

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ГІДРОБІОЛОГІЇ

МУЗИКА

Лідія Володимирівна



УДК 574.64+574.24+577.115+594.1+594.3

**ВМІСТ ТА РОЛЬ РЕЧОВИН ЛІПІДНОЇ ПРИРОДИ
В АДАПТАЦІЇ ПРІСНОВОДНИХ МОЛЮСКІВ ДО ЕКОЛОГІЧНИХ
ЧИННИКІВ РІЗНОЇ ПРИРОДИ**

03.00.17 – Гідробіологія

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата біологічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Житомирському державному університеті імені Івана Франка
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник:

доктор біологічних наук, професор
Киричук Галина Євгенівна,
Житомирський державний університет імені Івана Франка,
ректор, професор кафедри ботаніки, біоресурсів та
збереження біорізноманіття

Офіційні опоненти:

доктор біологічних наук, старший науковий співробітник
Потрохов Олександр Спиридонович,
Інститут гідробіології НАН України,
завідувач відділу біології відтворення риб

доктор біологічних наук, професор
Грубінко Василь Васильович,
Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка,
завідувач кафедри загальної біології та методики навчання
природничих дисциплін

Захист дисертації відбудеться « 07 » _____ травня _____ 2021 р. о 14.00 годині на
засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.213.01 Інституту гідробіології НАН
України за адресою: 04210, м. Київ, пр. Героїв Сталінграда, 12.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту гідробіології НАН
України (04210, м. Київ, пр. Героїв Сталінграда, 12).

Автореферат розісланий « 06 » _____ квітня _____ 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор біологічних наук



О. М. Волкова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Фізіологічні та біохімічні показники гідробіонтів є результатом і відображенням еволюційно сформованих адаптацій до комплексу змінних чинників середовища їх існування, тому є ефективними інструментами біомоніторингу, оскільки відображають інтегральну відповідь організму на зміну умов існування та дають змогу отримувати інформацію про відновлення екосистеми на організмовому рівні її організації (Хочачка, 2002; Арсан, 2008; Грубінко, 2008; Лукашов, 2009; Киричук, 2011; Шульман, 2014). До перспективних об'єктів біоіндикації за комплексом критеріїв належать молюски, які домінують за чисельністю та біомасою серед гідробіонтів, є компонентами ланцюгів живлення в екосистемах, високочутливі до забруднення природних вод, відіграють важливу роль в акумуляції та переносі хімічних речовин, тим самим є основним чинником, що підвищує самоочищувальну здатність водойм та чітко відображає всі зміни водного середовища (Гандзюра, 2008). Крім того, ці організми є облігатними проміжними, а іноді й додатковими хазяями великої кількості видів трематод, як одних з обов'язкових компонентів прісноводних екосистем та збудників небезпечних захворювань людини й тварин (Стадниченко, 1999).

Відомо, що малакофауна характеризується видоспецифічними реакціями на дію низки абіотичних та біотичних чинників, аж до забруднення навколишнього середовища, оскільки екологічні спектри видів значною мірою визначаються фізіологічними та біохімічними процесами, що відбуваються в їхньому організмі на рівні клітинного метаболізму (Grieshaber et. al., 1994).

Серед ключових показників, які відображають стан організму молюсків та процеси, що в ньому відбуваються, є механізми іонної регуляції та фізіологічні показники стрес-адаптації, одним із молекулярних механізмів якої є вміст у тканинах та органах цих тварин різноманітних вторинних метаболітів, серед яких основна частина представлена функціональними сполуками, до яких належать каротиноїди, ліпіди різних класів, а також поліненасичені жирні кислоти родин n-3 та n-6. Зокрема, вміст каротиноїдів у тканинах молюсків свідчить про стан системи антиоксидантного захисту та фізіологічного стану організму загалом (Гостюхина и др., 2005; Гладишев, 2012).

З огляду на те, що частина із зазначених сполук не синтезується в тканинах та органах молюсків *de novo*, а надходить як компоненти їжі, депонується в незмінному вигляді або модифікується за допомогою метаболічних реакцій, а тому дає уявлення про харчові ланцюги та метаболічні шляхи молюсків, дослідження зміни їхніх кількісних показників є актуальним.

Окрім цього, актуальність досліджень визначається не лише можливістю отримання даних про особливості біохімічної організації в різних щодо екології груп тварин та зміни біохімічних показників у межах норми реакції за адаптацій до змінних умов середовища, а також і даних про виникнення патології у зв'язку зі зростанням антропогенного навантаження. Вивчення перебігу реакцій також необхідні й для вирішення завдань, пов'язаних із тестуванням та моніторингом природних вод.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконували в Житомирському державному університеті імені Івана Франка в

рамках науково-дослідної теми Міністерства освіти і науки України «Вплив антропогенного навантаження на біорізноманіття водних екосистем Центрального Полісся» (номер державної реєстрації НДР: 0113U002157, 2013–2015 рр.).

Мета роботи – установити основні закономірності зміни вмісту каротиноїдних пігментів, ліпідів різних класів і жирних кислот у тканинах та органах прісноводних молюсків за дії трематодної інвазії та поллютантів різної природи (локальної, протоплазматичної та комбінованої дії).

Для досягнення поставленої мети необхідно було виконати такі **завдання**:

1. Установити кількісний вміст каротиноїдних пігментів (β -каротину та ксантофілів) в організмі прісноводних молюсків різних трофічних груп: поліфаги (*U. pictorum*, *A. cygnea*), детритофаги (*L. stagnalis*) та фітофаги (*P. purpura*).

2. Здійснити порівняльний аналіз вмісту каротиноїдів в організмі прісноводних молюсків із різною морфо-функціональною організацією органів дихання: фільтратори (*U. pictorum*, *A. cygnea*) та легеневі (*L. stagnalis*, *P. purpura*).

3. Вивчити вплив фізіологічного статусу *Unio pictorum* та *Anodonta cygnea* на вміст каротиноїдних пігментів в їхньому організмі.

4. Установити вплив трематодної інвазії на вміст β -каротину та ксантофілів у тканинах та органах *L. stagnalis* та *P. purpura*.

5. Вивчити сезонну динаміку вмісту каротиноїдних пігментів в організмі *L. stagnalis* у нормі та за дії трематодної інвазії.

6. З'ясувати особливості різнотривалого впливу токсикантів із різним механізмом дії на вміст каротиноїдних пігментів у тканинах та органах ставковика звичайного.

7. Установити ліпідний вміст (ТАГ, ДАГ, НЕЖК та ФЛ) *Lymnaea stagnalis* та *Unio pictorum* у нормі, за дії трематодної інвазії та залежно від фізіологічного стану цих тварин.

8. Установити жирнокислотний профіль організму *L. stagnalis* та *U. pictorum* у нормі та залежно від дії на організм трематодної інвазії.

Об'єкт дослідження – речовини ліпідної природи прісноводних молюсків різних екологічних груп та фізіологічного статусу (*Lymnaea stagnalis*, *Planorbis purpura*, *Unio pictorum*, *Anodonta cygnea*).

Предмет дослідження – адаптивне значення деяких біологічно активних речовин (каротиноїдних пігментів, ліпідів, жирних кислот) у організмі прісноводних молюсків до дії екологічних чинників.

Методи дослідження: біохімічні (колориметричний – визначення вмісту каротиноїдних пігментів; хроматографічні – визначення вмісту ліпідів (тонкошарова хроматографія), визначення вмісту жирних кислот (газова хромато-мас-спектрометрія); загальногідробіологічні методи відбору проб матеріалу та його опрацювання; паразитологічні методи; токсикологічні методи, статистичний аналіз (кластерний аналіз – оцінка ступеня впливу іонів важких металів на вміст каротиноїдних пігментів; кореляційний аналіз – вивчення залежності між морфометричними параметрами молюсків (діаметр і висота черепашки), масою тіла та вмістом β -каротину й ксантофілів; методи варіаційної статистики з використанням t-критерію Ст'юдента).

У процесі роботи над дисертацією не були порушені норми біоетики.

Наукова новизна одержаних результатів. Уперше досліджено накопичення й розподіл β -каротину та ксантофілів у тканинах (органах) прісноводних молюсків *U. pictorum*, *A. cygnea*, *L. stagnalis*, *P. purpura* гідроценозів Житомирського Полісся, які відрізняються екологічними вимогами, анатомо-морфологічною будовою, специфікою фізіологічних функцій (насамперед дихання та розмноження) та характеризуються різнотиповістю спектрів живлення. Установлено, що види, органами дихання яких є зябра (*U. pictorum* та *A. cygnea*) мають нижчі показники вмісту як β -каротину, так і ксантофілів у тканинах (органах) порівняно з *L. stagnalis* та *P. purpura*, для яких характерне легеневе дихання. З'ясовано особливості вмісту каротиноїдних пігментів в організмі *Unio pictorum* та *Anodonta cygnea* залежно від фізіологічного стану тварин. Показано міжвидові відмінності досліджуваних двостулкових молюсків щодо вмісту в їхніх органах β -каротину та ксантофілів. Показано, що вміст β -каротину та ксантофілів у самок *U. pictorum* у гонаді та гепатопанкреасі більший, ніж у цих самих органах самців, що може сприяти підтриманню гомеостазу антиоксидантної системи (неспецифічним елементом якої є β -каротин) у самок порівняно із самцями. У зябрах та мантиї *U. pictorum* показники β -каротину та ксантофілів були в однакових межах та не залежали від статі досліджуваних тварин. Для *A. cygnea* зафіксовано значно нижчі показники вмісту β -каротину в гепатопанкреасі, зябрах та нозі самок порівняно з цими органами самців.

Виявлено суттєвий вплив трематодної інвазії на вміст каротиноїдних пігментів в організмі *L. stagnalis* та *P. purpura*. Показано, що підвищення вмісту каротиноїдних пігментів є адаптивною відповіддю хазяїна на підтримку гомеостазу функціонування організму.

З'ясовано вплив токсикантів локальної (іони ВМ), протоплазматичної (сечовина) та комбінованої дії (фенол, хлорид амонію) за різної тривалості експозиції на вміст каротиноїдних пігментів у тканинах ставковика звичайного. Установлено, що вплив досліджених іонів на вміст цих каротиноїдів в органах (тканинах) *L. stagnalis* є багатовекторним і має регуляторно-токсичний принцип дії.

З'ясовано фракційний склад ліпідів тканин й органів *Lymnaea stagnalis* та *Unio pictorum* у нормі, за дії трематодної інвазії та залежно від фізіологічного стану організму цих тварин. Досліджено жирнокислотний профіль тканин та органів *L. stagnalis* та *U. pictorum*.

Практичне значення отриманих результатів. Результати роботи можуть бути теоретичним підґрунтям для вирішення завдань, пов'язаних з удосконаленням гідробіологічного моніторингу водойм, а також у процесі побудови прогнозних сценаріїв стійкості екосистем до дії екологічних чинників різної природи, дадуть змогу розкрити механізми індивідуальної резистентності й адаптивних здатностей прісноводних молюсків до чинників зовнішнього середовища, які формуються в результаті антропогенного пресингу.

