



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 12
Український журнал природничих наук
№ 12

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 591.43:597.42
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.12.2025.2>

ОСОБЛИВОСТІ МОРФОЛОГІЇ ПЕЧІНКИ СТРОКАТОГО ТОВСТОЛОБИКА (*HYORPHTHALMICHTHYS NOBILIS*)

А. П. Горальський¹, Н. В. Демус², І. М. Сокульський³, Б. В. Гутий⁴,
О. В. Павлюченко⁵, С. Ю. Шевчук⁶

¹ доктор ветеринарних наук, професор,
професор кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: goralsky@ukr.net
ORCID: 0000-0002-4251-614X

² кандидат ветеринарних наук, доцент,
доцент кафедри нормальної та патологічної морфології і судової ветеринарії
(Львівський національний університет ветеринарної медицини
та біотехнологій імені С. З. Гжицького, м. Львів)
e-mail: demus2nv@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0793-0484

³ кандидат ветеринарних наук, доцент,
доцент кафедри внутрішньої патології та морфології
(Поліський національний університет, м. Житомир)
e-mail: sokulskiy_1979@ukr.net
ORCID: 0000-0002-6237-0328

⁴ доктор ветеринарних наук, професор, професор, завідувач кафедри гігієни,
санітарії та загальної ветеринарної профілактики імені М. В. Демчука
(Львівський національний університет ветеринарної медицини
та біотехнологій імені С. З. Гжицького, м. Львів)
e-mail: bvh@ukr.net
ORCID: 0000-0002-5971-8776

⁵ кандидат біологічних наук, доцент,
завідувачка кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: pavluchenkolessia@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2783-1037

⁶ кандидат біологічних наук, доцент,
доцент кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: dzhgutyk@ukr.net
ORCID: 0000-0001-6374-1859

Для визначення еколого-токсикологічної ситуації та оцінки впливу різних несприятливих факторів водного середовища на водні організми слід здійснювати морфологічний аналіз окремих органів, які насамперед піддаються негативному впливу.

У статті подані результати досліджень щодо гістологічних та ультрамікроскопічних особливостей будови печінки кісткової риби родини корокових: строкатого товстолобика – *Hypophthalmichthys nobilis* (Eschmeyer, 2003). Проведено аналіз мікроструктури печінкової тканини з використанням світлової мікроскопії та ультрамікроскопічних методів, що дало змогу виявити ключові морфологічні та функціональні особливості органа.

Встановлено, що в процесі філогенетичного розвитку риб, які розвиваються у водному середовищі, відбувається певна структурна перебудова печінки: адаптації до різноманітних умов існування супроводжувалися зміною ряду параметрів морфологічної будови печінки. У строкатого товстолобика (рослиноїдні) печінка трилопатева. Для товстолобика характерною ознакою печінки є наявність гепатопанкреаса (печінка та підшлункова залози, асоційовані в єдиний орган).

Особливістю мікроскопічної будови печінки родини корокових є слабкорозвинена міжчасточкова сполучна тканина, а паренхіма часточки печінки має трубчасту будову у вигляді багатограних, ламаних товстостінних трубочок, стінками яких є гепатоцити. Ці трубочки представлені синусоїдними капілярами, які забезпечують ефективний обмін речовин між кров'ю та клітинами печінки, сприяючи детоксикації організму й обробці поживних речовин. У таких трубочках також спостерігаються великі запаси глікогену, що свідчить про високий рівень метаболічної активності та здатність печінки корокових риб до накопичення енергетичних ресурсів.

Досліджено стан гепатоцитів, судинної системи печінки та структурні зміни, що виникають під впливом різних екологічних і фізіологічних факторів. Встановлено основні адаптивні механізми тканини печінки, які забезпечують її функціональну активність у строкатого товстолобика. Проведені результати розширюють і доповнюють відомості про макро- та мікроскопічну будову печінки щодо видових особливостей корокових риб у відповідних розділах анатомії, гістології, порівняльної анатомії, зоології тощо.

Ключові слова: хребетні тварини, порівняльна анатомія, мікроскопічна будова, дослідження органів, кісткові риби, гепатоцити, органели.

MORPHOLOGICAL FEATURES OF THE LIVER IN BIGHEAD CARP (*HYPOPHTHALMICHTHYS NOBILIS*)

L. P. Horalskyi, N. V. Demus, I. M. Sokulskiy, B. V. Gutyj, O. V. Pavliuchenko,
S. Y. Shevchuk

To determine the ecological and toxicological situation and assess the impact of various adverse factors in the aquatic environment on aquatic organisms, it is essential to conduct a morphological analysis of specific organs that are most susceptible to negative influences.

This article presents the results of research on the histological and ultrastructural features of the liver in a bony fish from the Cyprinidae family – the bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) (Eschmeyer, 2003). An analysis of the microstructure of the liver tissue was conducted using light microscopy and ultrastructural methods, which allowed for the identification of key morphological and functional characteristics of the organ.

It has been established that during the phylogenetic development of fish living in aquatic environments, a certain structural reorganization of the liver occurs. Adaptations to various environmental conditions were accompanied by changes in several morphological parameters of the liver. In the bighead carp (a herbivorous species), the liver is trilobate. A distinctive feature of the bighead carp's liver is the presence of a hepatopancreas – a combined organ formed by the liver and pancreas.

A characteristic feature of the microscopic structure of the Cyprinidae liver is the poorly developed interlobular connective tissue. The liver parenchyma has a tubular structure in the form of polygonal, irregularly shaped thick-walled tubules, with their walls composed of hepatocytes. These tubules are surrounded by sinusoidal capillaries that facilitate effective metabolic exchange between the blood and liver cells, contributing to detoxification and nutrient processing. Large glycogen deposits are also observed in these tubules, indicating a high level of metabolic activity and the liver's ability to store energy resources.

The study examined the condition of hepatocytes, the vascular system of the liver, and structural changes arising from various ecological and physiological factors. The primary adaptive mechanisms of liver tissue that ensure its functional activity in the bighead carp were identified.

The results obtained expand and complement existing knowledge on the macro- and microscopic structure of the liver, contributing to the fields of anatomy, histology, comparative anatomy, zoology, and related disciplines regarding the species-specific features of Cyprinidae fish.

Key words: *vertebrates, comparative anatomy, microscopic structure, organ studies, bony fish, hepatocytes, organelles.*

Вступ

Сільськогосподарський сектор України характеризується значним потенціалом завдяки наявності родючих ґрунтів, сприятливих кліматичних умов і водних ресурсів, що створює всі необхідні умови для виробництва широкого спектра аграрної продукції (Махиборода, 2019).

З огляду на зростання чисельності населення світу аквакультура виступає одним із найперспективніших напрямів харчової індустрії, здатним забезпечити потребу в якісному тваринному білку без шкоди для природних рибних ресурсів (Рудь, 2021). Забезпечення потреб населення продуктами харчування загалом і аквакультури зокрема можливе лише за розвитку та запровадження новітніх технологій у тваринництві, зокрема в галузі рибного господарства (Irm et al., 2020; Дюдяєва і Рутта, 2021). Інноваційні підходи та сучасні методи вирощування риб дають змогу підвищити ефективність виробництва, забезпечити сталість та екологічну безпеку процесів, а також знизити витрати на ресурси, зберігаючи при цьому високу якість продукції (Jannathulla et al., 2019; Laktuka et al., 2023).

Не викликає сумніву, що застосування новітніх технологій у галузі рибництва щодо вирощування риби, засобів профілактики захворювань різноманітного генезу може викликати морфофункціональні зміни, порушувати гомеостаз в організмі риб, що призведе до появи нових захворювань або ж до нетипового перебігу існуючих (Matras et al., 2019). До того ж за впливу різних технологічних чинників за використання нових технологій у рибництві у риб виникають метаболічні порушення, що негативно впливає на їх продуктивність та формування імунітету (Главатчук, 2024).

Важливими чинниками, які формують продуктивні якості, є виробничі процеси, які безпосередньо пов'язані із живленням риби: за споживання корму відбувається взаємозв'язок організму риб із навколишнім середовищем (Корженевська та ін., 2019; Ну, 2020). Не викликає сумніву, що раціональним живленням риби в природних умовах є природні корми (Abhijith et

al., 2016; Ali et al., 2022), водночас корекція годівлі у виробничих умовах за використання різноманітних комбикормів, збалансованих за макро- та мікроелементами тощо, суттєво впливає на продуктивні якості промислових риб, залежно від видових особливостей риби, їх фізіологічних особливостей процесів травлення, впливаючи при цьому на макро- та мікроскопічну будову органів травлення, а саме печінку (Taddesse, 2014; Glencross, 2024; Maulu, 2024). Крім того, умови харчування риб, якість корму, його склад достеменно впливають на морфофункціональний стан риби, їх соматичні ознаки, обмін речовин тощо (Машкова і Шарамок, 2023; Cui et al., 2024). Також відмічено, що важливим питанням щодо забезпечення та підвищення продуктивних якостей риби є анатомічні особливості апарату травлення, фізіологічні процеси, які відбуваються в організмі риб, зокрема у травних залозах, до яких належать печінка й підшлункова залоза (Chanet et al., 2023). Тому адаптація різних видів риби до споживання певних кормів, їх перетравлення значною мірою залежить від морфофізіологічних особливостей апарату травлення, зокрема печінки, яка виконує важливі функції для організму: синтезує жовч, білки плазми крові, є депо глікогену, ліпідів та вітамінів, знешкоджує токсичні речовини ендо- та екзогенного характеру, бере участь у кровотворенні (Georgieva, 2016; Олійник 2017; Balakrishna, 2024). Усі фізіологічні процеси в печінці риб, що є холоднокровними (пойкілотермними) тваринами, на відміну від теплокровних (клас ссавці та птахи), мають безпосередню кореляцію з умовами навколишнього середовища, у якому вони існують (Присяжнюк і Онищенко, 2016; Honcharova, 2021). Температура води, її хімічний склад, рівень кисню й інші екологічні фактори безпосередньо впливають на метаболічні процеси в печінці риб, як-от синтез і розподіл поживних речовин, детоксикація та енергетичний обмін. Зокрема, зі зміною температури води спостерігається зміна швидкості ферментативних реакцій у печінці, що відображає здатність організму до адапта-

ції до нових умов середовища (Al-Ghanim, 2014; Vodianitskyi, 2020; Kukhtyn et al., 2022). Таким чином, фізіологічна діяльність печінки риб є не лише результатом внутрішніх процесів організму, а й безпосередньо залежить від змін, що відбуваються в навколишньому середовищі, де ці тварини проживають.

