



Copyright (c) 2025 Oleksandr Lukash, Nataliia Tkachuk, Viktor Yanchenko, Nataliia Novosad

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Олександр Лукаш, Наталія Ткачук,
Віктор Янченко, Наталія Новосад

**КСЕНОБІОТИКИ ТА ВТОРИННІ МЕТАБОЛІТИ МІКРОМІЦЕТІВ
ЯК ЧИННИКИ ЗМІН ЛІПІДНОГО ПРОФІЛЮ ТА ПЕРЕКИСНОГО ОКИСНЕННЯ
В ТКАНИНАХ РИБ**



Oleksandr Lukash, Nataliia Tkachuk,
Viktor Yanchenko, Nataliia Novosad

**XENOBIOTICS AND SECONDARY METABOLITES
OF MICROMYCETES AS FACTORS OF CHANGES
IN THE LIPID PROFILE AND LIPID PEROXIDATION OF FISH TISSUES**

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Метою роботи є систематизація та узагальнення сучасних наукових відомостей про вплив ксенобіотиків і вторинних метаболітів мікроміцетів на ліпідний профіль та інтенсивність перекисного окиснення ліпідів у тканинах риб. Особлива увага приділена аналізу механізмів токсичної дії зазначених чинників, їхнього впливу на біохімічні процеси, а також можливим підходам зменшення негативного ефекту в умовах прісноводних екосистем.

Методологія. Огляд базується на комплексному аналізі публікацій у рецензованих наукових виданнях, монографіях та матеріалах конференцій за останні два десятиліття. Використано методи порівняльного аналізу, узагальнення та критичної оцінки результатів досліджень у галузі іхтіології, гідробіології та екотоксикології. Особлива увага приділялася роботам, у яких вивчали склад ліпідів, показники перекисного окиснення та механізми токсичної дії ксенобіотиків і вторинних метаболітів мікроміцетів на гідробіонтів.

Наукова новизна. У роботі вперше в єдиному оглядовому форматі зібрано й систематизовано відомості про взаємозв'язок між накопиченням ксенобіотиків і вторинних метаболітів мікроміцетів та змінами ліпідного профілю і процесами перекисного окиснення у тканинах риб. Узагальнено сучасні уявлення про біохімічні маркери токсичної дії та наведено порівняльний аналіз результатів, отриманих у різних регіонах світу.

Висновки. Аналіз літературних джерел свідчить, що ксенобіотики та вторинні метаболіти мікроміцетів є одними з ключових чинників, здатних викликати глибокі порушення структурно-функціонального стану клітинних мембран риб, змінюючи їхній ліпідний склад, проникність та здатність підтримувати гомеостаз. Вплив цих сполук супроводжується активацією процесів перекисного окиснення ліпідів, що призводить до накопичення токсичних продуктів пероксидації, зниження адаптаційного потенціалу організму та погіршення фізіологічних функцій. Узагальнені дані свідчать, що токсичний ефект може мати як безпосередній (пряма взаємодія з клітинними структурами), так і опосередкований характер (через порушення роботи антиоксидантних систем та метаболічного балансу). Виявлені закономірності дозволяють сформулювати науково обґрунтовані підходи до моніторингу стану водних екосистем, у тому числі із застосуванням біохімічних маркерів ушкоджень, та розробити комплекс превентивних заходів, спрямованих на зниження негативного впливу токсичних чинників на гідробіонтів. Перспективними напрямками подальших досліджень є поглиблений аналіз видоспецифічних відмінностей чутливості риб до ксенобіотиків та мікотоксинів, пошук ефективних біоремедіаційних технологій та впровадження інтегрованих екологічних програм для забезпечення сталого функціонування рибогосподарських водойм.

Ключові слова: ксенобіотики, мікроміцети, вторинні метаболіти, ліпідний профіль, перекисне окиснення ліпідів, полютанти, склад ліпідів

ABSTRACT

Purpose of the work. The purpose of this work is to systematize and summarize current scientific knowledge on the effects of xenobiotics and secondary metabolites of micromycetes on the lipid profile and the intensity of lipid peroxidation in fish tissues. Particular attention is paid to the analysis of the mechanisms of toxic action of these factors, their impact on biochemical processes, as well as possible approaches to reducing the negative effect in freshwater ecosystems.

Methodology. The review is based on a comprehensive analysis of publications in peer-reviewed scientific journals, monographs, and conference proceedings over the past two decades. Methods of comparative analysis, synthesis, and critical evaluation of research results in ichthyology, hydrobiology, and ecotoxicology were applied. Particular attention was given to studies examining lipid composition, lipid peroxidation indicators, and the mechanisms of toxic action of xenobiotics and secondary metabolites of micromycetes on aquatic organisms.

Scientific novelty. This work is the first to compile and systematize data in a single review format on the relationship between the accumulation of xenobiotics and secondary metabolites of micromycetes and changes in the lipid profile and lipid peroxidation processes in fish tissues. Current concepts of biochemical markers of toxic effects are summarized, and a comparative analysis of results obtained in different regions of the world is provided.