Окрім цього, результати дослідження дають змогу оцінити екологічні умови окремих гідроекосистем, допоможуть визначити роль досліджуваних біологічно активних речовин (каротиноїдних пігментів, ліпідів та ЖК) у процесах адаптації прісноводних молюсків як специфічних стрес-редуючих чинників й уможливають

розшифрування механізмів стрес-реакції та адаптації, а також можуть бути використані під час розробки методів біоіндикації та прогнозування змін у водних екосистемах.

Теоретичні положення та практичні результати роботи також можуть бути використані для підготовки фахівців біологічного, екологічного профілів у закладах вищої освіти та в процесі викладання дисциплін біологічного циклу «Біомоніторинг природних вод», «Екологічна біохімія», «Гідробіологія».

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота ґрунтується на результатах експериментальних досліджень, які виконані особисто дисертанткою. Авторка поставила завдання, визначені метою дисертаційної праці, особисто проаналізувала наукову фахову літературу, виконала експериментальні дослідження, під керівництвом наукового керівника здійснила аналіз та інтерпретацію отриманих результатів і сформулювала основні положення та висновки. У співавторстві з науковим керівником підготовлено до друку наукові праці, у яких викладено матеріали дисертації.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної праці було оприлюднено на міжнародних наукових, науково-практичних конференціях і з'їздах: IV науково-практичній Всеукраїнській конференції молодих учених та студентів «Біологічні дослідження – 2013» (м. Житомир, 2013 р.), науково-практичній конференції, присвяченій 95-річчю заснування Національної Академії наук України «Актуальні проблеми сучасної гідроекології» (5–6 листопада 2013 р., м. Київ), III Міжнародній науковій конференції студентів, аспірантів та молодих учених (24–27 лютого 2014 р., м. Донецьк), V Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених і студентів «Біологічні дослідження – 2014» (4–5 березня 2014 р., м. Житомир), VI Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених і студентів «Біологічні дослідження – 2015» (11–12 березня 2015 р., м. Житомир), V Всеукраїнському з'їзді екологів з міжнародною участю (23–26 вересня 2015, м. Вінниця), VII з'їзді Гідроекологічного товариства України (5–8 жовтня 2015 р., м. Київ), V Міжнародній науковій малакологічній конференції «Моллюски: результати, проблеми і перспективи досліджень» (6–7 жовтня 2016 р., м. Житомир), VIII Всеукраїнській науково-практичній конференції «Біологічні дослідження – 2017» (14–16 березня 2017 р., м. Житомир), VIII з'їзді Гідроекологічного товариства України, присвяченому 110-річчю заснування Дніпровської біологічної станції «Перспективи гідроекологічних досліджень в контексті проблем довкілля та соціальних викликів» (6–8 листопада 2019 р., м. Київ).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 17 наукових праць, із них 5 статей у фахових наукових журналах (зокрема, 3 – у виданнях, які внесені до міжнародних наукометричних баз Web of Science Core Collection та Scopus), 3 – наукові статті, решта – в інших наукових журналах, матеріалах наукових конференцій та з'їздів.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна праця складається зі вступу, VI розділів, узагальнень, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дослідження – 225 сторінок, із яких загального тексту – 165 сторінок. Список використаних джерел містить 270 найменувань, із них іноземних – 149. Робота ілюстрована 5 таблицями та 55 рисунками.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

ВМІСТ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ СПОЛУК В ОРГАНІЗМІ ПРІСНОВОДНИХ МОЛЮСКІВ ТА ЙОГО РЕГУЛЯЦІЯ БІОТИЧНИМИ, АБІОТИЧНИМИ ТА АНТРОПОГЕННИМИ ЧИННИКАМИ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

У розділі проаналізовано наявні у фаховій вітчизняній та зарубіжній літературі дані щодо кількісного вмісту та якісного складу каротиноїдних пігментів, ліпідів різних класів і жирних кислот в організмі прісноводних молюсків. Наведено інформацію щодо властивостей, функцій та локалізації в організмі прісноводних молюсків.

Розглянуто роль каротиноїдних пігментів, ліпідів різних класів та жирних кислот у реалізації адаптивних можливостей прісноводних молюсків до дії несприятливих чинників водного середовища. Значна частина огляду присвячена питанню впливу абіотичних чинників (голодування, харчовий раціон, температурні умови), біотичних (трематодна інвазія) та антропогенних чинників (дія полютантів різної природи) на вміст, якісний склад та розподіл каротиноїдних пігментів і ліпідів різних класів в організмі прісноводних молюсків. Показано сезонну динаміку та популяційну мінливість вмісту каротиноїдів і ліпідів у тканинах та органах прісноводних молюсків, висвітлено літературні дані щодо сумісної дії кількох чинників на вміст каротиноїдних пігментів та залежності вмісту каротиноїдів у тканинах молюсків від ступеня забруднення середовища. Наведено інформацію щодо впливу на ліпідний склад організму молюсків фізіологічних, анатомічних та вікових особливостей і розглянуто залежність вмісту ліпідів від репродуктивного циклу молюсків.

Акцентовано увагу на фрагментарності, неоднозначності отриманих різними авторами експериментальних даних, які значно варіюють для одного й того самого виду не лише в кількісному аспекті, але й за якісними характеристиками.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для встановлення кількісних показників вмісту каротиноїдних пігментів (β -каротину та ксантофілів) у тканинах та органах прісноводних молюсків використано 60 екз. однорозмірних *Planorbarius purpura* (Müller, 1774), 60 екз. однорозмірних *Lymnaea stagnalis* (Linnaeus, 1758), 60 екз. 3-річних *Unio pictorum* (Linnaeus, 1758) та 60 екз. 3-річних *Anodonta cygnea* (Linnaeus, 1758), зібраних у червні–серпні 2014 р. у р. Тетерів (м. Житомир). Для вивчення впливу трематодної інвазії на вміст β -каротину та ксантофілів залежно від тривалості експозиції використано 40 екз. *L. stagnalis*, зібраних у квітні 2014 р. у р. Тетерів (м. Житомир).

Для токсикологічних дослідів використано 680 екз. *L. stagnalis*, зібраних у вересні–листопаді 2013 р. у р. Тетерів (м. Житомир), 240 екз. *L. stagnalis*, зібрані у вересні–листопаді 2013–2014 рр. на о. Мельком (с. Сонячне Житомирського району Житомирської області), 120 екз. *L. stagnalis*, зібраних у жовтні–листопаді 2013 р. у р. Тетерів (с. Дриглів Чуднівського району Житомирської області).

Матеріалом для дослідження вмісту ліпідів та жирних кислот слугували 80 екз. 3-річних *U. pictorum* та 80 екз. однорозмірних *L. stagnalis*.

Визначення видової належності молюсків здійснювали загальноприйнятими методами (Стадниченко, 1984, 2004).

Трематодну інвазію визначали за результатами мікроскопічного дослідження тканин гепатопанкреасу *P. purpura* та *L. stagnalis*. Визначення видової належності трематод проводили на живому матеріалі (Здун, 1961). Для дослідження відібрано молюски, інвазовані редіями та метацеркаріями *Echinoparyphium aconiatum* (Dietz, 1909).

У лабораторних умовах тварин утримували у дехлорованій відстоюванням протягом доби водопровідній воді (вміст Na^+ – 18 мг/дм³; K^+ – 1 мг/дм³; Cl^- – 10 мг/дм³; Ca^{2+} – 50 мг/дм³; Mg^{2+} – 9 мг/дм³; HCO_3^- – 115 мг/дм³, SO_4^{2-} – 10 мг/дм³) за однакових умов освітлення, температури та кисневого режиму (рН=7,3–7,7; t=18–20°C). Тварини, використані в дослідах, попередньо підлягали 14-добовій аклімації до умов лабораторного утримування (Хлебович, 1981).

Перед препаруванням штангенциркулем визначали розміри черепашки (з точністю до 0,05 мм); у двостулкових молюсків додатково визначали вік (Алимов, 1981). Для експерименту відібрано двостулкових молюсків лише 3-річного віку. Під час розтину методом мікроскопування тимчасових гістологічних препаратів, виготовлених із тканин статевих залоз, визначали стать молюска. Масу тіла, тканин (органів) вимірювали на електронних вагах (WPS 1200) із точністю до 0,01 г. Препарування молюсків здійснювали за кімнатної температури.

Токсикологічні досліди поставлено за методикою В. А. Алексєєва (Алексєєв, 1981). Для моделювання забруднення водного середовища ВМ використовували водні розчини з додаванням у відстоювану водопровідну воду необхідної кількості хлоридів металів $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, PbCl_2 , $\text{CdCl}_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$, ZnCl_2 , $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ та $\text{Cr}(\text{CH}_3\text{COO})_3$ марки ч.д.а. Розрахунок концентрацій токсикантів проведено на катіон. Додатково як токсиканти також обрано речовини, що характеризуються комбінованою (NH_4Cl , фенол) та протоплазматичною дією (сечовина) на організм молюсків. Вибір токсикантів зумовлений есенціальністю та значною наявністю їх у природних водах. Розчини готували на дехлорованій воді (рН=7,2–7,5, t=18–20°C). Розчини замінювали свіжими щодоби. В основному токсикологічному експерименті використано концентрації токсикантів, які відповідали 0,5 та 2 ГДК_{рибогосп.} Експозиція – 2, 7, 14 та 21 доба. Усі досліди супроводжувалися контролем. Контролем у всіх дослідах слугували молюски, які утримувались у дехлорованій шляхом відстоювання протягом доби водопровідній воді. Усі групи тварин (контрольна та дослідні) утримували в однакових умовах освітлення, рН (7,3–7,7), температури (t=18–20°C) та підгодовували листям мацерованої капусти. Для запобігання впливу на піддослідних *L. stagnalis* власних екзометаболітів в акваріумах щодня змінювали воду на свіжу такої самої якості.

Біохімічні дослідження здійснено в гемолімфі, гепатопанкреасі, мантиї та нозі (черевоні молюски) та в гепатопанкреасі, мантиї, нозі, зябрах та гонаді (двостулкові молюски). Гемолімфа отримана методом повного знекровлення молюсків безпосередньо перед дослідженням.

Для визначення вмісту β -каротину та ксантофілів зразки тканин та органів гомогенізували й проводили екстракцію гексаном (1:4). Сумарний вміст визначали за методикою (Tailor, 1976).

Ліпіди екстрагували сумішню хлороформ-метанол у співвідношенні 2:1 за методом Фолча (Folch et al., 1957). Неліпідні домішки видаляли відмиванням 1 % розчином KCl. Розділення ліпідів на окремі класи здійснювали методом одномірної тонкошарової хроматографії на пластинках «Sorbfil». Рухомою фазою була суміш гексан-диетиловий ефір-льодяна оцтова кислота в співвідношенні 70:30:1. Одержані хроматограми проявляли в камері, насиченій парами йоду. Кількість неполярних ліпідів (триацилгліцеролів (ТАГ), диацилгліцеролів (ДАГ), неетерифікованих жирних кислот (НЕЖК) визначали біхроматним методом (Кейтс, 1975) при довжині хвилі 615 нм. Вміст фосфоліпідів (ФЛ) визначали за кількістю неорганічного фосфору методом Васьковського (Vaskovsky, 1985).

