

УДК: 636.02:597.55:576.344

ФОСФОЛІПІДНИЙ СКЛАД ПЕЧІНКИ ТА ЗЯБЕР РИБ ЯК ІНДИКАТОР ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД РІЧОК ТЕРНОПІЛЬЩИНИ

Б. З. Ляврін, В. Я. Бияк, В. О. Хоменчук, В. З. Курант
bohdan.lyavrin@gmail.com

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка,
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027, Україна

Зростання антропогенного впливу на водне середовище загострило проблему виживання організмів у стресових умовах, які первинно створюються накопиченням токсичних речовин. Відомо, що організм гідробіонтів має багато засобів біохімічної адаптації різного ступеня складності, які дозволяють йому успішно пристосовуватися до дії токсикантів. Одним із них є перебудова шляхів ліпідного метаболізму. Тому, важливим було дослідження фосфоліпідного складу тканин печінки та зябер риб, взятих з водойм з різним характером антропогенного навантаження. Встановлено відмінності у вмісті загальних ліпідів і класів фосфоліпідів у клітинах зябер і печінки карася та окуня, взятих з різних водойм. Фосфоліпідний склад клітин зябер карася та окуня має схожий характер у міжвидовому порівнянні, що характерно для тканин, неспецифічних запасати ліпідів. Проте фосфоліпідний склад клітин печінки карася та окуня характеризується чіткими міжвидовими відмінностями за вмістом окремих класів фосфоліпідів, що, ймовірно, спричинено особливостями протікання фізіолого-біохімічних процесів у клітинах печінки цих видів риб. Оскільки кожен фосфоліпід бере участь у виконанні загальних мембранних функцій клітин, то збереження сталості складу забезпечує оптимальну фізико-хімічну структуру мембран і їх властивості. Коливання у складі структурних ліпідів відіграють важливу роль в процесах адаптації, а високий рівень структурних ліпідів забезпечує стійкість (стабілізація, ущільнення) мембран до дії різних чинників середовища і забезпечує нормальну роботу вбудованих у мембрану білків і рецепторів. Ці зміни також можуть розглядатися як адаптивні реакції організму і можуть бути використані як індикативні при визначенні стану середовища існування.

Ключові слова: МАЛІ РІЧКИ, РИБИ, ФОСФОЛІПІДИ, КАРАСЬ, ОКУНЬ, ЗАБРУДНЕННЯ

PHOSPHOLIPID COMPOSITION OF LIVER AND GILLS OF FISH AS INDICATOR OF SURFACE WATER RIVERS OF TERNOPIIL REGION

B. Z. Lyavrin, V. Ya. Byyak, V. O. Khomenchuk, V. Z. Kurant
bohdan.lyavrin@gmail.com

Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatiuk,
M. Krivonosa st., 2, Ternopil, 46027, Ukraine

Growth of human impacts on the aquatic environment exacerbates a problem of survival of organisms under stressful conditions of water environment. Such conditions created by the accumulation of toxic substances. Aquatic organisms has a lot ways of biochemical adaptation with varying degrees of difficulty. That allowing them successfully adapt to the actions of toxicants. One of these ways is the alteration of lipid metabolism. Therefore, important studying phospholipid composition of liver and gills tissues of fish taken from the water bodies with a different character of human impact. Found differences in the content of total lipids in the gills and liver of crucian carp and perch taken from different reservoirs. Phospholipid composition of cells of crucian carp and perch gills has a similar character in the interspecific comparison, which is typical for the non-specific storage of tissue lipids. However the phospholipid

composition of cell membranes of crucian carp and perch liver characterized by distinct interspecies differences over the content of individual classes of phospholipids, which is probably due to flow characteristics physiological and biochemical processes in the liver cells of these types of fish. As each phospholipid involved in the implementation of the general functions of cells membranes, maintaining a constant composition provides optimum physical and chemical structure of membranes and their properties. Fluctuations in the structural lipids content play an important role in the adaptation. In addition, a high level of structural lipids provides stability (stabilization, compaction) of membranes to various environmental factors and provides normal operation of the built-in membrane proteins and receptors. These changes can also be seen as adaptive response and can be used as indicative in determining the condition of the habitat.

Keywords: SMALL RIVERS, FISH, PHOSPHOLIPIDS, CARP, PERCH, POLLUTION

ФОСФОЛИПИДНЫЙ СОСТАВ ПЕЧЕНИ И ЖАБР РЫБ КАК ИНДИКАТОР СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД РЕК ТЕРНОПОЛЬЩИНЫ

Б. З. Ляврин, В. Я. Бияк, В. О. Хоменчук, В. З. Курант
bohdan.lyavrin@gmail.com

Тернопольський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, ул. М. Кривоноса, 2, Тернополь, 46027, Україна