Conclusions. An analysis of the literature indicates that xenobiotics and secondary metabolites of micromycetes are among the key factors capable of inducing profound disturbances in the structural and functional state of fish cell membranes, altering their lipid composition, permeability, and ability to maintain homeostasis. The impact of these compounds is accompanied by the activation of lipid peroxidation processes, leading to the accumulation of toxic peroxidation products, a reduction in the organism's adaptive potential, and deterioration of physiological functions. The summarized data suggest that the toxic effect may occur both directly (through direct interaction with cellular structures) and indirectly (through disruption of antioxidant systems and metabolic balance). The identified patterns provide a basis for scientifically grounded approaches to monitoring the state of aquatic ecosystems, including the use of biochemical damage markers, and for developing comprehensive preventive measures aimed at reducing the negative impact of toxic factors on aquatic organisms. Promising directions for future research include an in-depth analysis of species-specific differences in fish sensitivity to xenobiotics and mycotoxins, the search for effective bioremediation technologies, and the implementation of integrated environmental programs to ensure the sustainable functioning of fishery water bodies.

Key words: xenobiotics, micromycetes, secondary metabolites, lipid profile, lipid peroxidation, pollutants, lipid composition

Вступ

Водні екосистеми, особливо штучні водойми рибогосподарського призначення, постійно зазнають впливу комплексу антропогенних і природних чинників, які можуть негативно позначатися на фізіологічному стані гідробіонтів. Дослідження (Grubinko, 2005; Martsenyuk, 2019) підтверджують, що одним із ключових факторів такого впливу є ксенобіотики – хімічні сполуки, що не є природними компонентами біосфери, а також вторинні метаболіти мікроміцетів, зокрема мікотоксини, які потрапляють у водойми зі стічними водами або через забруднені корми (Polotnianko & Mekhed, 2023; Zhelai et al., 2023b).

Наявність цих чинників у водному середовищі формує комплексну токсикологічну загрозу, оскільки вони здатні прямо впливати на біохімічні процеси риб. Це зумовлює необхідність ретельного аналізу їхньої дії та пошуку підходів до зменшення негативного ефекту.

Таким чином, визначення ролі ксенобіотиків і мікотоксинів є ключовим завданням сучасних досліджень аквакультури та охорони довкілля.

Науковці приділяють особливу увагу механізмам токсичної дії цих сполук, їхньому впливу на біохімічні процеси та можливим методам мінімізації шкоди в умовах аквакультури.

За даними Gruber-Dorninger та співавт. (2025), серед мікотоксинів основними контамінантами рибних кормів у світовому масштабі є фумонізину, афлатоксин В1 та дезоксиніваленол.

Цей факт підкреслює глобальний характер проблеми, адже саме корми є головним джерелом потрапляння токсинів у організм риб. Унаслідок цього виникає не лише локальна, а й системна загроза для безпечності аквакультури.

Отже, дослідження токсичності кормових домішок має визначальне значення для сталого розвитку рибогосподарства.

Відомо, що дія ксенобіотиків і мікотоксинів призводить до змін метаболізму риб, зокрема до порушення ліпідного обміну та активації процесів перекисного окиснення ліпідів.

Як зазначають Holovchak et al. (2012) та Khomenchuk et al. (2018), ПОЛ є універсальним механізмом пошкодження клітинних мембран. Цей процес супроводжується утворенням активних форм кисню, втратою структурної цілісності мембран та накопиченням токсичних продуктів пероксидації (Osoba, 2013; Yatskiv & Tarnovska, 2014). Наслідком таких змін стає не лише порушення біохімічної рівноваги, а й зниження загальної життєздатності організму риб, що може призводити до масових втрат у рибному господарстві.

Це підтверджує, що вивчення окислювального стресу є ключем до розуміння механізмів токсичної дії мікотоксинів і ксенобіотиків.

Актуальність проблеми контамінації кормів мікотоксинами значно зросла з посиленням використання рослинної сировини в аквакультурі.

Kolets et al. (2021) підкреслюють, що саме рослинна сировина є найбільш уразливою до забруднення мікотоксинами. Серед них афлатоксин В1 визначено як один із найпоширеніших і найтоксичніших. За даними Liu et al. (2023), його дія може призводити до глибоких метаболічних порушень у риб, зокрема до змін ліпідного обміну, розвитку окислювального стресу, накопичення ліпідів у печінці та загального погіршення здоров'я.

Ці факти демонструють, що вплив мікотоксинів виходить за межі локальних проблем кормів і має системні наслідки для здоров'я риб.

Таким чином, питання безпечності кормової бази є одним із ключових для стабільності аквакультури та охорони прісноводних екосистем.

Незважаючи на значну кількість досліджень окремих аспектів цієї проблеми, відсутні узагальнюючі огляди, що комплексно висвітлюють взаємозв'язок між накопиченням ксенобіотиків, дією мікроміцетів та змінами ліпідного профілю й показників ПОЛ (перекисного окиснення ліпідів) у тканинах риб.

