

ЕКОЛОГІЧНА ФІЗІОЛОГІЯ І БІОХІМІЯ ВОДНИХ ТВАРИН

УДК 594.381.5: 577.115.3

Г.Є. КИРИЧУК, д. б. н., проф.,
Житомирський державний університет імені Івана Франка,
вул. В. Бердичівська, 40, Житомир, 10008, Україна
e-mail: kyrychuk@zu.edu.ua

Л.В. МУЗИКА, к. б. н.,
Житомирський державний університет імені Івана Франка,
вул. В. Бердичівська, 40, Житомир, 10008, Україна
e-mail: Lidiya.Muzyka@ukr.net

Н.М. КОРНІЙЧУК, к. б. н., доц.,
Житомирський державний університет імені Івана Франка,
вул. В. Бердичівська, 40, Житомир, 10008, Україна
e-mail: korniychuknm@meta.ua

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЖИРНОКИСЛОТНОГО СКЛАДУ *LYMNAEA STAGNALIS* (GASTROPODA, *LYMNAEIDAE*) ТА *UNIO PICTORUM* (BIVALVIA, *UNIONIDAE*)

Досліджено якісний склад і кількісний вміст жирних кислот в організмі прісноводних молюсків *Lymnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758) та *Unio pictorum* (Linnaeus, 1758), які є постійним компонентом прісноводних біоценозів та виступають зручною моделлю для вивчення механізмів резистентності на різних рівнях організації (від молекулярного до популяційного) за дії чинників водного середовища.

Проведено порівняльний аналіз складу та вмісту насичених (НЖК), мононенасичених (МНЖК) та поліненасичених (ПНЖК) жирних кислот в органах досліджуваних тварин.

Характерною особливістю жирнокислотного профілю обох досліджених видів є великий вміст розгалужених ЖК (*iso*- та *anteiso*-форми) і наявність ЖК із цис-конфігураціями та транс-формами подвійних зв'язків. Показано, що у обох видів значною є частка НЖК — у *L. stagnalis* вона становила 15,64—25,54 %, у *U. pictorum* — 23,3—24,61 %. Частка ПНЖК досягала відповідно 32,74—41,83 і 18,78—23,31 %. У досліджених видів визначені незамінні ПНЖК родин $\omega 3$ та $\omega 6$, при цьому їх якісний склад та кількісні показники були видо- та органоспецифічні.

Ключові слова: прісноводні молюски, насичені жирні кислоти, мононенасичені жирні кислоти, поліненасичені жирні кислоти, метаболічна адаптація.

Інтенсифікація антропогенного навантаження на гідроекосистеми призводить до погіршення фізико-хімічних показників водного середо-

Ц и т у в а н н я: Киричук Г.Є., Музика Л.В., Корнійчук Н.М. Порівняльний аналіз жирнокислотного складу *Lymnaea stagnalis* (Gastropoda, Lymnaeidae) та *Unio pictorum* (Bivalvia, Unionidae). *Гідробіол. журн.* 2022. Т. 58. № 3. С. 76—87.

вища і викликає активацію різних механізмів гомеостазу гідробіонтів. Важливу роль відіграють біохімічні механізми, що лежать в основі розвитку компенсаторних реакцій клітини та проявляються на рівні основних метаболічних реакцій [1, 14]. Особливої уваги заслуговують зміни ліпідного обміну, які, завдяки гетерогенності його складників, відіграють важливу роль у розвитку адаптивної відповіді за дії екологічних чинників різної природи. Ліпіди та їх структурні мономери жирні кислоти (ЖК) є одними з найбільш лабільних компонентів клітин, що забезпечують первинну відповідь на вплив зовнішніх чинників, відображають екологічні умови, спектр живлення гідробіонтів та є надійним діагностичним маркером функціонального стану [1, 7—9, 18, 20].

Відомо, що основні насичені ЖК синтезуються усіма живими організмами, в той час як синтез поліненасичених (ПНЖК) визначається набором специфічних ензимів — десатураз і елонгаз [7, 16]. Основним джерелом, що визначає спектр ПНЖК тварин, є жирнокислотний склад організмів попередніх трофічних рівнів [6, 12, 20]. Показано, що незамінні ПНЖК є однією з найважливіших складових їжі водних консументів, що може визначати швидкість перенесення речовини та енергії між ланками продуцентів і первинних консументів та по всьому трофічному ланцюгу у гідроекосистемах [12].

З огляду на те, що власний синтез довголанцюгових ПНЖК тваринами значною мірою визначається їх таксономічною приналежністю, а динаміка вмісту ЖК корелює з типом живлення і залежить від дії ендогенних (вік, розмір, спосіб живлення) та екзогенних (кількість, видовий склад та доступність корму, солоність, гідрологічний режим та температурні умови) чинників [8], актуальним є дослідження їх якісного складу і кількісних показників у органах тварин різних видів, що відрізняються морфофункціональними особливостями.

Метою дослідження було вивчення якісного складу та кількісного вмісту ЖК в організмі прісноводних молюсків *Lymnaea stagnalis* та *Unio pictorum*, які є постійним компонентом прісноводних біоценозів і зручною моделлю для вивчення механізмів резистентності на різних рівнях організації (від молекули до популяції) за дії чинників водного середовища.