Матеріал і методи

Під час проведення наукових досліджень дотримувалися встановлених норм лабораторної практики GLP (1981 р.) та положень «Загальних етичних принципів експериментів на тваринах», ухвалених Першим Національним конгресом з біоетики (м. Київ, 2001 р.). Експерименти виконувалися відповідно до міжнародних стандартів, зокрема «Європейської конвенції про захист хребетних тварин, які використовуються в експериментах та інших наукових цілях» (Страсбург, 1986 р.), «Правил проведення робіт із використанням експериментальних тварин» згідно з наказом МОЗ № 281 від 1 листопада 2000 р. «Про заходи щодо вдосконалення організації роботи з використанням експериментальних тварин», а також відповідно до Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження».

Роботу виконували у співпраці кафедр вищих навчальних закладів: кафедри нормальної та патологічної морфології і судової ветеринарії Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького; кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи Житомирського державного університету імені Івана Франка; кафедри нормальної і патологічної морфології, гігієни та експертизи Поліського національного університету.

Підбір тварин проводили в літньо-осінній період із врахуванням їх віку. У порівняльно-анатомічному ряді використовували статевозрілі тварини, 2-річного віку масою $641,3 \pm 2,3$ г. Оцінку статевої зрілості визначали за масою тварини (Горальський та ін., 2019).

Клінічний огляд риби, оцінку екстер'єрних (зовнішній вигляд, маса тіла тварин) та інтер'єрних (лінійні параметри, абсолютна та відносна маса органа) параметрів після анатомічного розтину проводили згідно з рекомендаціями морфологічних посібників (Горальський та ін., 2019). Для запобігання негативного впливу стрес-чинників рибу перед розтином присипляли розчином гіпнодиду (6–10 мл/л).

Об'єктом для дослідження була печінка, шматочки якої для гістологічних досліджень фіксували у 10%-му водному розчині нейтрального формаліну та в рідині Карнуа з подальшою швидкою заливкою у парафін (Горальський та ін., 2019). Для вивчення загальної характеристики печінки, стану їх структур та проведення морфометричних досліджень виготовляли серійні парафінові зрізи з подальшим фарбуванням гематоксином та еозином (Горальський та ін., 2019). Для одержання об'єктивних критеріїв структурної організації печінки використовували кількісні морфометричні методи дослідження (Горальський та ін., 2019).

Відбір матеріалу для електронномікроскопічних досліджень печінки проводили згідно з рекомендаціями, запропонованими в посібнику (Горальський та ін., 2019). Для цього вирізали шматочки органа об'ємом до 1 мм³, занурювали у фіксуючу суміш – 1%-й розчин тетраоксиду осмію на буфері Колфілда на 2 години. Потім, після промивання матеріалу 0,1 М фосфатним буфером (3 рази по 30 хв) та дегідратації його у спиртах наростаючої міцності (50°, 70°, 90°, 100° по 10 хв з триразовою зміною у кожній із порцій), шматочки контрастували у 2%-му розчині уранілу ацетату, приготованому на спирті 70°. Після цього матеріал проводили через абсолютний спирт з ацетоном (10 хв), через ацетон (10 хв). Далі поміщали в суміш ацетону з епоксидними смолами (3 : 1 – 30 хв; 1 : 1 – 1 год) та чисту смолу впродовж 1 год. Зразки матеріалу закладали в желатинові капсули, заливали епоксидними смолами з додаванням каталізатора з подальшим поміщенням їх у термостат ($t + 56^\circ\text{C}$) для полімеризації на 24 год. Ультратонкі зрізи (50–60 нм) виготовляли на ультрамікротомі LKB (Швеція) Tesla BS-490A, монтували на мідні бленди $d = 1$ мм, контрастували розчинами уранілу ацетату і цитрату свинцю за Рейнольдсом та вивчали за допомогою електронного мікроскопа ПЕМ-125К (Україна) з відеокамерою DX 2, КАРРА з подальшим фотографуванням зі збільшенням (у 6400, 8000 та 10 000 разів).

Для забезпечення точності й деталізації мікроструктурних характеристик тканин мікрофотографування гістологічних препаратів здійснювали за допомогою відеокамери CAM V200, вмонтованої в мікроскоп Micros MC-50, і цифрового фотоапарата. Отримані цифрові зображення були систематизовані та піддані статистичному аналізу. Математична обробка результатів

досліджень була розроблена статистично з використанням програмного пакета Statistica 7.0 програмного забезпечення (StatSoft, Талса, США). Відмінності між величинами в контрольній та експериментальній групах визначали за допомогою ANOVA, де відмінності вважалися достовірними, якщо $P < 0,05$ (з урахуванням похибки Бонферроні).

Результати

Печінка у строкатого товстолибика розташована у вентральній ділянці порожнини тіла, між петлями кишечника. Краніально вона межує з навколосерцевою сумкою, вентрально – обмежена передньою камерою плавального міхура, а каудально – його задньою камерою.

Макроскопічно печінка строкатого товстолибика утворена трьома лопатями та має пуху консистенцію і буро-червоний колір. Абсолютна маса печінки, згідно з органометричними дослідженнями, становить $8,822 \pm 0,734$ г, відносна – $1,375\%$, її довжина дорівнює $11,808 \pm 0,432$ см, ширина – $3,402 \pm 0,194$ см.

Гістологічними дослідженнями з'ясовано, що часточки печінки у строкатого товстолибика мають багатогранну форму. При цьому міжчасточкова сполучна тканина печінки виражена слабко й помітна лише навколо печінкових триад, де чітко диференціюються видовженої форми фіброblastи та колагенові волокна (рис. 1).

Печінкові часточки сформовані печінковими залозистими трубочками, жовчними

капілярами та синусоїдними гемокапілярами (рис. 2). Усередині кожної часточки розташована центральна вена.

Секреторні трубочки паренхіми печінки побудовані із 6–8 і більше гепатоцитів, які контактують між собою за допомогою десмосом. Кожна така трубочка на поперечному зрізі має вигляд багатогранної, ламаної товстостінної структури, стінками яких є гепатоцити, у центрі яких чітко виявляється центральний просвіт (жовчний капіляр) (рис. 3). Жовчні капіляри не мають власної стінки, остання сформована поверхнями клітинних мембран біліарних полюсів гепатоцитів. Між печінковими трубочками містяться кровоносні міжчасточкові капіляри, стінка яких утворена васкулярними полюсами гепатоцитів. Біліарний полюс гепатоцитів, який спрямований до просвіту жовчного капіляру, виділяє у нього жовч, васкулярний полюс, що спрямований до кровоносного внутрішньочасточкового капіляра, виділяє глюкозу, сечовину.

Гепатоцити часточок печінки, на поздовжньому зрізі хаотично розташовані в паренхімі органа (рис. 4). Така особливість будови пов'язана з тим, що печінкові часточки у строкатого товстолибика мають трубчасту будову, а не пластинчасту, як у тварин класу ссавці.

Гепатоцити строкатого товстолибика мають полігональну форму та чітко оконтуровані та тлі паренхіми часточок. Їх цитоплазма за фарбування гістопрепаратів гематоксиліном та еозином по-різному

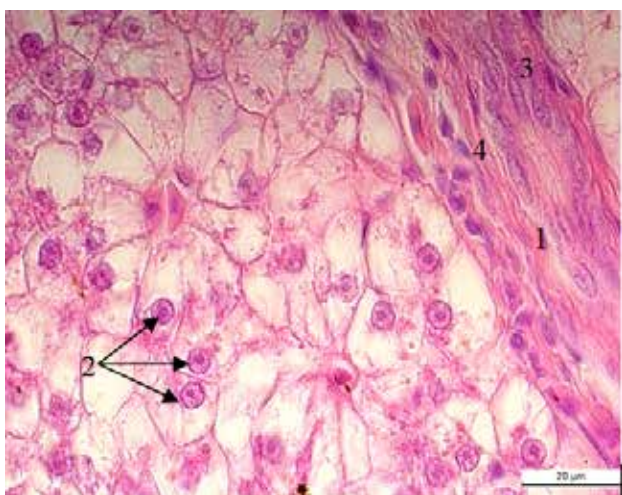


Рис. 1 Фрагмент мікроскопічної будови часточки печінки строкатого товстолибика:

- 1 – міжчасточкова сполучна тканина;
- 2 – гепатоцити; 3 – фіброblastи;
- 4 – колагенові волокна. Ван-Гізон. X 600

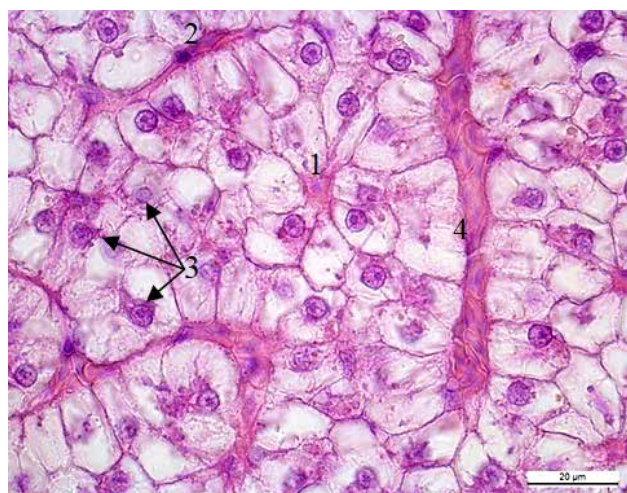


Рис. 2. Фрагмент мікроскопічної будови часточки печінки строкатого товстолибика:

- 1 – секреторна трубочка; 2 – жовчний капіляр; 3 – гепатоцити; 4 – гемокапіляр.
- Гематоксилін та еозин. X 600

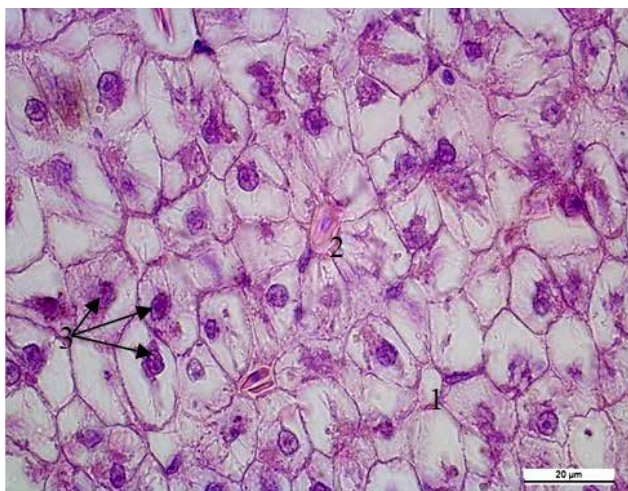


Рис. 3. Фрагмент мікроскопічної будови часточки печінки строкатого товстолобика: 1 – секреторна трубочка; 2 – жовчний капіляр; 3 – гепатоцити. Гематоксилін та еозин. X 600

