysis, and there was also an increase in the percentage of phosphatidylethanolamine, which is probably due to the activation of phosphatidylserindecaboxylase, which catalyzes the conversion of phosphatidylserine to phosphatidylethanolamine. The reciprocal nature of the changes in the phospholipid profile was noted in the pike muscles — an increase in the percentage of phosphatidylcholine and a decrease in the proportion of phosphatidylethanolamine and lysophosphatidylcholine. In general, changes in the ratio of phospholipids of carp and pike tissues to the action of elevated concentrations of Fe^{3+} ions are aimed at maintaining the effective functioning of biological membranes in order to adapt to the stress factor.

Keywords: *carp, pike, gills, liver, kidneys, muscles, phospholipids, Fe^{3+} .*