Систематизація наявних даних є необхідною для формування ефективних підходів до моніторингу стану рибогосподарських водойм. Вона також слугує підґрунтям для розробки практичних заходів зі зменшення негативного впливу токсичних чинників на організми риб.

У цьому контексті метою даної роботи є узагальнення сучасних наукових відомостей про вплив ксенобіотиків і вторинних метаболітів мікроміцетів на ліпідний профіль та інтенсивність процесів перекисного окиснення ліпідів у тканинах риб. Особливий акцент зроблено на аналізі механізмів токсичної дії цих чинників, їхнього впливу на біохімічні процеси, а також на пошуку можливих підходів до мінімізації негативного ефекту в умовах прісноводних екосистем.

Це дозволяє забезпечити логічний зв'язок між теоретичними дослідженнями і практичними заходами у сфері екологічної безпеки аквакультури.

Матеріали та методи дослідження

Для підготовки тексту статті була проведена огляд інформаційних джерел у міжнародних наукових базах даних, включно з PubMed, Scopus та Web of Science. Огляд публікацій проводився за період 2000–2025 рр., із використанням ключових слів: «ксенобіотики», «вторинні метаболіти мікроміцетів», «ліпіди риб», «перекисне окиснення», «окисдаивний стрес». Було застосовано логічні оператори AND та OR для комбінування термінів.

До огляду включались експериментальні та оглядові статті, що містили дані про вплив ксенобіотиків і вторинних метаболітів мікроміцетів на ліпідний профіль та рівень перекисного окиснення в тканинах риб. Відбирались публікації з повним текстом, опубліковані англійською, українською або російською мовами. Статті, що не стосувалися досліджуваної теми або не містили релевантних експериментальних даних, були виключені.

Інформація з відібраних джерел систематизувалась за такими параметрами: вид риб, тип тканин, тип ксенобіотика або вторинного метаболіту, методи оцінки ліпідного профілю та перекисного окиснення, результати та статистична обробка даних.

Результати дослідження та обговорення

У огляді було проаналізовано дослідження, присвячені впливу ксенобіотиків та вторинних метаболітів мікроміцетів на ліпідний профіль та перекисне окиснення в тканинах риб. Включені роботи охоплюють експерименти на різних видах риб із визначенням вмісту загальних ліпідів, основних ліпідних фракцій (фосфоліпіди, тригліцериди, холестерин) та показників окисного стресу, таких як малоновий діальдегід (МДА) і активність антиоксидантних ферментів (каталаза, супероксиддисмутаза).

У більшості досліджень тканини риб (печінка, м'язи, мозок) готували шляхом гомогенізації та центрифугування, після чого проводили спектрофотометричні або колориметричні аналізи для оцінки ліпід-

ного профілю та рівня перекисного окиснення. Статистична обробка даних виконувалась із використанням стандартних програмних пакетів і методів порівняння груп, а рівень значущості результатів приймався на рівні $p < 0,05$.

Аналіз наукових джерел свідчить, що ксенобіотики та вторинні метаболіти мікроміцетів чинять суттєвий вплив на ліпідний профіль (Yachna et al., 2019) і процеси перекисного окиснення в тканинах риб.

Як показують дослідження (Fotina et al., 2013; Grubinko, 2005a; Grubinko, 2005b), характер цих ефектів залежить від типу токсичної сполуки, її концентрації, тривалості експозиції та специфіки тканин. Найбільш чутливою до дії токсикантів виявляється печінка, оскільки вона є центральним органом метаболізму та детоксикації, тоді як м'язові та мозкові тканини риб демонструють менш виражені зміни (Holovchak et al., 2012; Khomenchuk et al., 2018).

Таке співвідношення чутливості органів пояснюється різним рівнем метаболічної активності та здатності до знешкодження токсичних речовин.

Отже, печінка є ключовим біомаркером для оцінки дії ксенобіотиків і мікотоксинів у дослідженнях риб.

Під впливом ксенобіотиків, таких як пестициди і важкі метали, відбуваються суттєві зміни у складі ліпідів рибних тканин.

Доведено, що у печінці та м'язах підвищується вміст тригліцеридів і холестерину, водночас знижується рівень фосфоліпідів у клітинних мембранах (Musiyenko et al., 2005; Osoba, 2013). Ці зміни супроводжуються деградацією мембранних структур і зростанням чутливості клітин до окисного стресу. Доказом цього є підвищення рівня малонового діальдегіду у тканинах (Khomenchuk et al., 2018; Klymenko & Hasso, 2011).

Таким чином, можна стверджувати, що ксенобіотики запускають ланцюгову реакцію порушень, яка охоплює як структурні, так і біохімічні зміни клітин.

Це підкреслює важливість дослідження не лише прямих, а й вторинних наслідків токсичної дії.

Вторинні метаболіти мікроміцетів, зокрема мікотоксин Т-2, також спричиняють глибокі порушення ліпідного обміну.