Рост антропогенного воздействия на водную среду обострило проблему выживания организмов в стрессовых условиях, которые изначально создаются накоплением токсичных веществ. Известно, что организм гидробионтов имеет много средств биохимической адаптации различной степени сложности, которые позволяют ему успешно приспосабливаться к действию токсикантов. Одним из них является перестройка путей липидного метаболизма. Поэтому, важным было исследование фосфолипидного состава тканей печени и жабр рыб, взятых из водоемов с различным характером антропогенной нагрузки. Установлены различия в содержании общих липидов и классов фосфолипидов в клетках жабр и печени карася и окуня, взятых из различных водоемов. Фосфолипидный состав клеток жабр карася и окуня имеет сходный характер в межвидовом сравнении, что характерно для тканей, неспецифических запасать липиды. Однако фосфолипидный состав клеток печени карася и окуня характеризуется четкими межвидовыми различиями по содержанию отдельных классов фосфолипидов, что, вероятно, вызвано особенностями протекания физиолого-биохимических процессов в клетках печени данных видов рыб. Поскольку каждый фосфолипид участвует в выполнении общих мембранных функций клеток, то сохранение постоянства состава обеспечивает оптимальную физико-химическую структуру мембран и их свойства. Колебания в составе структурных липидов играют важную роль в процессах адаптации, а высокий уровень структурных липидов обеспечивает устойчивость (стабилизация, уплотнения) мембран к действию различных факторов среды и обеспечивает нормальную работу встроенных в мембрану белков и рецепторов. Эти изменения могут рассматриваться как адаптивные реакции организма и могут быть использованы как индикативные при определении состояния среды обитания.

Ключевые слова: МАЛЫЕ РЕКИ, РЫБЫ, ФОСФОЛИПИДЫ, КАРАСЬ, ОКУНЬ, ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Дослідження складу і обміну ліпідів, що виконують в живих організмах різноманітні функції, виявило їх значну екологічну варіабельність у представників різних видів тварин. Значний інтерес

представляє вивчення різних аспектів ліпідного обміну у риб, оскільки ця група нижчих хребетних тварин, що виділяється за видовою різноманітністю і умовами проживання, має, на відміну від ссавців,

ряд особливостей у фізіолого-біохімічних адаптаціях на рівні ліпідів [1, 2]. Одна з відмінних особливостей метаболізму ліпідів риб полягає в значній амплітуді складу і інтенсивності накопичення ліпідів в їх організмі, що настають як в результаті ендогенних змін, так і під впливом умов зовнішнього середовища, що найвиразніше проявляється в річному циклі, в ході якого можливий перерозподіл ліпідних запасів між тканинами і органами, зміна інтенсивності, порядку витрачання і накопичення ліпідів залежно від домінуючих у цей період процесів метаболізму.

Виходячи з цього, було важливим дослідження особливостей ліпідного складу клітин зябер, як органу що безпосередньо контактує з водним середовищем та печінки — як основного місця синтезу та депонування ліпідів в організмі прісноводних риб, як показника для аналізу екологічного стану водойм.

Матеріали і методи

Об'єктами дослідження були карась сріблястий — *Carassius gibelio* Bloch, та окунь звичайний — *Perca fluviatilis* L., масою 150–230 г та 170–230 г відповідно. Для дослідження риб відбирали з річок Серет, Стрипа та Золота Липа безпосередньо перед експериментом. Для біохімічного дослідження вмісту ліпідів та їх окремих класів були використані зразки печінки та зябер. Тканину подрібнювали на холоді в скляних гомогенізаторах з наступним екстрагуванням загальних ліпідів з тканини хлороформ-метаноловою сумішшю у відношенні 2:1 за методом Фолча [3]. При цьому до однієї масової частини тканини додавали 20 частин екстрагуючої суміші і залишали на 12 год для екстракції. Неліпідні домішки з екстракту видаляли відмиванням 1 % розчином KCl [4]. Кількість загальних ліпідів у тканині визначали ваговим методом після відгонки екстрагуючої суміші [5].

Розділення ліпідів на окремі фракції проводили методом висхідної одномірної тонкошарової хроматографії на пластинках «Sorbfil» (Росія) [6]. Перед роботою пластинки активували 30 хв при температурі 105 °С у сушильній шафі. Отриманий хлороформний розчин ліпідів спочатку випарювали насухо, а потім розчиняли у 1 мл хлороформу. Одержані проби ліпідів наносили на пластинку мікродозатором у кількості 40 мкл розчину і повільно поміщали їх в хроматографічні камери. Рухомою фазою була суміш розчинників хлороформ : метанол : льодяна оцтова кислота : вода у співвідношенні 60:30:7:3 [4]. Одержані хроматограми проявляли в камері, насиченій парами йоду. Для ідентифікації окремих фракцій ліпідів використовували специфічні реагенти і очищені стандарти [5]. Вміст фосфоліпідів у тканинах визначали за кількістю неорганічного фосфору за методом Васьковського [7].

Результати досліджень були статистично опрацьовані з використанням стандартного пакету програм Microsoft Office 2013, та t-критерію Стьюдента для визначення достовірної різниці, $p < 0,05$.

Результати й обговорення

Зябра є неспецифічною тканиною для запасання ліпідів, тому вміст цих речовин у більшості риб знаходиться на одному рівні і може змінюватися за дії певних чинників [8].