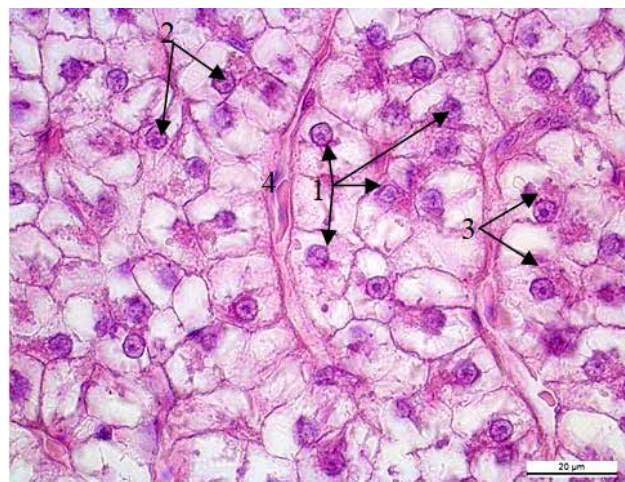


Рис. 5. Фрагмент мікроскопічної будови часточки печінки строкатого товстолобика: 1 – гепатоцити; 2 – ядра гепатоцитів; 3 – ацидофільна зернистість цитоплазми; 4 – гемокапіляр. Гематоксилін та еозин. X 600

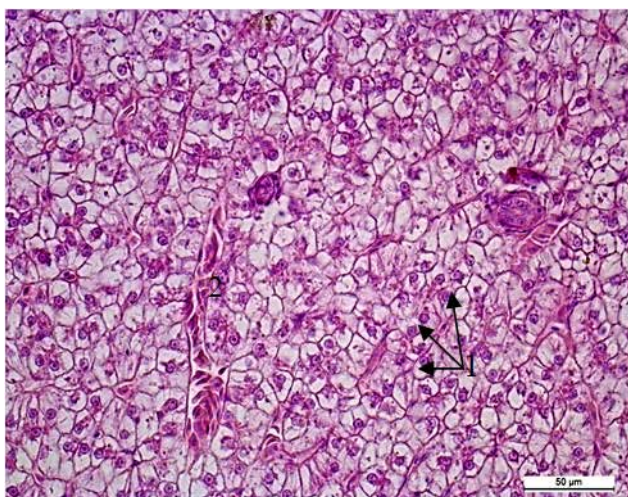


Рис. 4. Фрагмент мікроскопічної будови часточки печінки строкатого товстолобика: 1 – гепатоцити; 2 – гемокапіляр. Гематоксилін та еозин. X 400

сприймає забарвлення та містить у своїй цитоструктурі незначні ацидофільні вclusions у вигляді дрібної зернистості, тому цитоплазма окремих гепатоцитів має пінистий вигляд (рис. 5).

Ядра гепатоцитів мають округлу форму та чітко виражені ядерця, містяться вони у їх центрі або ж ексцентрично. Поряд з одноядерними гепатоцитами інколи зустрічаються двоядерні форми клітин. Ядра переважно мають щільну консистенцію та дещо зменшені в розмірах, тому чітко диференціюються у структурі клітин на тлі неза-

фарбованої цитоплазми (рис. 5). У значній кількості гепатоцитів унаслідок дифузного скупчення у їх цитоплазмі жирових включень ядра часто зміщуються до периферії цитоплазми, ближче до її синусоїдного краю (рис. 5).

Згідно із цитоморфометричними дослідженнями, середній об'єм гепатоцитів печінки строкатого товстолобика становить $4,964 \pm 0,302$ мкм³, середній об'єм їх ядер – $0,302 \pm 0,026$ мкм³, а ЯЦВ – $0,0648 \pm 0,0064$ (табл. 1).

Характерною особливістю печінки строкатого товстолобика є те, що в різних ділянках печінкових часточок виявляються скупчення панкреатоцитів (рис. 6), які сформовані з 15–35 та більше клітин у вигляді острівців, що формують структури, подібні за будовою до ацинусів екзокринної частини підшлункової залози у ссавців (рис. 6).

Панкреатоцити мають призматичну форму, їх цитоплазма за фарбування гістопрепаратів гематоксиліном та еозином неоднорідно сприймає забарвлення: біля ядра базофільна; подальше від ядра – ацидофільна, з наявністю значної кількості ацидофільної зернистості (рис. 6).

За результатами гістометричних досліджень середня площа печінкової часточки, асоційованої зі скупченнями панкреатоцитів строкатого товстолобика становить $552,04 \pm 96,85$ мкм². При цьому площа панкреаса в одній часточці печінки строкатого товстолобика займає $74,88 \pm 4,51$ мкм² (13,56%), а відношення площі панкреаса до

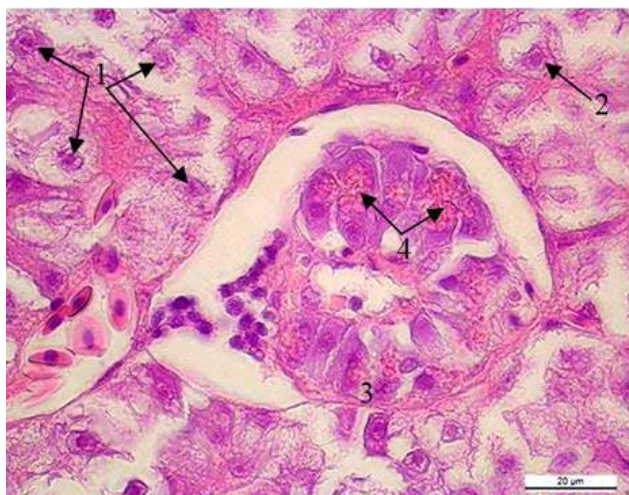


Рис. 6. Фрагмент мікроскопічної будови часточки печінки строкатого товстолобика:
1 – гепатоцити; 2 – ядра гепатоцитів
3 – гепатопанкреас; 4 – ацидофільна зернистість цитоплазми панкреатоцитів.
Гематоксилін та еозин. X 600

загальної площі печінкової часточки становить 1 : 6,4 (табл. 1).

За результатами цитоморфометрії середній об'єм панкреатоцитів дорівнює $2,004 \pm 0,198$ мкм³, об'єм їх ядер – $0,036 \pm 0,005$ мкм³, ЯЦВ – $0,0183 \pm 0,0062$.

Згідно з ультрамікроскопічними дослідженнями, гепатоцити печінки строкатого товстолобика мають полігональну форму: багатогранну, округлу, овальну. Вони чітко оконтуровані плазматичною мембраною, яка складається з трьох шарів: зовнішнього, внутрішнього темного та між ними (розділяє

їх) світлого шару. Плазмолема гепатоцитів здебільшого нерівна, має звивисту форму та часто формує окремі виступи та інвагінації. Між гепатоцитами, які формують залозисті трубочки, міститься вузький, інколи розширений міжклітинний простір (рис. 7).

Гепатоцити мають декілька біліарних полюсів, плазматична мембрана яких утворює короткі мікроворсинки. При цьому плазматичні мембрани поряд розташованих гепатоцитів щільно контактують між собою за допомогою виростів плазмолеми у вигляді мікроворсинок, які спрямовані в напрямку гемосинусоїдних капілярів (рис. 8). Такі вну-

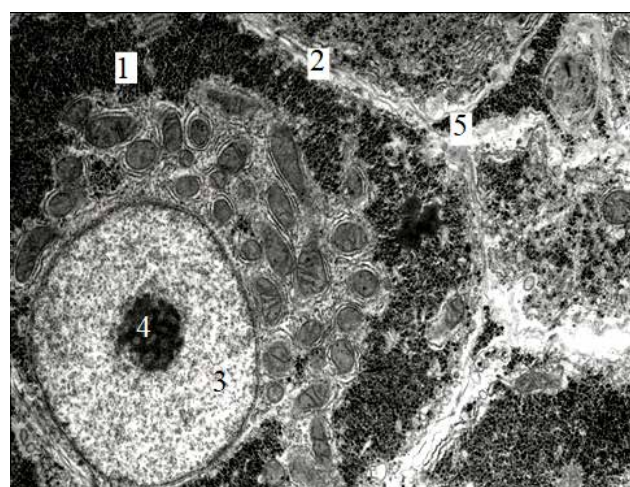


Рис. 7. Фрагмент ультрамікроскопічної будови печінки строкатого товстолобика:
1 – гепатоцит; 2 – цитоплазматична оболонка; 3 – ядро; 4 – ядерце;
5 – міжклітинний простір. X 6400

Таблиця 1
Морфометричні показники структур печінки строкатого товстолобика ($\bar{x} \pm SD$, $n = 6$)

Показники	Одиниці виміру	Цифрові показники
Площа печінкової часточки, асоційована зі скупченням панкреатоцитів (гепатопанкреас)	мкм ²	$552,04 \pm 96,85$
Площа скупчень панкреатоцитів (панкреаса)	мкм ²	$74,88 \pm 4,51$
	%	13,56
Площа печінкової часточки:	мкм ² ;	$477,16 \pm 82,71$
	%	86,44
Відношення площі панкреаса до площі печінкової часточки		1 : 6,4
Діаметр центральних вен	мкм	$5,974 \pm 0,398$
Об'єм гепатоцитів	мкм ³	$4,964 \pm 0,302$
Об'єм ядер гепатоцитів	мкм ³	$0,302 \pm 0,026$
ЯЦВ гепатоцитів	ум. од.	$0,0648 \pm 0,0064$
Об'єм панкреатоцитів	мкм ³	$2,004 \pm 0,198$
Об'єм ядер панкреатоцитів	мкм ³	$0,036 \pm 0,005$
ЯЦВ панкреатоцитів	ум.од.	$0,0183 \pm 0,0062$

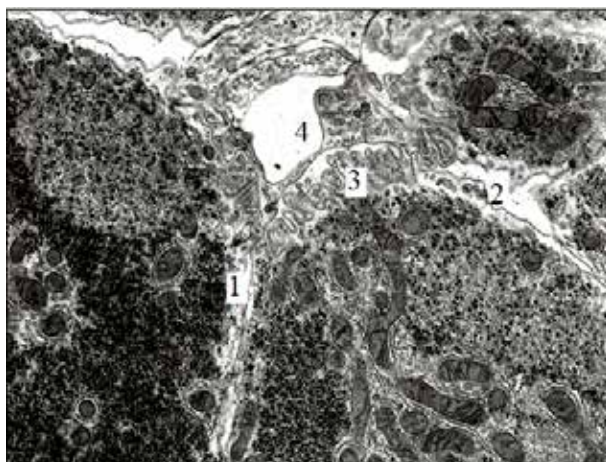


Рис. 8. Фрагмент ультрамікроскопічної будови печінки строкатого товстолибика: 1 – контакти гепатоцитів; 2 – цитоплазматична оболонка; 3 – мікрроворсинки; 4 – просвіт гемосинусоїдного капіляра. X 6400

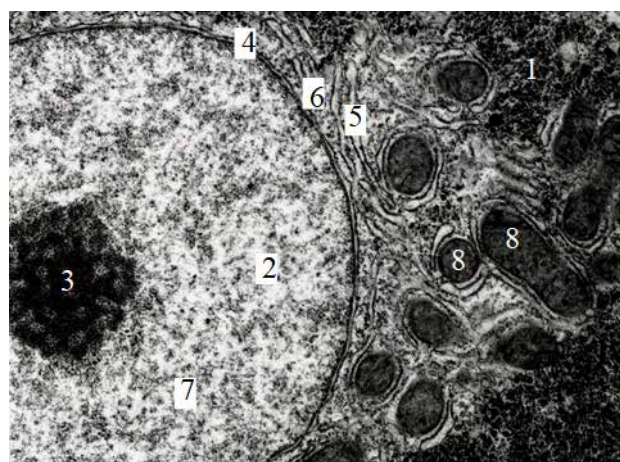


Рис. 9. Фрагмент ультрамікроскопічної будови гепатоцита печінки строкатого товстолибика: 1 – цитоплазма; 2 – ядро; 3 – ядерце; 4 – ядерна мембрана; 5 – гранулярна ендоплазматична сітка; 6 – контакт зовнішнього шару ядерної мембрани з мембранами гранулярної ендоплазматичної сітки; 7 – еухроматин; 8 – мітохондрії. X 6400

трішньочасточкові капіляри синусоїдного типу мають достатньо виразний широкий просвіт, стінка яких сформована ендотеліоцитами сильно ущільненої форми.