Дані свідчать, що такі токсини знижують синтез фосфоліпідів та стимулюють

накопичення холестерину, що веде до втрати структурної цілісності клітинних мембран (Matiushko & Mekhed, 2024; Mekhed, 2024; Polotnianko & Mekhed, 2023). Крім того, відзначено активацію антиоксидантних механізмів, зокрема ферментів каталази (CAT) і супероксиддисмутази (SOD), які виступають компенсаторною відповіддю на розвиток окисного стресу (Osoba & Hrytsyniak, 2010; Yatskiv & Tarnovska, 2014).

Ці результати показують, що дія мікотоксинів має подвійний ефект: вони не лише ушкоджують клітинні структури, але й провокують адаптаційні реакції.

Тому дослідження антиоксидантної відповіді є необхідним для розуміння механізмів стійкості риб до токсичного навантаження.

Важливим аспектом є тривалий вплив навіть низьких доз токсичних сполук, що призводить до кумулятивних змін у тканинах.

Роботи Martseniuk et al. (2018), Martsenyuk (2019) та Symonova et al. (2018) демонструють, що у таких умовах поступово накопичуються порушення ліпідного обміну та зростає активність ферментів антиоксидантного захисту, насамперед у печінці, а меншою мірою – у м'язах і мозку. Ці зміни інтерпретуються як прояв адаптаційних механізмів, спрямованих на підтримку гомеостазу й мінімізацію токсичного впливу (Grubinko, 2005b; Nikolaenko et al., 2023).

Таким чином, навіть незначні концентрації ксенобіотиків і мікотоксинів у довкіллі становлять ризик, оскільки їхній ефект накопичується з часом (Yatsenko et al., 2005).

Це підтверджує необхідність постійного моніторингу та превентивних заходів у сфері аквакультури.

Отже, узагальнені дані свідчать, що ксенобіотики та вторинні метаболіти мікроміцетів є ключовими чинниками порушень ліпідного профілю та активації процесів перекисного окиснення у риб.

Основні зміни включають підвищення рівня тригліцеридів і холестерину, зниження фосфоліпідів, зростання МДА та посилення активності антиоксидантних ферментів. Це має вирішальне значення як для оцінки фізіологічного стану риб, так і для визначення рівня екологічної безпеки водних екосистем (Matiushko & Mekhed, 2024; Polotnianko & Mekhed, 2024; Zhelai et al., 2023a; Zhelai et al., 2023b).

Таким чином, систематизація цих результатів дозволяє не лише описати механізми токсичної дії, а й сформувані підґрунтя для практичних підходів до охорони рибогосподарських водойм.

Нижче наведена узагальнююча таблиця основних змін ліпідного профілю та процесів перекисного окиснення у тканинах риб під впливом ксенобіотиків і мікотоксинів.

Таблиця 1

Основні зміни ліпідного профілю та перекисного окиснення у тканинах риб під впливом ксенобіотиків і мікотоксинів

Тип сподуки	Тканина	Зміни ліпідного профілю	ПОЛ	
			Рівень перекисного окиснення (МДА)	Активність антиоксидантних ферментів
Ксенобіотики (пестициди, важкі метали)	Печінка	↑ Тригліцериди, ↑ Холестерин, ↓ Фосфоліпіди	Підвищується	↑ CAT, ↑ SOD
Ксенобіотики	М'язи	↑ Тригліцериди, незначні зміни фосфоліпідів	Підвищується	↑ CAT, ↑ SOD
Вторинні метаболіти мікроміцетів (мікотоксин Т-2)	Печінка	↓ Фосфоліпіди, ↑ Холестерин	Підвищується	↑ CAT, ↑ SOD
Вторинні метаболіти мікроміцетів	М'язи	Незначні зміни ліпідів	Підвищується	↑ CAT, ↑ SOD

Примітка: ↑ — підвищення, ↓ — зниження; дані узагальнені за літературними джерелами (Fotina et al., 2013; Grubinko, 2005a; Grubinko, 2005b; Holovchak et al., 2012; Khomenchuk et al., 2018; Musiyenko et al., 2005; Osoba, 2013; Matiushko & Mekhed, 2024; Mekhed, 2024; Polotnianko & Mekhed, 2023; Zhelai et al., 2023a; Zhelai et al., 2023b).

Для відображення впливу ксенобіотиків та вторинних метаболітів мікроміцетів на тканини риб було розроблено схему, яка демонструє основні зміни ліпідного профілю, рівень перекисного окиснення та активність ферментів-антиоксидантів у печінці та м'язах. Схема дозволяє узагаль-

нити дані літературних джерел і підкреслити тканинну специфіку та механізми адаптаційних відповідей організму риб на токсичні чинники (Fotina et al., 2013; Grubinko, 2005a; Matiushko & Mekhed, 2024; Zhelai et al., 2023a).