Як показали результати дослідження загальний вміст ліпідів у риб досліджених водойм відрізняється. Так, найвищий вміст ліпідів у клітинах зябер карася спостерігали в представників із р. Стрипа — понад 21 мг/г сирової тканини. Дещо менший їх вміст у представників із р. Серет, та найменший — у риб із р. Золота Липа, що становить всього 9 мг/г.

Із літературних даних відомо, що характер розподілу ліпідів у тканинах і органах різних видів і екологічних груп залежить від умов середовища, рухової активності, віку, тощо [1].

**Вміст загальних ліпідів у клітинах зябер та печінки досліджених видів риб
(мг/г сирової тканини, $M \pm m$, $n=5$)**

Вид риби	Тканина	р. Серет	р. Стрипа	р. Золота Липа
Карась	Зябра	19,73±2,08	21,20±1,83*	9,00±0,58*
	Печінка	28,26±1,19	22,53±2,24*	13,33±0,67*
Окунь	Зябра	22,37±2,04	23,37±1,30	10,43±0,45*
	Печінка	39,39±3,93	42,13±3,01	24,40±0,87*

Примітка: * — Тут і далі різниця порівняно із представниками р. Серет статистично достовірна, $p < 0,05$

Аналогічна картина спостерігається і в показниках вмісту загальних ліпідів у клітинах зябер окуня. Так, вміст ліпідів у представників із річок Серет та Стрипа статистично не відрізняється і знаходиться в межах 22–24 мг/г. Вміст цих речовин у досліджуваних клітинах представників із р. Золота Липа значно нижчий і становить 10,43 мг/г.

Такі відмінності у вмісті загальних ліпідів можна пояснити різним ступенем кормової забезпеченості риб в різних водоймах, адже відомо, що вміст ліпідів у клітинах залежить від типу і характеру живлення.

Зябра як орган, тканини якого безпосередньо контактують із оточуючим середовищем, піддаються прямому впливу забруднюючих речовин, що містяться у воді. Як наслідок можна спостерігати пригнічення обміну речовин, зниження рівня катаболічних процесів та активацію процесів ліполізу, що приводить до зниження вмісту ліпідів у клітинах.

Міжвидовий аналіз вмісту загальних ліпідів у клітинах зябер показав, що вміст ліпідів в клітинах карася нижчий, порівняно із окунем, у представників всіх досліджених водойм, що, ймовірно, пояснюється характером живлення та руховою активністю (карась — повільно плаваючий типовий фітофаг, окунь — активний хижак).

Печінка є одним з основних органів, що виконують функцію запасання ліпідів, а також є місцем їх синтезу та використання. Як видно з результатів дослідження, загальний вміст ліпідів у печінці досліджених видів риб відрізняється (табл.). Так, спостерігається

лінійне зниження вмісту ліпідів у клітинах печінки карася в ряді представників із річок Серет → Стрипа → Золота Липа і він становить 28,26 мг/г, 22,53 мг/г, 13,33 мг/г відповідно.

Значна трофічна пластичність та швидке пристосування до кормового раціону дозволяють карасю в значній мірі накопичувати ліпіди, які можуть бути використані як для енергетичних, так і для пластичних потреб [9].

Вміст загальних ліпідів у клітинах печінки окуня має дещо інший характер. Найбільша їх кількість спостерігалася в клітинах представників із р. Стрипа — 42,13 мг/г, дещо нижчий вміст у риб із р. Серет — 39,39 мг/г. Найнижчий вміст ліпідів у представників із р. Золота Липа — 24,4 мг/г.

Така різниця у вмісті ліпідів в клітинах печінки може бути спричинена відмінностями в кормовій базі та токсичним тиском органічних чи неорганічних поллютантів на печінку риб.

Розміщення основних запасів жиру в м'язовій тканині характерне для активно плаваючих видів, зокрема окуня [8]. Як показали результати досліджень, вміст загальних ліпідів у клітинах печінки окуня значно переважає над їх вмістом у печінці карася, потреби в енергетичному забезпечення якого значно менші, ніж в активного хижака — окуня [10].

Таким чином, спостерігається залежність вмісту ліпідів в окремих тканинах риб не тільки від середовища їх існування та наявної кормової бази, а і від рухової активності та фізіолого-біохімічних особливостей вибраних видів риб.

У зв'язку зі змінами загальної кількості ліпідів у досліджених тканинах риби виникає необхідність встановлення змін щодо співвідношення кількості їх основних класів у клітинах цих тканин. Стійкість мембран, пристосованих до несприятливих чинників, пов'язують з якісними і кількісними змінами в їх складі фосфатидилхоліну, фосфатидилсерину, фосфатидилетаноламіну та інших класів фосфоліпідів, що є основними структуроутворюючими елементами біологічних мембран.

Під час аналізу отриманих даних виявлено незначні зміни у відносному вмісті фосфатидилхоліну (ФХ), найбільш масивного та насиченого фосфоліпиду, в клітинних мембранах різних тканин. Зокрема, найбільший відсотковий вміст його спостерігали в клітинах риби із р. Стрипа — 47,85 %, дещо нижчий у представників із р. Серет — 43 %, та найменший у риби із р. Золотої Липи — 37,43 % (рис. 1).