Гепатоцити мають велике (інколи два) ядро округлої чи овальної форми, яке оконтуроване щільною ядерною мембраною. Остання складається з двох шарів (внутрішнього та зовнішнього), які відокремлені між собою перинуклеарним простором. Згідно з ультрамікроскопічними дослідженнями, перинуклеарний простір нерівномірно розширений (рис. 9). У двошаровій ядерній мембрані виявляються каналні (пори). Зовнішній шар ядерної мембрани іноді контактує з мембранами гранулярної ендоплазматичної сітки. При цьому перинуклеарний простір без чіткої межі переходить у порожнину гранулярної ендоплазматичної сітки. Сама нуклеоплазма має світле забарвлення та містить електронно-прозорий матрикс і рівномірно розміщений еухроматин. На периферії нуклеоплазми інколи виявляється гетерохроматин (рис. 9). У центрі каріоплазми (рис. 9) або ж ексцентрично (рис. 10) розташовані переважно великих розмірів ядерця, побудовані з волокнистого та гранулярного компонентів.

У цитоплазмі гепатоцитів наявні чітко сформовані органели: рибосоми, гранулярна й агранулярна ендоплазматична сітки, мітохондрії, лізосоми, комплекс Гольджі.

За результатами наших електронно-мікроскопічних досліджень значна частка цитоплазми гепатоцитів у риб зайнята базофільною (хроматофільною) речовиною, що сформована рибосомами, полісомами та цистернами гранулярної ендоплазматичної сітки, різноманітної за величиною. При цьому гранулярна ендоплазматична сітка частіше розташована в навколядерній та

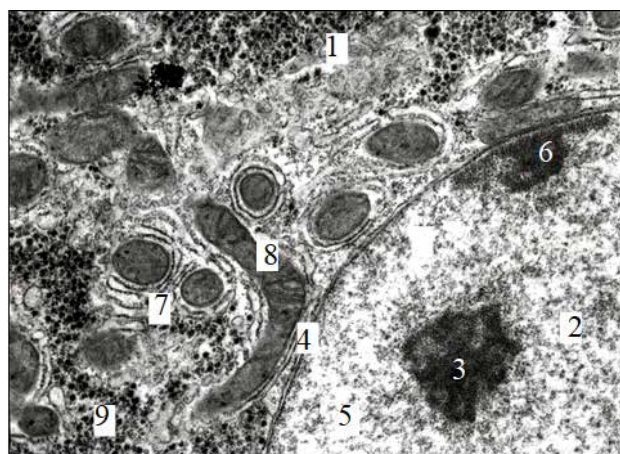


Рис. 10. Фрагмент ультрамікроскопічної будови гепатоцита печінки строкатого товстолибика: 1 – цитоплазма; 2 – ядро; 3 – ядерце; 4 – ядерна мембрана; 5 – еухроматин; 6 – гетерохроматин; 7 – гранулярна ендоплазматична сітка; 8 – мітохондрії; 9 – жирові включення. X 6400

центральної зоні цитоплазми (рис. 11), а також на периферії тіла гепатоцита. Вона сформована широкими, майже завжди паралельними цистернами, які розділені між собою майже однаковими проміжками. Цистерни часто з'єднуються між собою анастомозами.

У цитоплазмі гепатоцитів риби є дуже багато вільних рибосом і полісом. Вільні рибосомы зазвичай розміщуються в цитоплазматичному матриксі між цистернами ендоплазматичної сітки або ж кріпляться до зовнішньої поверхні мембран ендоплазматичної сітки. Навколо ядра гепатоцитів або ж в інших ділянках цитоплазми міститься комплекс Гольджі, який складається з паралельно розміщених цистерн і мікро- та макропухирців. Його цистерни зазвичай звужені, а деякі розширені. Інколи зустрічаються розгалуження його цистерн, окремі гілки яких поєднуються одна з одною за допомогою анастомозів. Біля комплексу Гольджі розташовані лізосоми різної форми та розмірів, переважно округлої чи овальної форми, які оточені одношаровою мембраною.

Навколо ядра, у конденсованій органічній цитоплазмі, виявляється значна кількість різних за величиною (малих, середніх, великих розмірів) та формою (округлі, овальні, сферичні, видовжені, ниткоподібні, паличкоподібні, гантелеподібні) мітохондрій. При цьому частіше домінує округла або ж овальна форми (рис. 11, 12).

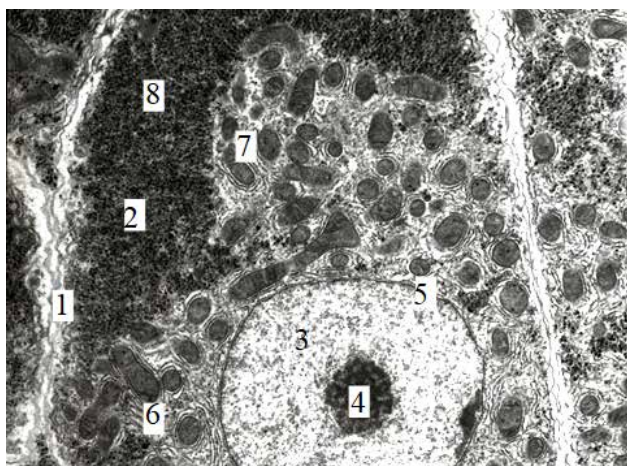


Рис. 11. Фрагмент ультрамікроскопічної будови гепатоцита печінки строкатого товстолобика: 1 – цитоплазматична оболонка; 2 – цитоплазма; 3 – ядро; 4 – ядерце; 5 – ядерна мембрана; 6 – гранулярна ендоплазматична сітка; 7 – мітохондрії; 8 – жирові включення. X 6400

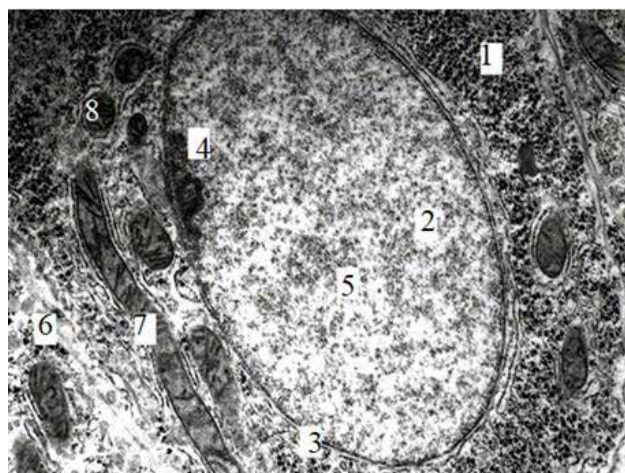


Рис. 12. Фрагмент ультрамікроскопічної будови гепатоцита печінки строкатого товстолобика: 1 – цитоплазма; 2 – ядро; 3 – ядерна мембрана; 4 – гетерохроматин; 5 – еухроматин; 6 – гранулярна ендоплазматична сітка; 7 – мітохондрія ниткоподібної форми; 8 – мітохондрії округлої форми. X 6400

Останні часто оточені цистернами ендоплазматичного ретикулуку і здебільшого виявляються навколо ендоплазматичної сітки (рис. 11, 12). Мембрани мітохондрій мають чітко виражені контури і за своєю будовою подібні до поверхневої мембрани клітин, яка складається з темних зовнішнього та внутрішнього шарів, а також світлого шару, що їх розмежовує. Усередині мітохондрій містяться короткі, паралельні одна одній кристи, утворені складками внутрішнього шару мембрани. Розміщені кристи в мітохондріях досить різноманітно: у частини мітохондрій – перпендикулярно, в інших – паралельно до довгої осі мітохондрій. Порожнина мітохондрій заповнена електронно-прозорим матриксом (рис. 12).

У цитоплазмі гепатоцитів, крім органел загального призначення (гранулярна й агранулярна ЕС, комплекс Гольджі, мітохондрії, лізосоми), виявляються різні включення (глікоген, ліпіди, вітаміни).

За результатами проведених нами електронно-мікроскопічних досліджень виявлено, що в гепатоцитах, які містять значну кількість ліпідних включень, їх ядра через дифузне розташування жироподібних краплин витісняються на периферію цитоплазми (рис. 13). Тому вони в більшості випадків займають ексцентричне положення. Їх розміри та форма помітно відрізняються від більшості гепатоцитів, вони ущільнені

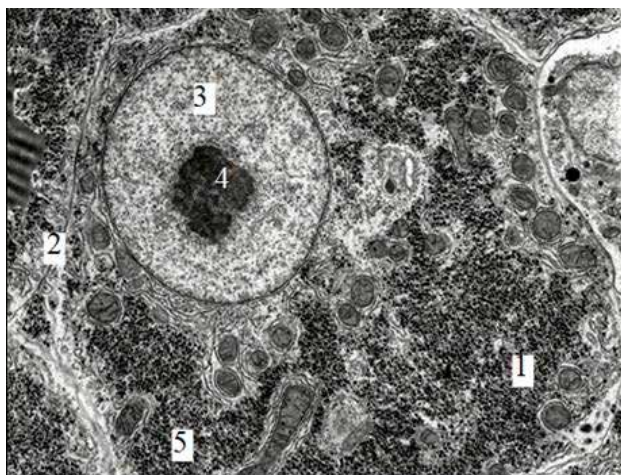


Рис. 13. Фрагмент ультрамікроскопічної будови печінки строкатого товстолобика:

1 – гепатоцит; 2 – цитоплазматична оболонка; 3 – ексцентричне розміщення ядра; 4 – ядерце; 5 – дифузні жирові включення. X 6400

та лапастеподібні (рис. 13). При цьому спостерігається зменшення перинуклеарного простору та каналців ГЕС, що вказує на пригнічення білок синтезуючої функції гепатоцитів.

