



УДК 591.424:597.551.4
DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.12.2025.3>

ГІСТОМОРФОЛОГІЯ ЛЕГЕНЬ КЛАРІЄВОГО СОМА (*CLARIAS GARIEPINUS*)

А. П. Горальський¹, І. В. Цанько², Б. В. Гутий³, Н. А. Колеснік⁴

Важливе значення у життєдіяльності живих організмів для їх існування є забезпечення клітин та тканин киснем й поживними речовинами та виведення продуктів обміну речовин. Відповідь організму на вплив навколишнього середовища, що об'єднує всі органи та системи в єдине ціле, потребує злагодженої морфофункціональної діяльності всіх його систем, зокрема органів дихання.

Саме це й стало метою проведених досліджень.

За використання макро- та мікроскопічних, морфометричних і статистичних методів досліджень представлено результати щодо мікроскопічної будови легень кларієвого сома. Так, у системі газообміну дводихальних риб, представником яких є кларієвий сом, у процесі їх філогенетичного розвитку відбуваються зміни (формується два кола кровообігу), які характерні для земноводних тварин, у яких, окрім зябер, формуються ще й парні легені, завдяки чому тварини можуть дихати атмосферним повітрям.

Легені кларієвого сома сформовані з розгалужених анатомічних структур, розташованих на другій та четвертій зябрових дугах. Це парні морфологічні структури блідо-рожевого кольору з комірчастими стінками, які сполучені зі стравоходом. Права і ліва легені утворені медіальною та латеральною частками: беручи початок від зябрових порожнин, головний стовбур медіальної частки легень деревоподібно розгалужується на чотири великі гілки, які діляться на середні, малі,

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 аспірант кафедри зоології, біологічного моніторингу та охорони природи
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: ivanc9298@gmail.com
ORCID: 0009-0002-8416-5672

³ доктор ветеринарних наук, 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

⁴ кандидат ветеринарних наук, доцент,
доцент кафедри внутрішньої патології та морфології
(Поліський національний університет, м. Житомир)
e-mail: natacha_kolesnik@ukr.net
ORCID: 0000-0001-7741-87530

віддаючи початок товстостінним міхурцям. Латеральна частка легень починається окремим стовбуром, який не поєднаний із медіальною часткою легень.

Легені кларієвого сома вкриті сполучнотканинною оболонкою (плеврою), яка мікроскопічно сформована трьома шарами: зовнішнім, середнім, внутрішнім. Мікроскопічна будова стінки бронхів легень побудована з трьох оболонок – зовнішньої, середньої (м'язової) та внутрішньої: поверхня стінки зовнішньої оболонки сформована епітеліальними клітинами, які формують видовженої форми ворсинки, власна пластинка оболонки утворена пухкою сполучною тканиною, у якій розташована мережа кровоносних судин; м'язова оболонка стінки утворена поперечно посмугованою м'язовою тканиною, волокна якої мають поздовжній напрямок; внутрішня оболонка тоненька та сформована видовженої форми епітеліальними клітинами. Порожнина бронхів на всьому проміжку бронхіального дерева, аж до легеневих міхурців, заповнена ретикулярною тканиною.

Згідно з морфометричними дослідженнями, найбільші морфометричні параметри (товщина стінки, товщина порожнини бронхів) характерні для великих, потім для середніх та відповідно малих бронхів. Легеневі міхурці мають округлу форму, мікроскопічно у їх стінці сполучнотканинної оболонки виявляється значна мережа судин (капілярів) мікроциркуляторного русла. Середній об'єм легеневих міхурців дорівнює $94\,770 \pm 909$ тис. мкм^3 , середній об'єм порожнини міхурців, заповненої ретикулярною тканиною, становить $27\,862 \pm 413$ тис. мкм^3 . За таких показників відношення об'єму порожнини міхурця до об'єму його стінки становить 0,4164.

Ключові слова: хребетні тварини, легені, морфологія, гістологічна будова, морфометрія.

LUNGS HISTOMORPHOLOGY OF THE CLARII CATFISH (CLARIAS GARIEPINUS)

L. P. Horalskyi, I. V. Tsanko, B. V. Gutyj, N. L. Kolesnik

The vital activity of living organisms for their existence is essential for providing cells and tissues with oxygen and nutrients and the excretion of metabolic products. The body's response to environmental influences, uniting all organs and systems into a single whole, requires the regular morphofunctional activity of all body systems, including the respiratory system, which served as the purpose of the research.

Using macro- and microscopic, morphometric, and statistical research methods, the results are presented on the microscopic structure of the gills of the Clarius catfish. Thus, in the gas exchange system of birefringent fish, represented by the Clarius catfish, changes occur in the process of their phylogenetic development (two circles of blood circulation are formed), which are characteristic of amphibians, in which, in addition to gills, paired lungs are also formed, thanks to which animals can breathe atmospheric air.

The gills of the Clarius catfish are formed by branched anatomical structures located on the second and fourth-gill arches. These are paired pale pink morphological structures with cellular walls connected to the esophagus. The medial and lateral lobes form the right and left lungs: starting from the gill cavities, the main trunk of the medial lobe of the lungs branches out like a tree into four large branches, which are divided into medium, small, giving rise to thick-walled alveoli. The lateral lobe of the lungs begins with a separate trunk that is not connected to the medial lobe of the lungs.

The lungs of the Claria catfish are covered with a connective tissue membrane (pleura), which is microscopically formed by three layers: outer, middle, and inner. The microscopic structure of the wall of the bronchi of the lungs is built of three membranes – outer, middle (muscular), and inner: the surface of the wall of the outer membrane is formed by epithelial cells that form elongated villi, the lamina propria of the membrane is formed by loose connective tissue, in which a network of blood vessels is located; the muscular membrane of the wall is formed by transversely striated muscle tissue, the fibers of which have a longitudinal direction; the inner membrane is thin and formed by elongated epithelial cells. The cavity of the bronchi, throughout the entire interval of the bronchial tree, ending in the pulmonary alveoli, is filled with reticular tissue.

According to morphometric studies, the most prominent morphometric parameters (wall thickness, thickness of the bronchial cavity) are characteristic of large, then medium, and, accordingly, small bronchi. Pulmonary alveoli have a rounded shape; microscopically, a significant network of vessels (capillaries) of the microcirculatory bed is detected in the wall of the connective tissue membrane. The average volume of pulmonary alveoli is $94\,770 \pm 909$ thousand. mcm^3 , the average volume of the alveoli cavity, filled with reticular tissue, is $27\,862 \pm 413$ thousand. mcm^3 . With such indicators, the ratio of the volume of the alveoli cavity to the volume of its wall is 0.4164.

Key words: vertebrates; lungs morphology; histological structure; morphometry.

Вступ

Важливим джерелом забезпечення населення планети харчовою продукцією тваринництва є біологічні ресурси гідросфери, до яких належить рибна промисловість. Останнім часом об'єм виробництва водних біоресурсів, зокрема рибних продуктів, у світі та в Україні забезпечується не тільки промислом, але й інтенсивним розвитком аквакультури.

Аквакультура – найбільш швидко-зростаючий сектор тваринництва і, мабуть, один із найбільш важливих секторів глобальної продовольчої системи. Її значення у забезпеченні людства продуктами харчування невіддільно зростає. На сьогодні розвиток прісноводної аквакультури є однією з пріоритетних напрямів галузі харчової промисловості. Вона базується на теоретичних основах використання в аквакультурі цінних гідробіонтів з урахуванням вирощування їх у водних екосистемах з метою підвищення їх продуктивності та якості продуктів харчування. Це можливо лише за розвитку та запровадження у тваринництві, зокрема в галузі рибного господарства, новітніх технологій.

При цьому важливе значення має вирощування кларієвого сома у зв'язку з його біологічними особливостями розвитку та росту (Juin et al., 2017; Lawal et al., 2017; Strauch et al., 2018), а саме: невибагливість до умов утримання у водному середовищі; щільність посадки; всеїдність; несприятливість до захворювань; швидкі темпи росту, що має важливе економічне значення щодо собівартості виробництва рибної продукції (Baßmann et al., 2017; Ukagwu et al., 2017; Zadorozhnii & Bekh, 2024).

Африканський кларієвий сом (*Clarias gariepinus*) у природі зустрічається по всій Африці, мешкаючи в прісноводних озерах, болотах, гирлах річок, у самих річках, зрошувальних каналах, ставках, заплавах водоймах, навіть якщо такі періодично висихають (Hecht et al., 1996; Hildebrand et al., 2023). Це дводишна, всеїдна, прісноводна та теплолюбна тварина, яка, крім зябрового дихання, може дихати і атмосферним повітрям (Chervinski, 1984; Britz & Hecht, 1987; Царик та ін., 2018). Для вирощування сома мають бути відповідні умови його вирощування й утримання: відповідна температура води (20–30 °C), її хімічний склад, рівень кисню, солоності тощо (Clay, 1977; Hogendorn & Vismans, 1980; Huisman & Richter, 1987).

Не викликає сумніву, що запровадження науково-інноваційних технологій і сучасних методів вирощування риби надасть можливість підвищити ефективність виробництва рибної продукції, забезпечити сталість та екологічну безпеку процесів технології виробництва та знизити витрати на ресурси, зберігаючи при цьому високу якість продукції.

Водночас застосування новітніх технологій у виробничих процесах галузі рибництва (стресові чинники, невідповідність температурного режиму водного середовища, хімічний і фізичний склад води тощо) впливає на морфофункціональний стан органів і систем організму риб під час їх вирощування (Rudenko et al., 2019; Honcharova et al., 2021). Одним із важливих факторів, які впливають на продуктивні якості тварин, є застосування новітніх технологій годівлі риб комбінованими кормами з метою забезпечення життєвих потреб тварин в енергії та поживних і біологічно активних речовинах. Це призводить до порушення гомеостазу в організмі риб і сприяє появі нових захворювань різного ґенезу. До того ж за впливу різних технологічних, стресових, несприятливих чинників внутрішнього та зовнішнього середовища із застосуванням новітніх технологій у галузі рибництва в організмі виникають метаболічні порушення, що негативно впливає на їх продуктивність, формування імунітету тощо (Kofonov et al., 2020; Kukhtyn et al., 2022; Horalskyi et al., 2023).