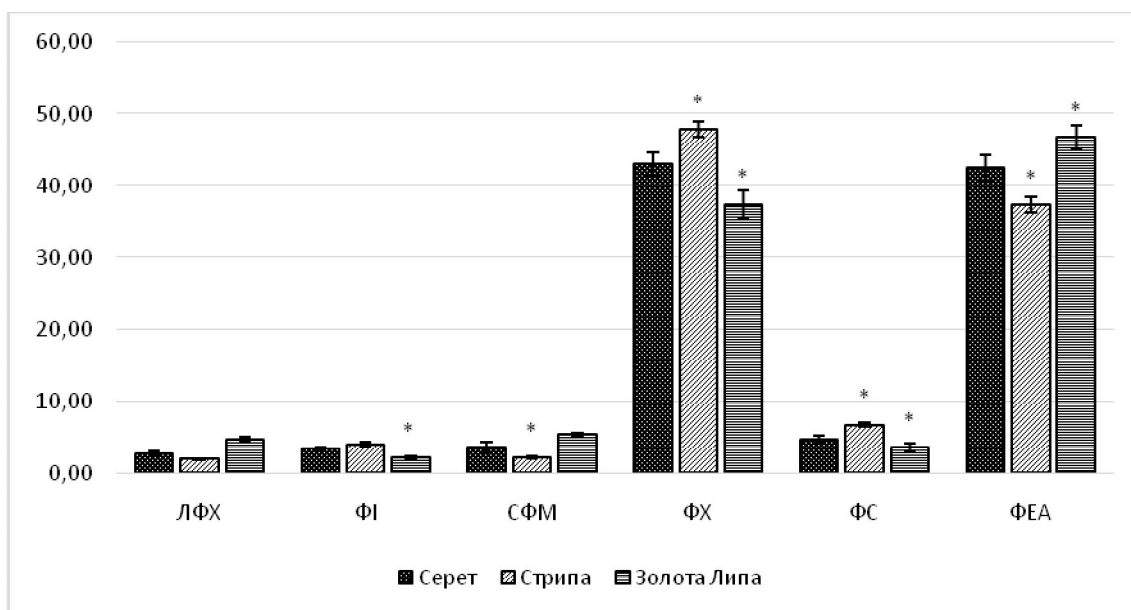


Рис. 1. Співвідношення класів фосфоліпідів у клітинах зябер карася (у % від загальної кількості $M \pm m, n=5$)

Зниження процентного вмісту фосфотидилхоліну може бути пов'язане, по-перше, з активацією синтезу фосфатидилетаноламіну (ФЕА). Відомо, що фосфотидилхолін є попередником у синтезі фосфатидилетаноламіну в реакції метилювання [11]. Ймовірно, що у воді р. Золота Липа наявні речовини, що інгібують активність метилтрансфераз, зменшуючи, тим самим, продуктивність реакції синтезу фосфотидилхоліну.

Вміст ФХ в клітинах зябер карася відрізняється у представників досліджених водойм. Так, спостерігається збільшення його відсоткового вмісту в представників ряду річок: Стрипа → Серет → Золота

Липа, і становить 37 %, 42 % та 46 % відповідно. По-друге, зниження вмісту фосфотидилхоліну у фосфоліпідній фракції зябер риби деякі автори пов'язують із його деградацією, внаслідок підвищення активності фосфоліпази A_1 та фосфоліпази A_2 [12]. Цей процес супроводжується накопиченням лізофосфатидилхоліну (ЛФХ) та вільних жирних кислот [13, 14].

Результати експерименту вказують на незначне збільшення вмісту лізофосфатидилхоліну в ряді рік Стрипа → Серет → Золота Липа, яке становить 1,9 %, 2,8 % та 4,7 % відповідно, проте статистично вірогідної різниці не виявлено.

По-третє, зменшення вмісту фосфатидилхоліну у досліджуваних тканинах риб супроводжується збільшенням вмісту сфінгомієліну (СФМ) у ліпідах його нейрональних мембран. Із літератури [15] відомо про реакцію синтезу сфінгомієліну із фосфатидилхоліну, за участю ферменту церамідхолінфосфотрансфераза. Отримані дані вказують на різний вміст цього фосфоліпиду в карася з різних водойм. Так, вірогідно найнижчий вміст спостерігали в клітинах представників р. Стрипа. Достовірних відмінностей у вмісті цього класу фосфоліпідів у риб із інших водойм не відмічено.

Тенденція до зниження вмісту фосфатидилінозитулу (ФІ), яка

спостерігається за дії певних токсикантів, також веде за собою зміну швидкості і направленості метаболічних процесів, оскільки фосфатидилінозитол бере участь в активному транспорті речовин через клітинні мембрани [16].

У нашому випадку вміст фракції ФІ вірогідно нижчий у клітинах зябер карася із р. Золота Липа і становить 2,14 % від загальної кількості. Вміст цього фосфоліпиду в представників інших досліджених водойм знаходиться майже на одному рівні.

Фракційний розподіл фосфоліпідів у клітинах зябер окуня із досліджених водойм має схожий характер із розподілом фосфоліпідів у зябрах карася (рис. 2).