Обговорення

У філогенетичному ряду хребетних тварин кісткові риби, представником яких є строкатий товстолобик, належать до таксономічних груп нижчого рівня організації. Саме вони відрізняються ступенем рухової активності (водне середовище), відповідним харчуванням, що безсумнівно впливає на морфофункціональну характеристику шлунково-кишкового тракту, а саме печінки. З огляду на це нами було проведено дослідження макро-, мікро- та ультрамікроскопічної будови печінки клінічно здорової прісноводної риби, класу кісткові, родини коропові, виду строкатий товстолобик.

Найважливішими функціями печінки є гомеостатична, депонуюча, екскреторна, метаболічна (Rekha et al., 2021). У ній відбувається знешкодження токсичних речовин ендогенного й екзогенного походження, вона виробляє жовч, необхідну для емульгування жирів. Печінка бере участь в анаболічних і катаболічних процесах обміну білків, у ній утворюються амінокислоти, необхідні для синтезу тканинних білків, а також більшість білків плазми крові, фосфоліпідів, холестерину. Печінці належить провідна роль у проміжному обміні вуглеводів, ліпі-

дів, біологічно активних речовин (гормонів, вітамінів), мінералів тощо (Payuta & Flerova, 2020; Carvalho et al., 2021; Payuta & Flerova, 2021; Pulido-Rodriguez et al., 2024).

Тому дослідження макро-, мікро- та ультрамікроскопічної будови печінки у клінічно-здорових тварин і під час проведення експериментів має не тільки фундаментальне, а й прикладне значення.

Безшлункові риби, до яких належить строкатий товстолобик, споживають планктон, рослинність, детрит невеликими порціями через незначні проміжки часу, тому їх печінка має досить важливе значення в процесах травлення. У ній формуються практично всі травні ферменти (Zhu et al., 2020; Dias et al., 2021).

Важливе значення, що відображається на будові та розташуванні печінки в порожнині тіла риби, має відношення довжини кишечника до довжини тіла, яке у всеїдних риб – коропа та карася – становить 2–3, рослиноїдних (товстолобик) – 6–15. Тому печінка прісноводної риби класу кісткові, родини коропові розгалужена та розміщена між петлями кишечника, і в більшості кісткових риб вона дволопатева, але може мати одну (у сазана, щуки, окуня) або ж три (у багатьох коропових) лопаті. Її маса може становити від 10 до 20 % маси тіла (Božidar et al., 2011; Horalskyi et al., 2023).

Згідно з результатами наших досліджень, печінка строкатого товстолобика розташована у вентральній порожнині тіла між петлями кишечника. Вона сформована трьома лопатями, має буро-червоний колір і пухку консистенцію, що зумовлено характером його живлення (Horalskyi et al., 2023). Такі макроскопічні особливості печінки та її розташування в коропових риб мають пряме відношення до форми тіла риб, яке формувалось у процесі їх життєвого циклу. Тому будова печінки у коропових риб, її розміщення достеменно пов'язані з типом травної системи (безшлункові) та формою тіла риб: тіло коропових (малорухливих риб) – щільне, валькувате, з відносно слабким вигином дорсально і майже прямою лінією вентрально.

За результатами огляду літератури, для окремих представників риби родини – щукові, сомові, лососеві тощо – характерним є наявність відокремлених травних залоз – печінки та підшлункової залози. Проте в більшості представників коропових та окуневих характерною ознакою є наявність у них гепатопанкреаса: печінки та

підшлункової залози, асоційованих у єдиний орган (Szarek, 2010; Mokhtar, 2018). Згідно з результатами наших мікроскопічних досліджень, печінка строкатого товстолобика разом із підшлунковою залозою асоційована в єдиний орган (гепатопанкреас), де скупчення панкреатоцитів присутнє в різних ділянках печінкових часточок, що, можливо, пов'язано з особливостями її васкуляризації та типом секреції тощо. При цьому середній об'єм панкреатоцитів становить $2,004 \pm 0,198$ мкм³, об'єм їх ядер – $0,036 \pm 0,005$ мкм³, а ЯЦВ – $0,0183 \pm 0,0062$.

Печінка строкатого товстолобика демонструє характерну для риб будову, яка передбачає високу організацію гепатоцитів, розвиток різноманітних органел і судинних структур. За результатами гістометричних досліджень середня площа печінкової часточки, асоційованої зі скупченнями панкреатоцитів (гепатопанкреас), у строкатого товстолобика дорівнює $552,04 \pm 96,85$ мкм². При цьому площа панкреаса в одній часточці печінки становить $74,88 \pm 4,51$ мкм² (13,56%), а відношення площі панкреаса до загальної площі печінкової часточки – 1 : 6,4.

Структурно-функціональною одиницею печінки в дослідних риб, так само як у ссавців і птахів, є часточка, між такими часточками розташована міжчасточкова сполучна тканина (Abusrer & Shtewi, 2023). Проте у строкатого товстолобика сполучно-тканинна строма слабкорозвинена, внаслідок чого часточки печінки слабо диференціюються на окремі морфофункціональні структури. За результатами гістометрії середня площа печінкових у строкатого товстолобика становить $477,16 \pm 82,71$ мкм².

Згідно з результатами мікроскопічних досліджень, часточка печінки ссавців та кісткових риб, родини коропових (Campos et al., 2017), утворена гепатоцитами, які формують печінкові пластинки. Водночас, як показують результати наших досліджень, паренхіма печінки строкатого товстолобика має трубчасту будову, подібну до такої у хребетних тварин класу птахи. Відповідно до гістометричних досліджень діаметр печінкових трубочок у строкатого товстолобика становить $4,731 \pm 0,312$ мкм. При цьому гепатоцити мають полігональну форму, у цитоплазмі яких міститься ядро, розташоване в центрі або ж ексцентрично. Аналіз досліджень свідчить, що поряд з одноядерними гепатоцитами виявляються двоядерні форми клітин, що свід-

чить, можливо, про їх посилену синтетичну діяльність (Sun, 2019).

У гепатоцитах, які формують печінкові трубочки, диференціюються дві поверхні: перша спрямована до жовчного капіляра (жовчна), інша – до синусоїдного гемокапіляра (судинна). Їх цитоплазма по-різному сприймає забарвлення та містить у своїй цитоструктурі за фарбування гістопрепаратів гематоксиліном та еозином незначні ацидофільні вклучення у вигляді дрібної зернистості, тому часто має пінистий вигляд. Це пов'язано, можливо, з тим, що основні функції печінки, як мультифункціонального органа, виконують гепатоцити, які становлять 60% від усіх клітинних елементів органа. Тому, нашу думку, слабо забарвлені гепатоцити беруть на себе виконання функцій печінки, а окремі клітини (інтенсивно забарвлені) ще перебувають у стані спокою.

Цитоплазма та каріоплазма клітин тісно взаємопов'язані між собою і складають єдину морфофункціональну систему. Тому ізольоване вивчення морфометричних характеристик окремо ядра або лише цитоплазми дає одностороннє уявлення щодо будови клітин. На сьогодні доведено, що виміри об'єму клітин (цитометрія), об'єму їх ядер (каріометрія) та особливо визначення ЯЦВ є найбільш інформативним показником щодо морфофункціонального стану клітин (Atta, 2013; Sokulskyi et al., 2021).

Отже, об'єктивним і важливим показником морфофункціонального стану печінки та клітинному рівні є цитометричні дослідження (Vicentini et al., 2005; Wilson & Castro, 2010; Kim et al., 2019), які дали змогу не тільки якісно, але й кількісно виявити параметри цитоструктур печінки у строкатого товстолобика. Так, за результатами наших цитометричних досліджень середній об'єм гепатоцитів печінки строкатого товстолобика становить $4,964 \pm 0,302$ мкм³, середній об'єм їх ядер – $0,302 \pm 0,026$ мкм³, а ЯЦВ – $0,0648 \pm 0,0064$, що вказує на високий рівень морфофункціонального стану гепатоцитів та їх метаболічну активність.

Важливими маркерними ознаками морфофункціонального стану органів і тканин у тварин є електронно-мікроскопічні дослідження, які дають можливість з'ясувати їх будову на ультрамікроскопічному рівні та підтвердити чи спростувати мікроархітектоніку клітин і тканин за світлової мікроскопії (Zahaby et al., 2024).

Тож на сьогодні в наукових дослідженнях широко використовують електронну

мікроскопію, за якої переважно досліджують ті самі об'єкти, що і за світлової мікроскопії. Проте вона має значні переваги, за яких можна з'ясувати особливості мікроскопічної будови клітин і тканин на різних рівнях їх структурної організації у нормі та за патології, що неможливо виявити за світлової мікроскопії (Горальський та ін., 2019). Цим і було аргументоване застосування цього методу для проведення морфофункціональної оцінки печінки строкатого товстолобика.

Так, за результатами наших електронно-мікроскопічних досліджень печінки клінічно здорової прісноводної риби (клас кісткові, родина коропові, вид строкатий товстолобик) були підтверджені спостереження, які ми виявляли на світлооптичному рівні. При цьому ультраструктурна будова гепатоцитів містить значну кількість клітинних органел: гранулярна та гранулярна ендоплазматична сітки, мітохондрії, лізосоми, рибосоми, комплекс Гольджі. Велика кількість лізосом і мітохондрій вказує на високу активність обмінних процесів, зокрема метаболізму білків і ліпідів. Гепатоцити мали світлу нуклеоплазму та великі ядра. Ядра були чітко контуровані завдяки добре вираженій ядерній мембрані. Інколи гепатоцити мали два ядра. Перинуклеарний простір був нерівномірно розширений. Ядерний хроматин рівномірно розподілений по каріоплазмі, унаслідок чого ядра мали середню електронну щільність. Навколо ядра зосереджена велика кількість поліморфних мітохондрій, які щільно оточені цистернами ендоплазматичного ретикулуму.

Водночас синтетична та депонуюча функції гепатоцитів відображалися не тільки в будові та кількості ядер і клітинних органел, а й у наявності клітинних включень (Rejane & Vildes, 2008). Їхня морфологічна будова є відображенням складних біохімічних процесів, що відбуваються у клітині. Так, за результатами наших електронно-мікроскопічних досліджень у гепатоцитах, які містили значну кількість ліпідних включень, їх ядра через дифузне розташування жировидібних краплин витіснялися на периферію цитоплазми, у таких випадках вони займали ексцентричне положення. Їх розміри та форма помітно відрізнялися від більшості гепатоцитів, вони були ущільненими та лапастеподібними. Це призводило до зменшення перинуклеарного простору та каналців гранулярної ендоплазматичної сітки, що свідчило про пригнічення білоксинтезуючої функції гепатоцитів.