Для визначення вмісту жирних кислот зразки тканин та органів гомогенізували й проводили екстракцію ліпідів сумішню метанол/хлороформ (1/2, v/v) за методом Фолча (Folch et al., 1957). Розділення метилових ефірів жирних кислот проводили методом газової хромато-мас-спектрометрії на газовій хромато-мас-спектрометричній системі Agilent 6890N/5973inert (Agilent technologies, USA). Ідентифікацію проводили через порівняння часів утримання зі стандартом метилових ефірів жирних кислот (47885-U – Supelco® 37 Component FAME Mix) та з використанням бібліотеки мас-спектрів NIST 02. Вміст виражали у відсотках площі хроматографічного піка кожного компонента суміші до загальної суми площ піків.

Для обробки кількісних результатів використовували стандартні методи математичної статистики за допомогою пакетів «Microsoft Excel 2003», «Statistica-6.0». Одержані експериментальні дані опрацьовані методами варіаційної статистики з використанням t-критерію Ст'юдента (Лакин, 1990). Для оцінки достовірності зрушень використовували ступінь достовірності $p < 0,001-0,05$. На діаграмах показані середні значення та стандартна похибка середнього (std. error). Для оцінки ступеня впливу іонів важких металів на вміст каротиноїдних пігментів використано метод деревоподібної кластеризації (ієрархічна кластеризація, tree clustering) за допомогою стандартних пакетів «Statistica-6.0».

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КІЛЬКІСНОГО ВМІСТУ КАРОТИНОЇДІВ У ТКАНИНАХ (ОРГАНАХ) МОЛЮСКІВ ПРІСНОВОДНИХ ВОДОЙМ

Порівняльний аналіз вмісту каротиноїдів у різних тканинах та органах прісноводних молюсків. Аналіз накопичення та розподілу β -каротину і ксантофілів у тканинах (органах) прісноводних молюсків *U. pictorum*, *A. cygnea*, *L. stagnalis*, *P. purpura*, відмінних за екологічними спектрами, типом живлення, анатомо-морфологічною будовою, специфікою низки фізіологічних функцій, включаючи систему дихання та розмноження, показав, що червоногі легеневі молюски (Gastropoda) через особливості будови дихальної системи виявляють більшу стійкість

до дефіциту кисню, водночас для двостулкових цей чинник є досить лімітуючим. Найвищі показники вмісту β -каротину відзначено в легеневого моллюска *L. stagnalis*. Показники вмісту цього каротиноїду в гепатопанкреасі, мантиї та нозі *L. stagnalis* перевищували такі в цих самих органах *P. purpura* (відповідно в 1,78 раза ($p < 0,01$), 1,34 раза й у 2,13 раза ($p < 0,01$) та *U. pictorum* (в 1,02 раза в гепатопанкреасі, у 3,09 раза ($p < 0,001$) у мантиї та в 1,93 раза ($p < 0,01$) у нозі). В *A. cygnea* показники вмісту β -каротину були нижчими відносно величин *L. stagnalis* в 1,24 раза в гепатопанкреасі, у 2,64 раза ($p < 0,01$) у мантиї та у 2,26 раза ($p < 0,01$) у нозі (рис. 1).

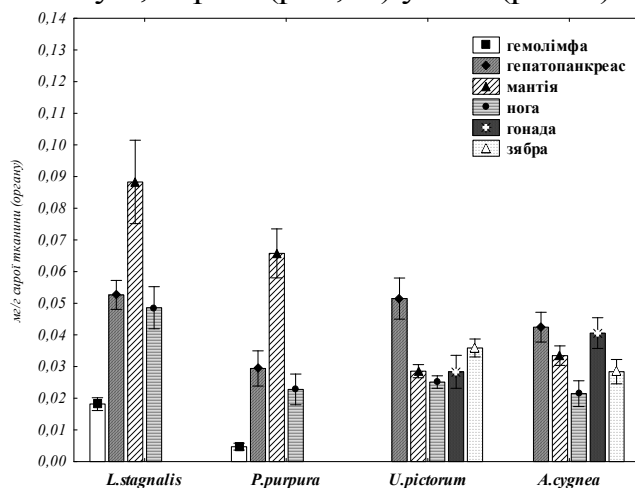


Рис. 1 Вміст β -каротину в організмі прісноводних моллюсків; $M \pm m$; $n=10$ для кожного варіанту дослідження

За вмістом β -каротину в гепатопанкреасі досліджуваних моллюсків можна розмістити (у порядку збільшення в них показника) так: *P. purpura* \rightarrow *A. cygnea* \rightarrow *U. pictorum* \rightarrow *L. stagnalis*. У нозі спостерігаємо дещо іншу низку: *A. cygnea* \rightarrow *P. purpura* \rightarrow *U. pictorum* \rightarrow *L. stagnalis*. У мантиї найнижчі значення отримано для *U. pictorum*. Таку саму динаміку відзначено й для гемолімфи, у якій вміст β -каротину *L. stagnalis* на 74,1 % ($p < 0,001$) більший від такого *P. purpura*. Порівняльний аналіз вмісту β -каротину в зябрах та гонаді досліджених двостулкових моллюсків показав вищі показники для зябер *U. pictorum* (на 20,9%), в той час як у гонаді вміст β -каротину більший у *A. cygnea* (на 43,1%).

Найвищі показники, зафіксовані для *L. stagnalis*, зумовлені особливостями їхньої будови та наявністю каротиноксисому, до складу якої входять каротиноїди, гемопротеїни та інші дихальні протеїни, за допомогою яких відбувається адаптація організму моллюсків до дефіциту кисню в умовах гіпоксії, коли функцію енергозабезпечення беруть на себе каротиноїди, що здатні зв'язувати кисень завдяки системі спряжених подвійних зв'язків і системі термінального окиснення й виробляти енергію за умов нестачі кисню у водному середовищі або при забрудненні його різними токсикантами (Бедова, Колупаєв, 1998, 2005). Дещо нижчі показники отримано для моллюсків-фільтраторів *U. pictorum* та *A. cygnea*, що є наслідком низького рівня їх загального обміну речовин, бо ці моллюски – бентосні організми, ведуть малорухливий спосіб життя, а тому мають нижчий рівень і швидкість метаболізму, порівняно з більш рухливими *L. stagnalis* та *P. purpura*.

Для вмісту ксантофілів у досліджених молюсків зафіксовано значну варіабельність величин показника (рис. 2).

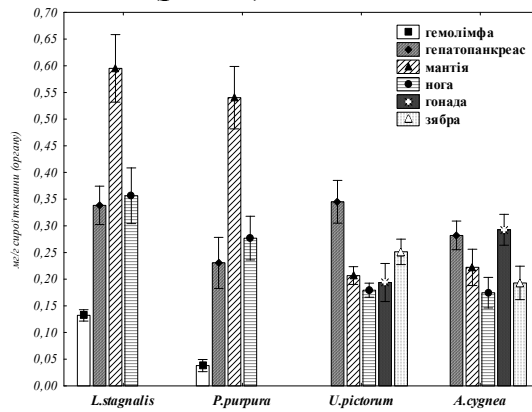


Рис. 2 Вміст ксантофілів в організмі прісноводних молюсків; $M \pm m$; $n=10$

Причиною цього є відмінність у біології цих тварин, головно тип живлення та особливості мешкання у водоймі. Відзначено аналогічний до β -каротину ефект. Найвищі показники отримано для *L. stagnalis*, які перевищували такі в гепатопанкреасі *P. purpura* в 1,47 раза, *A. cygnea* в 1,2 раза; а для *U. pictorum* показники вмісту були в межах значень, отриманих для *L. stagnalis*. Для мантиї та ноги найвищі показники також зафіксовано для *L. stagnalis*, що перевищували такі в цих самих органах *P. purpura* (в 1,01–1,29 раза), в 1,99 ($p < 0,01$) та у 2,89 ($p < 0,001$) раза в нозі та мантиї *U. pictorum* та у 2,04–2,68 раза в цих самих органах *A. cygnea*.

Особливості вмісту каротиноїдних пігментів в організмі двостулкових молюсків залежно від фізіологічного стану тварин. Вміст β -каротину в самок *U. pictorum* у гонаді та гепатопанкреасі, однак не в мантиї, зябрах та нозі, більший, ніж у цих самих органах у самців на 52,3 % ($p < 0,05$) та 42,2 % ($p < 0,05$) відповідно, що може сприяти підтриманню гомеостазу антиоксидантної системи (неспецифічним елементом якої є β -каротин) у самок порівняно із самцями.

Найвищі показники вмісту β -каротину незалежно від статі були в гепатопанкреасі, що пов'язано зі специфікою його окислювального статусу, зумовленого біоаккумуляцією та детоксикацією різних хімічних сполук у цьому органі. Найнижчі значення в самців зафіксовано в гонаді, а в самок – у нозі. Вміст β -каротину зростає в рядах: **Самці:** гонада → нога → мантия → зябра → гепатопанкреас; **Самки:** нога → мантия → гонада → зябра → гепатопанкреас.

У самок *A. cygnea* зафіксовано зменшення вмісту β -каротину в гонаді, гепатопанкреасі, зябрах (на 10,5–30,4 %) та нозі (на 49,9 % ($p < 0,05$)) порівняно із самцями. У мантиї зареєстровано протилежну тенденцію: у самок вміст досліджуваного показника зріс на 15,0 % порівняно із самцями.

Міжвидові відмінності двостулкових молюсків зумовлені особливостями їх життєвого циклу, у якому спостерігають 3 (*A. cygnea*) та 4 (*U. pictorum*) фази розмноження, і які, як відомо, у видів Unio та Anodonta не збігаються в часі (Стадниченко, Гирин, 2014).

Вміст ксантофілів в організмі самок *A. cygnea* на 19,45–29,6 % нижчий, ніж у самців. Для гонади не вдалося встановити статистично достовірних відмінностей за величинами показника обох досліджених груп тварин.

В *U. pictorum* вміст ксантофілів у гонаді та гепатопанкреасі був вищим на 41,1 та 33,5 % у самок, однак у нозі більші показники зафіксовано для чоловічих особин. У зябрах та мантиї вміст ксантофілів був в однакових межах та не залежав від статі досліджуваних тварин.

КАРОТИНОЇДНИЙ СКЛАД ПРІСНОВОДНИХ МОЛЮСКІВ ЗА ДІЙ ЧИННИКІВ БІОТИЧНОГО ТА АНТРОПОГЕННОГО ПОХОДЖЕННЯ

Вплив трематодної інвазії на вміст каротиноїдних пігментів у тканинах та органах *L. stagnalis* і *P. purpura* за тривалості експозиції 2 доби. Наявність трематодної інвазії достовірно ($p < 0,001$) знижує вміст β -каротину в гепатопанкреасі та нозі *L. stagnalis* (відповідно на 28,9 % та 62,9 %), порівняно з контролем. У гемолімфі *L. stagnalis* не зафіксовано статистично достовірних відмінностей щодо вмісту β -каротину між зараженими і вільними від інвазії особинами, що пов'язано з наявністю в плазмі дихального протеїну – гемоціаніну, вміст якого, як відомо, за умови інвазії трематодами зростає в середньому на 20 % (Стадниченко и др., 1999). Кисневий дефіцит, викликаний партенітами трематод, компенсується інтенсифікацією транспорту кисню гемоціаніном. У мантиї інвазованих моллюсків встановлено збільшення вмісту β -каротину на 95,2 % ($p < 0,01$), що за помірної інвазії трематодами *L. stagnalis* (ураження паразитами від 10 до 50 % об'єму гепатопанкреасу) сприяє підтриманню моллюсками їхньої життєздатності на рівні, достатньому для протистояння паразитам. Трематодна інвазія призводить до зниження вмісту ксантофілів (на 17,94–66,42 %) у гемолімфі, гепатопанкреасі, нозі та його підвищення (на 41,56 %) у мантиї досліджуваних тварин.