Саме тому для успішного розвитку галузі рибництва, покращення якості продукції, профілактики та діагностики хвороб доцільно проводити одночасно з організаційно-господарськими заходами поглиблене дослідження організму на макро- та мікроскопічному рівнях. У цьому контексті особливої актуальності набуває дослідження особливостей органів дихання, зокрема легень, у віковому, породному та видовому аспектах, а також за умов впливу на організм антропогенних чинників довкілля (Горальський та ін., 2015; Horalskyi et al., 2020; Horalskyi et al., 2022a).

У всіх наземних хребетних до складу органів дихання входять повітроносні шляхи та легені, які виконують в організмі важливі життєві функції. У риб дихання відбувається за допомогою зябер, проте у дводишних, зокрема у кларієвого сома, поряд із зябровим диханням функціонує й легеневе, що стало можливим завдяки появі легень у процесі філогенетичного розвитку, зав-

дяки чому ці риби здатні дихати атмосферним повітрям (Алексієнко, 2007; Мельник та ін., 2008; Шерман та ін., 2009; Царик та ін., 2018).

З появою легень у кларієвого сома для нього стали характерними індивідуальні особливості морфологічної будови органів дихання, що й зумовило мету нашого дослідження. Уперше було проведено вивчення гістоархітекτονіки легень у дводишних риб на прикладі кларієвого сома.

Матеріал і методи

Дослідження проводили згідно з правилами до міжнародних засад «Європейської конвенції щодо захисту хребетних тварин, які використовують в експерименті та інших наукових цілях» (Страсбург, 1986 р.) та «Правил проведення робіт з використанням експериментальних тварин», затверджених наказом МОЗ № 281 від 1 листопада 2000 р. «Про заходи щодо подальшого удосконалення організаційних форм роботи з використанням експериментальних тварин» та відповідного Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» (№ 3447-IV від 21.02.2006, м. Київ).

Вирощували й утримували кларієвих сомів для досліджень у домашніх умовах (басейнах), використовуючи для цього штучно створені екосистеми зі сприятливими умовами для їх проживання, дотримуючись відповідного температурного режиму води, відповідних показників її солоності та кислотності. Водопровідну воду, яка була джерелом водопостачання, попередньо відстоювали, прогрівали до температури басейну й щодобово в кількості 10 % від загальної ємкості додавали у басейн. Приміщення, де розташовані басейни, були затемнені.

Об'єктом дослідження були легені дводишних хребетних (Chordata), класу променеперих (Actinopterygii), родини кларієвих (Clariidae), виду кларій нільський (*Clarias gariepinus*), представником якого є кларієвий сом ($n = 5$). Для дослідження використовували анатомічні, гістологічні, морфометричні та статистичні методи досліджень.

Клінічну оцінку риби проводили шляхом візуального щодобового огляду риби, враховуючи її активність, рухливість, апетит тощо. Експериментальні дослідження проводились на кафедрі зоології, біологічного моніторингу та охорони природи Житомирського державного університету імені Івана Франка відповідно до науково-дослідної тематики кафедри: «Тварини штучних і природних

екосистем України» (державний реєстраційний номер – 0122U002270).

Клінічний огляд щойно виловленої риби включав оцінку екстер'єрних (зовнішній вигляд, маса тіла) та інтер'єрних (лінійні параметри, абсолютна та відносна маса органа) параметрів, після анатомічного розтину дослідження проводили згідно з рекомендаціями іхтіологічних та морфологічних (Horalskyi et al., 2019) посібників. Для запобігання негативного впливу стрес-чинників рибу перед розтином присипляли розчином гіпнодilu (5–10 мл/л).

Для виконання гістологічних досліджень використовували загальноприйняті методи фіксації матеріалу та виготовлення гістологічних зрізів (Horalskyi et al., 2019). Для цього відібрані шматочки легень протягом однієї доби та більше фіксували у 12%-му охолоджену розчині нейтрального формаліну з подільшою заливкою матеріалу в парафін за схемами, запропонованими в посібнику (Horalskyi et al., 2019).

Для виготовлення парафінових зрізів використовували санний мікротом МС-2. Товщина гістозрізів не перевищувала 10–12 мкм.

Для дослідження мікроскопічної будови клітин і тканин гістологічні зрізи після їх депарафінації зафарбовували гематоксиліном (Diapath, Італія, 2020) та еозинном (LeicaGeosystems, Німеччина, 2020). Виготовлені гістопрепарати використовували для визначення характеристики гісто-та цитоархітекτονіки органів і проведення морфометричних досліджень.

Гістометрію (товщина, діаметр) структурних елементів проводили за світлової мікроскопії, використовуючи мікроскопи Micros (Micros, Австрія, 2012), згідно з рекомендаціями, запропонованими в посібнику (Horalskyi et al., 2019). Фотографування мікроскопічної будови легень здійснювали відеокамерою CAM V-200 (ІнтерМед, КНР, 2017), вмонтованою у мікроскоп.

Визначення об'єму легневих міхурців та їх порожнин, заповнених ретикулярною тканиною, здійснювали за формулою: об'єм міхурця = $3,14 / 6 \times \text{довжина міхурця (порожнини)} \times \text{ширина міхурця (порожнини)}^2$.

Визначення відношення об'єму порожнини міхурця до об'єму його стінки, здійснювали шляхом дії ділення величини об'єму порожнини міхурця на величину різниці об'єму міхурця та його порожнини.

Морфологічну термінологію структурних частин легень подано згідно з Міжнародною

ветеринарною анатомічною номенклатурою та Міжнародною ветеринарною гістологічною номенклатурою.

Цифрова обробка результатів досліджень проведена статистично з використанням програмного пакета Statistica 7.0 програмного забезпечення (StatSoft, Талса, США). Відмінності між величинами визначали за допомогою ANOVA, де відмінності вважалися достовірними, якщо $P < 0.05$ (з урахуванням похибки Бонферроні).

Результати

У кларієвого сома, який є представником дводишних риб, окрім зябрового дихання, наявне і легеневе. Саме тому в цього виду риб, крім зябер, у процесі їх філогенетичного розвитку формується додатковий орган дихання – легені. А отже, для кларієвого сома характерним є два кола кровообігу: велике (соматичне) та мале (легеневе) коло кровообігу.

За результатами наших досліджень рух крові у великому колі кровообігу починається зі шлуночка серця, з якого кров потрапляє в артеріальний конус, звідти через аорту, по вихідних зябрових артеріях рухається до зябер, де насичується киснем, і вже оксигенована кров по зябровим артеріальним судинам потрапляє в органи та тканини, там відбувається газообмін, і вже дезоксигенована кров по зябрових венах потрапляє в праву частину передсердя.

Рух крові в малому колі кровообігу бере початок зі шлуночка серця, звідти потрапляє до артеріального конуса та по черевній аорті, по вихідних легеневих артеріях надходить до легень. У легнях відбувається газообмін, і вже насичена киснем кров по легеневих венах надходить у ліву половинку передсердя. Потім із передсердя кров знову потрапляє у шлуночок, звідки вже частково змішана кров надходить у артеріальний конус, з якого по легеневих і зябрових артеріях знову потрапляє до зябер і легень, де відбувається газообмін.

Легені у кларієвого сома блідо-рожевого кольору. Це парний орган, який побудований із правої та лівої легень, що беруть початок від зябрових порожнин, прикріплюючись до задньої частини зябрових дуг (рис. 1). Топографічно легені кларієвого сома розташовані у правій та лівій половині краніальної частини тулуба, відповідно з боків середостіння, і локалізовані у сформованих правій та лівій навколозябрових порожнинах. Обидві легені вентрально розташовані у основи глотки по обидва боки

стравоходу, поєднуючись із ним відповідними повітроносними шляхами, формуючи таким чином орган повітряного дихання (рис. 2).

За морфологічною будовою це комірчасті парні анатомічні структури, обплетені густою мережею кровоносних судин, капілярів, у яких відбувається газообмін, капілярна сітка яких поєднана з останньою парою зябрових артерій. Кожна (права та ліва) легень складається з медіальної (великої) та латеральної (малої) часток (див. рис. 2). Медіальні частки правої та лівої легень топографічно розташовані в краніальній частині тулуба, відповідно праворуч і ліворуч від стравоходу. До їх дорсальних поверхонь примикають латеральні частки, які латерально прилягають до зябрових (четвертих) дуг, контактуючи при цьому із зябровими кришечками. Латеральна частка легень краніально граничить із зябровими дугами.

На легнях виділяють дорсальну (спрямовану до дорсальної частини тулуба), вентральну (спрямовану до вентральної частини тулуба) та середостінну (спрямовану до середостіння) поверхні. Макроскопічно на легнях диференціюють краніальний, каудальний і латеральний краї.

Морфологічно кожна легень у кларієвого сома, починаючи свій напрямок від зябрових дуг у вигляді стовбура, деревоподібно

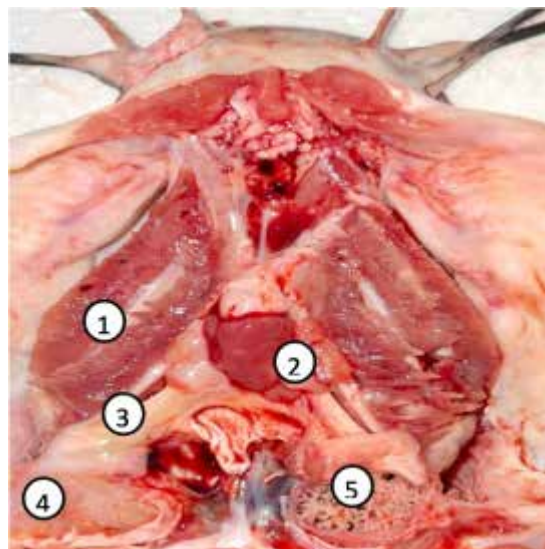


Рис. 1. Морфотопографія легень
(краніальна частина тулуба)
кларієвого сома:

1 – зябра; 2 – серце; 3 – кістки плечового
посла; 4 – ліва легень (покрита плеврою);
5 – права легень. Макропрепарат