Отже, структурні особливості гепатоцитів, включно з кількістю органел і наявністю внутрішньоклітинних включень, є важливими показниками їхньої синтетичної та депонуючої активності, що має вирішальне значення для забезпечення життєздатності організму й адаптації до змін довкілля.

Висновки

1. Печінка строкатого товстолобика утворена трьома лопатями, має буро-червоне забарвлення, пухку консистенцію та некомпактно розташована у вентральній частині тіла між петлями кишечника: краниально межує з навколосерцевою сумкою, вентрально – обмежена передньою камерою плавального міхура, каудально – його задньою камерою.

Абсолютна маса печінки строкатого товстолобика становить $8,822 \pm 0,734$ г, відносна – $1,375\%$, її довжина дорівнює $11,808 \pm 0,432$ см, ширина – $3,402 \pm 0,194$ см.

2. Характерною ознакою печінки строкатого товстолобика є наявність гепатопанкреаса (печінки та підшлункової залози, асоційованих у єдиний орган): середня площа гепатопанкреаса становить $552,04 \pm 96,85$ мкм², площа панкреаса – $74,88 \pm 4,51$ (13,56%). Відношення площі панкреаса до загальної площі печінкової часточки становить 1 : 6,4.

3. Для строкатого товстолобика характерні трубчастий тип будови печінки та слаборозвинена міжчасточкова сполучна тканина. Середній об'єм гепатоцитів, які формують товстостінні трубочки часточок печінки, становить $4,964 \pm 0,302$ мкм³, об'єм їх ядер – $0,302 \pm 0,026$ мкм³, і, як наслідок, вони мають низьке ЯЦВ ($0,0648 \pm 0,0064$), що свідчить про їх високий морфофункціональний стан і метаболічну активність.

4. Ультрамікроскопічно гепатоцити печінки строкатого товстолобика чітко оконтуровані плазматичною мембраною, мають полігональну форму та сформовані ядра з чітко вираженими ядрами. Васкулярні полюси сусідніх гепатоцитів, спрямовані в напрямку гемосинусоїдних капілярів, щільно контактують між собою за допомогою мікроворсинок плазмолем.

5. У цитоплазмі гепатоцитів виявляються сформовані органели загального призначення: рибосоми, гранулярна (частіше розташовані в навокоядерній і центральній зонах цитоплазми) та агранулярна ендоплазматична сітки, мітохондрії, лізосоми, комплекс Гольджі та включення – глікоген, ліпіди, вітаміни.

6. Ядра гепатоцитів, цитоплазма яких містить значну кількість жироподібних краплин, у більшості випадків унаслідок їх дифузного розташування витісняються на периферію цитоплазми та мають ексцентричне положення. При цьому спостерігається зменшення перинуклеарного простору та каналців ГЕС, що вказує на пригнічення білок синтезуючої функції гепатоцитів.

Список використаної літератури

Главачук В.А. Вплив пробіотичних препаратів на інтенсивність росту та гематологічні показники коропа. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Livestock*. 2024. № 2. С. 46–55. <https://doi.org/10.32782/bsnau.lvst.2024.2.7>.

Горальський А.П., Хомич В.Т., Кононський О.І. Основи гістологічної техніки і морфофункціональні методи дослідження у нормі та при патології : навчальний посібник. Житомир : Полісся, 2019. 288 с.

Дюдяєва О.А., Рутта О.В. Додаткові вимоги до продукції аквакультури на зовнішніх ринках, у тому числі в торговельних мережах ЄС. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2021. № 2. С. 64–76. <https://doi.org/10.32851/wba.2021.2.6>.

Корженевська П.О., Шарамок Т.С., Мушит С.О. Сезонна динаміка морфо-фізіологічних показників молоді коропа лускатого (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) Таромського рибного господарства. *Рибогосподарська наука України*. 2019. № 3. С. 5–15.

Махиборода К.В. Функціонування ринку органічної продукції аквакультури в Україні та світі в контексті інноваційної економіки. *Проблеми інноваційно-інвестиційного розвитку*. 2019. № 20. С. 102–113.

Машкова К.А., Шарамок Т.С. Особливості гістологічної структури печінки карася сріблястого річки Самара (Дніпропетровська область). *Український журнал природничих наук*. 2023. № 4. С. 31–39.

Олійник О.Б. Зміни у печінці та селезінці коропів, уражених збудниками крустацеозів, під дією препаратів «Жавель-клеїд» та «Діамант». *Ветеринарна медицина*. 2017. № 103. С. 370–372.

Присяжнюк Н.М., Онищенко А.С. Особливості морфології печінки окремих видів трирічок родини корошових. *Науково-технічний бюлетень НДЦ біобезпеки та екологічного контролю ресурсів АПК*. 2016. Т. 4. № 1. С. 198–201.

Рудь Ю.П. Молекулярна діагностика вірусних захворювань риб. *Науково-технічний бюлетень Державного науково-дослідного контрольного інституту ветеринарних препаратів та кормових добавок і Інституту біології тварин*. 2021. № 2 (22). С. 323–330. <https://doi.org/10.36359/scivp.2021-22-2.38>.

Abhijith B.D., Ramesh M., Poopal R.K. Responses of metabolic and antioxidant enzymatic activities in gill, liver and plasma of *Catla catla* during methyl parathion exposure. *The Journal of Basic & Applied Zoology*. 2016. Vol. 77. P. 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.jobaz.2015.11.002>.

Abusrer S., Shtewi H. Morphological and histological structure of hepatopancreas in rock goby *Gobius paganellus* in the western coast of Libya. *Open Veterinary Journal*. 2023. Vol. 13. № 10. P. 1251. <https://doi.org/10.5455/ovj.2023.v13.i10.3>.

Al-Ghanim K.A. Effect of a synthetic pyrethroid, cypermethrin, on aminotransferases and glutamate dehydrogenase activities in gill, liver and muscles of a freshwater fish, *Cyprinus carpio*. *Pakistan Journal of Zoology*. 2014. Vol. 46. № 4. P. 997–1001.

Ali A., Wei S., Ali A., Khan I., Sun Q., Xia Q., Wang Z., Han Z., Liu Y., Liu S. Research Progress on Nutritional Value, Preservation and Processing of Fish—A Review. *Foods*. 2022. Vol. 11. № 22. P. 3669. <https://doi.org/10.3390/foods11223669>.

Atta K.I. Morphological, anatomical and histological studies on the olfactory organs and eyes of teleost fish: *Anguilla anguilla* in relation to its feeding habits. *The Journal of Basic & Applied Zoology*. 2013. Vol. 66. № 3. P. 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.jobaz.2013.10.002>.

Balakrishna Naik K. Biochemical alterations as total proteins (tp) aspartate amino transferase (AAT) and alanine aminotransferase (ALAT) induced by permethrin and 25% ec in the fish *cyprinus carpio* (L.). *International Journal of Advanced Research*. 2024. Vol. 12. № 09. P. 1454–1463. <https://doi.org/10.21474/ijar01/19582>.

Božidar S., Marko B., Zoran Z., Vesna D. Histological methods in the assessment of different feed effects on liver and intestine of fish. *Journal of Agricultural Sciences Belgrade*. 2011. Vol. 11. 56 (1). P. 87–100. <https://doi.org/10.2298/JAS1101087R>.

- Campos V.E.W., Pereira B.F., Pitol D.L., da Silva Alves R.M., Caetano F.H. Analysis of the liver of fish species *prochilodus lineatus* altered environments, analyzed with imagej. *Microscopy Research*. 2017. Vol. 5 (1). P. 1–9. <https://doi.org/10.4236/mr.2017.51001>.
- Carvalho M., Montero D., Torrecillas S., Castro P., Zamorano M.J., Izquierdo M. Hepatic biochemical, morphological and molecular effects of feeding microalgae and poultry oils to gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*. 2021. Vol. 532. P. 736073. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736073>.
- Chanet B., Schnell N.K., Guintard C., Chen W.J. Anatomy of the endocrine pancreas in actinopterygian fishes and its phylogenetic implications. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13. № 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49404-7>.
- Cui X., Huang X., Chen X., Li H., Wu Y., Yang Z., Liu Z., Feng R., Xu J., Wei C., Ding Z., Cheng H. Influence of Starvation on Biochemical, Physiological, Morphological, and Transcriptional Responses Associated with Glucose and Lipid Metabolism in the Liver of Javelin Goby (*Synechogobius hasta*). *Animals*. 2024. Vol. 14. № 18. P. 2734. <https://doi.org/10.3390/ani14182734>.
- Dias D., Dardengo G.M., Engrola S., Navarro-Guillén C. Characterization and comparison of the digestive physiology of two scombrids, *Katsuwonus pelamis* and *Sarda sarda*, in the Gulf of Cádiz. *PLOS ONE*. 2021. Vol. 16. № 4. P. e0249541. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249541>.
- Georgieva E. Histological and biochemical changes in liver of common carp (*Cyprinus carpio* L.) under metal exposure. *North-Western Journal of Zoology*. 2016. Vol. 12. № 2. P. 261–70.
- Glencross B. A SWOT Analysis of the Use of Marine, Grain, Terrestrial-Animal and Novel Protein Ingredients in Aquaculture Feeds. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*. 2024. P. 1–39. <https://doi.org/10.1080/23308249.2024.2315049>.
- Honcharova O. The influence of environmental factors on fish productivity in small reservoirs and transformed waters. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11. № 1. P. 176–180.
- Horalskyi L. P., Demus N. V., Sokulskyi I. M., Gutyj B. V., Kolesnik N. L., Pavliuchenko O. V., Horalska I. Y. Species specifics of morphology of the liver of the fishes of the Cyprinidae family. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2023. Vol. 14. № 2. P. 234–241. <https://doi.org/10.15421/022335>.
- Hu J.H. Explore the relationship between fish community and environmental factors by machine learning techniques. *Environmental Research*. 2020. Vol. 184. P. 109262. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109262>.
- Irm M., Taj S., Jin M., Luo J., Andriamialinirina H.J.T., Zhou Q. Effects of Replacement of Fish Meal by Poultry By-Product Meal on Growth Performance and Gene Expression Involved in Protein Metabolism for Juvenile Black Sea Bream (*Acanthoparus schlegelii*). *Aquaculture*. 2020. Vol. 528. P. 735544. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735544>.
- Jannathulla R., Rajaram V., Kalanjiam R., Ambasankar K., Muralidhar M., Dayal J.S. Fishmeal availability in the scenarios of climate change: inevitability of fishmeal replacement in aquafeeds and approaches for the utilization of plant protein sources. *Aquaculture*. 2019. Vol. 50. P. 3493–3506. <https://doi.org/10.1111/are.14324>.
- Kim H.T., Yun S.W., Park J.Y. Anatomy, ultrastructure and histology of the olfactory organ of the largemouth bass *Micropterus salmoides*, Centrarchidae. *Applied Microscopy*. 2019. Vol. 49. № 1. <https://doi.org/10.1186/s42649-019-0023-3>.
- Kukhtyn M., Malimon Z., Salata V., Rogalskyi I., Gutyj B., Kladnytska L., Kravcheniuk K., Horiuk Y. The effects of antimicrobial residues on microbiological content and the antibiotic resistance in frozen fish. *World's Veterinary Journal*. 2022. Vol. 12. № 4. P. 374–381. <https://doi.org/10.54203/scil.2022.wvj47>.
- Laktuka K., Kalnbalkite A., Sniega L., Logins K., Lauka D. Towards the Sustainable Intensification of Aquaculture: Exploring Possible Ways Forward. *Sustainability*. 2023. Vol. 15. № 24. P. 16952. <https://doi.org/10.3390/su152416952>.
- Matras M., Stachnik M., Borzym E., Maj-Paluch J., Reichert M. Potential vector species of carp edema virus (CEV). *Journal of Fish Diseases*. 2019. Vol. 42. № 7. P. 959–964. <https://doi.org/10.1111/jfd.13000>.
- Maulu S. Utilizing *Clostridium autoethanogenum* for dietary protein in aquafeeds: Current progress in research and future perspectives. *Journal of Applied Aquaculture*. 2024. Vol. 37. № 1. P. 67–85. <https://doi.org/10.1080/10454438.2024.2338900>.
- Mokhtar D.M. Cellular and stromal elements organization in the liver of grass carp, *Ctenopharyngodon idella* (Cypriniformes: Cyprinidae). *Micron*. 2018. Vol. 112. P. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2018.06.006>.