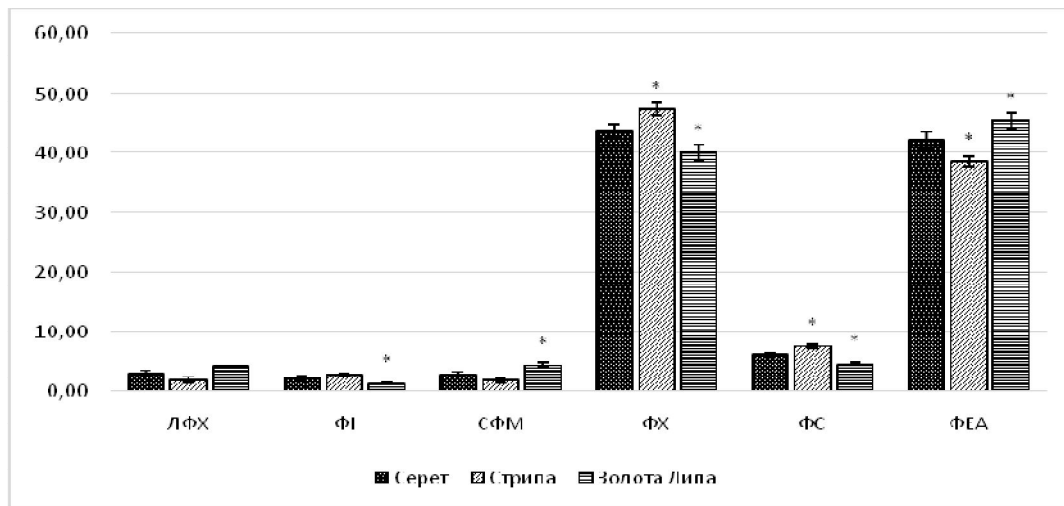


Рис. 2. Співвідношення класів фосфоліпідів в клітинах зябер окуня (у % від загальної кількості, $M \pm m$, $n=5$)

Так, зниження вмісту ФХ у клітинах печінки карася в представників ряду річок Стрипа → Серет → Золота Липа може бути пов'язане з активацією синтезу фосфатидилетаноламіну [11]. Відсотковий вміст цього фосфоліпиду становить 47,3 %, 43,8 % та 40,1 % від загальної кількості відповідно. Ймовірно, мало місце проникнення в організм риб речовин, що інгібують активність метилтрансфераз, зменшуючи, тим самим, продуктивність реакції синтезу фосфотидилхоліну.

Вміст ФЕА в клітинах досліджених видів риб статистично відрізняється у представників різних водойм.

Так, найвищий відсотковий вміст цього фосфоліпиду спостерігаємо в риб із р. Золота Липа — 45,5 %, дещо нижчий — у р. Серет — 42,1 % та найнижчий у представників р. Стрипа — 38,6 %. Вміст цього класу фосфоліпідів напряму залежить від вмісту ФХ, який є попередником в синтезі ФЕА.

Зміни вмісту СФМ можливі за рахунок активації чи пригнічення реакції синтезу сфінгомієліну з фосфатидилхоліну [15]. Вірогідна різниця, порівняно з показниками риб із р. Серет, спостерігається лише в представників із р. Золота Липа і становить 4,4 % від загальної кількості. Вміст цього

фосфоліпиду в риб із річок Серет та Стрипа становить 2,7 % та 1,8 % відповідно.

Вміст лізофосфатидилхоліну вказує на активність фосфоліпаз A_1 та A_2 і відповідно на рівень деградації ФХ [12]. Як показало дослідження, вміст ЛФХ пропорційно збільшується відповідно до зменшення вмісту ФХ. Найбільший вміст його спостерігали в представників із річки Золота Липа. Проте ці відхилення статистично не вірогідні і спричинені, очевидно, особливостями фізіолого-біохімічних процесів у тканинах риби, а не дією певного фактора.

Про відмінності в швидкості і напрямленості метаболічних процесів можна судити через зміни вмісту фосфатидилінозиту, який бере активну участь в транспорті речовин через клітинні мембрани [16]. Так, вміст цього класу фосфоліпідів у клітинах зябер окуня практично не відрізняється в представників річок Серет та Стрипа і знаходиться в межах 2,2–2,7 % відповідно. Вміст ФІ в риби із р. Золота Липа вдвічі менший і становить 1,25 % від загальної кількості. Такі показники вказують на дещо нижчі можливості транспорту речовин крізь клітинні мембрани зябер окуня із р. Золота Липа, порівняно із представниками цього виду з інших водойм.

Міжвидове порівняння фосфоліпідного складу клітин зябер карася та окуня не виявило значних відмінностей у фракційному складі за винятком нижчого вмісту ФХ у клітинах карася, порівняно з клітинами зябер окуня та вищого вмісту ЛФХ і СФМ в клітинах карася, що вказує на більшу деградацію ФХ порівняно із показниками окуня. Це, в свою чергу, вказує на порівняно більшу активність фосфоліпаз, яка, ймовірно, спричинена дією певних факторів водного середовища, оскільки тканини зябер безпосередньо контактують із водним середовищем та чутливі до впливів токсикантів. Тоді як зміни фосфоліпідного складу клітин можуть розглядатися як адаптивні реакції організму і бути використані як індикатор стану середовища.