Матеріал і методика досліджень

Об'єктами дослідження були молюски *Lymnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758) та *Unio pictorum* (Linnaeus, 1758), зібрані вручну у серпні 2016 р. з одного біотопу (р. Гнилоп'ять, Житомирська обл.).

Перед проведенням дослідження тварин аклімували до лабораторних умов протягом 14 діб [3]. Молюсків утримували в акваріумах з відстояною впродовж доби аерованою водопровідною водою за сталого рівня рН (7,3—7,7) та температури ($t = 18—20$ °С). Висоту і ширину черепашки вимірювали штангенциркулем, загальну масу тіла і масу органів визначали за допомогою електронних ваг з точністю до 0,01 г.

З гепатопанкреасу кожної з досліджених особин виготовляли тимчасові препарати для виявлення трематодної інвазії, для аналізу відбирали лише незаражених особин. Досліджували *U. pictorum* трьохрічного віку ($m = 39,25 \pm 4,90$ г, $l = 76,63 \pm 6,23$ мм, $h = 35,13 \pm 1,54$ мм) і однорозмірних особин *L. stagnalis* ($m = 4,67 \pm 0,58$ г, $l = 40,2 \pm 2,14$ мм, $h = 21,83 \pm 2,2$ мм).

Для визначення вмісту ЖК зразки органів (гепатопанкреасу, мантиї і ноги) гомогенізували, після чого екстрагували ліпіди сумішшю метанол/хлороформ (1/2 за об'ємом) за методом Фолча [10]. Для метилювання ЖК до висушеного екстракту додавали 1 см³ 2 %-го розчину хлористого ацетилю у метанолі [4, 5]. Суміш поміщали у віалу з тефлоновою кришкою та прогрівали при 80 °С упродовж 1 год. Реакційну суміш охолоджували до кімнатної температури, послідовно додавали 1 см³ води та 1 см³ гептану та інтенсивно струшували упродовж 3 хв. Для розділення фаз вміст віали центрифугували при 5 тис. об/хв впродовж 3 хв і відбирали верхній гептановий шар.

Розділення метилових ефірів ЖК проводили методом газової хромато-мас-спектрометрії на приладі Agilent 6890N/5973inert (Agilent Technologies, USA) за наступних умов: колонка капілярна HP-INNOWAX (30 м, 0,25 мм, 0,25 мкм), температура випаровувача 250 °С, температура інтерфейсу 280 °С. Розділення проводили у градієнтному режимі, початкову температуру 150 °С витримували впродовж 5 хв, піднімали з градієнтом 4 °С/хв до 240 °С. Кінцеву температуру витримували впродовж 6 хв. Пробу об'ємом 1 мкл вводили у режимі поділу потоку 1 : 50. Детектування проводили у режимі SCAN у діапазоні 38—400 m/z. Швидкість потоку газу носія через колонку становила 1 см³/хв.

ЖК ідентифікували шляхом порівняння часу утримання зі стандартами метилових ефірів жирних кислот (47885-U-Supelco® 37 Component FAME Mix) з використанням бібліотеки мас-спектрів NIST 02. Вміст виражали у відсотках площі хроматографічного піка кожного компонента суміші від загальної суми площ піків. Усі використані реактиви були кваліфікації не нижче «хч».

Статистичну обробку результатів дослідження проведено загальноприйнятими методами варіаційної статистики у пакеті Microsoft Office Excel із застосуванням *t*-критерію Ст'юдента. Розбіжності вважали статистично вірогідними при $p \leq 0,05$.

У процесі роботи норми біоетики порушені не були.

Результати дослідження та їх обговорення

Жирні кислоти — важливі структурні та енергетичні компоненти клітин, що виконують значну роль в обмінних процесах і біохімічній адаптації гідробіонтів до дії екологічних чинників. Збільшення їх вмісту в організмі гідробіонтів з одного боку може свідчити про посилення катаболічних процесів та мобілізації ЖК-резервів як джерела енергії, а з іншого — про їх використання в адаптивних перебудовах метаболізму чи біосинтезі інших адаптивних ЖК [1, 15].

Аналіз хроматограм показав, що ЖК-спектр загальних ліпідів *L. stagnalis* та *U. pictorum* представлений насиченими та ненасиченими ЖК (ННЖК) з парною і непарною кількістю атомів карбону. Характерною особливістю обох видів є значний вміст розгалужених ЖК (iso- та anteiso-форми) і наявність ЖК із цис- і транс-формами подвійних зв'язків. Вміст ЖК був видо- і органоспецифічним (табл. 1).

Встановлено, що обидва види характеризувались значною часткою насичених жирних кислот (НЖК): 15,64—25,54 % у *L. stagnalis* та 23,3—24,61 % у *U. pictorum* (рисунок).

Встановлено відсутність статистично достовірних відмінностей вмісту НЖК у гепатопанкреасі та мантиї досліджених молюсків, у той же час у нозі *L. stagnalis* вміст НЖК на 36,45 % ($p < 0,05$) менший, ніж у нозі *U. pictorum*. Вміст МНЖК у всіх органах *L. stagnalis* на 12,05—41,13 % менший, ніж в органах *U. pictorum*. У той же час вміст незамінних ПНЖК у гепатопанкреасі, мантиї і нозі *L. stagnalis* був вищим відповідно у 2,1, 1,4 та 1,9 раза ніж у цих органах *U. pictorum*.