Payuta A.A., Flerova E.A. Dynamics of indices of metabolism in muscle tissue, liver and gonads of *Abramis brama* in different periods of the annual cycle. *Biosystems Diversity*. 2020. Vol. 28. № 2. P. 146–153. <https://doi.org/10.15421/012020>.

Payuta A.A., Flerova E.A. Impact of habitation conditions on metabolism in the muscles, liver, and gonads of different sex and age groups of bream. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2021. Vol. 12. № 2. P. 240–250. <https://doi.org/10.15421/022133>.

Pulido-Rodriguez L.F., Bruni L., Secci G., Moutinho S., Peres H., Petochi T., Marino G., Tibaldi E., Parisi G., Growth H., & Enzymatic A. Quality of European seabass fed on hermetia illucens and poultry by-product meal in a commercial farm. *Animals*. 2024. Vol. 14 (10). P. 1449. <https://doi.org/10.3390/ani14101449>.

Rejane M., Vildes M. Ultra-structural and histochemical analysis of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) liver treated with fumonisin B1. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 2008. Vol. 51. № 2. P. 333–344. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132008000200013>.

Rekha R., Surya P.N., Suyash G. Biochemical composition of the liver and muscles of cyprinid fish. *February*. 2021. № 1. P. 108–111. <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2021-1-108-111>.

Sokulskyi I.M., Horalskyi L.P., Kolesnik N.L., Dunaievska O.F., Radzihovskyi M.L. Histostructure of the gray matter of the spinal cord in cattle (*Bos Taurus*). *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*. 2021. Vol. 4. № 3. P. 11–15. <https://doi.org/10.32718/ujvas4-3.02>.

Sun S. Serum biochemistry, liver histology and transcriptome profiling of bighead carp *Aristichthys nobilis* following different dietary protein levels. *Fish & Shellfish Immunology*. 2019. Vol. 86. P. 832–839. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.12.028>.

Szarek J. Pathomorphological Changes in the Liver of Carp (*Cyprinus carpio* L.) are Dependent on Fish Production Technology. *Journal of Comparative Pathology*. 2010. Vol. 143. № 4. P. 345. <https://doi.org/10.1016/j.jcpa.2010.09.154>.

Taddesse F. Histological changes of liver in overfed young nile tilapia. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*. 2014. Vol. 9 (2). P. 63–74. <https://doi.org/10.3923/jfas.2014.63.74>.

Vicentini C.A., Franceschini-Vicentini I.B., Bombonato M.T.S., Bertolucci B., Lima S.G., Santos A.S. Morphological Study of the Liver in the Teleost *Oreochromis niloticus*. *International Journal of Morphology*. 2005. Vol. 23. № 3. <https://doi.org/10.4067/s0717-95022005000300003>.

Vodianitskyi O. Effect of reservoir temperature and oxygen conditions on the activity of Na-K pump in embryos and larvae of perch, roach, and ruffe. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 10. № 2. P. 184–189.

Wilson J.M., Castro L.F.C. Morphological diversity of the gastrointestinal tract in fishes. *Fish Physiology*. 2010. Vol. 30. P. 1–55. [https://doi.org/10.1016/S1546-5098\(10\)03001-3](https://doi.org/10.1016/S1546-5098(10)03001-3).

Zahaby S., Hassan S., Elsheikh E. Ultramicroscopic organization of the exterior olfactory organ in *Anguilla vulgaris* in relation to its spawning migration. *Open Veterinary Journal*. 2024. Vol. 14 (1). 512 p. <https://doi.org/10.5455/ovj.2024.v14.i1.46>.

Zhu L., Zhang Z., Chen H., Lamer J. T., Wang J., Wei W., Fu L., Tang M., Wang C., Lu G. Gut microbiomes of bigheaded carps and hybrids provide insights into invasion: A hologenome perspective. *Evolutionary Applications*. 2020. <https://doi.org/10.1111/eva.13152>.

References

Glavatchuk, V.A. (2024). Vplyv probiotychnykh preparativ na intensyvnyy rostu ta hematolohichni pokaznyky koropa [Influence of probiotic drugs on growth intensity and hematological indicators of carp]. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Livestock*, 2, 46–55 <https://doi.org/10.32782/bsnau.lvst.2024.2.7> [in Ukrainian].

Horalskyi, L.P., Khomych, V.T., & Kononskyi, O.I. (2019). Osnovy histolohichnoi tekhniky i morfofunktsionalni metody doslidzhennia u normi ta pry patolohii [Basics of histological technique and morphofunctional research methods in normal and pathological conditions]. *Zhytomyr : Polissia* [in Ukrainian].

Dyudyaeva, O.A., & Rutta, O.V. (2021). Dodatkovy vymohy do produktsii akvakultury na zovnishnikh rynkakh, u tomu chysli v torhovelynykh merezhakh YES [Additional requirements for aquaculture products in foreign markets, including EU trade networks]. *Vodni bioresursy ta akvakultura* [Water Bioresources and Aquaculture], 2 (10), 64–66. <https://doi.org/10.32851/wba.2021.2.6> [in Ukrainian].

Korzhenyevska, P., Sharamok, T., & Mushyt, S. (2019). Sezonna dynamika morfofiziolohichnykh pokaznykiv molodi koropa luskatoho (*Syprinus carpio* Linnaeus, 1758) Taromskoho rybnoho

hospodarstva [Seasonal dynamics of morphological and physiological parameters of scaly carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) juveniles from the Taromske fish farm]. *Rybohospodarska Nauka Ukrainy [Fisheries science of Ukraine]*, 3 (49), 5–15. <https://doi.org/10.15407/fsu2019.03.005> [in Ukrainian].

Makhyboroda, K.V. (2019). Funktsionuvannia rynku orhanichnoi produktsii akvakultury v Ukraini ta sviti v konteksti innovatsiinoi ekonomiky. [Functioning of the market for organic aquaculture products in Ukraine and the world in the context of an innovative economy]. *Problemy innovatsiyno-investytsiynoho rozvytku [Problems of innovative and investment development. Series: Economics and Management]*, 20, 102–113. <https://doi.org/10.33813/2224-1213.20.2019.0> [in Ukrainian].

Mashkova, K.A., & Sharamok, T.S. (2023). Osoblyvosti histolohichnoi struktury pechinky kara-sia sribliastoho richky Samara (Dnipropetrovska oblast) [Features of the histological structure the liver of *carassius gibelio* by Samara river (Dnipropetrovsk region)]. *Ukrayinskyy zhurnal pryrodny-chykh nauk [Ukrainian Journal of Natural Sciences]*, 4, 31–39. <https://doi.org/10.32782/natural-journal.4.2023.4> [in Ukrainian].

Oliinyk, O.B., Kozii, M.S., Matviienko, N.M., & Mandyhra, M.S. (2017). Zminy u pechintsi ta selezintsi koropiv, urazhenykh zbudnykamy krustatseoziv, pid diieiu preparativ “Zhavel-Kleid” ta “Diamant” [Changes in the liver and spleen of carp affected by pathogens of crustaceans under the influence of the drugs “Zhavel-Clayd” and “Diamant”]. *Veterynarna Medytsyna [Veterinary medicine]*, 103, 370–372 [in Ukrainian].

Prysiashnyuk, N., & Onyshchenko, L. (2016). Osoblyvosti morfolohii pechinky okremykh vydiv tryrichok rodyny koropovykh [Morphology of certain types of liver in three years old carp family]. *Naukovo-tekhnichnyy byuleten NDTs biobezpeky ta ekolohichnoho kontrolyu resursiv APK [Scientific and technical bulletin of the Research Center for Biosafety and Environmental Control of Agricultural and Industrial Complex Resources]*, 4 (1), 198–201 [in Ukrainian].

Rud, Y. (2021). Molekuliarna diahnostyka virusnykh zakhvoriuvan ryb [Molecular diagnosis of viral diseases in fishes]. *Naukovo-tekhnichnyy byuleten Derzhavnoho naukovo-doslidnoho kontrol-noho instytutu veterynarnykh preparativ ta kormovykh dobavok i Instytutu biolohiyi tvaryn [Scientific and Technical Bulletin of State Scientific Research Control Institute of Veterinary Medical Products and Fodder Additives and Institute of Animal Biology]*, 22 (2), 323–330. <https://doi.org/10.36359/scivp.2021-22-2.38> [in Ukrainian].

Abhijith, B.D., Ramesh, M., & Poopal, R.K. (2016). Responses of metabolic and antioxidant enzymatic activities in gill, liver and plasma of *Catla catla* during methyl parathion exposure. *The Journal of Basic & Applied Zoology*, 77, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.jobaz.2015.11.002> [in English].

Abuser, S.A., & Shtewi, H.H. (2023). Morphological and histological structure of hepatopancreas in rock goby *Gobius paganellus* on the western coast of Libya. *Open Veterinary Journal*, 13 (10), 1251–1258. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2023.v13.i10.3> [in English].