З метою визначення фізіологічного значення окремих представників фосфоліпідів, проведено дослідження фракційного фосфоліпідного складу клітин печінки риби, зміни кількості яких впливають на фізико-хімічну структуру мембран та їх функціональні властивості. Це такі як проникність, в'язкість, рухливість елементів ліпідно-білкової мембрани, її стабільність, ензиматичні властивості мембранних ферментів.

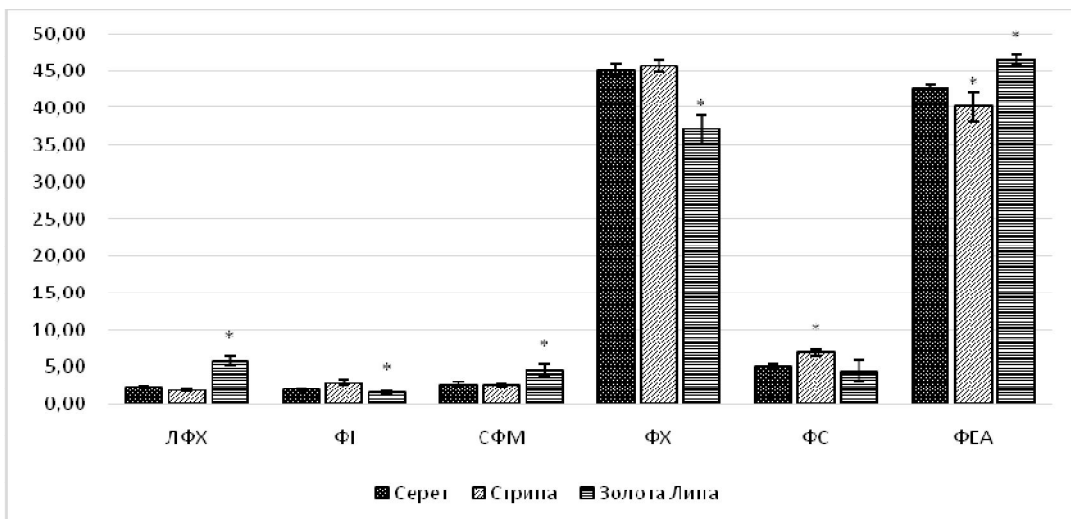


Рис. 3. Співвідношення класів фосфоліпідів в клітинах печінки карася (у % від загальної кількості, $M \pm m$, $n=5$)

Під час аналізу отриманих даних виявлено відмінності у відносному вмісті фосфатидилхоліну, найбільш масивного та насиченого фосфоліпиду, в клітинних мембранах печінки карася. Зокрема, високий відсотковий вміст його спостерігали в клітинах риб із річок Серет та Стрипа, де він знаходився в межах 45 %, значно нижчий вміст цього фосфоліпиду виявлено у представників із р. Золота Липа — 37,18 % (рис. 3).

Зниження відсоткового вмісту фосфотидилхоліну може бути пов'язане як з активацією синтезу фосфатидилетаноламіну, оскільки відомо, що фосфатидилетаноламін є попередником в синтезі фосфотидилхоліну [11], так і з його деградацією, внаслідок підвищення активності фосфоліпази A₁ та фосфоліпази A₂ [12]. Ймовірно, що карасі із р. Золота Липа піддалися впливу речовин, що інгібують активність метилтрансфераз, зменшуючи, тим самим, продуктивність реакції синтезу фосфотидилхоліну.

Вміст ФЕА в клітинах зябер карася відрізняється у представників досліджених водойм. Так, високий вміст ФЕА в клітинах печінки карася — 46,6 %, на фоні порівняно низького вмісту ФХ, вказує на зміну рідинності біологічних мембран у бік її ущільнення та зменшення проникності.

Процес деградації ФХ супроводжується накопиченням лізофосфатидилхоліну та вільних жирних кислот [13, 14].

Статистично вірогідної різниці у вмісті цього фосфоліпиду у представників Серету та Стрипи не виявлено, він знаходиться в межах 1,8–2,3 % від загальної кількості. Вміст ЛФХ у риб із р. Золота Липа значно вищий і становить 5,76 % відповідно. Згідно з результатами експерименту вміст фракції ЛФХ у клітинах печінки карася із Золотої Липи підтверджує гіпотезу про деградацію ФХ через токсичний вплив.

Зменшення вмісту фосфатидилхоліну у досліджуваних тканинах риб може

супроводжуватися збільшенням вмісту сфінгомієліну в ліпідах його мембран. Відомо, що сфінгомієлін може синтезуватися із фосфатидилхоліну, за участю ферменту церамідхолінфосфотрансферази [15]. Так, отримані дані вказують на вірогідно вищий вміст цього фосфоліпиду в тканинах карася з Золотої Липи, де його відсотковий вміст становив 4,5 % порівняно із 2,5 % в представників річок Стрипа та Серет. Одержані дані вказують на вищу активність синтезу СМ в печінці карася, взятого із Золотої Липи, порівняно з карасями інших досліджених водойм.