В організмі обох видів серед НЖК кількісно домінували $C_{16:0}$ та $C_{18:0}$, які відіграють важливу роль у метаболізмі. Частка $C_{16:0}$ у *L. stagnalis* та *U. pictorum* становила відповідно 4,78—9,67 та 9,88—11,2 % загальної кількості усіх виявлених сполук у ліпідному екстракті, а вміст $C_{18:0}$ — відповідно 7,6—9,13 і 7,81—10,1 %. За вмістом пальмітинової та стеаринової кислот органи *L. stagnalis* можна розмістити таким чином: мантия > гепатопанкреас > нога (див. табл. 1). У *U. pictorum* їх розподіл був іншим — пальмітинова кислота: мантия > нога > гепатопанкреас, стеаринова кислота: нога > мантия > гепатопанкреас.

Враховуючи те, що досліджені молюски за типом живлення належать до різних груп (*L. stagnalis* — детритофаг, *U. pictorum* — поліфаг-фільтратор) [2, 17], співвідношення вмісту пальмітинової і стеаринової кислот у нозі у них було різним — відповідно 1,0 : 1,6 і 1,0 : 1,0. У той же час у гепатопанкреасі і мантиї було близьким: відповідно 1,26—1,27 : 1,0 і 1,3—1,4 : 1,0. Також встановлено, що у *L. stagnalis* вміст $C_{16:0}$ та $C_{18:0}$ у мантиї на 9,34—13,86 % вищий, ніж у *U. pictorum*, а у нозі — на 24,68—52,39 % нижчий. Вміст цих ЖК у гепатопанкреасі обох видів не відрізнявся.

Крім $C_{16:0}$ та $C_{18:0}$, в усіх досліджених органах *L. stagnalis* і *U. pictorum* з НЖК нормальної будови виявлено $C_{14:0}$, $C_{15:0}$ у кількості меншій 1 %, і $C_{17:0}$, вміст якої становив відповідно 0,89—1,21 і 1,45—1,48 %. Наявність ЖК з непарною кількістю атомів у ланцюгу ($C_{15:0}$ і $C_{17:0}$) є біомаркером споживання молюсками корму бактеріального походження [13]. У них також встановлено наявність 14-метилпальмітинової ЖК (0,32—0,7 % у *L. stagnalis* і 1,1—1,4 % у *U. pictorum*). Вміст інших розгалужених структурних ізомерів НЖК — ai14:0, i15:0, i16:0, ai 17:0, i17:0 був видо- і органоспецифічним (див. табл. 1).

У гепатопанкреасі *U. pictorum* у незначній кількості виявлено ЖК, яких не було знайдено в *L. stagnalis*: $C_{22:0}$, $C_{23:0}$, iso- та anteiso- $C_{17:0}$, і ЖК, що містять циклопропанове кільце — cyclopropanedecanoic 2-octyl. У той же

Таблиця 1

Вміст насичених ЖК в організмі прісноводних молюсків
(% загальної суми площ піків)

Жирні кислоти	<i>L. stagnalis</i>			<i>U. pictorum</i>		
	1	2	3	1	2	3
Pelargonic (C9:0)	0,15± 0,02	—	—	—	—	—
Tridecanoic (C14:0)	0,45± 0,01	0,85± 0,04	0,93± 0,08	0,18± 0,11	0,31± 0,14	0,18± 0,01
Pentadecanoic (C15:0)	0,37± 0,01	0,44± 0,02	0,36± 0,03	0,37± 0,02	0,44± 0,02	0,46± 0,02
12-methyltetradecanoic (ai C15:0)	0,26± 0,09	—	—	—	—	—
Hexadecanoic (C16:0)	9,67± 1,01	12,65± 0,75	5,17± 0,22	10,7± 0,43	11,59± 1,18	10,04± 1,11
14-methylpentadecanoic (i C16:0)	0,11± 0,02	—	—	0,18± 0,08	—	0,15± 0,02
14-methylhexadecanoic (ai C17:0)	0,59± 0,02	0,70± 0,04	0,32± 0,02	1,40± 0,82	1,10± 0,09	1,34± 0,09
15-methylhexadecanoic (i C17:0)	0,83± 0,05	0,44± 0,01	0,37± 0,02	—	—	—
Heptadecanoic (C17:0)	1,21± 0,13	1,19± 0,07	0,89± 0,03	1,45± 0,13	1,48± 0,21	1,84± 0,14
Octadecanoic (C18:0)	7,65± 0,20	9,13± 0,11	7,60± 0,50	7,81± 0,92	8,35± 0,64	10,09± 1,12
15-methylheptadecanoic (ai C18:0)	—	—	—	0,10± 0,08	—	—
16-methylheptadecanoic (i C18:0)	—	—	—	0,14± 0,08	—	—
Arachidic (C20:0)	0,14± 0,02	—	—	0,23± 0,03	0,15± 0,02	0,22± 0,01
Behenic (C22:0)	—	—	—	0,19± 0,05	—	—
Tricosanoic (C23:0)	—	—	—	0,22± 0,03	—	—
Tridecanoic, 4,8,12-trimethyl-	2,05± 0,43	0,14± 0,01	—	—	—	0,29± 0,01
Cyclopropanedecanoic, 2-octyl-	—	—	—	0,33± 0,05	—	—
Сумарна частка насичених ЖК	23,48	25,54	15,64	23,30	23,42	24,61

Примітка. Тут і в табл. 2, 3: 1 — гепатопанкреас; 2 — мантія; 3 — нога; $M \pm m$, $n = 3$.

