

Науковий вісник Львівського національного університету
ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького.
Серія: Сільськогосподарські науки

Scientific Messenger of Lviv National University
of Veterinary Medicine and Biotechnologies.
Series: Agricultural sciences

ISSN 2519-2698 print

ISSN 2707-5834 online

doi: 10.32718/nvlvet-a9724

<https://nvlvet.com.ua/index.php/agriculture>

UDC 612: [597. 551.2]

Adaptive response of koi carp (*Cyprinus carpio koi*) to low and high temperatures in experimental conditions

N. E. Grynevych✉, O. A. Khomiak, A. O. Sliusarenko, A. M. Trofymchuk, V. S. Zharchynska,
Yu. V. Osadcha, O. V. Tkachenko

Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine

Article info

Received 17.08.2022

Received in revised form

19.09.2022

Accepted 20.09.2022

*Grynevych, N. E., Khomiak, O. A., Sliusarenko, A. O., Trofymchuk, A. M., Zharchynska, V. S., Osadcha, Yu. V., & Tkachenko, O. V. (2022). Adaptive response of koi carp (*Cyprinus carpio koi*) to low and high temperatures in experimental conditions. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural sciences, 24(97), 137–145. doi: 10.32718/nvlvet-a9724*

Bila Tserkva National Agrarian University, pl. 8/1 Soborna, Bila Tserkva, 09117, Ukraine. Tel.: +38-098-959-49-97 E-mail: gnatbc@ukr.net

Abiotic factors of the water environment are essential for the life of hydrobionts. They are determined by two main criteria – the intensity of the impact factor and the tolerance of each species. The work aims to substantiate the adaptive capabilities of this summer's koi carp (*Cyprinus carpio koi*) under the influence of low and high temperatures, to compare the coefficients and breathing rhythms of the research objects. Experimental research was carried out in the conditions of the aquarium-basin complex of the Department of Ichthyology and Zoology of the Bila Tserkva National Agrarian University. Two aquariums with a volume of 800 dm³ were used for the experiment. Individuals of approximately the same size and weight (25–30 g) were divided into two groups. The first group of fish was kept at a temperature of 11–14 °C for 30 days, and the second group was kept at a temperature of 24–29 °C for 30 days. During the experiment, there were 20 specimens in each aquarium. This summer koi carp (*Cyprinus carpio koi*). Feeding was carried out with Alltech Coppens Pre Grower feed – 15EF, 2.0 mm. Composition of ingredients (%) per 1 g of feed: raw protein – 50; fats – 15; fiber – 0.80; ash – 8.6; phosphorus – 1.21. In experimental conditions, changes in consumption of koi carp (*Cyprinus carpio koi*) O₂, the release of CO₂ and NH₃ (per 1 g of live weight in 1 hour) at temperatures of 11–14 °C and 24–29 °C were studied. The consumption of O₂ and the release of NH₃ in these summers of koi carp at low and high temperatures were compared. The change in respiration (RR) and ammonia (N/O) coefficients in “warm” and “cold” fish with increasing temperature was analyzed. The breathing rhythm and oxygen per breath at different environmental temperatures were determined. Based on the obtained data, the adaptive reactions of this year's koi carp to the influence of reduced and increased temperature indicators of the aquatic environment were determined.

Key words: *Cyprinus carpio koi*, oxygen consumption, respiratory rate, respiratory rhythm, adaptive response.

Адаптивна реакція коропа кої (*Cyprinus carpio koi*) до знижених та підвищених температур в експериментальних умовах

Н. Є. Гриневич✉, О. А. Хом'як, А. О. Слюсаренко, А. М. Трофимчук, В. С. Жарчинська, Ю. В. Осадча,
О. В. Ткаченко

Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква, Україна

Абіотичні фактори водного середовища мають важливе значення для життєдіяльності гідробіонтів та визначаються двома основними критеріями – інтенсивністю фактору впливу та толерантністю кожного окремого виду. Мета роботи – обґрунтувати адаптаційні можливості цьогоріток коропа кої (*Cyprinus carpio koi*) за впливу зниженої та підвищеної температури, порівняти коефіцієнти та ритми дихання об'єктів дослідження. Експериментальні дослідження проводили в умовах акваріально-