Рис. 2. Вплив ксенобіотиків та мікотоксину Т-2 на ліпідний профіль та процеси перекисного окиснення у тканинах риб

Отримані нами результати підтверджують висновки інших дослідників, які також відзначали негативний вплив мікотоксинів на ліпідний профіль риб. Зокрема, дослідження на гібридному групі показали, що афлатоксин В1 порушує метаболізм ліпідів та спричиняє їх накопичення у печінці (Liu et al., 2023). Враховуючи ці дані, для зменшення негативного впливу мікотоксинів можуть бути застосовані спеціальні кормові добавки. Наприклад, використання мікотоксинових зв'язувачів (MTB) сприяє зв'язуванню токсинів у шлунково-кишковому тракті риб, зменшуючи їх біодоступність (Phudkliang et al., 2025). Дослідження на нільській тілапії показали, що додавання до раціону адсорбентів, зокрема цеоліту, значно покращує активність антиоксидантних ферментів, підвищуючи загальну стійкість організму риб (Fornari et al., 2023). На основі аналізу літературних джерел і розробленої схеми можна зробити узагальнення щодо впливу токсичних чинників на ліпідний обмін і процеси перекисного окиснення у тканинах риб.

Дані свідчать, що ксенобіотики, зокрема пестициди та важкі метали, суттєво змінюють ліпідний метаболізм у печінці та м'язах. У цих тканинах спостерігається підвищення вмісту тригліцеридів і холестерину, зниження кількості фосфоліпідів, а також активація антиоксидантних ферментів – каталази та супероксиддисмутази, що виступає захисним механізмом клітин.

Такі результати демонструють, що навіть на базовому рівні клітинних процесів відбувається комплексне порушення, яке вимагає мобілізації адаптаційних резервів організму.

Таким чином, ксенобіотики не лише порушують структуру мембран, але й запускають механізми антиоксидантного захисту, що підтверджує складність їхньої дії.

Вторинні метаболіти мікроміцетів, зокрема мікотоксин Т2, чинять подібний, але більш виражений вплив на ліпідний обмін риб. Дослідження вказують, що вони пригнічують синтез фосфоліпідів у печінці, спричиняючи значне посилення структурних порушень клітинних мембран. Цей ефект супроводжується накопиченням холестерину і додатковими зрушеннями у балансі ліпідів.

Отже, мікотоксини створюють глибший рівень метаболічного дисбалансу, ніж класичні ксенобіотики, і формують загрозу стабільності гомеостазу печінкових клітин.

Це підкреслює необхідність їхнього врахування при оцінці безпеки кормової бази та стану водойм.

Важливою характеристикою є тканинна специфічність дії ксенобіотиків і мікотоксинів.

Печінка зазнає найбільш виражених порушень через свою функціональну роль як центрального органу метаболізму та детоксикації. М'язові тканини, навпаки, демонструють менш значні зміни, що відображає їхню відносно нижчу метаболічну активність і здатність до адаптації.

Таким чином, спостереження різного рівня чутливості між тканинами дозволяє пояснити механізми вибіркової токсичної дії. Це знання може бути використане для розробки цільових методів моніторингу стану риб.

Узагальнені дані свідчать, що токсичні сполуки викликають комплексні зміни ліпідного профілю та процесів перекисного окиснення, які є ключовими механізмами адаптаційної та компенсаторної відповіді риб.

До таких змін належать підвищення рівня тригліцеридів і холестерину, зниження фосфоліпідів, активація антиоксидантних ферментів, а також порушення цілісності мембранних структур (Osoba, 2013; Matiushko & Mekhed, 2024; Polotnianko & Mekhed, 2024; Zhelai et al., 2023b). Всі ці явища вказують на взаємозв'язок між токсичними чинниками та окисними процесами у клітинах риб.

Таким чином, запропонована схема змін ліпідного профілю та перекисного окиснення дозволяє наочно відобразити складність і багаторівневність токсичної дії, підкреслюючи значення системного моніторингу та оцінки екологічного стану водних екосистем.

Висновки

Аналіз літературних джерел свідчить, що ксенобіотики та вторинні метаболіти мікроміцетів є одними з ключових чинників, здатних викликати глибокі порушення структурно-функціонального стану клітинних мембран риб, змінюючи їхній ліпідний склад, проникність та здатність підтри-

мувати гомеостаз. Вплив цих сполук супроводжується активацією процесів перекисного окиснення ліпідів, що призводить до накопичення токсичних продуктів пероксидації, зниження адаптаційного потенціалу організму та погіршення фізіологічних функцій. Узагальнені дані свідчать, що токсичний ефект може мати як безпосередній (пряма взаємодія з клітинними структурами), так і опосередкований характер (через порушення роботи антиоксидантних систем та метаболічного балансу). Виявлені закономірності дозволяють сформулювати науково обґрунтовані підходи до

моніторингу стану водних екосистем, у тому числі із застосуванням біохімічних маркерів ушкоджень, та розробити комплекс превентивних заходів, спрямованих на зниження негативного впливу токсичних чинників на гідробіонтів. Перспективними напрямками подальших досліджень є поглиблений аналіз видоспецифічних відмінностей чутливості риб до ксенобіотиків та мікотоксинів, пошук ефективних біоремедіаційних технологій та впровадження інтегрованих екологічних програм для забезпечення сталого функціонування рибогосподарських водойм.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

Конфлікт інтересів / Conflicts of Interest

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів / The authors declare no conflicts of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

У цьому дослідженні не використовувався генеративний штучний інтелект або технології штучного інтелекту для збору, аналізу чи інтерпретації даних / This study did not use generative artificial intelligence or AI-enabled technologies to collect, analyze, or interpret data.