Реакція *P. purpura* на дію трематодної інвазії відрізнялася від *L. stagnalis*, бо в неї відзначено статистично достовірне зменшення вмісту β -каротину на 18,9–77,7 % у гепатопанкреасі, мантиї та нозі інвазованих моллюсків порівняно з неінвазованими. Виняток – гемолімфа інвазованих тварин, у якій відзначено зростання показників у 2,8 рази ($p < 0,01$), що пояснюється наявністю у цій тканині гемоглобіну, який підтримує колоїдно-осмотичний тиск гемолімфи, забезпечує високу буферну ємність, коли моллюски переходять на анаеробний шлях обміну (Киричук, Стадниченко, 2004). Водночас, не встановлено статистично достовірних відмінностей вмісту ксантофілів у гемолімфі, мантиї та нозі інвазованих та інтактних *P. purpura*, а в гепатопанкреасі за дії трематодної інвазії зареєстровано зниження досліджуваних показників на 82,1 % ($p < 0,001$).

Особливості вмісту каротиноїдних пігментів в організмі ставковика звичайного за дії трематодної інвазії при збільшенні часу експозиції до 7 діб. Збільшення експозиції від 2 до 7 діб призводить до підвищення вмісту β -каротину (на 34,4–45,4 %) у гемолімфі, мантиї та нозі інвазованих особин порівняно з органами неінвазованих моллюсків. Проте в гепатопанкреасі показники вмісту β -каротину в заражених та інтактних особин лежать в одному діапазоні величин (статистично

достовірної відмінності не відзначено). Імовірно, функціональність гепатопанкреасу у *L. stagnalis* за слабкої інтенсивності інвазії не порушується. Децю іншу динаміку встановлено для ксантофілів, вміст яких при збільшенні тривалості експозиції зменшується на 13,6 % та 18,0 % у гемолімфі та мантиї й збільшується в гепатопанкреасі та нозі (у 1,49 та 1,36 раза відповідно) інвазованих ставковиків порівняно з контролем.

Дослідження залежності між морфометричними параметрами молюсків (діаметр та висота черепашки), масою тіла та вмістом β -каротину й ксантофілів показало, що незалежно від тривалості експозиції в неінвазованих *L. stagnalis* існує статистично достовірний негативний кореляційний зв'язок між масою органу (тканини) та вмістом у ньому як β -каротину, так і ксантофілів. Однак не відзначено статистично достовірного зв'язку між загальною масою тварин і вмістом β -каротину та ксантофілів у молюсків як інвазованих, так й інтактних незалежно від експозиції експерименту. Між вмістом досліджених пігментів в організмі молюсків та його морфометричними показниками чіткої закономірності не встановлено.

Сезонна динаміка вмісту каротиноїдних пігментів в організмі *L. stagnalis* у нормі та за дії трематодної інвазії. Установлено, що вміст β -каротину та ксантофілів в усьому організмі неінвазованих *L. stagnalis* є достовірно вищим (відповідно в 1,45–2,75 та 1,18–2,28 раза) влітку порівняно з тваринами, зібраними навесні. Статистично вірогідне зниження значення обговорюваного показника навесні можна пояснити анабіотичним станом тварин узимку, відсутністю в них процесів живлення та несприятливими умовами живлення навесні. Подібну динаміку відзначено й для ставковиків, вражених трематодною інвазією, бо зафіксовано більші показники вмісту як β -каротину, так і ксантофілів у гемолімфі, гепатопанкреасі та мантиї цих тварин, зібраних улітку, порівняно з весняною вибіркою. У нозі вміст β -каротину та ксантофілів виявився більшим на 21,2–25,7 % у молюсків, відібраних навесні.

Концентраційно-часові закономірності впливу токсикантів на вміст β -каротину та ксантофілів в організмі *L. stagnalis*. Дослідження впливу отрут різної дії на вміст β -каротину та ксантофілів у тканинах та органах *L. stagnalis*: локальної (іони Cd^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{3+} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), комбінованої (фенол, амонію хлорид) та протоплазматичної дії (сечовина) показали, що в концентраціях, відповідних 0,5 та 2 ГДК_{рибогосп.}, упродовж 2, 7, 14 та 21 доби вміст β -каротину та ксантофілів в організмі *L. stagnalis* характеризується своєрідною тканинно-органною специфікою. Установлено, що вплив досліджених іонів на вміст цього каротиноїду в органах (тканинах) *L. stagnalis* є багатовекторним і має регуляторно-токсичний принцип дії.

За допомогою ієрархічного кластерного аналізу вдалося виявити наявні закономірності впливу досліджених іонів важких металів на вміст β -каротину в організмі *L. stagnalis*. У процесі аналізу структур сформованих кластерів встановлено неоднакові реакції тканин (органів) *L. stagnalis* на наявність різних іонів ВМ в концентрації, що відповідала 0,5 ГДК.

Аналіз вмісту β -каротину в гемолімфі *L. stagnalis* за дії різних іонів ВМ дав підстави на основі показників обговорюваного каротиноїду виділити їх 2 групи. Для регуляторних ефектів визначено подібність Cd^{2+} , Pb^{2+} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, Mn^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} та Cr^{3+} . Крім цього, в окремий кластер виділено Cu^{2+} (рис. 3). Для гепатопанкреасу

встановлено іншу тенденцію: в окремий кластер виділяється біохімічний ефект за дії Cr^{3+} , який має подвійну дію, є одночасно антиоксидантом і прооксидантом, що обґрунтовано його здатністю брати участь в окисно-відновних реакціях (Atli, Canli, 2007). Усі інші іони входять до другого кластеру.

У мантії *L. stagnalis* близькими за регуляторними ефектами є Zn^{2+} , Pb^{2+} , Cr^{3+} , Mn^{2+} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, Ni^{2+} та Cu^{2+} . За дії Cd^{2+} сформувався окремий кластер, бо ці іони не виконують в організмі молюсків фізіологічних функцій.

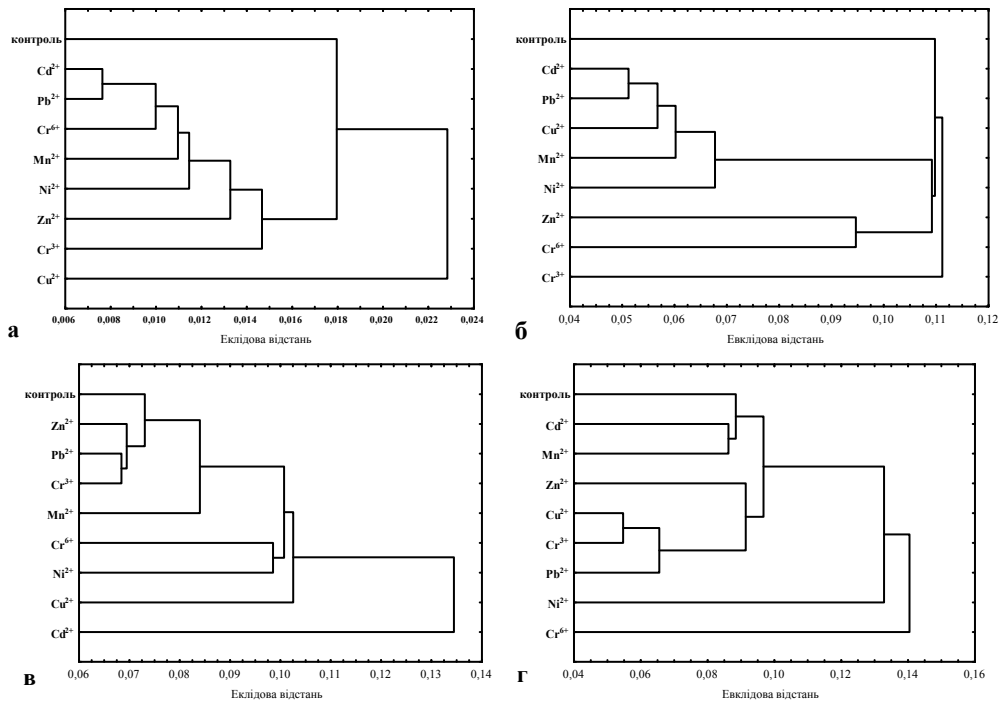


Рис. 3 Дендрограма подібності впливу іонів важких металів (0,5 ГДК_{рибогосп.}) на вміст β -каротину в організмі *L. stagnalis*: а – гемолімфа; б – гепатопанкреас; в – мантія; г – нога (експозиція 2 доби)

Щодо *ноги* *L. stagnalis*, то відзначено виділення в окремий кластер біохімічного ефекту, отриманого за дії $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, що, можливо, пов'язано з активацією ними вільнорадикального окислення.

Зі збільшенням концентрацій досліджуваних іонів до 2 ГДК_{рибогосп.} зафіксовано тканинноспецифічну реакцію. Зокрема, за результатами аналізу спорідненості іонів за їх впливом на вміст β -каротину в *гемолімфі* досліджуваних молюсків було виокремлено 2 кластери: 1 – усі досліджені нами іони; 2 – контроль, що свідчить про те, що навіть незначне збільшення концентрації досліджуваних токсикантів викликає відповідь на введення токсичної речовини. Для *гепатопанкреасу* можна відзначити відмежування в окремий кластер токсичного ефекту, викликаного дією іонів цинку, що, імовірно, пов'язано з особливостями впливу цього іону на організм тварин.

У *мантії* в окремий кластер відділився ефект дії іонів Ni^{2+} . Водночас, для *ноги* за подібністю впливу на вміст β -каротину виділено три групи досліджуваних іонів (рис. 4).