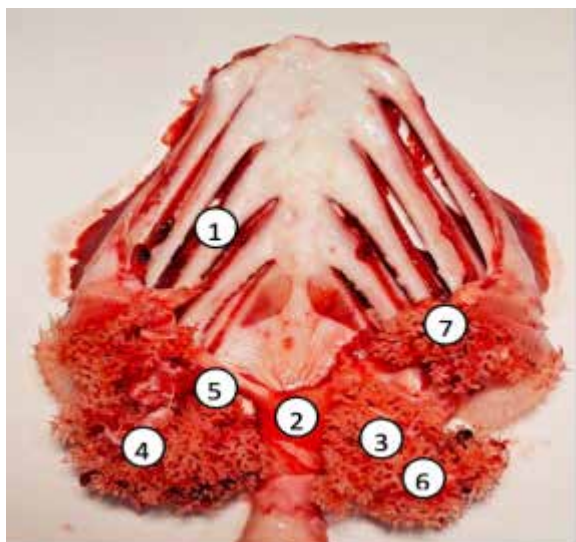


Рис. 2. Морфологія легень кларієвого сома:
1 – зяброві дуги; 2 – стравохід; 3 – ліва
легеня; 4 – права легеня; 5 – поєднання
легень зі стравоходом; 6 – медіальна
частка легені; 7 – латеральна частка легені.
Макропрепарат

(кущоподібно) розгалужується, утворюючи подібні структури на зразок бронхіального дерева, як у ссавців: головна гілка (стовбур) медіальної частки легені розгалужується на чотири (рис. 3) великі гілки, великі – на середні, які галузяться відповідно на малі гілки, формуючи деревоподібну структуру. Латеральна частка легень починається окремим стовбуром, який не поєднаний із медіальною часткою легень. Потім малі гілки бронхіального дерева кожної легені

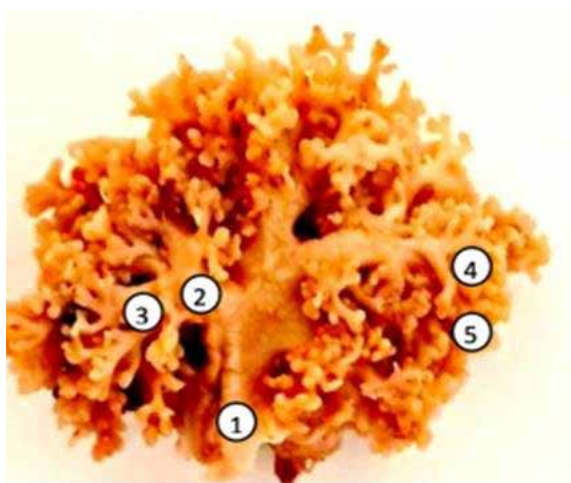


Рис. 3. Медіальна частка легені:
а – основний стовбур; 1 – головна гілка;
2 – велика гілка; 3 – середня гілка; 4 – мала
гілка; 5 – міхурці. Макропрепарат

галузяться на окремі гілочки, які віддають початок сформованим товстостінним міхурцям (рис. 4).

Кожна легеня у кларієвого сома покрита сполучнотканинною оболонкою (плеврою), середня товщина якої становить $552,6 \pm 7,86$ мкм. За мікроскопічної будови сполучнотканинна оболонка складається з трьох шарів: зовнішнього, середнього та внутрішнього. Зовнішній шар оболонки сформований епітелієм, який, вп'ячуючись у глибину оболонки, утворює видовжені залозисті структури у вигляді крипти, схожі за будовою на залозисті утворення (рис. 5). На поздовжньому зрізі такі залозисті структури мають округло-овальну форму. Вони утворені призматичної форми клітинами, які формують листочки першого порядку, останні, зі свого боку, поділяються на листочки другого порядку (рис. 6). Між епітеліоцитами зустрічаються клітини крові – еритроцити та лейкоцити. У просвіті залоз і навколо них розташована мережа дрібних кровоносних капілярів, у яких присутні клітини крові.

Середній шар сполучнотканинної оболонки (плеври) утворений пухкою сполучною тканиною, де розташовані судини гемомікроцикуляторного русла – артеріоли, венули, капіляри (див. рис. 5). Внутрішній шар оболонки найтонший, він сформований полігональної форми витягнутими в довжину клітинами.

Гістологічна будова бронхіального дерева легень кларієвого сома має певні особли-

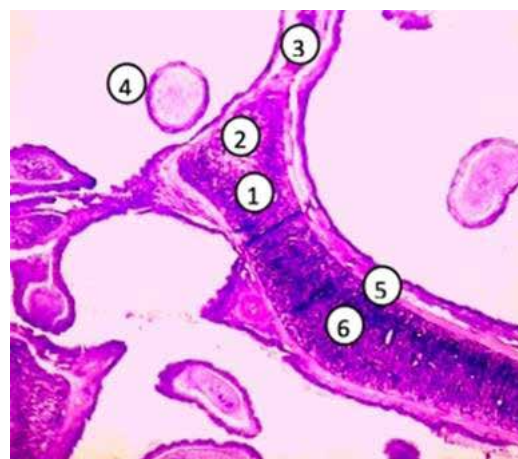


Рис. 4. Галуження бронхів легень кларієвого сома: 1 – стовбур середнього бронха;
2 – біфуркація; 3 – стовбур малого бронха;
4 – міхурці; 5 – стінка бронха;
6 – ретикулярна тканина порожнини
бронха. Гематоксилін та еозин
(тотальний зріз). X 20

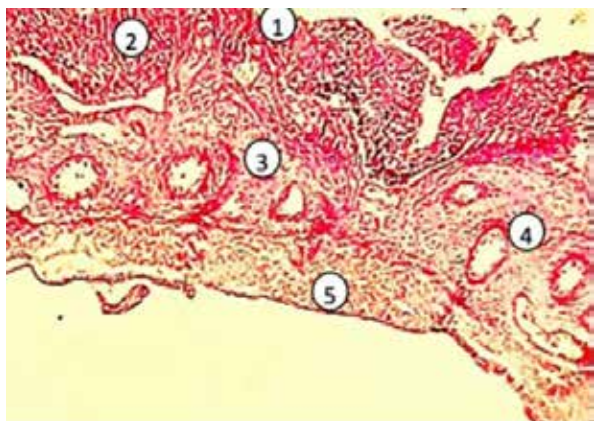


Рис. 5. Мікроскопічна будова сполучнотканинної оболонки (плеври) легень: 1 – епітеліальний шар; 2 – залозисті структури; 3 – середній шар; 4 – судини мікроциркуляторного русла; 5 – внутрішній шар. Гематоксилін та еозин. X 70

вості порівняно з мікроскопічною будовою легень ссавців. Так, мікроскопічна будова стінки бронхів (великих, середніх малих) легень кларієвого сома складається з трьох оболонок: зовнішньої, середньої та внутрішньої (рис. 7–10).

Поверхня зовнішньої оболонки стінки бронхів сформована призматичними епітеліоцитами, які, вп'ячуючись у її глибину, формують вертикально видовжені ворсинки. Після епітеліального шару розташована власна пластинка, сформована пухкою сполучною тканиною, у якій виявляються мережа судин мікроциркуляторного русла:

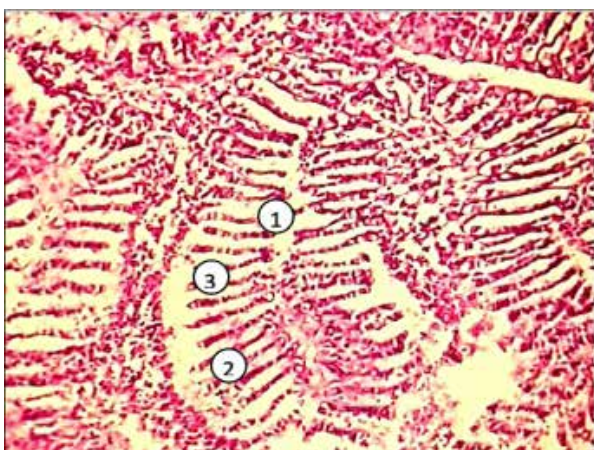


Рис. 6. Фрагмент мікроскопічної будови сполучнотканинної оболонки стінки бронхів: 1 – залозисті структури; 2 – листочки першого порядку; 3 – листочки другого порядку. Гематоксилін та еозин. X 150

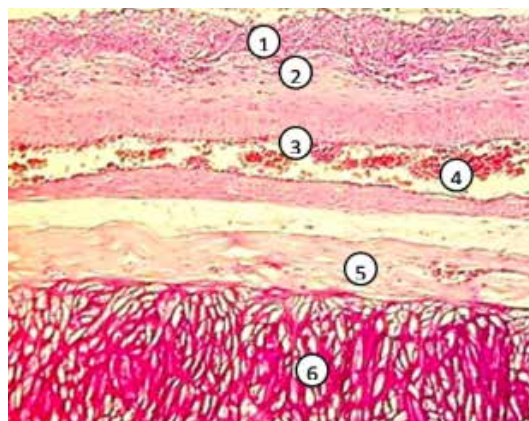


Рис. 7. Фрагмент мікроскопічної будови великого бронха легень кларієвого сома: 1 – зовнішня оболонка стінки; 2 – пухка сполучна тканина; 3 – кровоносна судина; 4 – просвіт судини; 5 – м'язова оболонка стінки; 6 – ретикулярна тканина. Гематоксилін та еозин. X 100



Рис. 8. Мікроскопічна будова середнього бронха легень кларієвого сома: 1 – зовнішня оболонка стінки; 2 – пухка сполучна тканина; 3 – кровоносна судина; 4 – м'язова оболонка стінки; 5 – просвіт бронха, поповнений ретикулярною тканиною. Гематоксилін та еозин. X 80

артеріоли, венули, капіляри та великі судини (артерії, вени), галуження яких відбувається в поздовжньому напрямку бронхіального дерева, по яких тече артеріальна та венозна кров у малому (легеневому) колі кровообігу (рис. 7–10).

Середня (м'язова) оболонка стінки бронхів сильно розвинута, вона сформована з поперечно посмугованої м'язової тканини, волокна яких мають поздовжній напрямок (рис. 9). Їх м'язові волокна мають різну товщину: великі, середні й малі. Між воло-



Рис. 9. Фрагмент мікроскопічної будови стінки середнього бронха легень кларієвого сома: 1 – м'язова оболонка; 2 – міжм'язова сполучна тканина; 3 – кровоносна судина; 4 – м'язові волокна; 5 – анастомози; 6 – ядра м'язових волокон; 7 – ретикулярна тканина. Гематоксилін та еозин. X 400

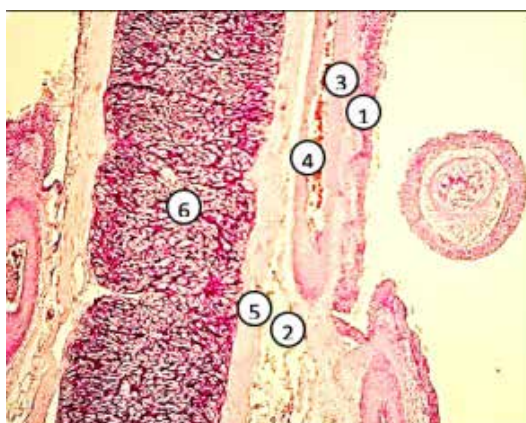


Рис. 10. Мікроскопічна будова середнього бронха легень кларієвого сома:
1 – зовнішня оболонка стінки бронха;
2 – пухка сполучна тканина; 3 – кровоносна судина; 4 – просвіт судини; 5 – м'язова оболонка стінки бронха; 6 – просвіт бронха, поповнений ретикулярною тканиною.
Гематоксилін та еозин. X 80

кнами розташована міжм'язова сполучна тканина. Ядра м'язових волокон розташовані на периферії самих волокон (рис. 9).