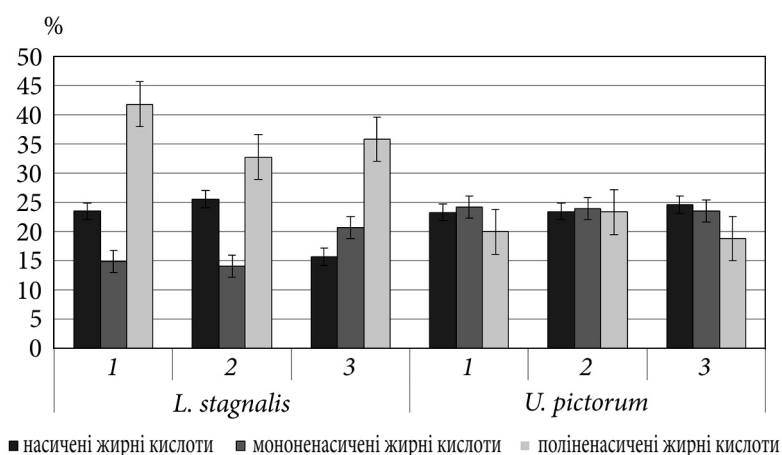


Рисунок. Частки груп жирних кислот в органах досліджуваних молюсків (% загальної суми отриманих хроматографічних піків): 1 — гепатопанкреас; 2 — мантия; 3 — нога

час у гепатопанкреасі та мантиї *L. stagnalis* ідентифіковано нехарактерну для молюсків насичену 4,8,12-триметилтридеканову кислоту (відповідно 2,05 і 0,14 %) що, ймовірно, свідчить про наявність у водному середовищі бактерій, яким властива ця ЖК [13].

Характерною особливістю ЖК-профілю досліджених молюсків є значна ненасиченість. У *L. stagnalis* вміст ННЖК склав 46,84—62,49 %, головним чином за рахунок ПНЖК (32,74—41,83 %), а у *U. pictorum* — 42,27—47,5 %, з яких 23,49—24,19 % МНЖК і 18,78—23,31 % ПНЖК (табл. 2).

Незалежно від виду, домінуюча група МНЖК представлена ЖК $C_{20:1}$ і *cis*- і *trans*-формами $C_{18:1n-9}$, яка, як відомо, може виступати проміжною ланкою та попередником вищих довголанцюгових ПНЖК.

Мононенасичена жирна кислота $C_{18:1}$ представлена трьома ізомерами (n_5 , n_9 , n_{10}), сумарний вміст яких у *L. stagnalis* складає 6,93%—8,32 %, а у *U. pictorum* — 4,53—7,55 %. Встановлено, що вміст $C_{18:1n_9}$ (*c/t*) у гепатопанкреасі і нозі *L. stagnalis* в 1,07—1,63 разу ($p < 0,01$) перевищує її вміст в цих органах *U. pictorum*, а у мантиї є меншим на 18,75 % ($p < 0,05$, див. табл. 2).

Мононенасичена жирна кислота $C_{16:1}$ у *U. pictorum* представлена двома ізомерами (n_9 , n_7), у *L. stagnalis* — одним (n_9). Вміст $C_{16:1}$ у гепатопанкреасі і мантиї *L. stagnalis* був нижчим ніж у цих органах *U. pictorum* на 61,30—67,59 % ($p < 0,01$), а у нозі — у 2,39 рази ($p < 0,01$) вищим.

Сумарний вміст ізомерів ейкозенової $C_{20:1}$ кислоти у *L. stagnalis* і *U. pictorum* досить значний — відповідно 6,09—6,35 і 11,96—14,33 %.

Довголанцюгові МНЖК $C_{22:1}$ та $C_{24:1}$ у всіх органах *L. stagnalis* не виявлені, а у гепатопанкреасі і нозі *U. pictorum* у мінорних кількостях ідентифіковано $C_{22:1n-x}$ (0,35 та 0,29 % від загальної кількості), що може свідчи-

ти про її присутність у кормових об'єктах, оскільки ЖК ряду C_{22} в організмі гідробіонтів надходять лише з їжею [19].

Співвідношення $C_{16:0}/C_{18:1n-9}$ у в гепатопанкреасі, мантиї та нозі *L. stagnalis* становило відповідно 1,93, 2,5 та 0,81, а *U. pictorum* — відповідно 2,1, 1,78 та 2,77. Найімовірніше, це пов'язано з відмінностями у спектрах живлення досліджених молюсків.