References

- Fotina, T. I., Berezovsky, A. V., Petrov, R. V., & others. (2013). Veterinary examination of fish, sea mammals and invertebrates. Vinnytsia: New Book. 120 p.
- Fornari, D.C., Peixoto, S., Ksepka, S.P., Bullard, S.A., Rossi, W., Nuzback, D.E., & Davis, D.A. (2023). Effects of dietary mycotoxins and mycotoxin adsorbent additives on production performance, hematological parameters, and liver histology in juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Frontiers in Animal Science*, 4, 1281722.
- Gruber-Dorninger, C., Müller, A., & Rosen, R. (2025). Multi-Mycotoxin Contamination of Aquaculture Feed: A Global Survey. *Toxins*, 17(3), 116.

Grubinko, V. V. (2005a). Integral assessment of toxic damage in biological systems. *Scientific Notes of Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology*, (3), 111-114. (In Ukrainian).

Грубінко В.В. Інтегральна оцінка токсичного ураження у біологічних системах. Наукові записки ТНПУ. Серія: Біологія. 2005. № 3. С. 111–114.

Grubinko, V. V. (2005b). Systemic assessment of metabolic adaptations in hydrobionts. *Scientific Notes of Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology*, (2), 36-39. (In Ukrainian).

Грубінко В.В. Системна оцінка метаболічних адаптацій у гідробіонтів. Наукові записки ТНПУ. Серія: Біологія. 2005. № 2. С. 36–39.

Holovchak, N. P., Tarnovska, A. V., Kotsiumbas, H. I., & Sanahuskyi, D. I. (2012). *Lipid peroxidation processes in living organisms: Monograph*. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv. (In Ukrainian).

Головчак Н. П., Тарновська А. В., Коцюмбас Г. І., Санагуський Д. І. Процеси перекисного окиснення ліпідів у живих організмах: монографія. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. 252 с.

Khomenchuk, V. O., Rabcheniuk, O. O., Stanislavchuk, A. V., & Kurant, V. Z. (2018). Free radical lipid peroxidation in fish tissues under the action of ferrum (III). In *Modern problems of theoretical and practical ichthyology: Proceedings of the 11th Ichthyological Scientific and Practical Conference* (pp. 82–85). Lviv. (In Ukrainian).

Хоменчук В. О., Рабченко О. О., Станіславчук А. В., Курант В. З. Вільнорадикальне перекисне окиснення ліпідів у тканинах риб за дії феруму (III). Сучасні проблеми теоретичної та практичної іхтіології: матеріали XI іхтіологічної науково-практичної конференції (Львів, 18–20 вересня 2018 р.). Львів, 2018. С. 82–85.

Klymenko, O. Yu., & Hasso, V. Ya. (2011). Intensity of lipid peroxidation processes in the sand lizard from ecosystems with different levels of transformation. In *Biodiversity and the role of animals in ecosystems: Proceedings of the 6th International Scientific Conference* (pp. 292–294). Dnipropetrovsk: DNU Publishing. (In Ukrainian).

Клименко О. Ю., Гасо В. Я. Інтенсивність процесів перекисного окиснення ліпідів у прудкої ящірки з екосистем різного рівня трансформації. Біорізноманіття та роль тварин в екосистемах: Матеріали VI Міжнародної наукової конференції. Дніпропетровськ: Вид-во ДНУ, 2011. С. 292–294.

Kolets, P., Schrama, J.W., Graat, E.A.M., Wiegertjes, G.F., Lyons, P., & Pietsch, C. (2021). The Occurrence of Mycotoxins in Raw Materials and Fish Feeds in Europe and the Potential Effects of Deoxynivalenol (DON) on the Health and Growth of Farmed Fish Species—A Review. *Toxins*, 13(6), 403.

Liu, H., Xie, R., Huang, W., Yang, Y., Zhou, M., Lu, B., Li, B., Tan, B., & Dong, X. (2023). Negative effects of aflatoxin B1 (AFB1) in the diet on growth performance, protein and lipid metabolism, and liver health of juvenile hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* *Epinephelus lanceolatus*). *Aquaculture Reports*, 33, 101779.

Martseniuk, V. M., Potrokhov, O. S. & Zinkovskiy, O. G. (2018). Energy metabolism in organs and tissues of perch *Perca fluviatilis* under changes of water temperature. *Hydrobiological Journal*, 54(4), 85–94.

Martsenyuk, V. M. (2019). Features of regulation of energy supply for the adaptation of fish to the influence of abiotic and anthropogenic factors. PhD dissertation in ichthyology. Hydrobiology Institute, NAS of Ukraine, Kyiv. 225(In Ukrainian).

Марценюк В.М. Особливості регуляції енергозабезпечення адаптації риб до дії абіотичних та антропогенних чинників. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук (доктора філософії) зі спеціальності 03.00.10 «Іхтіологія». Інститут гідробіології НАН України, Київ, 2019. 225 с.