Внутрішня оболонка стінки бронхів утворена надзвичайно тонким непомітним шаром, сформованим видовженої форми епітеліальними клітинами, який внутрішньо контактує з ретикулярною тканиною, яка заповнює порожнину бронхів.

Легеневі міхурці на поперечному зрізі мають округлу форму. Їх стінка побудована за таким самим принципом, як у бронхів

(рис. 11–13). Проте у їх стінці сполучнотканинної оболонки виявляється значна мережа судин (капілярів) мікроциркуляторного русла (рис. 13), можливо, саме там відбувається газообмін, де кисень шляхом дифузії крізь стінки міхурців і кровоносних капілярів із повітря переходить у кров, а вуглекислий газ із крові потрапляє у судини.

У кларієвого сома просвіт бронхів на всьому проміжку бронхіального дерева, аж до легеневих міхурців, заповнений ретикулярною тканиною.

Її ретикулярні клітини разом із ретикулярними волокнами, які переплітаються між собою, формують сітчастий, підтримуючий каркас (основу) порожнини бронхіаль-



Рис. 11. Мікроскопічна будова легеневого міхурця кларієвого сома: 1 – міхурець; 2 – фрагмент малого бронха; 3 – місце галузження малого бронха в міхурець.
Гематоксилін та еозин. X 120



Рис. 12. Мікроскопічна будова легеневого міхурця кларієвого сома: 1 – міхурець; 2 – зовнішня оболонка стінки; 3 – пухка сполучна тканина; 4 – м'язова оболонка стінки; 5 – просвіт міхурця, заповнений ретикулярною тканиною. Гематоксилін та еозин. X 150



Рис. 13. Мікроскопічна будова легеневого міхурця кларієвого сома: 1 – зовнішня оболонка стінки; 2 – пухка сполучна тканина; 3 – мережа капілярів; 4 – м'язова оболонка стінки; 5 – просвіт міхурця, заповнений ретикулярною тканиною. Гематоксилін та еозин. X 280

ного дерева, починаючи з великих бронхів і закінчуючись у легневих міхурцях, займаючи їх порожнину (рис. 14). Завдяки такій унікальній будові бронхіального дерева бронхи у кларієвого сома не спадаються.

За результатами виконаних нами гістометричних досліджень бронхіального дерева легень кларієвого сома, товщина великих бронхів становить 1701 ± 31 мкм. Товщина їх стінки дорівнює 402 ± 15 мкм: товщина зовнішньої оболонки – 221 ± 9 мкм, середньої оболонки – 169 ± 6 мкм, внутрішньої оболонки – $8,8 \pm 0,3$ мкм. При цьому товщина порожнини бронха, заповненої ретикулярною тканиною, дорівнює 903 ± 17 мкм (табл. 1).

Показники структурних компонентів середніх бронхів є достовірно ($P < 0,05$) меншими порівняно з такими показниками

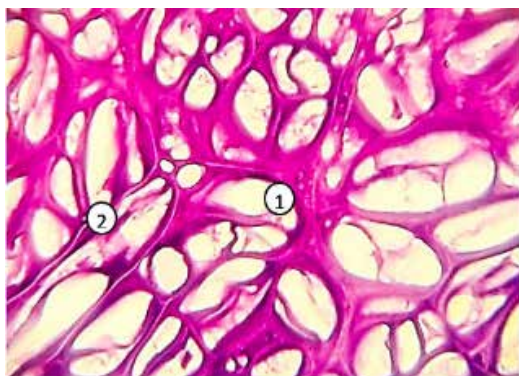


Рис. 14. Ретикулярна тканина у порожнині бронхів легень кларієвого сома: 1 – ретикулярна клітина; 2 – ретикулярні волокна. Гематоксилін та еозин. X 400

у великих бронхів (табл. 1). Так, товщина середніх за величиною бронхів легень становить 1299 ± 17 мкм, відповідно товщина їх стінки дорівнює 313 ± 11 мкм: зовнішньої оболонки – 174 ± 6 мкм, середньої оболонки – 132 ± 5 , внутрішньої оболонки – $6,8 \pm 0,3$. Товщина порожнини у таких бронхів становить 678 ± 12 мкм.

Аналогічні морфометричні зміни в бік достовірного зменшення виявили і для морфометричних параметрів малих бронхів порівняно з такими показниками у середніх ($P < 0,05$) бронхів. При цьому товщина малих бронхів легень дорівнює $600,2 \pm 9,97$ мкм, відповідно товщина стінки дорівнює 163 ± 5 мкм. За таких морфометричних параметрів товщина зовнішньої оболонки стінки малих бронхів дорівнює 105 ± 3 мкм, товщина середньої оболонки – 52 ± 1 мкм, товщина внутрішньої оболонки – $4,0 \pm 0,2$ мкм. При цьому товщина порожнини бронха, заповненої ретикулярною тканиною, дорівнює 313 ± 11 мкм (табл. 1).

Діаметр міхурців легень кларієвого сома становить 625 ± 11 мкм. Діаметр порожнини міхурця, заповненої ретикулярною тканиною, – 393 ± 8 мкм. Товщина стінки легневих міхурців дорівнює 186 ± 7 : товщина зовнішньої оболонки – 118 ± 3 , товщина середньої оболонки – $59,5 \pm 1,4$, товщина внутрішньої оболонки – $4,17 \pm 0,18$ (табл. 1). Середній об'єм легневих міхурців дорівнює $94\,770 \pm 909$ мкм³, середній об'єм порожнини – $27\,862 \pm 413$ мкм³. Відношення об'єму порожнини міхурця до об'єму його стінки становить $0,4164$ (табл. 2).

Отже, у процесі філогенетичного розвитку кларієвого сома, який є представником дво-дишних риб, у будові органів дихання відбуваються певні зміни дихальної системи, яка забезпечують газообмін між організмом тварини та навколишнім середовищем. Це проявляється вдосконаленням будови апарату дихання, де, крім зябер, формуються ще і парні легені, завдяки чому тварини можуть дихати атмосферним повітрям.

Як свідчать результати проведених нами морфологічних досліджень, легені кларієвого сома за макро- та мікроскопічною будовою відрізняються від легень хребетних тварин класів амфібій, плазунів, птахів і ссавців.

Обговорення

Органами дихання кісткових риб є зябра. До того ж до 10% газообміну в риб відбувається через шкіру. Крім того, у газообміні можуть брати участь окремі частини

Таблиця 1

Морфометрія структурних компонентів бронхіального дерева легенів кларієвого сома
($M \pm m$)

Морфометричні показники	Структурні компоненти бронхіального дерева		
	Великі бронхи	Середні бронхи	Малі бронхи
Товщина бронха, мкм	1701 $\pm$ 31	1299 $\pm$ 17	600 $\pm$ 10
Товщина порожнини бронха, мкм	903 $\pm$ 17	678 $\pm$ 12	313 $\pm$ 11
Товщина стінки бронха, мкм	402 $\pm$ 15	313 $\pm$ 9	163 $\pm$ 5
Товщина зовнішньої оболонки стінки бронха, мкм	221 $\pm$ 9	174 $\pm$ 6	105 $\pm$ 3
Товщина середньої оболонки стінки бронха, мкм	169 $\pm$ 6	132 $\pm$ 5	52 $\pm$ 1
Товщина внутрішньої оболонки стінки бронха, мкм	8,8 $\pm$ 0,3	6,8 $\pm$ 0,3	4,0 $\pm$ 0,2

Таблиця 2

Морфометрія структурних компонентів легеневих міхурців кларієвого сома ($M \pm m$)

Морфометричні показники	Цифрові значення
Товщина стінки сполучнотканинної оболонки (плеври) легень, мкм	553 $\pm$ 8
Діаметр легеневого міхурця, мкм	625 $\pm$ 11
Діаметр порожнини, заповненої ретикулярною тканиною, мкм	393 $\pm$ 8
Товщина стінки міхурця, мкм	186 $\pm$ 7
Товщина зовнішньої оболонки стінки, мкм	118 $\pm$ 3
Товщина середньої оболонки стінки, мкм	59,5 $\pm$ 1,4
Товщина внутрішньої оболонки стінки, мкм	4,17 $\pm$ 0,18
Середній об'єм легеневого міхурця, тис. мкм ³	94770 $\pm$ 909
Середній об'єм порожнини міхурця, заповненої ретикулярною тканиною, тис. мкм ³	27862 $\pm$ 413
Відношення об'єму порожнини міхурця до об'єму його стінки	0,4164

кишечника та плавальний міхур (DeLaney et al., 1983; Мельник та ін., 2008; Huang et al., 2008).

Для дводишних риб, представником яких є кларієвий сом, окрім зябрового дихання, характерне також і легеневе. При цьому плавальний міхур комірчастої будови перебудовується у дві легені, які за потреби виконують функцію дихання атмосферним повітрям (Da Silva et al., 2017; Царик та ін., 2018). Згідно з дослідженнями, легені для життєдіяльності кларієвого сома мають важливіше значення, ніж зябра.

До того ж легеневе дихання у кларієвого сома, у якого, крім зябер, у процесі філогенетичного розвитку утворюються парні легені, дає можливість цим видам тварин до двох діб перебувати без води або ж у мутній воді з низьким умістом кисню, а також пересуватися по поверхні наземного середовища.

Водночас у наукових літературних джерелах, посібниках, підручниках з анатомії риб, зоології хребетних тварин тощо (Алексієнко, 2007; Мельник та ін., 2008; Шерман та ін., 2009) особливості макро- та мікроскопічної будови легенів у дводишних

риб майже не описані або ж їх морфологічна будова подана лише у вигляді схематичних зображень.