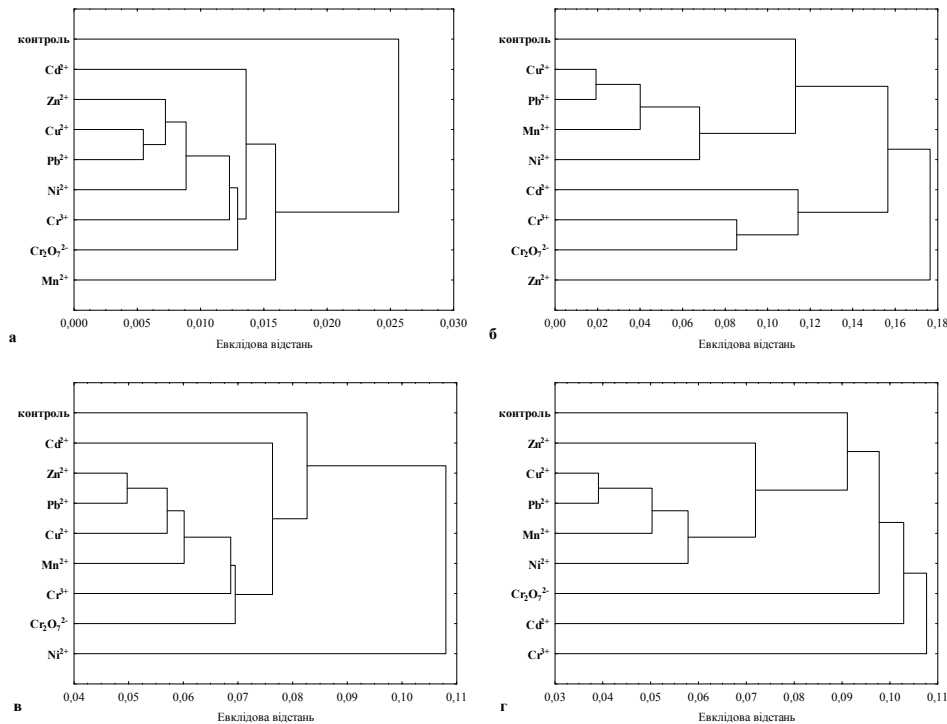


Рис. 4 Дендрограма подібності впливу іонів важких металів (2 ГДК_{рибогосп.}) на вміст β -каротину в організмі *L. stagnalis*: а – гемолімфа; б – гепатопанкреас; в – мантія; г – нога (експозиція 2 доби)

Отже, встановлено високу реактивність тварин, спрямовану на підтримання відповідного адаптивного рівня функціонування. Такі зміни кількісних показників каротиноїдного вмісту в тканинах (органах) цих тварин, з одного боку, свідчать про розвиток компенсаторного механізму у відповідь на дію токсикантів, а з іншого – про можливі патологічні зміни в їхньому організмі. Вміст каротиноїдів у тканинах (органах) *L. stagnalis* за дії досліджуваних чинників залежить від часу експозиції, природи токсиканта, що визначає специфічність його дії та характеризується тканинно-органною специфічністю. Мінімальними значеннями вмісту β -каротину та ксантофілів як у нормі, так і за дії токсичних агентів характеризується гемолімфа тварин незалежно від тривалості їх дії. Максимальні показники варіювали між органами (тканинами) залежно від природи токсиканта та тривалості експозиції тварин у токсичному розчині.

ФРАКЦІЙНИЙ СКЛАД ЛІПІДІВ ТКАНИН ТА ОРГАНІВ ПРІСНОВОДНИХ МОЛЮСКІВ

Особливості ліпідного складу тканин та органів *Lymnaea stagnalis* у нормі та за дії трематодної інвазії. Трематодна інвазія впливає на модифікації як структурних, так й енергетичних ліпідних компонентів в організмі *L. stagnalis*, причому ці зміни є органноспецифічними. Зареєстровано статистично достовірне ($p < 0,001-0,05$) зменшення вмісту ТАГ, ДАГ та НЕЖК (на 24,00–43,37 %) інвазованих ставковиків порівняно з контролем, що пов'язано зі значними енергозатратами тварин, спрямованими на протидію трематодній інвазії (за винятком мантії, у якій відзначено збільшення вмісту

ТАГ (на 66,02 %) та НЕЖК (на 32,51 %). Однак зафіксовано розвиток компенсаторної реакції *L. stagnalis*, скерованої на нівелювання шкідливої дії паразитів та підтримання гомеостазу інвазованої тварини у вигляді зростання показників вмісту ФЛ (в 1,22–3,79 раза) в тканинах інвазованих тварин.

Аналіз тканинно-органного розподілу досліджуваних фракцій ліпідів показав, що в неінвазованих ставковиків найвищі показники вмісту ТАГ є в метаболічно найактивніших органах – гепатопанкреасі та нозі, бо вміст цих ліпідів у гепатопанкреасі перевищує його в гемолімфі та мантиї у 2,13 та 2,16 раза відповідно ($p < 0,001$). ДАГ і НЕЖК виявлено лише в гепатопанкреасі та мантиї досліджуваних тварин, причому відмінність показника ДАГ між цими органами становить лише 5,1 %, а вміст НЕЖК у гепатопанкреасі перевищує їх вміст у мантиї на 37,3 %. Вміст ФЛ у гепатопанкреасі більший, ніж у мантиї, в 3,24 раза та на 36,0 % ніж у нозі ($p < 0,05$).

В інвазованих ставковиків найвищі показники вмісту ТАГ у нозі та мантиї, найнижчі – у гемолімфі: вміст ТАГ у гепатопанкреасі вищий на 75,7 % від такого в гемолімфі ($p < 0,001$) і на 26,5 % і 25,8 % менший у мантиї та нозі відповідно, що пояснюємо тим, що гепатопанкреас – один з основних органів, які виконують функцію запасання ліпідів, а також місце їх синтезу, розщеплення та використання (Васильєва и др., 2010). Саме ці метаболічні ресурси інтенсивно використовує організм молюсків за стресів, зокрема впливу трематодної інвазії. Найвищі показники вмісту ДАГ та НЕЖК зафіксовано в мантиї. Щодо ФЛ в організмі *L. stagnalis* можна вибудувати таку низку (у напрямку зростання показника): нога → мантия → гепатопанкреас.

Особливості ліпідного вмісту тканин та органів *Unio pictorum* залежно від фізіологічного стану тварини. Для *U. pictorum* встановлено специфічність у розподілі ліпідів у тканинах та органах, зумовлену їхньою метаболічною активністю, функціональною роллю ліпідних класів, а також фізіологічними особливостями досліджуваного виду. Для самців найвищі показники вмісту ТАГ зафіксовано в зябрах та гонаді, а найнижчі – у гепатопанкреасі. Найнижчі показники вмісту ДАГ відзначено в гепатопанкреасі, а в усіх інших органах вміст диацилгліцеролів був в одному діапазоні величин. Найбільша частка НЕЖК припадає на гонаду, а вміст структурних фосфоліпідів кількісно переважав у гепатопанкреасі, зябрах та нозі самців *U. pictorum*. У самок вміст ТАГ є найвищим у зябрах та гепатопанкреасі, нижчим – у нозі та мантиї та найнижчим – у гонаді. Вміст диацилгліцеролів зростає в низці: нога → зябра → мантия → гепатопанкреас → гонада. Вміст НЕЖК домінував в зябрах та перебував в одному діапазоні в гепатопанкреасі, нозі, гонаді та мантиї. Найбільше структурних фосфоліпідів виявилось у зябрах, а найменше – у гепатопанкреасі.

Ліпіди відіграють визначальну роль у розмноженні молюсків і задовольняють енергетичні потреби цих тварин для основних функцій метаболізму, а розвиток гонад на різних етапах репродуктивного циклу прісноводних молюсків супроводжується як акумуляцією значних кількостей ліпідів у генеративній тканині, так і мобілізацією жирових депо (Pazos et al., 2004). Встановлено, що в самок *U. pictorum* показники вмісту ТАГ є нижчими на 20,3–48,5 % порівняно із самцями в нозі, мантиї, гонаді. У гепатопанкреасі та зябрах вміст ТАГ був на 89,7 % та на 97,4 % ($p \leq 0,001$ – $\leq 0,01$) вищим у самців. Для ДАГ зафіксовано значно нижчі їх

кількості в тканинах та органах самок (порівняно із самцями їх вміст був меншим на 16,53–75,87 %). Винятком із загальної тенденції стала нога досліджуваних молюсків, у якій показники вмісту цієї фракції в самок і самців були в одному діапазоні величин. Вміст НЕЖК у гонаді, нозі, гепатопанкреасі самок був на 10,3–61,3 % нижчим, ніж у цих органах самців. Водночас, у мантиї та зябрах самок вміст НЕЖК збільшувався порівняно із самцями на 27,2 % та у 2,01 раза відповідно. Вміст фосфоліпідів у гонаді, мантиї та зябрах самок був вищим відповідно на 78,0, 22,7 та на 39,1 % порівняно з цими самими органами самців. У гепатопанкреасі вміст цих ліпідів був більшим у самців (у 2,62 раза), а для ноги не встановлено статистично достовірних відмінностей між особинами різної статі.

Щодо органноспецифічного розподілу, то низки ліпідного вмісту мали наступний вигляд: ТАГ: ♂: гепатопанкреас → нога → мантия → гонада → зябра; ♀: гонада → нога → мантия → гепатопанкреас → зябра; ДАГ: ♂: гепатопанкреас → мантия → зябра → нога → гонада; ♀: гонада → гепатопанкреас → мантия → зябра → нога; НЕЖК: ♂: гепатопанкреас → мантия → нога → зябра → гонада; ♀: гепатопанкреас → нога → гонада → мантия → зябра; ФЛ: ♂: мантия → гонада → зябра → нога → гепатопанкреас; ♀: гепатопанкреас → мантия → нога → гонада → зябра.

Отже, зміни ліпідного вмісту в організмі досліджуваних молюсків мають адаптивний характер, що проявляється в певних межах навантаження на організм, і спрямовані на підтримування гомеостазу в цих тварин.

ЖИРНОКИСЛОТНИЙ ПРОФІЛЬ ОРГАНІЗМУ ДЕЯКИХ ВИДІВ ПРІСНОВОДНИХ МОЛЮСКІВ

Особливості жирнокислотного складу *L. stagnalis*. Жирнокислотний склад загальних ліпідів *L. stagnalis* представлений 32 жирними кислотами – від C₈ до C₂₄, серед яких ідентифіковано ЖК із парною і непарною кількістю карбону, розгалужені iso- та anteiso-кислоти, а також ЖК із цис-конфігураціями та транс-формами подвійних зв'язків. Найнижчі показники кількісного вмісту ЖК має гемолімфа ставковика звичайного, ЖК спектр якої представлено лише насиченими жирними кислотами: пальмітиноюю (C_{16:0}) та стеариноюю (C_{18:0}), вміст яких становив 34,96 % та 34,14 % відповідно від загальної суми хроматографічних піків.

Щодо досліджуваних органів цих тварин, то в них серед НЖК кількісно домінували також C_{16:0} та C_{18:0} ЖК, вміст яких становив 4,8–12,6 % та 7,6–9,1 % відповідно, причому найвищі значення показників зафіксовано в мантиї, а найнижчі – у нозі, що, імовірно, обумовлено типом живлення *L. stagnalis*, який є детритофагом, живиться великими частками органічного матеріалу й переробляє екскременти та живих водних безхребетних (Киричук, 2016; Гладышев, 2012). Відомо (Toivonen et al., 2001), що детритний матеріал є джерелом насичених та мононенасичених C₁₄-C₁₈ жирних кислот.

Показано, що в гепатопанкреасі, мантиї та нозі *L. stagnalis* жирнокислотний спектр характеризувався високим ступенем ненасиченості (49,7–56,6 % від загальної суми). Серед МНЖК найвищі показники отримано для cis- та trans C_{18:1n-9} та cis-13-C_{20:1n-13}, вміст яких був приблизно на одному рівні для гепатопанкреасу (5,0 та 4,7 %), мантиї (5,1 та 5,6 %) та ноги

(5,9 та 5,2 % відповідно). У невеликих кількостях (1,9–2,2 %) виявлено $C_{18:1n-10}$. Ще 0,8–6,7 % припадало на пальмітоолеїнову ЖК. Кількість усіх інших МНЖК була до 1%.