Matiushko, S., & Mekhed, O. (2024). Changes in the content of adenylates in carp tissues under the action of mycotoxin T2. *Biota. Human. Technology*, (3), 78-83. <https://doi.org/110.58407/bht.3.24.5> (In Ukrainian).

Матюшко С., Мехед О. Зміни вмісту аденілатів в тканинах коропа за дії мікотоксину Т2. *Biota. Human. Technology*. 2024. № 3. С. 78-83. <https://doi.org/110.58407/bht.3.24.5>

Mekhed, O. B. (2024). Effect of T-2 mycotoxin on certain biochemical indicators of hydrobionts. Molluscs: results, problems and perspectives of research. Zhytomyr: Euro-Volyn, 19–21. (in Ukrainian). <https://tinyurl.com/4umjzxt5>

Мехед О. Б. Вплив мікотоксину Т2 на деякі біохімічні показники гідробіонтів. Молюски: результати, проблеми і перспективи досліджень. Житомир: Євро-Волинь, 2024. С. 19-21. <https://tinyurl.com/4umjzxt5>

Musiyenko, N. H., Zhidenko, A. O., Mekhed, O. B., & Kovalenko, O. M. (2005). Impact of pesticides on morphological indicators of carp. *Scientific notes of Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatyuk. Series: Biology*, 3(26), 319–321. (in Ukrainian). <https://tinyurl.com/279a3azx>

Мусяєнко Н.Г., Жиденко А.О., Мехед О.Б., Коваленко О.М. Вплив пестицидів на морфологічні показники коропа. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*. 2005. №3 (26). С.319-321. <https://tinyurl.com/279a3azx>

Nikolaenko, T., Ivashchenko, M., Ivashchenko, N., & Mekhed, O. (2023). Adaptive changes in blood indicators of scaly carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) in response to water pollution. Natural resources of the border areas in the conditions of climate change. Chernihiv: Desna-Polihrav, 99–100. (in Ukrainian).

Ніколаєнко Т., Іващенко М., Іващенко Н., Мехед О. Адаптивні зміни показників крові коропа лускатого (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) як відповідь на забруднення води. Природні ресурси прикордонних територій в умовах зміни клімату. Десна-Поліграф. 2023. С. 99-100

Osoba, I. A. (2013). Biological role of lipid peroxidation in ensuring the functioning of fish organisms. *Fisheries Science of Ukraine*, (1), 87–96. Retrieved from <http://www.fishukr.org.ua> (In Ukrainian).

Особа І. А. Біологічна роль перекисного окиснення ліпідів у забезпеченні функціонування організму риб. *Рибогосподарська наука України*. 2013. № 1. С. 87–96. URL: <http://www.fishukr.org.ua>

Osoba, I. A., & Hrytsyniak, I. I. (2010). Activity of the non-enzymatic link of the antioxidant defense system in the liver of one-year-old scaly and mirror carp of Nesvytskyi zonal type. *Fisheries Science of Ukraine*, (3), 62–65. Retrieved from <http://www.fishukr.org.ua> (In Ukrainian).

Особа І. А., Грициняк І. І. Активність неферментативної ланки системи антиоксидантного захисту у печінці однорічок лускатих та рамчастих карпів несвицького зонального типу. *Рибогосподарська наука України*. 2010. № 3. С. 62–65. URL: <http://www.fishukr.org.ua>

Polotnianko, L., & Mekhed, O. (2023). Accumulation of mycotoxins in the muscles of scaly carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) when fed T-2 toxin-contaminated feed. Natural resources of the border areas in the conditions of climate change. Chernihiv: Desna-Polihrav, 105–106. (in Ukrainian).

Полотнянко Л., Мехед О. Накопичення мікотоксинів у м'язах коропа лускатого (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) при згодовуванні корму, контамінованого Т2-токсиком. *Природні ресурси прикордонних територій в умовах зміни клімату*. Чернігів : Десна-Поліграф. 2023. С. 105-106

Polotnianko, L., & Mekhed, O. (2024). Changes in the morphological indicators of carp under the action of mycotoxin T2. *Biota. Human. Technology*, (3), 69-76. <https://doi.org/10.58407/bht.3.24.4>

Phudkliang, J., Soonthornchai, W., Maele, L.V., Xu, H., Qi, Z., Lee, P.-T., Chantiratikul, A., & Wangkahart, E. (2025). Studies on the use of mycotoxin binders as an effective strategy to mitigate mycotoxin contamination in aquafeed: A case study in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Reports*, 43, 102984.

Symonova, N. A., Mekhed, O. B., Kupchyk, O. Y., & Tretyak, O. P. (2018). Toxicants in the degradation of lipids in the organism of scaly carp. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(4), 6-10.

Yatsenko, I. V., Bohatko, N. M., Bulgakova, N. V. et al. (2017). Hygiene and expertise of food hydro-bionts and their processing products. Part 1. Hygiene and expertise of fishery products: A textbook. Kharkiv.