Тому нами проведено дослідження морфології легень у дводишних риб, представником яких є кларієвий сом. У кісткових риб, для яких характерне двокамерне серце й одне коло кровообігу, кров по зябрових венах потрапляє у венозний синус, потім рухається в передсердя, шлуночок та артеріальний конус, звідки по черевній аорті у зябра, де відбувається газообмін (Fishman et al., 1985; Farmer, 1999; Amelio & Garofalo, 2023). Від зябер артеріальна кров по судинах надходить до органів і тканин, де віддає кисень та насичується вуглекислим газом, трансформуючись на венозну кров, звідки дезоксигенована кров по венах повертається до серця (Florindo et al., 2004; Hillman et al., 2013).

За результатами наших досліджень встановлено, що у кларієвого сома, крім зябрового, наявне також легеневе дихання. Це зумовило формування поряд із великим (соматичним) ще й малого (легеневого) кола кровообігу. Рух крові у великому колі почи-

нається зі шлуночка серця й завершується у правій половині передсердя. У малому колі кровообігу кров рухається від шлуночка до лівої половини передсердя.

Легені у ссавців розташовані в грудній порожнині та мають вигляд конуса. Така морфотопографія легень та їх форма, яка подібна до зрізаного конуса та дещо здавлена з боків, пов'язана з розміщенням їх у грудній порожнині, яка надає правій та лівій легені загалом таку форму (Amin-Naves et al., 2004; Barreto & Volpato, 2004; Cieri, 2019; Gam et al., 2020). Це пов'язано з тим, що легені в природному стані разом із серцем та іншими органами грудної порожнини (аорта, стравохід, тимус тощо) загалом відтворюють форму грудної порожнини (Smits et al., 1994; Katz, 1996; Vanderelst et al., 2012).

Легені кларієвого сома, за результатами наших досліджень, є парними комірчастими структурами блідо-рожевого кольору, які розташовані у сформованих правій та лівій навколозаябрових порожнинах і прикріплюються до задньої частини заябрових дуг.

У ссавців ліва та права легені з боку вентрального краю глибокими вирізками поділяються на краніальну, середню та каудальну частки: на правій легені розташована ще й додаткова частка (Maina & van Gils, 2001; Roux, 2002; Horalskyi et al., 2022b).

У кларієвого сома, за результатами досліджень, кожна легеня покрита сполучнотканинною оболонкою (плеврою), яка утворена трьома шарами: зовнішнім, середнім та внутрішнім.

Макроскопічно права та ліва легеня побудовані з великої (медіальної) та малої (латеральної) часток. На кожній легені диференціюють краніальний, каудальний і латеральний краї та виділяють дорсальну (спрямовану до дорсальної частини тулуба), вентральну (спрямовану до вентральної частини тулуба) та середостінну (спрямовану до середостіння) поверхні.

У ссавців порівняно з іншими класами хребетних тварин легені є більш морфофункціонально досконалими. Основною особливістю їх будови у ссавців є диференціація тканин легень на повітроносні шляхи – бронхіальне дерево (головні, великі, середні, малі бронхи) та на респіраторний відділ – альвеолярне дерево (альвеолярні ходи, альвеолярні мішочки, альвеоли), де відбувається газообмін (Torday & Rehan, 2004).

Галуження бронхіального дерева у ссавців, майже всіх його структурних компонентів, до часточкових бронхів, відбувається за магістральним типом, лише часточкові бронхи галузяться за дихотомічним типом. При цьому трахея у місці біфуркації поділяється на два головні бронхи, які потім галузяться на великі, середні, бронхи та термінальні бронхіоли (Horsfield, 1976; Scrivani & Percival, 2023).

За результатами аналізу макро- та мікроскопічної будови бронхіальне дерево легень кларієвого сома має певні особливості порівняно з таким у тварин класу ссавці. У кларієвого сома, починаючи від заябрових дуг, кожна легеня розгалужується деревоподібно, формуючи структури бронхіального дерева, подібні до таких у ссавців. При цьому головний стовбур медіальної частки легень поділяється на чотири великі гілки, які галузяться на середні, останні – на малі гілки, формуючи деревоподібну структуру. Малі гілки бронхіального дерева кожної легені галузяться на окремі гілочки, які віддають початок товстостінним міхурцям. Латеральна частка легень сформована окремим стовбуром, який не поєднаний із медіальною часткою легень і має відповідне галуження бронхіального дерева (Tongo & Erhunmwunse, 2022).

Бронхи ссавців, залежно від їх калібру, порівняно з такими у дводишних риб, мають певні морфологічні особливості: вони складаються зі слизової оболонки, волокнисто-хрящової оболонки та адвентиції. У ссавців у структурі стінки бронхів наявна волокнисто-хрящова оболонка: у стінці головних бронхів у вигляді суцільних хрящових кілець; у стінці великих бронхів у вигляді окремих, різної величини і форми, хрящових пластинок – хрящевих острівців; у стінці середніх бронхів у вигляді окремих острівців, сформованих гіаліновим хрящем (місцями еластичним хрящем). Саме така особливість будови стінки бронхів ссавців створює умови, за яких бронхи не спадаються (McFawn & Mitchell, 1997).

У кларієвого сома, за результатами проведених нами досліджень, мікроскопічна будова стінки бронхів сформована трьома оболонками – зовнішньою, середньою та внутрішньою. Поверхня зовнішньої оболонки стінки бронхів утворена епітеліальними клітинами. Останні, вп'ячуючись у глибину оболонки, формують видовженої форми ворсинки. Після епітеліальної пластинки розташована власна пластинка,

утворена пухкою сполучною тканиною, у якій проходить мережа судин – артерій, венул, капілярів і більших судин, якими тече кров у легеновому колі кровообігу. М'язова (середня) оболонка стінки бронхів сильно розвинута й утворена поперечно посмугованою м'язовою тканиною, волокна якої мають поздовжній напрямок. Внутрішня оболонка стінки бронхів досить тоненька та сформована видовженої форми епітеліальними клітинами. Подібна мікроскопічна будова характерна і для середніх та малих бронхів, які закінчуються бронхіальними міхурцями, що мають округлу форму. Їх стінка сформована подібно до такої у бронхів. У сполучнотканинній оболонці стінки міхурців розташовано багато судин гемокроциркуляторного русла, які беруть участь у газообміні, де шляхом дифузії крізь стінки міхурців та кровоносних капілярів кисень із повітря потрапляє у кров, а вуглекислий газ – з крові у судини (Abalaka et al., 2021; Ogunwole et al., 2021; Hassan et al., 2023).

Отже, за результатами літературних даних, у тварин класу ссавці, специфічні особливості будови стінки бронхів (наявність волокнисто-хрящової оболонки) створюють умови, за яких бронхи не спадаються.

У кларієвого сома, за результатами наших досліджень, просвіт бронхів на всьому проміжку бронхіального дерева, аж до легенових міхурців, заповнений ретикулярною тканиною. Ретикулярна тканина – це сітчастий підтримуючий каркас для м'яких органів, як-от лімфатична тканина, селезінка, лімфатичні вузли, кістковий мозок, печінка тощо. Вона побудована з ретикулярних клітин (ретикулоцитів) і ретикулярних волокон. Ретикулоцити мають зірчасту або видовжену форму з великою кількістю довгих відростків та світле ядро. Відростки клітин, щільно з'єднуючись між собою, формують сіткоподібну масу, яка разом із мережею ретикулярних волокон становить остов (stroma) кровотворних органів тощо (Lütge et al., 2021).

Отже, завдяки такій унікальній морфологічній будові бронхів і легенових міхурців у кларієвого сома, просвіт яких заповнений ретикулярною тканиною, їх стінки не спадаються, що формує відповідні умови для постійного руху повітря в порожнині бронхіального дерева.

На основі гістометричних досліджень і математичного аналізу, які часто використовують у морфології, встановлено різні гістометричні параметри бронхіального дерева залежно від величини бронхів,

їх функціонального навантаження під час руху повітря по дихальних шляхах легень у напрямку до легенових міхурців для забезпечення надходження до організму кисню та використання його в окиснювальних реакціях. При цьому, за результатами морфометрії найбільші морфометричні параметри (товщина бронхів, товщина стінки бронхів, товщина порожнини бронхів) характерні для великих бронхів, потім для бронхів середнього калібру, і найменші показники характерні для малих бронхів.

Важливе значення у морфології має дослідження морфометричних критеріїв (площа, об'єм, співвідношення тих чи інших показників тощо), характеристики яких стають дедалі актуальнішими в морфологічному дослідженні в нормі та за патології і є дуже наочними показниками, за якими можна судити про структуру та функціональний стан органів і тканин. За результатами проведених нами морфометричних досліджень середній об'єм легенового міхурця кларієвого сома дорівнює $94\,770 \pm 909$ тис. мкм³, середній об'єм порожнини міхурця, заповненої ретикулярною тканиною, становить $27\,862 \pm 413$ тис. мкм³. Відношення об'єму порожнини міхурця до об'єму його стінки становить 0,4164.

Гістометричні дослідження, які часто використовують у гістології, дають змогу не лише чітко та достовірно аналізувати кількісні зміни на тканинному рівні, але й детально провести глибокий аналіз гістоархітектоніки організму, а саме органів дихання, у тому числі легень у процесі індивідуального розвитку та у філогенезі. Це не випадково, оскільки математичний аналіз структур морфологічних об'єктів отримав визнання як метод, що відрізняється об'єктивністю та достовірністю.

Саме тому проведені нами кількісні гістометричні дослідження легень із позиції оцінки їх пластичності у тварин різних рівнів організації, а саме представників класу дводишні риби, з різною екологічно-функціональною організацією, які характеризуються помірним ступенем активності та середовищем їх перебування у водному (напівводному) середовищі, дади можливість виявити певні закономірності, тенденції та критерії щодо структурної організації легень, їх гістоархітектоніку на тканинному рівні організації.

Висновки

1. Легені кларієвого сома – парні органи блідо-рожевого кольору, що мають анатомічну структуру з комірчастими стінками та

поєднуються зі стравоходом, забезпечуючи атмосферне дихання. Вони покриті сполучнотканинною оболонкою (плеврою) товщиною $552,6 \pm 7,86$ мкм, яка складається з трьох шарів: зовнішнього, середнього та внутрішнього.

2. Права та ліва легені сформовані медіально та латеральною частками: медіальні частки розміщені в краніальній частині тулуба, відповідно праворуч і ліворуч від стравоходу; латеральні частки примикають до дорсальних поверхонь медіальних часток, краніально межуючи із зябровими дугами.