Зміни вмісту фосфатидилінозитулу, що можуть спостерігатися за дії певних токсикантів, ведуть за собою зміни у швидкості і направленості метаболічних процесів, оскільки фосфатидилінозитол бере участь в активному транспорті речовин через клітинні мембрани [16].

У цьому випадку вміст фракції ФІ знаходиться практично на одному рівні в представників усіх досліджених річок, статистично достовірної різниці не виявлено.

Фракційний розподіл фосфоліпідів у клітинах печінки окуня із досліджених водойм має схожий характер із розподілом фосфоліпідів у клітинах печінки карася (рис. 4). Вірогідно нижчий вміст ФХ (36,2 %) у клітинних мембранах печінки окуня в представників річки Золота Липа може бути пов'язане з активацією синтезу фосфатидилетаноламіну [11], вміст якого становить 42 % від загальної кількості фосфоліпідів. Вміст цього фосфоліпиду в риб інших досліджених річок статистично не відрізняється і знаходиться на рівні 47 %.

Вміст ФЕА в клітинах досліджених видів риб річок Серет та Стрипа знаходиться на рівні 36 % від загального вмісту фосфоліпідів. Вміст цього класу фосфоліпідів безпосередньо залежить від вмісту ФХ, який є попередником в синтезі ФЕА.

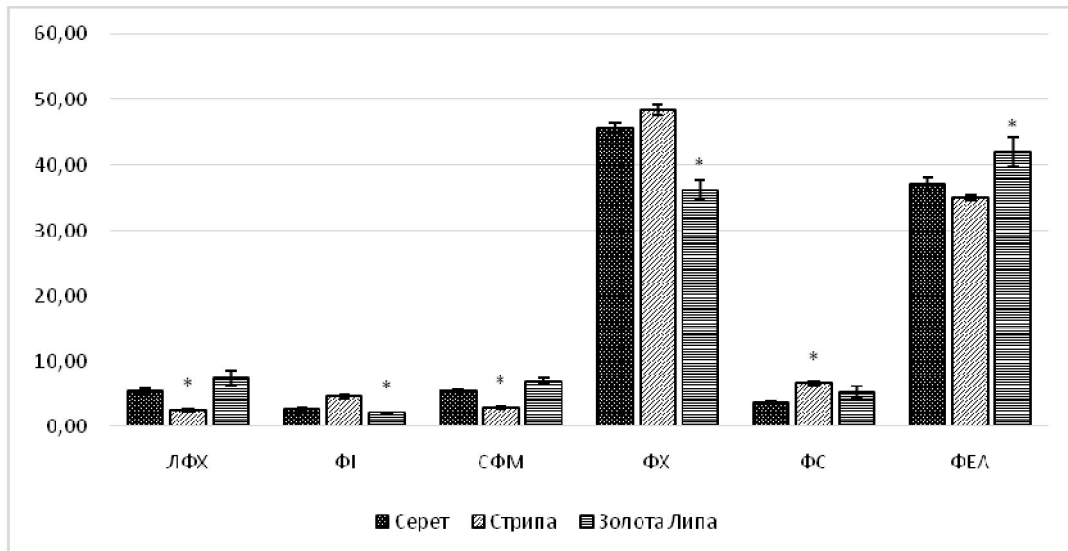


Рис. 4. Співвідношення класів фосфоліпідів в клітинах печінки окуня (у % від загальної кількості, $M \pm m$, $n=5$)

Зміни вмісту СФМ можливі за рахунок активації чи пригнічення реакції синтезу сфінгомеліну з фосфатидилхоліну [15]. Характер вмісту СМ в тканинах печінки окуня дещо інший порівняно з аналогічними тканинами в карася. Так, найнижчий його вміст спостерігається в риби з р. Стрипа — 2,8 %. Вміст цього фосфоліпідів у представників із річок Серет та Золота Липа практично однаковий і становить 5,4 % та 6,9 % відповідно.

Вміст лізофосфатидилхоліну вказує на активність фосфоліпаз A_1 та A_2 і відповідно на рівень деградації ФХ [12]. Як показали дослідження, вміст ЛФХ пропорційно збільшується відповідно до зменшення вмісту ФХ. Найбільший вміст його спостерігали в представників із річок Серет та Золота Липа — 5,5 % та 7,4 % відповідно. Значно нижчий вміст цієї фракції спостерігали в риби із Стрипи — 2,5 %.

Про відмінності в швидкості і спрямованості метаболічних процесів можна визначати за зміною вмісту фосфатидилінозиту, який бере активну участь в транспорті речовин через клітинні мембрани [16]. Так, вміст цього класу фосфоліпідів у клітинах печінки окуня практично не відрізняється в представників із досліджених річок і становить 2,7 %,

4,6 % та 2,2 % відповідно в риби із Серету, Стрипи та Золотої Липи.