Al-Ghanim, K.A. (2014). Effect of a synthetic pyrethroid, cypermethrin, on aminotransferases and glutamate dehydrogenase activities in gill, liver and muscles of a freshwater fish, *Cyprinus carpio*. *Pakistan Journal of Zoology*, 46 (4), 997–1001 [in English].

Ali, A., Wei, S., Ali, A., Khan, I., Sun, Q., Xia, Q., Wang, Z., Han, Z., Liu, Y., & Liu, S. (2022). Research progress on nutritional value, preservation and processing of fish-a review. *Foods (Basel, Switzerland)*, 11 (22), 3669. <https://doi.org/10.3390/foods11223669> [in English].

Atta, K.I. (2013). Morphological, anatomical and histological studies on the olfactory organs and eyes of teleost fish: *Anguilla anguilla* in relation to its feeding habits. *The Journal of Basic & Applied Zoology*, 66 (3), 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.jobaz.2013.10.002> [in English].

Balakrishna, R. (2024). Biochemical alterations as total proteins (TP) aspartate amino transferase (AAT) and alanine aminotransferase (ALAT) induced by permethrin and 25% ec in the fish *cyprinus carpio* (L.). *International Journal of Advanced Research*, 12 (09), 1454–1463. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/19582> [in English].

Božidar, S., Marko, B., Zoran, Z., & Vesna, D. (2011). Histological methods in the assessment of different feed effects on liver and intestine of fish. *Journal of Agricultural Sciences Belgrade*, 11, 56 (1), 87–100. <https://doi.org/10.2298/JAS1101087R> [in English].

Campos, V.E.W., Pereira, B.F., Pitol, D.L., da Silva Alves, R.M., & Caetano, F.H. (2017). Analysis of the liver of fish species *prochilodus lineatus* altered environments, analyzed with imagej. *Microscopy Research*, 5 (1), 1–9. <https://doi.org/10.4236/mr.2017.51001> [in English].

- Carvalho, M., Montero, D., Torrecillas, S., Castro, P., Zamorano, M.J., & Izquierdo, M. (2021). Hepatic biochemical, morphological and molecular effects of feeding microalgae and poultry oils to gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 532, 736073. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736073> [in English].
- Chanet, B., Schnell, N.K., Guintard, C., & Chen, W.J. (2023). Anatomy of the endocrine pancreas in actinopterygian fishes and its phylogenetic implications. *Scientific Reports*, 13 (1), 22501. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49404-7> [in English].
- Cui, X., Huang, X., Chen, X., Li, H., Wu, Y., Yang, Z., Liu, Z., Feng, R., Xu, J., Wei, C., Ding, Z., & Cheng, H. (2024). Influence of starvation on biochemical, physiological, morphological, and transcriptional responses associated with glucose and lipid metabolism in the liver of javelin goby (*Synechogobius hasta*). *Animals*, 14 (18), 2734. <https://doi.org/10.3390/ani14182734> [in English].
- Dias, D., Dardengo, G.M., Engrola, S., & Navarro-Guillén, C. (2021). Characterization and comparison of the digestive physiology of two scombrids, *Katsuwonus pelamis* and *Sarda sarda*, in the Gulf of Cádiz. *PloS One*, 16 (4), e0249541. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249541> [in English].
- Georgieva, E. (2016). Histological and biochemical changes in liver of common carp (*Cyprinus carpio* L.) under metal exposure. *North-Western Journal of Zoology*, 12 (2), 261–70 [in English].
- Glencross, B. (2024). A SWOT analysis of the use of marine, grain, terrestrial-animal and novel protein ingredients in aquaculture feeds. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 32 (3), 396–434. <https://doi.org/10.1080/23308249.2024.2315049> [in English].
- Honcharova, O.V. (2021). The influence of environmental factors on fish productivity in small reservoirs and transformed waters. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11 (1), 176–180 [in English].
- Horalskyi, L.P., Demus, N.V., Sokulskyi, I.M., Gutyj, B.V., Kolesnik, N.L., Pavliuchenko, O.V., Horalska, I.Y. (2023). Species specifics of morphology of the liver of the fishes of the Cyprinidae family. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 14 (2), 234–241. <https://doi.org/10.15421/022335> [in English].
- Hu, J.H. (2020). Explore the relationship between fish community and environmental factors by machine learning techniques. *Environmental Research*, 184, 109262. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109262> [in English].
- Irm, M., Taj, S., Jin, M., Luo, J., Andriamialinirina, H.J.T., & Zhou, Q. (2020). Effects of Replacement of Fish Meal by Poultry By-Product Meal on Growth Performance and Gene Expression Involved in Protein Metabolism for Juvenile Black Sea Bream (*Acanthoparus schlegelii*). *Aquaculture*, 528, 735544. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735544> [in English].
- Jannathulla, R., Rajaram, V., Kalanjiam, R., Ambasankar, K., Muralidhar, M., & Dayal, J.S. (2019). Fishmeal availability in the scenarios of climate change: inevitability of fishmeal replacement in aquafeeds and approaches for the utilization of plant protein sources. *Aquaculture*, 50, 3493–3506. <https://doi.org/10.1111/are.14324> [in English].
- Kim, H.T., Yun, S.W., & Park, J.Y. (2019). Anatomy, ultrastructure and histology of the olfactory organ of the largemouth bass *Micropterus salmoides*, Centrarchidae. *Applied Microscopy*, 49 (1), 18. <https://doi.org/10.1186/s42649-019-0023-3> [in English].
- Kukhtyn, M., Malimon, Z., Salata, V., Rogalskyi, I., Gutyj, B., Kladnytska, L., Kravcheniuk, K., & Horiuk, Y. (2022). The effects of antimicrobial residues on microbiological content and the antibiotic resistance in frozen fish. *World's Veterinary Journal*, 12 (4), 374–381. <https://doi.org/10.54203/scil.2022.wvj47> [in English].
- Laktuka, K., Kalnbalkite, A., Sniega, L., Logins, K., & Lauka, D. (2023). Towards the Sustainable Intensification of Aquaculture: Exploring Possible Ways Forward. *Sustainability*, 15 (24), 16952. <https://doi.org/10.3390/su152416952> [in English].
- Matras, M., Stachnik, M., Borzym, E., Maj-Paluch, J., & Reichert, M. (2019). Potential vector species of carp edema virus (CEV). *Journal of Fish Diseases*, 42 (7), 959–964. <https://doi.org/10.1111/jfd.13000> [in English].
- Maulu, S. (2024). Utilizing *Clostridium autoethanogenum* for dietary protein in aquafeeds: Current progress in research and future perspectives. *Journal of Applied Aquaculture*, 37 (1), 67–85. <https://doi.org/10.1080/10454438.2024.2338900> [in English].
- Mokhtar, D.M. (2018). Cellular and stromal elements organization in the liver of grass carp, *Ctenopharyngodon idella* (Cypriniformes: Cyprinidae). *Micron*, 112, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.micron.2018.06.006> [in English].

- Payuta, A.A., & Flerova, E.A. (2020). Dynamics of indices of metabolism in muscle tissue, liver and gonads of *Abramis brama* in different periods of the annual cycle. *Biosystems Diversity*, 28 (2), 146–153. <https://doi.org/10.15421/012020> [in English].
- Payuta, A.A., & Flerova, E.A. (2021). Impact of habitation conditions on metabolism in the muscles, liver, and gonads of different sex and age groups of bream. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 12 (2), 240–250. <https://doi.org/10.15421/022133> [in English].
- Pulido-Rodriguez, L.F., Bruni, L., Secci, G., Moutinho, S., Peres, H., Petochi, T., Marino G., Tibaldi, E., Parisi, G., Growth, H., & Enzymatic, A. (2024). Quality of European seabass fed on hermetia illucens and poultry by-product meal in a commercial farm. *Animals*, 14 (10), 1449. <https://doi.org/10.3390/ani14101449> [in English].
- Rejane, M., & Vildes, M. (2008). Ultra-structural and histochemical analysis of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) liver treated with fumonisin B1. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 51 (2), 333–344. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132008000200013> [in English].
- Rekha, R., Surya, P.N., & Suyash, G. (2021). Biochemical composition of the liver and muscles of cyprinid fish. *February*, 1, 108–111. <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2021-1-108-111> [in English].
- Sokulskyi, I.M., Horalskyi, L.P., Kolesnik, N.L., Dunaievska, O.F., Radzihovskyi, M.L. (2021). Histostructure of the gray matter of the spinal cord in cattle (*Bos Taurus*). *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*, 4 (3), 11–15. <https://doi.org/10.32718/ujvas4-3.02> [in English].
- Sun, S. (2019). Serum biochemistry, liver histology and transcriptome profiling of bighead carp *Aristichthys nobilis* following different dietary protein levels. *Fish & Shellfish Immunology*, 86, 832–839. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2018.12.028> [in English].
- Szarek, J. (2010). Pathomorphological Changes in the Liver of Carp (*Cyprinus carpio* L.) are Dependent on Fish Production Technology. *Journal of Comparative Pathology*, 143 (4), 345. <https://doi.org/10.1016/j.jcpa.2010.09.154> [in English].
- Taddesse, F. (2014). Histological changes of liver in overfed young nile tilapia. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 9 (2), 63–74. <https://doi.org/10.3923/jfas.2014.63.74> [in English].
- Vicentini, C.A., Franceschini-Vicentini, I.B., Bombonato, M.T.S., Bertolucci, B., Lima, S.G., & Santos, A.S. (2005). Morphological study of the liver in the teleost *Oreochromis niloticus*. *International Journal of Morphology*, 23 (3), 211–216. [in English].
- Vodianitskyi, O. (2020). Effect of reservoir temperature and oxygen conditions on the activity of Na-K pump in embryos and larvae of perch, roach, and ruffe. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10 (2), 184–189. https://doi.org/10.15421/2020_83 [in English].
- Wilson, J.M., & Castro, L.F.C. (2010). Morphological diversity of the gastrointestinal tract in fishes. *Fish Physiology*, 30, 1–55. [https://doi.org/10.1016/S1546-5098\(10\)03001-3](https://doi.org/10.1016/S1546-5098(10)03001-3) [in English].
- Zahaby, S.A., Hassan, S.S., & Elsheikh, E.H. (2024). Ultramicroscopic organization of the exterior olfactory organ in *Anguilla vulgaris* in relation to its spawning migration. *Open Veterinary Journal*, 14 (1), 512–524. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2024.v14.i1.46> [in English].
- Zhu, L., Zhang, Z., Chen, H., Lamer, J. T., Wang, J., Wei, W., Fu, L., Tang, M., Wang, C., & Lu, G. (2020). Gut microbiomes of bigheaded carps and hybrids provide insights into invasion: A holocene perspective. *Evolutionary applications*, 14 (3), 735–745. <https://doi.org/10.1111/eva.13152> [in English].

Отримано: 21.04.2025
Прийнято: 15.05.2025