Починаючи від зябрових порожнин, головний стовбур медіальної частки легень деревоподібно розгалужується на чотири великі гілки, великі – на середні, а останні – на малі, які діляться на окремі гілочки, віддаючи початок товстостінним міхурцям. Латеральна частка легень починається окремим стовбуром, який не поєднаний із медіальною часткою легень. На легенях морфологічно виділяють дорсальну, вентральну, середостінну поверхні та краніальний, каудальний і латеральний краї.

3. Мікроскопічна будова стінки бронхів легень кларієвого сома складається з трьох

оболонок – зовнішньої, середньої (м'язової) та внутрішньої. Поверхня стінки зовнішньої оболонки сформована епітеліальними клітинами, які формують видовженої форми ворсинки. Власна пластинка зовнішньої оболонки утворена пухкою сполучною тканиною, у якій розташована мережа кровоносних судин. М'язова оболонка стінки бронхів утворена поперечно посмугованою м'язовою тканиною, волокна якої мають поздовжній напрямок. Внутрішня оболонка стінки бронхів тоненька та сформована видовженої форми епітеліальними клітинами.

4. Порожнина бронхів на всьому проміжку бронхіального дерева, аж до легневих міхурців, заповнена ретикулярною тканиною, ретикулярні клітини якої разом з ретикулярними волокнами (переплітаючись між собою) формують підтримуючий сітчастий каркас (основу) порожнини бронхіального дерева, завдяки чому бронхи не спадаються. Легеневі міхурці на поперечному зрізі мають округлу форму. У їх стінці сполучнотканинної оболонки виявляється значна мережа судин (капілярів) мікроциркуляторного русла.

Список використаної літератури

- Алексієнко В.Р. Іхтіологія : посібник. Київ : Український фітосоціологічний центр, 2007. 116 с.
- Горальський А.П., Хомич В.Т., Кононський О.І. Основи гістологічної техніки і морфофункціональні методи досліджень у нормі та при патології : навч. посіб. вид. 3-є, випр. і допов. Житомир : Полісся, 2015. 286 с.
- Мельник О.П., Костюк В.В., Шевченко П.Г. Анатомія риб : підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2008. 620 с.
- Шерман І.М., Пилипенко Ю.В., Шевченко П.Г. Загальна іхтіологія : підручник. Київ : Аграрна освіта, 2009. 454 с.
- Царик Й.В., Хамар І.С., Дикий І.В. Зоологія хордових : підручник. Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2018. 356 с.
- Abalaka S.E., Oyelowo F.O., Akande M.G., Tenuche O.Z., Sani N.A., Adeyemo B.T., Idoko I.S., Ogbe A.O., Ejeh S.A. Effects of Moringa oleifera leaves extract, vitamin C, and taurine co-exposures on calcium and metallothionein levels, oxidative stress, and gill histopathological changes in *Clarias gariepinus* exposed to sub-lethal cadmium. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. P. 5225–52271. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14426-z>.
- Amelio D., Garofalo F. Morpho-functional changes of lungfish *Protopterus dolloi* skin in the shift from freshwater to aestivating conditions. *Comparative biochemistry and physiology. Part B, Biochemistry & molecular biology*. 2023. Vol. 266. P. 110846. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2023.110846>.
- Amin-Naves J., Giusti H., Glass M.L. Effects of acute temperature changes on aerial and aquatic gas exchange, pulmonary ventilation and blood gas status in the South American lungfish, *Lepidosiren paradoxa*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 2004. Vol. 138. №. 2. P. 133–139. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2004.02.016>.
- Barreto R.E., Volpato G.L. Caution for using ventilatory frequency as an indicator of stress in fish. *Behavioural processes*. 2004. Vol. 66. № 1. P. 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2004.01.001>.

- Baßmann B., Brenner M., Palm H.W. Stress and welfare of african catfish (*clarias gariepinus* Burchell, 1822) in a coupled aquaponic system. *Water*. 2017. Vol. 9. № 7. P. 504. <https://doi.org/10.3390/w9070504>.
- Britz P.J., Hecht T. Temperature preferences and optimum temperature for growth of african sharptooth catfish (*clarias gariepinus*) larvae and postlarvae. *Aquaculture*. 1987. Vol. 63. № 1–4. P. 205–214. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(87\)90072-X](https://doi.org/10.1016/0044-8486(87)90072-X).
- Chervinski J. Salinity tolerance of young catfish, *Clarias lazera* (Burchell). *Journal of Fish Biology*. 1984. Vol. 25. № 2. P. 147–149. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1984.tb04861.x>.
- Cieri R.L. Pulmonary smooth muscle in vertebrates: a comparative review of structure and function. *Integrative and comparative biology*. 2019. Vol. 59. № 1. P. 10–28. <https://doi.org/10.1093/icb/icz002>.
- Clay D. Preliminary observations on salinity tolerance *Clarias lazera*, Israel. *Bamidgeh*. 1977. Vol. 29. № 3. P. 102–109.
- Da Silva G.S.F., Ventura D.A.D.N., Zena L.A., Giusti H., Glass M.L., Klein W. Effects of aerial hypoxia and temperature on pulmonary breathing pattern and gas exchange in the South American lungfish, *Lepidosiren paradoxa*. *Molecular & Integrative Physiology*. 2017. Vol. 207. P. 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2017.03.001>.
- DeLaney R.G., Laurent P., Galante R., Pack A.I., Fishman A.P. Pulmonary mechanoreceptors in the dipnoi lungfish *Protopterus* and *Lepidosiren*. *The American journal of physiology*. 1983. Vol. 244. № 3. P. R418–R428. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1983.244.3.R418>.
- Farmer C.G. Evolution of the vertebrate cardio-pulmonary system. *Annual review of physiology*. 1999. Vol. 61. P. 573–592. <https://doi.org/10.1146/annurev.physiol.61.1.573>.
- Fishman A.P., DeLaney R.G., Laurent P. Circulatory adaptation to bimodal respiration in the dipnoan lungfish. *Journal of applied physiology*. 1985. Vol. 59. № 2. P. 285–294. <https://doi.org/10.1152/jappl.1985.59.2.285>.
- Florindo L.H., Reid S.G., Kalinin A.L., Milsom W.K., Rantin F.T. Cardiorespiratory reflexes and aquatic surface respiration in the neotropical fish tambaqui (*Colossoma macropomum*): acute responses to hypercarbia. *Journal of comparative physiology. B, Biochemical, systemic, and environmental physiology*. 2004. Vol. 174. № 4. P. 319–328. <https://doi.org/10.1007/s00360-004-0417-5>.
- Gam L.T.H., Thanh Huong D.T., Tuong D.D., Phuong N.T., Jensen F.B., Wang T., Bayley M. Effects of temperature on acid-base regulation, gill ventilation and air breathing in the clown knifefish, *Chitala ornata*. *The Journal of experimental biology*. 2020. Vol. 223. № 4. P. jeb216481. <https://doi.org/10.1242/jeb.216481>.
- Hassan M., Melad A.A.N., Zakariah M.I., Yusoff N.A.H. Histopathological alterations in gills, liver and kidney of african catfish (*Clarias gariepinus*, Burchell 1822) exposed to melaleuca cajuputi extract. *Tropical Life Sciences Research*. 2023. Vol. 34. № 2. P. 177–196. <https://doi.org/10.21315/tlsr2023.34.2.9>.
- Hecht T., Oellermann L., Verheust L. Perspectives on clarid culture in Africa. *The Biology and Culture of Catfishes*. 1996. Vol. 9. P. 197–206. <https://doi.org/10.1051/alr:1996054>.
- Hildebrand M.-C., Rebl A., Nguinkal J.A., Palm H.W., Baßmann B. Effects of Fe-DTPA on health and welfare of the african catfish *clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Water*. 2023. Vol. 15. № 2. P. 299. <https://doi.org/10.3390/w15020299>.
- Hillman S.S., Hancock T.V., Hedrick M.S. A comparative meta-analysis of maximal aerobic metabolism of vertebrates: implications for respiratory and cardiovascular limits to gas exchange. *Journal of Comparative Physiology. B, Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*. 2013. Vol. 183. № 2. P. 167–179. <https://doi.org/10.1007/s00360-012-0688-1>.
- Hogendorn H., Vismans M.M. Controlled propagation of the Africa *Clarias lazera* (C.&V.). II. Artificial reproduction. *Aquaculture*. 1980. Vol. 21. № 1. P. 39–53. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(80\)90124-6](https://doi.org/10.1016/0044-8486(80)90124-6).
- Honcharova O.V., Paraniak R.P., Kutishchev P.S., Paraniak N.M., Hradovych N.I., Matsuska O.V., Rudenko O.P., Lytvyn N.A., Gutty B.V., Maksishko L.M. 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. https://doi.org/10.15421/2021_27.
- Horalskyi L.P., Demus N.V., Sokulskyi I.M., Gutty 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>.