Міжвидове порівняння фосфоліпідного складу клітин печінки карася та окуня виявило чіткіші відмінності порівняно з аналізом даних, що стосувалися фосфоліпідного складу клітин зябер цих видів риби. Нижчий вміст ФХ у клітинах карася, порівняно з клітинами зябер окуня, та вищий вміст ЛФХ та СФМ у клітинах карася вказує на більшу деградацію ФХ, порівняно із показниками окуня, що, в свою чергу, свідчить про значно більшу активність фосфоліпаз, яка, ймовірно, спричинена дією певних факторів водного середовища, оскільки тканини зябер безпосередньо контактують із водним середовищем та чутливі до впливів токсикантів [17].

Висновки

Відмінності фосфоліпідного складу клітин чіткіше проявляються в клітинах печінки, порівняно із аналогічними зябер, що може зумовлюватись адаптаційними метаболічними реакціями. Таким чином коливання у складі структурних ліпідів відіграють важливу роль в процесах адаптації, а високий рівень структурних ліпідів забезпечує стійкість (стабілізація, ущільнення) мембран до дії різних

чинників середовища і забезпечує нормальну роботу вбудованих у мембрану білків і рецепторів.

Отже, встановлені зміни фосфоліпідного складу тканин риб можуть розглядатися як адаптивні реакції організму і бути використані як індикатор стану середовища його існування.

Перспективи подальших досліджень. Подальше дослідження ліпідного обміну прісноводних риб може використовуватися з біоіндикаційною метою, а також для визначення адаптаційних реакцій організму риб у цілому та окремих органів чи тканин на дію поллютантів. Одержані результати, в свою чергу, можна буде використати для підвищення якості рибної продукції.

1. Hrytsyniak I. I., Smolianinov K. B., Yanovych V. H. *Obmin lipidiv u ryb* [Lipid metabolism in fish]. Lviv, Triad plus, 2010. 336 p. (In Ukrainian).

2. Moffat R. G., Stamford B. *Lipid metabolism and health*, Taylor and Francis, 2006, 377 p.

3. Orel N. M. *Biochimiya lipidov* [Lipid biochemistry]. Minsk, 2007. 37 p. (In Russian).

4. Prohorova M. I. *Metody bichimicheskogo issledovaniya* [Methods of biochemical research]. St Petersburg, LGU Publ., 1982. 222 p. (In Russian).

5. Keits M. *Tehnika lipidologii. Vydelenie, analiz i identifikatsiia lipidov* [Techniques of Lipidology. Isolation and identification of lipid analysis]. Moscow, World, 1975. 322 p. (In Russian).

6. Kopytov Yu. P. *Noviy variant tonkosloinoy chromatografii lipidov* [The new version of the thin-layer chromatography of lipids]. *Ekologiya moria — Marine ecology*, 1983, no. 12, pp. 76–80 (in Russian).

7. Vaskovsky V. E., Kastetsky E. V. A universal reagent for fosfolipid analisis. *J. Chromatogr.*, 1985, (144), pp. 129–141.

8. Lav R. M. *Chimicheskaya biologiya ryb* [Chemical biology of fishes]. Moscow, Food processing industry Publ., 1976. 349 p. (In Russian).

9. Stroganov N. S. *Ekologicheskaya fiziologiya ryb* [Ecological physiology of fish]. Moscow, Publishing House of Moscow University, 1962. 443 p. (In Russian).

10. Sidorov V. S. *Ekologicheskaya biochimiya ryb* [Environmental biochemistry of fish]. St Petersburg, Science, 1983. 240 p. (In Russian).

11. Vaskovskiy V. E. Lipidy [Lipids]. *Sorosovskiy obrazovatelnyy zhurnal — Soros Educational Journal*, 1997, no. 3, p. 32 (in Russian).

12. Gray N. C., Stricland R. P. On the specificity of phospholipase A2 purified from the 106000 g pellet of bovin brain. *Lipids*, 1992, 17, (2), pp. 91–96.

13. Exton J. H. Phosphatidylcholine breakdown and signal transduction. *Biochim. Biophys. Acta.*, 1994, 1212, (1), pp. 26–42.

14. Mukherjee A. B., Miele L., Pattabiraman N. Phospholipase A2 enzymes. Regulation and physiological role. *Bioch. Pharmacology*, 1994, 48, (1), pp. 1–10.

15. Davydov O. N., Isaieva N. M., Kurovskaia L. Ya. Rol hidrobiontov v onkoekologicheskome monitoringe [The role of aquatic organisms in onkoekologickal monitoring]. *Nauk. zap. Ternopil. derzh. ped. un-tu — Science. rec. Ternopil. state. ped. university*, 2001, vol. 4, no. 15, pp. 41–42 (in Russian).

16. Hulan P. V. Fiziologicheskie aspekty metabolizma fosfoinozytydov [Physiological aspects of phosphoinositide metabolism]. *Uspehi sovr. biol. — Advances in modern biology*, 1981, vol. 91, no. 2, pp. 162–167 (in Russian).

17. Vysotskaia R. U., Ruokolainen T. R. Ekologo-biochimicheskie aspekty izucheniya reaktsii ryb na deistvie toksicheskikh veshchestv [Ecological and biochemical aspects of the study of the reaction of fish to the action of toxic substances]. *Perviy simpozium po boil. biochim. ryb* [The first symposium on the biol. biochem. of fish]. Yaroslavl, 1991, pp. 43–45 (in Russian).