Yatskiv, O., & Tarnovska, A. (2014). Intensity of lipid peroxidation processes in weatherfish embryos under the influence of calcium and magnesium cations. *Visnyk of Lviv University. Biological Series*, (68), 101–108. (In Ukrainian).

Яцків О., Тарновська А. Інтенсивність процесів перекисного окиснення ліпідів у зародках в'юна за впливу катіонів кальцію та магнію. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2014. Вип. 68. С. 101–108.

Yachna, M. G., Mekhed, O. B., Tretyak, O. P., & Yakovenko, B. V. (2019). Phospholipid content in tissues of scaly carp (*Cyprinus carpio* L.) under the influence of sodium lauryl sulfate-containing and phosphate-free synthetic detergents. *Scientific Notes of Ternopil National Pedagogical University. Series: Biology*, (2) 76, 48–52. (In Ukrainian).

Ячна М. Г., Мехед О. Б., Третяк О. П., Яковенко Б. В. Вміст фосфоліпідів у тканинах коропа лускатого (*Cyprinus carpio* L.) за дії натрій лаурилсульфатвмісного та безфосфатного синтетичних миючих засобів. *Наукові записки ТНПУ. Серія: Біологія*. 2019, № 2 (76). С.48–52.

Zhelai, M. V., Polotnianko, L. V., Yachna, M. H., Mekhed, O. B., & Tretyak, O. P. (2023a). Impact of T-2 mycotoxin on ichthyological indicators of carp fish. *Scientific notes of Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatyuk. Series: Biology*, 84(1), 35–40. <https://doi.org/10.25128/2078-2357.24.1.5> (in Ukrainian).

Желай М. В., Полотнянко Л. В., Ячна М. Г., Мехед О. Б., Третяк О. П. Вплив мікотоксину Т2 на іхтіологічні показники коропових риб. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*. 2023. Т. 84, №1. С. 35–40 <https://doi.org/10.25128/2078-2357.24.1.5>

Zhelai, M., Yachna, M., Mekhed, O., & Tretyak, O. (2023b). Adaptive changes in ichthyological indicators of carp fish under the influence of T-2 mycotoxin. Natural resources of the border areas in the conditions of climate change. Chernihiv: Desna-Polihrav, 77–78. (in Ukrainian).

Желай М., Ячна М., Мехед О., Третяк О. Адаптивні зміни іхтіологічних показників коропових риб за дії мікотоксину Т2. Природні ресурси прикордонних територій в умовах зміни клімату. Чернігів : Десна-Поліграф. 2023. С. 77–78.

Received: 26.08.2025.**Accepted:** 21.09.2025.**Published:** 16.12.2025.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Лукаш О., Ткачук Н., Янченко В., Новосад Н. Ксенобіотики та вторинні метаболіти мікро-міцетів як чинники змін ліпідного профілю та перекисного окиснення в тканинах риб. *Biota. Human. Technology*. 2025. № 3. С. 111–121. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.11>

Cite this article in APA style as:

Lukash, O., Tkachuk, N., Yanchenko, V., & Novosad, N. (2025). Ksenobiotyky ta vtorynni metabolity mikromitsetiv yak chynnyky zmin lipidnoho profilu ta perekysnoho oksynennia v tkanynakh ryb [Xenobiotics and secondary metabolites of micromycetes as factors of changes in the lipid profile and lipid peroxidation of fish tissues]. *Biota. Human. Technology*, (3), 111–121. <https://doi.org/10.58407/bht.3.25.11> (in Ukrainian)

Information about the authors:

Lukash O. [*in Ukrainian: Лукаш О.*]¹, D.Sc. (Biology), Prof., email: lukash2011@ukr.net

ORCID: 0000-0003-2702-6430 Scopus-Author ID: 57202369398

Department of Ecology, Geography and Nature Management, T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium"
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Tkachuk N. [*in Ukrainian: Ткачук Н.*]², PhD (Biology), Assoc. Prof., email: nataliia.smykun@gmail.com

ORCID: 0000-0002-5115-7716 Scopus-Author ID: 7801574248 ResearcherID: AAB-4448-2020

Department of Biology, T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium",
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Yanchenko V. [*in Ukrainian: Янченко В.*]³, PhD (Pharmacy), Assoc. Prof., email: v.o.yanchenko@gmail.com

ORCID: 0000-0002-6727-4124 Scopus-Author ID: 6602531355 ResearcherID: AAC-9900-2020

Department of Chemistry, Technology and Pharmacy, T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium"
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Novosad N. [*in Ukrainian: Новосад Н.*]⁴, PhD (Biology), Assoc. Prof., email: novosadnata@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5993-9870 Scopus-Author ID: 57469575300

Department of Physiology, Immunology and Biochemistry with the Course in Civil Defense and Medicine,
Zaporizhzhia National University,
66 Universytetska Street, Zaporizhzhia, 69600, Ukraine

¹ Study design, manuscript preparation.

² Manuscript preparation, data collection.

³ Manuscript preparation, data collection.

⁴ Manuscript preparation.