- Horalskyi L., Hlukhova N., Sokulskyi I. Morphological traits of rabbit lung. *Scientific Horizons*. 2020. Vol. 93. № 8. P. 180–188. <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-93-8-180-188>.
- Horalskyi L.P., Hlukhova N., Sokulskyi I., Kolesnik N. Morphological features and morphometric parameters of the lungs of sexually mature horses (*Equus Ferus Caballus* L., 1758). *Ukrainian Journal of Veterinary Sciences*. 2022a. Vol. 13. № 1. P. 25–33. [https://doi.org/10.31548/ujvs.13\(1\)](https://doi.org/10.31548/ujvs.13(1)).
- Horalskyi L.P., Ragulya M.R., Glukhova N.M., Sokulskiy I.M., Kolesnik N.L., Dunaievska O.F., Gutyj B.V., Goralska I.Y. Morphology and specifics of morphometry of lungs and myocardium of heart ventricles of cattle, sheep and horses. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2022b. Vol. 13. № 1. P. 53–59. <https://doi.org/10.15421/022207>.
- Horsfield K. Morphology of the bronchial tree in the dog. *Respiration Physiology*. 1976. Vol. 26. № 2. P. 173–182. [https://doi.org/10.1016/0034-5687\(76\)90095-5](https://doi.org/10.1016/0034-5687(76)90095-5).
- Huang C.Y., Lee W., Lin H.C. Functional differentiation in the anterior gills of the aquatic air-breathing fish, *Trichogaster leerii*. *Journal of Comparative Physiology. B, Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*. 2008. Vol. 178. № 1. P. 111–121. <https://doi.org/10.1007/s00360-007-0205-0>.
- Huisman E.A., Richter, C.J.J. Reproduction, growth, health control and aquacultural potential of the african catfish, *clarias gariepinus* (Burchell 1822). *Aquaculture*. 1987. Vol. 63. № 1–4. P. 1–14. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(87\)90057-3](https://doi.org/10.1016/0044-8486(87)90057-3).
- Katz S.L. Ventilatory control in a primitive fish: signal conditioning via non-linear O₂ affinity. *Respiration Physiology*. 1996. Vol. 103. № 2. P. 165–175. [https://doi.org/10.1016/0034-5687\(95\)00081-x](https://doi.org/10.1016/0034-5687(95)00081-x).
- Kofonov K., Potrokhov O., Hrynevych N., Zinkovskyi O., Khomiak O., Dunaievska O., Rud O. et al. Changes in the biochemical status of common carp juveniles (*Cyprinus carpio* L.) exposed to ammonium chloride and potassium phosphate. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 10. № 4. P. 137–147.
- Lawal B.M., Adewole H.A., Olaleye V.F. Digestibility study and nutrient re-evaluation in *clarias gariepinus* fed blood meal-rumen digesta blend diet. *Notulae Scientia Biologicae*. 2017. Vol. 9. № 3. P. 344–349. <https://doi.org/10.15835/nsb9310047>.
- Lütge M., Pikor N.B., Ludewig B. Differentiation and activation of fibroblastic reticular cells. *Immunological Reviews*. 2021. Vol. 302. № 1. P. 32–46. <https://doi.org/10.1111/imr.12981>.
- Maina J.N., van Gils P. Morphometric characterization of the airway and vascular systems of the lung of the domestic pig, *Sus scrofa*: comparison of the airway, arterial and venous systems. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A, Molecular & Integrative Physiology*. 2001. Vol. 130. № 4. P. 781–798. [https://doi.org/10.1016/s1095-6433\(01\)00411-1](https://doi.org/10.1016/s1095-6433(01)00411-1).
- McFawn P.K., Mitchell H.W. Bronchial compliance and wall structure during development of the immature human and pig lung. *The European Respiratory Journal*. 1997. Vol. 10. № 1. P. 27–34. <https://doi.org/10.1183/09031936.97.10010027>.
- 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.vwj47>.
- Ogunwale G.A., Saliu J.K., Osuala F.I., Odunjo F.O. Chronic levels of ibuprofen induces haematotoxic and histopathology damage in the gills, liver, and kidney of the African sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*). *Environmental Science and Pollution Research International*. 2021. Vol. 28. № 20. P. 25603–25613. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12286-7>.
- Roux E. Origine et évolution de l'appareil respiratoire aérien des Vertébrés. *Revue Des Maladies Respiratoires*. 2002. Vol. 19. № 5. Pt 1. P. 601–615.
- Rudenko O.P., Paranjak R.P., Kovalchuk N.A., Kit L.P., Hradovych N.I., Gutyj B.V., Kalyn B.M., Sukhorska O.P., Butsiak A.A., Kropyvka S.I., Petruniv V.V., Kovalska L.M. Influence of seasonal factors on carp fish immune reactivity. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 9. № 3. P. 168–173.
- Scrivani P.V., Percival A. Anatomic study of the canine bronchial tree using silicone casts, radiography, and CT. *Veterinary Radiology & Ultrasound: the official journal of the American College of Veterinary Radiology and the International Veterinary Radiology Association*. 2023. Vol. 64. № 1. P. 36–41. <https://doi.org/10.1111/vru.13141>.
- Smits A.W., Orgeig S., Daniels C.B. Surfactant composition and function in lungs of air-breathing fishes. *The American Journal of Physiology*. 1994. Vol. 266 (4 Pt 2). P. R1309–R1313. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1994.266.4.R1309>.

Juin, S.K., Sarkar, S., Maitra, S., & Nath, P. Effect of fish vitellogenin on the growth of juvenile catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Aquaculture Reports*. 2017. Vol. 7. P. 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2017.05.001>.

Tongo I., Erhunmwunse N.O. Effects of ingestion of polyethylene microplastics on survival rate, opercular respiration rate and swimming performance of African catfish (*Clarias gariepinus*). *Journal of Hazardous Materials*. 2022. Vol. 423 (Pt B). P. 127237. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127237>.

Torday J.S., Rehan V.K. Deconvoluting lung evolution using functional/comparative genomics. *American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology*. 2004. Vol. 31. № 1. P. 8–12. <https://doi.org/10.1165/rcmb.2004-0019TR>.

Ukagwu J.I., Anyanwu, D.C, Offor, J.I., Nduka, C.O. Comparative studies of nutrient composition of wild caught and pond reared african catfish, *Clarias gariepinus*. *International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences*. 2017. Vol. 5. № 7. P. 63–68.

Vanderelst D., Jonas R., Herbert P. The furrows of Rhinolophidae revisited. *Journal of the Royal Society, Interface*. 2012. Vol. 9. № 70. P. 1100–1103. <https://doi.org/10.1098/rsif.2011.0812>.

Zadorozhnii M., Bekh V. First experience of cultivating african catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) under natural temperature conditions in water bodies of Polissiya of Ukraine. *Ribogospodarska Nauka Ukrainy*. 2024. Vol. 1. № 67. P. 74–88. <https://doi.org/10.61976/fsu2024.01.074>.

References

Aleksienko, V.R. (2007). *Ikhtiologia*. [Ichthyology]. Posibnyk dlia studentiv biolohichnykh fakultetiv [A guide for students of biological faculties]. Kyiv : Ukrainskyi fitosotsiolohichnyi tsentr [in Ukrainian].

Horalskyi, L.P., Khomych, V.T. & Kononskyi, O.I. (2015). *Osnovy histolohichnoi tekhniky i morfofunktsionalni metody doslidzhennia u normi ta pry patolohii* [Basics of histological technique and morphofunctional methods of research in normal and pathology]. Zhytomyr : Polissia [in Ukrainian].

Melnyk, O.P., Kostiuk, V.V., & Shevchenko, P.H. (2008). *Anatomiiia ryb* [Fish anatomy]. Kyiv : Tsentr uchbovoi literatury [in Ukrainian].

Sherman, I.M., Pylypenko, Yu.V., & Shevchenko, P.H. (2009). *Zahalna ikhtiologia: pidruchnyk* [General ichthyology: textbook]. Kyiv : Ahrarna osvita [in Ukrainian].

Tsaryk, Y.V., Khamar, I.S., & Dykyi, I.V. (2018). *Zoolohiia khordovykh: pidruchnyk* [Chordate Zoology: Textbook] Lviv : Lvivskyi natsionadnyi universytet imeni Ivana Franka [in Ukrainian].

Abalaka S.E., Oyelowo F.O., Akande M.G., Tenuche O.Z., Sani N.A., Adeyemo B.T., Idoko I.S., Ogbe A.O., & Ejeh S.A. (2021). Ejeh. Effects of *Moringa oleifera* leaves extract, vitamin C, and taurine co-exposures on calcium and metallothionein levels, oxidative stress, and gill histopathological changes in *Clarias gariepinus* exposed to sub-lethal cadmium. *Environmental Science and Pollution Research*, 28 (37), 52258–52271. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14426-z> [in English].

Amelio, D., & Garofalo, F. (2023). Morpho-functional changes of lungfish *Protopterus dolloi* skin in the shift from freshwater to aestivating conditions. *Comparative biochemistry and physiology. Part B, Biochemistry & molecular biology*, 266, 110846. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2023.110846> [in English].

Amin-Naves, J., Giusti, H., & Glass, M.L. (2004). Effects of acute temperature changes on aerial and aquatic gas exchange, pulmonary ventilation and blood gas status in the South American lungfish, *Lepidosiren paradoxa*. *Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & integrative physiology*, 138 (2), 133–139. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2004.02.016> [in English].

Barreto, R.E., & Volpato, G.L. (2004). Caution for using ventilatory frequency as an indicator of stress in fish. *Behavioural processes*, 66 (1), 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2004.01.001> [in English].

Baßmann, B., Brenner, M., & Palm, H.W. (2017). Stress and welfare of african catfish (*clarias gariepinus* Burchell, 1822) in a coupled aquaponic system. *Water*, 9 (7), 504. <https://doi.org/10.3390/w9070504> [in English].

Britz, P.J., & Hecht, T. (1987). Temperature preferences and optimum temperature for growth of african sharptooth catfish (*clarias gariepinus*) larvae and postlarvae. *Aquaculture*, 63 (1–4), 205–214. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(87\)90072-X](https://doi.org/10.1016/0044-8486(87)90072-X) [in English].

Chervinski, J. (1984). Salinity tolerance of young catfish, *Clarias lazera* (Burchell). *Journal of Fish Biology*, 25 (2), 147–149. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1984.tb04861.x> [in English].