Установлено наявність незамінних ПНЖК родин n-3 та n-6 в органах ставковика, однак якісний склад та кількісні показники вмісту цих ЖК характеризувалися тканинно-органною специфічністю. З'ясовано, що частка поліненасичених ЖК у гепатопанкреасі, мантиї та нозі *L. stagnalis* становила 41,8 % 32,7 % та 36,0 % відповідно від усієї суми хроматографічних піків, зареєстрованих для цих органів. Серед дієнових ЖК у всіх досліджуваних органах найвищі показники зафіксовано для лінолевої ЖК (cis- $C_{18:2}$) родини n-6, яка є біохімічним попередником ліноленової та арахідонової кислот.

Окрім лінолевої ЖК, серед n-6 ПНЖК у невеликих кількостях виявлено 5,8,11,14-докозатетраєнову, cis-11,14-ейкозадієнову ($C_{20:2}$), cis-8,11,14-ейкозатрієнову ($C_{20:3n-6}$) та арахідонову ($C_{20:4}$) ЖК. Низький вміст арахідонової кислоти в усіх органах може свідчити про пригнічення її біосинтезу з аліментарного попередника – лінолевої кислоти в реакціях елонгації та десатурації, оскільки відомо, що саме цей шлях є основним для забезпечення організму $C_{20:4}$, а також про можливе її використання як у процесах ферментативного (генерація простагландинів), так і неферментативного пероксидного окиснення, що важливо в адаптивних процесах організму при зміні умов проживання та антропогенних навантаженнях (Toivonen et al., 2001). Окрім цього, відомо, що продукти ейкозапентаєнової кислоти (яка виявлена в цих органах у значній кількості) здійснюють протилежну дію речовинам арахідонового каскаду (Freites et al., 2002). Серед трієнових ПНЖК за кількісними показниками в усіх органах *L. stagnalis* переважали транс-8,11,14 ейкозатрієнова ($C_{20:3n-3}$) (12,6–13,2 %) та α -ліноленова ЖК родини n-3 (1,5–3,6 % від загальної кількості). Такі значні показники, отримані для ЖК $C_{18:2n-6}$ та $C_{18:3n-3}$, можуть свідчити про наявність зелених та діатомових водоростей у кормових об'єктах ставковика звичайного, адже саме лінолеву та α -ліноленову ЖК вважають біомаркерами цих водоростей. Серед n-3 полієнових кислот у значній кількості виявлено також 5,8,11,14,17-ейкозапентаєнову ЖК, (all-Z)- ($C_{20:5}$). Єдиною ідентифікованою гексаєновою ЖК є 4,7,10,13,16,19-докозагексаєнова (all-Z) ($C_{22:6}$), яка знайдена в гепатопанкреасі кількістю 2,6 %. Відомо, що ДГК належить важлива роль в адаптації тварин до дії різних чинників середовища, що зумовлено її здатністю вбудовуватися до складу фосфоліпідного матриксу мембрани та значною мірою визначати в'язкість мембрани, активність ферментів і брати участь у формуванні натрієвих каналів (Гладышев, 2012). Окрім цього, у нозі ідентифіковано транс-8, 11,14 ейкозатрієнову ($C_{20:3n-3}$) та 8,11-ейкозадієнову ($C_{20:2}$) ЖК, що не були знайдені в інших органах *L. stagnalis*.

Вплив трематодної інвазії на вміст жирних кислот в організмі *L. stagnalis*.

Установлено, що жирнокислотний спектр тканин та органів інвазованих тварин загалом подібний до такого в організмі тварин, не вражених трематодною інвазією.

Аналіз дії трематодної інвазії на кількісний вміст та якісний склад ЖК в організмі *L. stagnalis* показав, що зміни, викликані чинником, є тканинноспецифічними, зумовленими як метаболічною активністю досліджуваних тканин (органів), так і функціональною роллю жирних кислот у розвитку компенсаторної реакції *L. stagnalis*, скерованої на нівелювання шкідливої дії паразитів та підтримання гомеостазу інвазованої тварини.

На основі аналізу отриманих результатів встановлено, що трематодна інвазія викликала зміни в жирнокислотному спектрі загальних ліпідів організму ставковиків: фіксуємо незначне збільшення вмісту НЖК (на 1,9–25,3 %) у гемолімфі, гепатопанкреасі й нозі та їх зменшення на 5,6 % у мантиї. Для МНЖК динаміка дещо відмінна, адже за дії партеніт трематод їх вміст збільшувався в гепатопанкреасі (від 14,8 % до 18,5 %), у мантиї (від 14,1 % до 17,3 %) та зменшувався від 20,7 % до 16,4 % у нозі. Показники кількісного вмісту ПНЖК за дії трематодної інвазії в гепатопанкреасі відповідали показникам контрольної групи, у мантиї знижувалися від 32,74 % до 31,90 %, а у нозі навпаки збільшувалися від 36,02 % до 37,27 %.

Особливості жирнокислотного складу тканин та органів *Unio pictorum*. Жирнокислотний склад загальних ліпідів *U. pictorum* представлений 37 жирними кислотами з довжиною вуглецевих ланцюгів від C_{14} до C_{23} , серед яких ідентифіковано ЖК із парною і непарною кількістю карбону та виявлено ЖК із *cis*-конфігураціями та *trans*-формами подвійних зв'язків. Варто відзначити, що аналогічно до *L. stagnalis* характерною особливістю жирнокислотного профілю цього виду є великий вміст розгалужених жирних кислот (*iso*- та *anteiso*- форми).

Аналіз якісного складу жирних кислот організму *U. pictorum* показав значні кількості насичених ЖК – $C_{16:0}$ та $C_{18:0}$, вміст яких становив 8,1–11,2 % та 7,3–11,0 % від усієї суми площ отриманих піків. Серед МНЖК кількісно домінували $C_{20:1n-x}$, $C_{18:1n-9c/t}$, та $C_{16:1}$. ПНЖК в усьому організмі найбільш кількісно представлені $C_{20:4n-6}$, *cis*-5,8,11,14,17-ейкозапентаєною ($C_{21:5}$), $C_{18:2n-6}$, 5,8,11,14,17-ейкозапентаєною (*all-Z*)- ($C_{22:5}$) та *cis*-4,7,10,13,16,19-докозагексаєною ($C_{22:6n-3}$) жирними кислотами. Окрім указаних, у певних кількостях знайдено також й інші ЖК, відносний вміст яких характеризувався тканинно-органною специфічністю.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній праці розглянуто закономірності тканинно-органного розподілу деяких груп біологічно активних речовин (каротиноїдні пігменти, ліпіди різних класів та жирні кислоти, зокрема родин $n3$ та $n6$) та їх адаптивне значення в організмі прісноводних молюсків у нормі та за дії на їхній організм екологічних чинників різної природи (токсиканти, інвазії).

1. Встановлено, що вміст досліджених каротиноїдів в організмі прісноводних молюсків *Lymnaea stagnalis*, *Planorbarius purpura*, *Unio pictorum*, *Anodonta cygnea* характеризується видовою специфічністю, варіює залежно від фізіологічного стану тварини, її морфофункціональних особливостей, особливостей дихальної та репродуктивної систем. Їх розподіл залежить від типу живлення молюсків: поліфаги-фільтратори (*U. pictorum*, *A. cygnea*), детритофаги (*L. stagnalis*) та фітофаги (*P. purpura*).

2. Досліджено, що найвищими значеннями вмісту β -каротину характеризуються детритофаги (вміст β -каротину та ксантофілів у гепатопанкреасі, мантиї та нозі *L. stagnalis* є вищим, ніж у цих органах *P. purpura* (в 1,01 – 2,13 раза), *U. pictorum* (в 1,02 – 3,09 раза) та *A. cygnea* (у 1,2 раза – 2,7 раза). Виняток із загальної тенденції становив гепатопанкреас *U. pictorum*, у якому показники вмісту ксантофілів були в межах значень, отриманих для *L. stagnalis*.

За вмістом β -каротину в гепатопанкреасі досліджувані молюски становлять низку (у порядку збільшення в них показника): *P. purpura* \rightarrow *A. cygnea* \rightarrow *U. pictorum* \rightarrow *L. stagnalis*; у нозі: *A. cygnea* \rightarrow *P. purpura* \rightarrow *U. pictorum* \rightarrow *L. stagnalis*. У мантиї найнижче значення в *U. pictorum*.

3. Показано, що *L. stagnalis* через особливості будови дихальної системи виявляють більшу стійкість до дефіциту кисню, водночас як для двостулкових цей чинник багато є лімітуючим. Найвищі показники вмісту β -каротину та ксантофілів у *L. stagnalis* зумовлені наявністю каротиноксисоми за допомогою якої й відбувається адаптація організму молюсків до дефіциту кисню в умовах гіпоксії. Дещо нижчі показники отримано для молюсків-фільтраторів *U. pictorum* та *A. cygnea*, що є свідченням нижчого рівня загального обміну речовин, що призводить до менш активних захисних процесів в організмі цих молюсків порівняно з більш рухливими *L. stagnalis* та *P. purpura*.

4. З'ясовано, що на вміст каротиноїдних пігментів в організмі двостулкових молюсків впливає їхній фізіологічний статус та особливості життєвого циклу. У самок *U. pictorum* вміст β -каротину та ксантофілів є більшим у гонаді та гепатопанкреасі порівняно з цими самими органами самців на 41,1–52,3 %, а в мантиї та зябрах зазначені показники були в однакових межах та не залежали від статі досліджуваних тварин. Вміст β -каротину та ксантофілів у гепатопанкреасі, зябрах та нозі самок *A. cygnea*, був меншим на 10,5–49,9 % порівняно з цими органами самців. Установлено міжвидові, пов'язані з особливостями життєвого циклу відмінності щодо вмісту каротиноїдних пігментів в організмі досліджуваних двостулкових молюсків.

5. За дії трематодної інвазії в організмі *L. stagnalis* (за 2-добової експозиції) відзначено зменшення вмісту β -каротину в гепатопанкреасі та нозі (відповідно на 28,9 та 62,9 %) ($p < 0,001$), збільшення показників у мантиї на 95,2 % ($p < 0,01$), а в гемолімфі інвазованих та інтактних тварин вміст β -каротину варіював в однакових межах. Щодо вмісту ксантофілів, то трематодна інвазія призводить до зниження їх вмісту (на 17,94 – 66,42 %) у гемолімфі, гепатопанкреасі, нозі та його підвищення (на 41,56 %) у мантиї досліджуваних тварин. Виявлено видову відмінність у реакції на дію трематодної інвазії між *P. purpura* та *L. stagnalis*.