Найбільший інтерес при аналізі ЖК-спектру ліпідів викликає склад ПНЖК і співвідношення $\omega 3$ та $\omega 6$ у ньому, більшість з яких є незамінними і надходять до організму тварин лише з кормом. Вони є субстратом у біосинтезі багатьох фізіологічно активних речовин і кофактором низки біологічних перетворень [7, 11].

Таблиця 2
Вміст мононенасичених ЖК в організмі прісноводних молюсків (% загальної суми площ піків)

Жирні кислоти	<i>L. stagnalis</i>			<i>U. pictorum</i>		
	1	2	3	1	2	3
Palmitoleic (C16:1n9)	1,01± 0,10	0,82± 0,02	6,26± 0,08	2,61± 0,54	2,53± 0,37	2,62± 0,87
Palmitoleic (C16:1n7 (Z)—)	—	—	—	—	0,25± 0,03	—
15-methyl-11-Hexadecenoic (i C17:1)	—	—	—	0,36± 0,02	0,33± 0,06	0,40± 0,01
cis-10-Heptadecenoic Acid (C17:1)	0,13± 0,01	—	—	0,28± 0,03	0,64± 0,09	0,26± 0,01
Oleic (C18:1n9 (c/t)	5,00± 0,004	5,07± 0,04	5,91± 0,02	4,68± 0,92	6,24± 2,69	3,62± 0,06
5-Octadecenoic (C18:1n5)	0,66± 0,01	—	0,19± 0,02	0,40± 0,17	0,38± 0,06	0,37± 0,02
10-Octadecenoic (C18:1n10)	1,97± 0,04	1,86± 0,02	2,22± 0,01	0,86± 0,04	0,93± 0,20	0,94± 0,02
X-Eicosenoic (C20:1n—x)	0,36± 0,04	—	—	13,98± 5,32	11,96± 2,15	14,33± 2,31
cis-13-Eicosenoic (C20:1n13)	4,68± 0,20	5,56± 0,17	5,23± 0,20	—	—	—
cis-11-Eicosenoic (C20:1n11)	0,99± 0,10	0,79± 0,07	0,86± 0,02	—	—	—
cis-11-Eicosenoic (C20:1n9)	—	—	—	0,67± 0,08	0,69± 0,08	0,66± 0,01
X-Docosenoic (C22:1n—X)	—	—	—	0,35± 0,01	—	0,29± 0,01
Сума МНЖК	14,80	14,10	20,66	24,19	23,95	23,49

Встановлено, що вміст ПНЖК у *L. stagnalis* становить 32,74—41,82 % що у 1,74—1,79 разу ($p < 0,01$) перевищує їх вміст у *U. pictorum* (див. рисунок).

Якісний склад ПНЖК був видо- та органоспецифічним (табл. 3). За зростанням їх сумарного вмісту органи досліджених молюсків розміщуються наступним чином: *L. stagnalis*: мантия → нога → гепатопанкреас, *U. pictorum*: нога → гепатопанкреас → мантия.

Важливим показником, що характеризує текучість клітинних мембран та рівень окислювальних процесів в організмі тварин є коефіцієнт ненасиченості ЖК (Σ ПНЖК : Σ НЖК) [21]. У *L. stagnalis* його значення було вищим ніж у *U. pictorum* (відповідно 1,28—2,29 і 0,76—0,99). У першого за кількісним вмістом переважали ПНЖК родини $\omega 3$, серед яких основний вклад вносили $C_{20:3n3t}$ (12,62—13,22 %) та $C_{20:5n3}$ (all Z) (4,21—7,63 %), яка поряд з арахідоною кислотою родини $\omega 6$ є необхідним компонентом фосфоліпідів біомембран більшості тканин організму.

У *U. pictorum* серед ПНЖК домінували ЖК родини $\omega 6$, головним чином арахідонова (7,08—9,75 %) і лінолева (2,95—3,74 %).

Відомо, що ПНЖК родини $\omega 3$ впливають на стан мембран та їх проникність, а також відіграють важливу роль в енергетичному метаболізмі клітини [6, 7, 12, 20]. Встановлено, що для обох видів молюсків спільними є $\omega 3$ ПНЖК $C_{18:3n3}$ та $C_{22:6n3}$, видоспецифічними для *L. stagnalis* — $C_{20:3n3t}$ та $C_{20:5n3}$, а для *U. pictorum* — $C_{21:5n3}$ та $C_{22:5n3}$.

У обох досліджених видів визначена α -ліноленова кислота $C_{18:3n3}$, яка є попередником кислот $C_{20:5}$ та $C_{22:6\omega 3}$ [6]. Її вміст у гепатопанкреасі, мантиї і нозі *L. stagnalis* перевищував вміст у цих органах *U. pictorum* відповідно у 4,62, 1,35 і 1,9 разу. Це може свідчити про присутність зелених водоростей у поживі першого виду, адже саме ця ЖК вважається їх біомаркером [11]. Водночас нижчий вміст у *U. pictorum* може вказувати на її більш інтенсивне перетворення у довголанцюгові ПНЖК.

Ейкозапентаєнова кислота ($C_{20:5\omega 3}$), що відображає внесок рослинного корму у раціон безхребетних, ідентифікована лише у *L. stagnalis* у досить високих концентраціях (4,91—4,73 %), що також підтверджує споживання ним діатомових водоростей [11].