- Cieri, R.L. (2019). Pulmonary smooth muscle in vertebrates: a comparative review of structure and function. *Integrative and comparative biology*, 59 (1), 10–28. <https://doi.org/10.1093/icb/icz002> [in English].
- Clay, D. (1977). Preliminary observations on salinity tolerance *Clarias lazera*, Israel. *Bamidgeh*, 29 (3), 102–109 [in English].
- Da Silva, G.S.F., Ventura, D. A.D.N., Zena, L.A., Giusti, H., Glass, M.L., & Klein, W. (2017). Effects of aerial hypoxia and temperature on pulmonary breathing pattern and gas exchange in the South American lungfish, *Lepidosiren paradoxa*. *Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & integrative physiology*, 207, 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2017.03.001> [in English].
- DeLaney, R.G., Laurent, P., Galante, R., Pack, A.I., & Fishman, A.P. (1983). Pulmonary mechanoreceptors in the dipnoi lungfish *Protopterus* and *Lepidosiren*. *The American journal of physiology*, 244 (3), R418–R428. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1983.244.3.R418> [in English].
- Farmer, C.G. (1999). Evolution of the vertebrate cardio-pulmonary system. *Annual review of physiology*, 61, 573–592. <https://doi.org/10.1146/annurev.physiol.61.1.573> [in English].
- Fishman, A.P., DeLaney, R.G., & Laurent, P. (1985). Circulatory adaptation to bimodal respiration in the dipnoan lungfish. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 59 (2), 28–294. <https://doi.org/10.1152/jappl.1985.59.2.285> [in English].
- Florindo, L.H., Reid, S.G., Kalinin, A.L., Milsom, W.K., & Rantin, F.T. (2004). Cardiorespiratory reflexes and aquatic surface respiration in the neotropical fish tambaqui (*Colossoma macropomum*): acute responses to hypercarbia. *Journal of comparative physiology. B, Biochemical, systemic, and environmental physiology*, 174 (4), 319–328. <https://doi.org/10.1007/s00360-004-0417-5> [in English].
- Gam, L.T. H., Thanh Huong, D.T., Tuong, D.D., Phuong, N.T., Jensen, F.B., Wang, T., & Bayley, M. (2020). Effects of temperature on acid-base regulation, gill ventilation and air breathing in the clown knifefish, *Chitala ornata*. *The Journal of experimental biology*, 223 (Pt 4), jeb216481. <https://doi.org/10.1242/jeb.216481> [in English].
- Hassan, M., Melad, A.A.N., Zakariah, M.I., & Yusoff, N.A.H. (2023). Histopathological alterations in gills, liver and kidney of african catfish (*Clarias gariepinus*, Burchell 1822) exposed to melaleuca cajuputi extract. *Tropical Life Sciences Research*, 34 (2), 177–196. <https://doi.org/10.21315/tlsr2023.34.2.9> [in English].
- Hecht, T., Oellermann, L., & Verheust, L. (1996). Perspectives on clarid culture in Africa. *The Biology and Culture of Catfishes*, 9, 197–206. <https://doi.org/10.1051/alr:1996054> [in English].
- Hildebrand, M.-C., Rebl, A., Nguinkal, J.A., Palm, H.W., & Baßmann, B. (2023). Effects of Fe-DTPA on health and welfare of the african catfish *clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Water*, 15 (2), 299. <https://doi.org/10.3390/w15020299> [in English].
- Hillman, S.S., Hancock, T.V., & Hedrick, M.S. (2013). A comparative meta-analysis of maximal aerobic metabolism of vertebrates: implications for respiratory and cardiovascular limits to gas exchange. *Journal of Comparative Physiology. B, Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, 183 (2), 167–179. <https://doi.org/10.1007/s00360-012-0688-1> [in English].
- Hogendorn, H., & Vismans, M.M. (1980). Controlled propagation of the Africa *Clarias lazera* (C.&V.). II. Artificial reproduction. *Aquaculture*, 21 (1), 39–53. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(80\)90124-6](https://doi.org/10.1016/0044-8486(80)90124-6) [in English].
- Honcharova, O.V., Paraniak, R.P., Kutishchev, P.S., Paraniak, N.M., Hradovych, N.I., Matsuska, O.V., Rudenko, O.P., Lytvyn, N.A., Gutyj, B.V., & Maksishko, L.M. (2021). The influence of environmental factors on fish productivity in small reservoirs and transformed waters. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11 (1), 176–180. https://doi.org/10.15421/2021_27 [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].
- Horalskyi, L.P., Hlukhova, N., Sokulskyi, I.M., & Kolesnik, N.L. (2022). Morphological features and morphometric parameters of the lungs of sexually mature horses (*Equus Ferus Caballus* L., 1758). *Ukrainian Journal of Veterinary Sciences*, 13 (1), 25–33. <https://doi.org/10.31548/ujvs> [in English].
- Horalskyi, L.P., Hlukhova, N.M., & Sokulskyi, I.M. (2020). Morphological features of rabbit lungs. *Scientific horizons*, 08 (93), 180–188. <https://doi.org/10.15421/022335> [in English].

- Horalskyi, L.P., Ragulya, M.R., Glukhova, N.M., Sokulskiy, I.M., Kolesnik, N.L., Dunaievska, O.F., Gutyj, B.V., & Goralska, I.Y. (2022). Morphology and specifics of morphometry of lungs and myocardium of heart ventricles of cattle, sheep and horses. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 13 (1), 53–59. <https://doi.org/10.15421/022207> [in English].
- Horsfield, K. (1976). Morphology of the bronchial tree in the dog. *Respiration Physiology*, 26 (2), 173–182. [https://doi.org/10.1016/0034-5687\(76\)90095-5](https://doi.org/10.1016/0034-5687(76)90095-5) [in English].
- Huang, C.Y., Lee, W., & Lin, H.C. (2008). Functional differentiation in the anterior gills of the aquatic air-breathing fish, *Trichogaster leeri*. *Journal of Comparative Physiology. B, Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, 178 (1), 111–121. <https://doi.org/10.1007/s00360-007-0205-0> [in English].
- Huisman, E.A., & Richter, C.J.J. (1987). Reproduction, growth, health control and aquacultural potential of the african catfish, *clarias gariepinus* (Burchell 1822). *Aquaculture*, 63 (1–4), 1–14. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(87\)90057-3](https://doi.org/10.1016/0044-8486(87)90057-3) [in English].
- Juin, S.K., Sarkar, S., Maitra, S., & Nath, P. (2017). Effect of fish vitellogenin on the growth of juvenile catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Aquaculture Reports*, 7, 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2017.05.001> [in English].
- Katz, S.L. (1996). Ventilatory control in a primitive fish: signal conditioning via non-linear O₂ affinity. *Respiration Physiology*, 103 (2), 165–175. [https://doi.org/10.1016/0034-5687\(95\)00081-X](https://doi.org/10.1016/0034-5687(95)00081-X) [in English].
- Kofonov, K., Potrokhov, O., Hrynevych, N., Zinkovskyi, O., Khomiak, O., Dunaievska, O., Rud, O., Kutsocn, L., Chemerys, V., Gutyj, B., Fijalovych, L., Vavrysevych, J., Todoruk, V., Leskiv, K., Husar, P., & Khumynets, P. (2020). Changes in the biochemical status of common carp juveniles (*Cyprinus carpio* L.) exposed to ammonium chloride and potassium phosphate. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10 (4), 137–147. https://doi.org/10.15421/2020_181 [in English].
- Kukhtyn, M., Malimon, Z., Salata, V., Rogalskyy, 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].
- Lawal, B.M., Adewole, H.A., & Olaleye, V.F. (2017). Digestibility study and nutrient re-evaluation in *clarias gariepinus* fed blood meal-rumen digesta blend diet. *Notulae Scientia Biologicae*, 9 (3), 344–349. <https://doi.org/10.15835/nsb9310047> [in English].
- Lütge, M., Pikor, N.B., & Ludewig, B. (2021). Differentiation and activation of fibroblastic reticular cells. *Immunological Reviews*, 302 (1), 32–46. <https://doi.org/10.1111/imr.12981> [in English].
- Maina, J.N., & van Gils, P. (2001). Morphometric characterization of the airway and vascular systems of the lung of the domestic pig, *Sus scrofa*: comparison of the airway, arterial and venous systems. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A, Molecular & Integrative Physiology*, 130 (4), 781–798. [https://doi.org/10.1016/S1095-6433\(01\)00411-1](https://doi.org/10.1016/S1095-6433(01)00411-1) [in English].
- McFawn, P.K., & Mitchell, H.W. (1997). Bronchial compliance and wall structure during development of the immature human and pig lung. *The European Respiratory Journal*, 10 (1), 27–34. <https://doi.org/10.1183/09031936.97.10010027> [in English].
- Ogunwale, G.A., Saliu, J.K., Osuala, F.I., & Odunjo, F.O. (2021). Chronic levels of ibuprofen induces haematotoxic and histopathology damage in the gills, liver, and kidney of the African sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*). *Environmental Science and Pollution Research International*, 28 (20), 25603–25613. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12286-7> [in English].
- Okomoda, V.T., Wase, G., & Tiamiyu, L.O. (2017). Effects of tank background colour on growth performance and feed utilization of African Catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) fingerlings. *Ribarstvo. Croatian Journal of Fisheries*, 75 (1), 5–11. <https://doi.org/10.1515/cjf-2017-0002> [in English].
- Roux, E. (2002). Origine et évolution de l'appareil respiratoire aérien des Vertébrés. *Revue Des Maladies Respiratoires*, 19 (5 Pt 1), 601–615 [in English].
- Rudenko, O.P., Paranjak, R.P., Kovalchuk, N.A., Kit, L.P., Hradovych, N.I., Gutyj, B.V., Kalyn, B.M., Sukhorska, O.P., Butsiak, A.A., Kropyvka, S.I., Petruniv, V.V., & Kovalska, L.M. (2019). Influence of seasonal factors on carp fish immune reactivity. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9 (3), 168–173 [in English].
- Scrivani, P.V., & Percival, A. (2023). Anatomic study of the canine bronchial tree using silicone casts, radiography, and CT. *Veterinary Radiology & Ultrasound: the official journal of the American College of Veterinary Radiology and the International Veterinary Radiology Association*, 64 (1), 36–41. <https://doi.org/10.1111/vru.13141> [in English].

Smits, A.W., Orgeig, S., & Daniels, C.B. (1994). Surfactant composition and function in lungs of air-breathing fishes. *The American Journal of Physiology*, 266 (4 Pt 2), R1309–R1313. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1994.266.4.R1309> [in English].

Tongo, I., & Erhunmwunse, N.O. (2022). Effects of ingestion of polyethylene microplastics on survival rate, opercular respiration rate and swimming performance of African catfish (*Clarias gariepinus*). *Journal of Hazardous Materials*, 423 (Pt B), 127237. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127237> [in English].

Torday, J.S., & Rehan, V.K. (2004). Deconvoluting lung evolution using functional/comparative genomics. *American Journal of Respiratory Cell and Molecular Biology*, 31 (1), 8–12. <https://doi.org/10.1165/rcmb.2004-0019TR> [in English].

Ukagwu, J.I., Anyanwu, D.C., Offor, J.I., & Nduka, C.O. (2017). Comparative studies of nutrient composition of wild caught and pond reared african catfish, *Clarias gariepinus*. *International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences*, 5 (7), 63–68 [in English].

Vanderelst, D., Jonas, R., & Herbert, P. (2012). The furrows of *Rhinolophidae* revisited. *Journal of the Royal Society, Interface*, 9 (70), 1100–1103. <https://doi.org/10.1098/rsif.2011.0812> [in English].

Zadorozhnii, M., & Bekh, V. (2024). First experience of cultivating african catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) under natural temperature conditions in water bodies of Polissiya of Ukraine. *Ribogospodarska Nauka Ukrainy*, 1 (67), 74–88. <https://doi.org/10.61976/fsu2024.01.074> [in English].

Отримано: 16.04.2025

Прийнято: 15.05.2025