6. Збільшення часу експозиції (до 7 діб) в організмі *L. stagnalis* призводить до підвищення вмісту β -каротину в інвазованих особин у гемолімфі, мантиї та нозі (на 34,4–45,4 %), однак у гепатопанкреасі заражених та інтактних особин показники вмісту β -каротину були в одному діапазоні величин (статистично достовірної різниці не відзначено). Водночас, збільшення тривалості експозиції до 7 діб призводить до зменшення вмісту ксантофілів у гемолімфі та мантиї (відповідно на 13,6 та 18,0 %) та його збільшення в гепатопанкреасі та нозі (відповідно у 1,49 та 1,36 рази) інвазованих *L. stagnalis* порівняно з інтактними особинами.

7. У неінвазованих *L. stagnalis* (незалежно від тривалості експозиції) існує статистично достовірний негативний кореляційний зв'язок між масою органу (тканини) та вмістом у ньому як β -каротину, так і ксантофілів. Однак статистично достовірного зв'язку між загальною масою тварин, їхніми морфометричними показниками та вмістом β -каротину й ксантофілів у молюсків як інвазованих, так й інтактних незалежно від тривалості експозиції експерименту не відзначено.

8. Щодо сезонної динаміки вмісту β -каротину та ксантофілів у тканинах та органах *L. stagnalis*, встановлено, що вміст β -каротину та ксантофілів в усьому організмі неінвазованих *L. stagnalis* є вищим (відповідно в 1,45–2,75 та 1,18–2,28 рази) ($p < 0,01$) улітку порівняно з тваринами, зібраними навесні. Подібну динаміку відзначено й для ставковиків, вражених трематодною інвазією, адже зафіксовано вищі показники вмісту як β -каротину, так і ксантофілів у гемолімфі, гепатопанкреасі та мантиї цих тварин, зібраних улітку порівняно з весняною вибіркою. У нозі вміст β -каротину та ксантофілів виявився більшим на 21,2–25,7 % у молюсків, що відібрані навесні.

9. Дослідження концентраційно-часових закономірностей впливу токсикантів різної дії на вміст β -каротину та ксантофілів у тканинах та органах *L. stagnalis*: локальної (іони Cd^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{3+} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), комбінованої (фенол, амонію хлорид) та протоплазматичної дії (сечовина) показали, що за дії токсикантів досліджених концентрацій за всіх експозицій вміст β -каротину та ксантофілів в організмі *L. stagnalis* характеризується тканинно-органною специфікою. Установлено, що вплив досліджених іонів на вміст цього каротиноїду в органах (тканинах) *L. stagnalis* є багатовекторним і має регуляторно-токсичний характер дії.

10. Виявлено, що вміст ліпідів різних класів (ТАГ, ДАГ, НЕЖК та ФЛ) та їхніх жирних кислот (НЖК, МНЖК, ПНЖК) в організмі червононогих *L. stagnalis* та двостулкових молюсків *U. pictorum* є тканинноспецифічним і залежить від фізіолого-біохімічних особливостей досліджуваних видів. У *L. stagnalis* найвищі показники вмісту ТАГ та ФЛ зафіксовано у метаболічно найактивніших органах – гепатопанкреасі та нозі. ДАГ та НЕЖК виявлено лише в гепатопанкреасі та мантиї досліджуваних тварин. За дії трематодної інвазії в організмі *L. stagnalis* встановлено зменшення кількісного вмісту ТАГ у гемолімфі, гепатопанкреасі та нозі (на 30,40–43,37 %) і його збільшення на 66,0 % у мантиї. Виявлено зменшення вмісту ДАГ у гепатопанкреасі та мантиї (на 24,0 %) інвазованих тварин порівняно з неінвазованими. Зареєстровано зменшення вмісту НЕЖК на 24,7 % у гепатопанкреасі та його збільшення на 32,5 % у мантиї. Показано, що вміст ФЛ зростає в 1,22–3,79 рази в усіх досліджених органах ставковика звичайного. З'ясовано тканинно-органну специфічність розподілу ТАГ, ДАГ, НЕЖК та ФЛ в організмі як інвазованих, так й інтактних *L. stagnalis*.

11. Установлено залежність розподілу досліджуваних фракцій ліпідів від фізіологічного статусу *U. pictorum*: показники вмісту ТАГ є нижчими на 20,3–48,5 % у самок порівняно із самцями в нозі, мантиї, гонаді та вищими (на 89,7 % та на 97,4 %) у гепатопанкреасі й зябрах ($p \leq 0,001$ – $\leq 0,01$). Для ДАГ зафіксовано значно нижчі їх кількості в тканинах та органах самок (порівняно із самцями їхній вміст був меншим на 16,53–75,87 %). Винятком із загальної тенденції стала нога досліджуваних молюсків, у якій показники вмісту цієї фракції в самок і самців були в одному діапазоні величин. Вміст НЕЖК у гонаді, нозі, гепатопанкреасі самок був на 10,3–61,3 % нижчим, ніж у цих органах самців. Водночас, у мантиї та зябрах самок вміст НЕЖК збільшувався порівняно із самцями на 27,2 % та у 2,01 рази відповідно. Вміст фосфоліпідів у гонаді, мантиї та зябрах самок був вищим відповідно на 78,00, 22,7 та на 39,1 % порівняно з цими самими органами самців. У гепатопанкреасі вміст цієї

ліпідної фракції був більшим у самців (у 2,62 раза), а для ноги не встановлено статистично достовірних відмінностей між особинами різної статі.

12. Жирнокислотний склад загальних ліпідів *L. stagnalis* представлений 32 жирними кислотами з довжиною вуглецевих ланцюгів від C_8 до C_{24} . У гемолімфі ставковика звичайного знайдено тільки НЖК $C_{16:0}$ та $C_{18:0}$, вміст яких становив 35,0 % та 34,1 % від суми всіх компонентів. Серед МНЖК найвищі показники отримано для ЖК *cis*- та *trans*- форм $C_{18:1n-9}$ та *cis*-13- $C_{20:1n-13}$ ЖК, вміст яких був приблизно на одному рівні для гепатопанкреасу, мантиї та ноги. Установлено наявність незамінних ПНЖК родин *n*-3 та *n*-6 в органах ставковика, однак якісний склад та кількісні показники вмісту цих ЖК характеризувалися тканинно-органною специфічністю.

13. Жирнокислотний склад загальних ліпідів *U. pictorum* представлений 37 жирними кислотами з довжиною вуглецевих ланцюгів від C_{14} до C_{23} . В *U. pictorum* виявлено значні кількості насичених ЖК – $C_{16:0}$ та $C_{18:0}$, вміст яких становив 8,1–11,2 % та 7,3–10,1 % від усієї суми площ отриманих піків. Серед МНЖК кількісно домінували $C_{20:1n-x}$, $C_{18:1n-9c/t}$, та $C_{16:1}$. ПНЖК в усьому організмі найбільш кількісно представлені $C_{20:4n-6}$, *cis*-5,8,11,14,17-ейкозапентаєною ($C_{21:5}$), $C_{18:2n-6}$, 5,8,11,14,17-ейкозапентаєною (*all-Z*)- ($C_{22:5}$) та *cis*-4,7,10,13,16,19-докозагексаєною ($C_{22:6n-3}$) жирними кислотами. З'ясовано, що характерною особливістю жирнокислотного профілю обох досліджених видів є істотний вміст розгалужених жирних кислот (*iso*- та *anteiso*-форми).

14. За дії трематодної інвазії склад ЖК в організмі *L. stagnalis* є тканинносцифічними, зумовленими як метаболічною активністю досліджуваних тканин (органів), так і функціональною роллю жирних кислот у розвитку компенсаторної реакції *L. stagnalis* на протидію паразитарному впливу та підтримання гомеостазу інвазованої тварини. Установлено, що трематодна інвазія змінювала жирнокислотний спектр загальних ліпідів організму ставковиків: відзначено збільшення вмісту НЖК (на 1,9–25,3 %) у гемолімфі, гепатопанкреасі й нозі та їх зменшення на 5,6 % у мантиї. Для МНЖК динаміка за дії партеніт трематод вміст збільшувався в гепатопанкреасі, у мантиї та зменшувався в нозі. Показники кількісного вмісту ПНЖК за дії трематодної інвазії в гепатопанкреасі відповідали показникам контрольної групи, у мантиї знижувалися від 32,7 % до 31,9 %, а в нозі, навпаки, збільшувалися від 36,0 % до 37,3 %.

Отже, динаміка вмісту каротиноїдних пігментів, ліпідів різних класів та жирних кислот в організмі прісноводних молюсків характеризується видовою специфічністю, варіює залежно від фізіологічного стану тварини, її морфо-функціональних особливостей, особливостей дихальної та репродуктивної систем. Суттєві відмінності досліджуваних показників у тканинах та органах молюсків за дії трематодної інвазії й токсикантів різного механізму дії мають адаптивний характер, що проявляється в певних межах навантаження і спрямовані на підтримання гомеостазу досліджуваних тварин.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

у наукових періодичних фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз

1. Киричук Г. Є., Музика Л. В. Вплив концентрації амоній хлориду на вміст каротиноїдних пігментів в організмі *Lymnaea stagnalis*. Вісник Дніпропетровського

університету. *Біологія, екологія*. 2015. 23 (2). С. 154–160. (відбір матеріалу, проведення досліджень, участь в узагальненні отриманих даних і написанні статті)

2. Kyrychuk G. Ye., **Muzyka L. V.** Peculiarities of the distribution of β -carotene in the organism of *Lymnaea stagnalis* under the influence of the ions of heavy metals. *Hydrobiological Journal*. 2016. V. 5, № 5. P. 65–75. (відбір матеріалу, проведення досліджень, участь в узагальненні отриманих даних і написанні статті)

3. Kyrychuk G. Ye., **Muzyka L. V.** Peculiarities of carotenoid pigments' distribution in organism of the freshwater mollusks. *Hydrobiological Journal*. 2017. V. 53, № 5. P. 85–93. (проведення досліджень, участь в узагальненні отриманих даних і написанні статті)

Статті в наукових періодичних фахових виданнях України

4. **Музыка Л. В.**, Киричук Г. Є. Особливості дії низьких концентрацій іонів кадмію на вміст β -каротину в організмі *Lymnaea stagnalis*. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2015. Випуск 70. С. 130–137. (проведення досліджень, участь в узагальненні отриманих даних і написанні статті)

5. **Музыка Л. В.**, Киричук Г. Є. Вплив трематодної інвазії на вміст деяких груп ліпідів в організмі ставковика звичайного. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Серія «Біологічні науки»*. 2020. Випуск 1 (389). С. 66–71. (проведення досліджень, участь в узагальненні отриманих даних і написанні статті)

Статті в інших наукових виданнях

6. **Музыка Л. В.**, Киричук Г. Є. Вміст каротиноїдних пігментів в організмі прісноводних молюсків. *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту ім. Володимира Гнатюка: Серія: Біологія*. 2015. № 2 (63). С. 84–102. (відбір фахової літератури, участь в узагальненні отриманих даних і написанні статті)

7. **Музыка Л. В.**, Киричук Г. Є. Вплив трематодної інвазії на вміст каротиноїдних пігментів в організмі *Lymnaea stagnalis*. *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту ім. Володимира Гнатюка: Серія: Біологія*. 2015. № 3–4 (64). С. 484–489. (проведення досліджень, участь в узагальненні отриманих даних і написанні статті)

8. **Музыка Л. В.**, Киричук Г. Є. Особливості розподілу жирних кислот в організмі червононогих прісноводних молюсків (Mollusca:Gastropoda). *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Біологія*. 2016. Вип. 41. С. 93–100. (відбір фахової літератури, участь в узагальненні отриманих даних і написанні статті)

Матеріали та тези доповідей конференцій

9. **Музыка Л. В.** Роль каротиноїдних пігментів в адаптації *Lymnaea stagnalis* до дії негативних факторів оточуючого середовища. *Біологічні дослідження – 2013* : матеріали IV науково-практичної Всеукраїнської конференції молодих учених та студентів, м. Житомир, 16–18 квітня 2013 р. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. Івана Франка, 2013. С. 125–128.