Важлива роль в адаптації тварин до дії різних чинників середовища належить докозагексаєновій кислоті, що зумовлене тим, що вона входить до складу фосфоліпідного матриксу мембрани та значною мірою визначає її плинність, активність ензимів і бере участь у формуванні натрієвих каналів, що забезпечують іонний транспорт [7]. У *U. pictorum* вона міститься у кількості 1,56—1,96 %, що свідчить про здатність цих молюсків до адаптацій з характерними структурно-функціональними механізмами «перебудови», що відбуваються у біологічних мембранах у відповідь на зміну екологічних чинників. У той же час у *L. stagnalis* докозагексаєнову кислоту знайдено лише у гепатопанкреасі (2,65 %). Така закономірність її накопичення, ймовірно, відображає екологічні умови існування виду і склад його кормових об'єктів, оскільки відомо, що синтезувати цю ЖК

здатні лише деякі мікроводорості, після чого по ланцюгам живлення вона передається організмам більш високих трофічних рівнів. Також відомо, що її дефіцит може виникати у організмів з низьким коефіцієнтом конверсії $C_{20:5n-3}$ у $C_{22:6n-3}$ [19].

Спектр ПНЖК родини ω6 у обох досліджених молюсків представлений $C_{18:2}$, $C_{20:2}$ та $C_{20:4}$. Крім того, у *L. stagnalis* ідентифіковано $C_{20:3}$ і $C_{22:4}$, а у *U. pictorum* — $C_{18:3n6}$.

Таблиця 3

Вміст поліненасичених ЖК в організмі прісноводних молюсків (частка загальної суми площ піків)

Жирні кислоти	<i>L. stagnalis</i>			<i>U. pictorum</i>		
	1	2	3	1	2	3
α-Linolenic (9,12,15-Octadecatrienoic) (C18:3n3)	3,56± 0,40	1,46± 0,018	1,64± 0,07	0,77± 0,17	1,08± 0,19	0,86± 0,19
Linoleic (9,12-Octadecadienoic) (C18:2n6c)	4,95± 0,40	3,34± 0,31	3,85± 0,24	3,36± 0,22	3,74± 0,39	2,95± 0,25
γ-Linolenic (5,9,12-Octadecatrienoic) (C18:3n6)	—	—	—	0,33± 0,13	0,27± 0,02	0,31± 0,01
cis-11,14-Eicosadienoic (C20:2n6)	4,15± 0,63	3,23± 0,13	3,66± 0,20	1,22± 0,17	0,25± 0,02	0,31± 0,01
cis-8,11,14-Eicosatrienoic (C20:3n6)	1,31± 0,17	0,33± 0,07	0,52± 0,05	—	—	—
trans-8,11,14-Eicosatrienoic (C20:3n3t)	12,62± 0,50	13,06± 0,2	13,22± 0,58	—	—	—
Arachidonic (5,8,11,14-eicosatetraenoic) (C20:4n6)	0,71± 0,02	0,61± 0,14	0,36± 0,02	7,57± 2,15	9,75± 0,84	7,08± 0,87
5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic (C20:5n3)	7,63± 0,50	4,21± 0,10	4,94± 0,14	—	—	—
5,8,11,14-Docosatetraenoic (C22:4n6)	4,24± 0,54	6,49± 0,15	7,63± 0,49	—	—	—
cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic (C22:6n3(all-Z))	2,65± 0,08	—	—	1,56± 0,16	1,96± 0,72	1,61± 0,01
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic (C21:5n3)	—	—	—	3,49± 0,80	4,32± 0,63	4,19± 0,04
5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic (C22:5n3)	—	—	—	1,65± 0,52	1,95± 0,05	1,46± 0,05
Сума ПНЖК	41,82	32,74	35,82	19,94	23,31	18,78± 0,29
Сума ω-3 ЖК	26,46	18,73	19,8	7,47	9,31	8,12
Сума ω-6 ЖК	15,36	14,00	16,02	12,48	14,01	10,65

У досліджених молюсків зареєстровано значну кількість лінолевої ЖК ($C_{18:2n6c}$), яка є біохімічним попередником ліноленової і арахідонової ЖК, необхідним елементом клітинних мембран, попередником ключових ендогормонів, що впливають на ріст, розвиток, розмноження тварин і беруть участь у адаптації організму до навколишнього середовища [7]. У гепатопанкреасі і у нозі *L. stagnalis* її вміст був вищим ніж в цих органах *U. pictorum* відповідно в 1,47 і 1,31 разу ($p < 0,01$), а у мантиї на 10,7 % нижчим.

В організмі *U. pictorum* у значній кількості (7,08—9,75 %) містилась $C_{20:4n6}$, а у *L. stagnalis* її вміст був незначним (0,36—0,71 %). У гепатопанкреасі, мантиї і нозі *U. pictorum* її вміст у 10,7, 16,0 і 19,7 разу перевищував вміст у цих органах *L. stagnalis*. Незначний вміст у *L. stagnalis* може свідчити з одного боку про її інтенсивне використання як у процесах ферментативного та неферментативного перекисного окислення, а з іншого — про пригнічення її біосинтезу із аліментарного попередника — лінолевої кислоти у реакціях елонгації і десатурації, оскільки відомо, що саме цей шлях є основним для забезпечення організму $C_{20:4}$ [7]. Крім того відомо, що продукти ейкозапентаєнової кислоти (яка виявлена у значній кількості) здійснюють протинапрявлену дію речовинам арахідонового каскаду [7].