10. **Музика Л. В.** Особливості розподілу каротиноїдних пігментів в організмі *Lymnaea stagnalis*. *Актуальні проблеми сучасної гідроекології* : матеріали науково-практичної конференції, присвяченої 95-річчю заснування Національної Академії наук України, м. Київ, 5–6 листопада 2013 р. Київ, 2013. С. 63–64.

11. **Музика Л. В.**, Киричук Г. Є. Вміст каротиноїдних пігментів в організмі прісноводних молюсків : матеріали III Міжнародної наукової конференції студентів, аспірантів та молодих учених, м. Донецьк, 24–27 лютого 2014 р. Донецьк, 2014. С. 167.

12. **Музика Л. В.**, Дмитренко І. М., Слідзевський Б. Л., Киричук Г. Є. Особливості хронічної дії низьких концентрацій фенолу на вміст β -каротину в гепатопанкреасі *Lymnaea stagnalis*. *Біологічні дослідження. – 2014* : матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів, м. Житомир, 4–5 березня 2014 р. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. Івана Франка, 2014. С. 246–248.

13. **Музика Л. В.**, Бовсуновська М. О., Сергійчук О. С., Киричук Г. Є. Вплив сечовини на вміст β -каротину в організмі ставковика звичайного. *Біологічні дослідження. – 2014* : матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів, м. Житомир, 4–5 березня 2014 р. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2014. С. 243–245.

14. **Музика Л. В.**, Бовсуновська М. О., Киричук Г. Є. Токсичний вплив NH_4Cl на вміст β -каротину в організмі *L. stagnalis*. *Біологічні дослідження. – 2015* : матеріали VI Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів, м. Житомир, 11–12 березня 2015 р. Житомир : ПП «Рута», 2015. С. 193–195.

15. **Музика Л. В.**, Киричук Г. Є. Вміст β -каротину в організмі *Lymnaea stagnalis* за токсичної дії низьких концентрацій іонів цинку : матеріали V Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю, м. Вінниця, 23–26 вересня 2015 р. Вінниця, 2015. С. 138.

16. **Музика Л. В.**, Киричук Г. Є. Особливості вмісту триацилгліцеролів в організмі прісноводних черевоногих молюсків (Molluska:Gastropoda). *Біологічні дослідження – 2017* : матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Житомир, 14–16 березня. Житомир, 2017 р. С. 266–267.

17. **Музика Л. В.**, Киричук Г. Є. Особливості розподілу триацилгліцеролів в організмі *Lymnaea stagnalis*. *Перспективи гідроекологічних досліджень в контексті проблем довкілля та соціальних викликів* : збірник матеріалів VIII з'їзду Гідроекологічного товариства України, присвяченого 110-річчю заснування Дніпровської біологічної станції, м. Київ, 6–8 листопада 2019 р. Київ, 2019. С. 151–153.

АНОТАЦІЯ

Музика Л. В. **Вміст та роль речовин ліпідної природи в адаптації прісноводних молюсків до екологічних чинників різної природи.** – Рукопис

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук за спеціальністю 03.00.17 «гідробіологія». – Інститут гідробіології НАН України, Київ, 2021.

У дисертаційній праці вивчено закономірності зміни вмісту каротиноїдних пігментів, ліпідів різних класів та жирних кислот в тканинах та органах прісноводних молюсків у нормі та за дії екологічних чинників різної природи.

Досліджено вміст β -каротину та ксантофілів в організмі черевоногих (*Lymnaea stagnalis*, *Planorbarius purpura*) та двостулкових (*Unio pictorum*, *Anodonta cygnea*) молюсків. Для всіх досліджуваних тварин щодо вмісту β -каротину та ксантофілів у їхніх органах (тканинах) встановлено видову специфічність. З'ясовано, що види-фільтратори – *U. pictorum* та *A. cygnea* – характеризуються нижчими показниками вмісту як β -каротину, так і ксантофілів у тканинах (органах) порівняно з легеневидами *L. stagnalis* та *P. purpura*. Найвищі показники вмісту β -каротину та ксантофілів зафіксовано в *L. stagnalis*. Найнижчі ж значення характеризувалися видовою та тканинно-органною специфічністю. З'ясовано вплив трематодної інвазії на вміст каротиноїдних пігментів в організмі *L. stagnalis* та *P. purpura*. Вивчено особливості розподілу каротиноїдів у двостулкових молюсків залежно від статі. Вивчено сезонну динаміку вмісту каротиноїдів в організмі *L. stagnalis*. З'ясовано, що вміст β -каротину та ксантофілів в усьому організмі *L. stagnalis* є достовірно вищим улітку порівняно з тваринами, зібраними навесні.

Вивчено концентраційно-часові закономірності впливу отрут різної дії на вміст β -каротину та ксантофілів у тканинах та органах *L. stagnalis*: локальної (іони Cd^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{3+} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), комбінованої (фенол, амонію хлорид) та протоплазматичної дії (сечовина). Визначено, що вміст каротиноїдів у тканинах (органах) *L. stagnalis* за дії іонів ВМ залежить від часу експозиції (2, 7, 14 та 21 доба), природи діючого іону, що визначає специфічність його дії, його концентрації та характеризується тканинно-органною специфічністю.

Розглянуто особливості вмісту ТАГ, ДАГ, НЕЖК та ФЛ у тканинах й органах *L. stagnalis* та *U. pictorum*. З'ясовано особливості впливу трематодної інвазії на показники вмісту ліпідів в організмі *L. stagnalis*. З'ясовано особливості розподілу ТАГ, ДАГ, НЕЖК та ФЛ у двостулкових молюсків залежно від статі. Для *L. stagnalis* та *U. pictorum* з'ясовано тканинно-органну специфічність розподілу досліджуваних ліпідних фракцій.

Досліджено кількісний вміст насичених, мононенасичених та поліненасичених жирних кислот в організмі *L. stagnalis* та *U. pictorum*. Установлено, що жирнокислотний склад загальних ліпідів *L. stagnalis* та *U. pictorum* представлений ЖК із парною і непарною кількістю карбону. З'ясовано, що характерною особливістю жирнокислотного профілю обох досліджених видів є великий вміст розгалужених жирних кислот (iso- та anteiso-форми), а також наявність ЖК з цис-конфігураціями та транс-формами подвійних зв'язків. Установлено вплив трематодної інвазії на вміст жирних кислот в організмі *L. stagnalis*.

Ключові слова: прісноводні молюски, каротиноїдні пігменти, триацилгліцероли, диацилгліцероли, неетерифіковані жирні кислоти, фосфоліпіди, жирні кислоти, іони важких металів, трематодна інвазія, метаболічна адаптація.

ABSTRACT

Muzyka L.V. The Level of Lipid Substances and Their Role in the Adaptation of Freshwater Mollusks to Environmental Factors of Various Nature. – Manuscript

Dissertation for the Candidate of Biological Sciences Degree by the Specialty 03.00.17 "Hydrobiology". – Institute of Hydrobiology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2021.

The dissertation studies the consistent patterns of carotenoids, lipids of various classes and fatty acids levels in tissues and organs of freshwater mollusks according to the norm and under the influence of environmental factors of various nature.

The scientific work examines β -carotene and xanthophyll level in the bodies of gastropod (*Lymnaea stagnalis*, *Planorbarius purpura*) and bivalve (*Unio pictorum*, *Anodonta cygnea*) mollusks. It determines that β -carotene and xanthophyll levels in the organs (tissues) of studied animals have species specificity. The paper clarifies the fact that filter-feeding mollusks – *U. pictorum* and *A. cygnea* – are characterized by lower indicators of both β -carotene and xanthophyll in the organs (tissues) than pulmonary mollusks *L. stagnalis* and *P. purpura*. *L. stagnalis* show the highest indicators of β -carotene and xanthophyll levels. The lowest values depend on species and tissue specificity. The research analyses the effect of trematode infection on the carotenoids level of *L. stagnalis* and *P. Purpura*. It studies the peculiarities of carotenoids distribution in bivalve mollusks bodies depending on their sex. The paper investigates the seasonal dynamics of carotenoids levels in the body of *L. stagnalis* and establishes that β -carotene and xanthophyll level in the body of *L. stagnalis* is accurately higher in summer as compared to the species collected in spring.

The scientific paper analyses concentration time patterns of various poisonous substances effects on β -carotene and xanthophyll levels in tissues and organs of *L. stagnalis*, (namely local effect (Cd^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{3+} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ -ions), combined effect (phenol, ammonium chloride), and protoplasmic (urea) effect). It proves that carotenoids level in tissues (organs) of *L. stagnalis* under the action of ions depends on the time of exposition (2, 7, 14 and 21 day), the nature of affecting ion, which determines the peculiarities of its action, its concentration, and is characterized by tissue and organ specificity.

The research determines the level of triacylglycerols, diacylglycerols, non-esterified fatty acids and phospholipids in the organs of *L. stagnalis* and *U. pictorum*. It accounts for the peculiarities of trematode infection effect on the lipids level in the body of *L. Stagnalis* and studies the level of triacylglycerols, diacylglycerols, non-esterified fatty acids and phospholipids according to bivalve mollusk sex. It also explains the distribution of lipid fractions due to tissue and organ specificity.

The research paper analyses the quantity of saturated, monounsaturated and polyunsaturated fatty acids in the bodies of *L. stagnalis* and *U. pictorum*. It establishes that fatty acid composition of lipids of *L. stagnalis* and *U. pictorum* is represented by fatty acid with even and odd amount of carbon. It states that the peculiar feature of fatty acid profile of the two studied species is a significant level of branched fatty acids (iso - and anteiso - forms) as well as the presence of fatty acids with cis-configurations and trans-forms of double connections. The paper determines the effect of trematode infection of the level of fatty acids in *L. stagnalis*.

Key words: freshwater mollusks, carotenoid pigments, lipids, triacylglycerols, diacylglycerols, non-esterified fatty acids, fatty acids, phospholipids, heavy metal ions, trematode infection, metabolic adaptation.

Підписано до друку 05.04.21. Формат 60x90/16. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman. Друк різнографічний.
Ум. друк. арк. 0.9. Обл. вид. арк. 0.9. Наклад 100. Зам. 38.

Видавництво Житомирського державного університету імені Івана Франка
м. Житомир, вул. Велика Бердичівська, 40
Свідоцтво про державну реєстрацію:
серія ЖТ №10 від 07.12.04 р.
електронна пошта (E-mail): zu@zu.edu.ua