Для досліджених видів розраховано співвідношення есенціальних ЖК $\Sigma\omega3/\Sigma\omega6$ у складі загальних ліпідів, який є достовірно вищим у *L. stagnalis* (1,72 у гепатопанкреасі, 1,34 у мантиї та 1,24 у нозі) порівняно з *U. pictorum* (відповідно 0,6, 0,67 та 0,76). Така динаміка може свідчити про більш низьку в'язкість мембран і вищу інтенсивність обмінних процесів в організмі *L. stagnalis* порівняно з *U. pictorum*.

Висновки

За допомогою хромато-мас-спектрометрії встановлено якісний та кількісний склад жирнокислотного складу гепатопанкреасу, мантиї і ноги двох видів прісноводних молюсків *Lymnaea stagnalis* і *Unio pictorum*, що відрізняються будовою тіла, спектрами живлення та специфікою низки фізіологічних функцій.

Встановлено, що жирнокислотний спектр *L. stagnalis* і *U. pictorum* представлений насиченими та ненасиченими жирними кислотами з парною і непарною кількістю атомів карбону. Ідентифіковано розгалужені iso- та anteiso-ЖК, ЖК з цис- і транс-формами подвійних зв'язків.

З'ясовано, що якісний і кількісний склад ЖК досліджених видів значно відрізняється і має органну специфічність.

Серед НЖК у обох видів кількісно домінували $C_{16:0}$ та $C_{18:0}$. Особливістю жирнокислотного профілю є його значна ненасиченість. Вміст ННЖК у *L. stagnalis* становив 46,84—62,49 %, у *U. pictorum* — 32,74—41,83 % сумарного вмісту ЖК.

У обох видів домінуюча група МНЖК представлена $C_{20:1}$ і цис- і транс-формами кислоти $C_{18:1n-9}$. Вміст інших МНЖК був видо- і органспецифічним.

Вміст ПНЖК у *L. stagnalis* достовірно у 1,7—1,8 разу вищий ніж у *U. pictorum*. У першого виду кількісно переважали ПНЖК родини $\omega 3$, серед яких основний вклад вносили $C_{20:3n3t}$ та $C_{20:5n3}$ (all Z) (4,21—7,63 % сумарного вмісту ПНЖК). В органах *U. pictorum* переважали ПНЖК родини $\omega 6$, головним чином арахідонова (7,08—9,75 %) та ліолева (2,95—3,74 %).

Відношення есенціальних ЖК $\Sigma\omega 3/\Sigma\omega 6$ у складі загальних ліпідів, було достовірно вищим у *L. stagnalis* (1,72 у гепатопанкреасі, 1,34 у мантиї та 1,24 у нозі) порівняно з *U. pictorum* (відповідно 0,60, 0,67 та 0,76).

Результати дослідження можуть бути використані у розшифруванні механізмів індивідуальної резистентності і адаптивних здатностей досліджуваних моллюсків до дії екологічних чинників водного середовища.

Список використаної літератури

1. Грубінко В. В. Адаптивні стратегії токсикорезистентності до металів у гідробіонтів. *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол.* 2017. № 2. С. 129—149.
2. Киричук Г. Є. Особливості вуглеводного обміну в організмі *Lymnaea stagnalis* за дії трематодної інвазії. *Вісн. Черкаськ. ун-ту. Сер. Біол. науки.* 2015. № 19. С. 69—75.
3. Хлебович В. В. Акклимация животных организмов. Л.: Наука, 1981. 135 с.
4. Advances in lipid methodology / Ed. by W.W. Christie. Dundee : Oily Press, 1993. P. 195—213.
5. Anon. Gas-Chrom. Newsletter. *Appl. Sci. Lab. Inc.* 1970. Vol. 11, N 4. P. 2.
6. Arakelova E.S., Chebotareva M.A., Zabelinskii S.A., Ivanova V.P. Effect of Habitat and Motor Activity of Mollusks on Fatty Acid Composition of Triglycerides and Phospholipids. *J. Evol. Biochem. Physiol.* 2009. Vol. 45, N 1. P. 51—58.
7. Bell M.V., Tocher D.R. Biosynthesis of polyunsaturated fatty acids in aquatic ecosystems: general pathways and new directions. *Lipids in Aquatic Ecosystems*. Ed. by M. Kainz, M. Brett, M. Arts. New York : Springer, 2009.
8. Dalsgaard J., St. John M., Kattner G. et al. Fatty acid trophic markers in the pelagic marine environment. *Adv. Mar. Biol.* 2003. Vol. 46. P. 225—340.
9. Fokina N., Vasil'eva O., Sukhovskaya I., Kurpe S. Cd and Ni modulate fatty acid composition and oxidative status in the freshwater mussel *Anodonta cygnea*. *Toxicol. Environ. Health Sci.* 2020. Vol. 12, N 2. P. 169—176.
10. Folch J., Lees M., Sloane S. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 1957. Vol. 226, N 1. P. 497—509.
11. Fujibayashi M., Nishimura O., Tanaka H. Evaluation of food sources assimilated by Unionid mussels using fatty acid trophic markers in Japanese Freshwater Ecosystems. *J. Shellfish Res.* 2016. Vol. 35, N 1. P. 231—235.
12. Gladyshev M. I., Sushchik N. N., Anishchenko O. V. et al. Efficiency of transfer of essential polyunsaturated fatty acids versus organic carbon from producers to consumers in a eutrophic reservoir. *Oecologia.* 2011. Vol. 165, N 2. P. 521—531.
13. Gosling E. Marine Bivalve mollusks. Chichester : Wiley Blackwell, 2015. 537 p.
14. Hochachka P. W., Somero G. N. Biochemical adaptation: mechanism and process in physiological evolution. New York : Oxford University Press, 2002. 466 p.
15. Kostiuk K.V., Grubinko V.V. Change of composition of the cellular membranes of the aquatic plants under the impact of toxic substances. *Hydrobiol. J.* 2012. Vol. 48, N 4. P. 75—92.
16. Lee J.M., Lee H., Kang S., Park W.J. Fatty acid desaturases, polyunsaturated fatty acid regulation, and biotechnological advances. *Nutrients.* 2016. Vol. 8, N 1. P. 23.
17. Makhutova O.N., Protasov A.A., Gladyshev M.I. et al. Feeding spectra of bivalve mollusks *Unio* and *Dreissena* from Kanevskoe Reservoir, Ukraine: are they food competitors or not? *Zool. Stud.* 2013. Vol. 52. P. 56.

18. Murzina S.A., Pekkoeva S.N., Kondakova E. et al. Tiny but fatty: lipids and fatty acids in the Daubed Shanny (*Leptoclinus maculatus*), a small fish in Svalbard Waters. *Bio-molecules*. 2020. Vol. 10, N 3. P. 368.
19. Sargent J.R., Bell J.G., Bell M.V., Henderson R.J. Requirement criteria for essential fatty acids. *J. Appl. Ichthyology*. 1995. Vol. 11, N 2. P. 117—127.
20. Twining C.W., Brenna J.T., Hairston Jr. N.G., Flecker A.S. Highly unsaturated fatty acids in nature: what we know and what we need to learn. *Oikos*. 2016. Vol. 125, N 6. P. 749—760.
21. Vysotskaya R.U., Tkach N.P., Kalinkina N.M. The influence of sodium lignosulfonate on the lipid composition in the invasive amphipod *Gmelinoidea fasciatus* Stebbing of Lake Onego. *Inland Water Biology*. 2019. Vol. 12, N 2. P. 240—247.

Надійшла 05.05.2022

G.Ye. Kyrychuk, Dr. Sci., Prof.,
Zhytomyr Ivan Franko State University,
Velyka Berdychivska Str., 40, Zhytomyr, 10008, Ukraine
e-mail:kyrychuk@zu.edu.ua
L.V. Muzyka, PhD (Biol.),
Zhytomyr Ivan Franko State University,
Velyka Berdychivska Str., 40, Zhytomyr, 10008, Ukraine
e-mail: Lidiya.Muzyka @ ukr.net
N.M. Korniiichuk, PhD (Biol.), Ass. Prof.,
Zhytomyr Ivan Franko State University,
Velyka Berdychivska Str., 40, Zhytomyr, 10008, Ukraine,
e-mail: korniychuknm@meta.ua

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE FATTY ACID COMPOSITION OF *LYMNAEA STAGNALIS* (GASTROPODA, LYMNAEIDAE) AND *UNIO PICTORUM* (BIVALVIA, UNIONIDAE)

The paper deals with qualitative composition and quantitative content of fatty acids in freshwater mollusks *Lymnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758) and *Unio pictorum* (Linnaeus, 1758), which are a constant component of freshwater biocenoses and serve as a convenient model for the study of the resistance mechanisms at different levels (from molecular to population) under the impact of environmental factors.

The content of saturated (NFA), monounsaturated (MUFA) and polyunsaturated (PUFA) fatty acids in the studied animals was determined.

The gas-chromatography-mass spectrometry method has revealed that the fatty acid spectrum of total lipids of *L. stagnalis* and *U. pictorum* is presented by saturated and unsaturated fatty acids with even and odd number of carbon atoms. A characteristic feature of the fatty acid profile of both studied species is the high content of branched fatty acids (iso- and anteiso-forms), as well as the presence of FAs with cis- and trans-forms of double bonds. The research demonstrated that the NFA portion (% of total chromatographic peaks obtained) is 15.64—25.54 % in *L. stagnalis* and 23.3—24.61 % in *U. pictorum*.

The distinctive feature of the FA profile of the studied mollusks is the significant content of unsaturated FA. The research proved the presence of essential PUFA of the families $\omega 3$ and $\omega 6$, however their qualitative composition and quantitative indicators are species- and organ-specific.

Keywords: freshwater mollusks, saturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, metabolic adaptation.