басейнового комплексу кафедри іхтіології та зоології Білоцерківського національного аграрного університету. Для досліджу вивчали два акваріуми об'ємом по 800 дм³. Особин приблизно однакового розміру і маси (25–30 г) поділили на дві групи. Першу групу риб утримували за температури 11–14 °С впродовж 30 діб, другу групу риб утримували за температури 24–29 °С впродовж 30 діб. Під час постановки досліджу у кожному акваріумі було по 20 екз. цьоголіток коропа кої (*Cyprinus carpio* кої). Годівлю здійснювали кормом Alltech Copprens Pre Grower – 15EF, 2.0 мм. Склад інгредієнтів (%) на 1 г корму: сирий протеїн – 50; жири – 15; клітковина – 0,80; зола – 8,6; фосфор – 1,21. В експериментальних умовах досліджено зміну споживання цьоголітками коропа кої (*Cyprinus carpio* кої) O₂, виділення CO₂ та NH₃ (на 1 г живої маси за 1 годину) за температури 11–14 °С та 24–29 °С. Порівняно споживання O₂ та виділення NH₃ цьоголітками коропа кої за зниженої та підвищеної температури. Проаналізовано зміну коефіцієнтів дихання (КД) та амоніачного (N/O) у “теплих” та “холодних” риб із підвищенням температури. Визначено ритм дихання та використання кисню на одне дихання за різної температури середовища. На основі отриманих даних визначені адаптивні реакції цьоголіток коропа кої до впливу знижених та підвищених температурних показників водного середовища.

Ключові слова: *Cyprinus carpio* кої, споживання кисню, коефіцієнт дихання, ритм дихання, адаптивна реакція.

Вступ

Ступінь ризику для гідробіонтів, викликаного впливом абіотичних факторів водного середовища, визначається двома основними критеріями – інтенсивністю фактору впливу та толерантністю кожного окремого виду (Dietrich et al., 2018; Kofonov et al., 2020; Hrynevych et al., 2021; Prychepa et al., 2021).

У процесі філогенезу риб утворилися пристосування для збереження нормального фізіологічного стану організму. Для кожного виду існують свої “максимально допустимі межі температури”, “біологічний нуль”, “температурний оптимум”, “температурна резистентність” та інші константи. Температура води, зокрема, є визначальною в інтенсивності обміну речовин і природним подразником, що визначає початок нерестових міграцій риб. Інші фізичні та хімічні властивості води мають також велике значення для риб (Abram et al., 2017; Mamun et al., 2020).

Температурний режим води у життєдіяльності та відтворенні гідробіонтів займає важливе місце, він є основою життя. Вплив його через різні абіотичні чинники також не обмежується. Дана залежність проявляється між температурою води, її щільністю та в'язкістю, а також – розчинністю газів у воді. Значення температури води з точки зору екології проявляється через вплив на розподіл гідробіонтів у водоймах, а також – рівень швидкості проходження різних біолого-екологічних процесів у водоймах. Протікання процесів анаболізму, катаболізму, живлення, росту, розвитку, відтворення, міграції, акліматизації та інші фізіологічні процеси життєдіяльності у гідробіонтів більшою мірою залежать від рівня та коливань температури води в динаміці, ніж у теплокровних організмів (Nilsson & Renshaw, 2004; Chiaramonte et al., 2016).

Поряд із пристосуванням риб до певної температури води важливе значення в аквакультури має амплітуда її коливань. Визначено, що морські види риб більш стенотермні порівняно з прісноводними (Choongo et al., 2009; Grangere et al., 2012).

Від температурного режиму водного середовища залежить рівень біопродуктивності гідробіонтів, впливаючи на фізіологію організмів. З підвищенням температурного показника в організмі риб прискорюються процеси анаболізму та катаболізму, це пов'язано з впливом на ферменти температури. Вплив показника рівня температури водного середовища на швидкість обміну речовин в організмі, росту і розвитку гідробіонтів залежить від їх приналежності до

виду, стадії розвитку, а також – діапазону, в якому перебувають температурні показники (Gracheva & Bagriantsev, 2015; King et al., 2020).

На ранніх стадіях онтогенезу гідробіонтів особливо велике значення має температура водного середовища. Ембріональний період онтогенезу риб різних видів може фізіологічно протікати у певних межах температурного оптимуму. Вплив температури, наближеної до показників нижньої та верхньої межі для певного виду, при інкубації ікри може призвести до критичних змін в ембріональному періоді (аномальні процеси у личинок та їх летальності) (Metz et al., 2003; Oyugi et al., 2012; Martseniuk et al., 2017).

Науковцями (Roesner et al., 2006; Morgan & Hicks, 2013) було досліджено вплив коливань температури та вмісту розчиненого кисню на ембріональний та ранній постембріональний розвиток коропа (*Cyprinus carpio*), білого амура (*Ctenopharyngodon idella*) і білого товстолобика (*Hypophthalmichthys molitrix*). Встановлено, що нетипове підвищення температури води в період нересту та зниження вмісту розчиненого кисню негативно впливають на життєздатність ембріонів. Ці умови викликають затримку ембріональних стадій, змінюють масу і розмір личинок, впливають на активність основних ферментів, при цьому енергетичний обмін частково переходить з аеробного на анаеробний. Підвищення температури води знижує активність протеаз, які безпосередньо впливають на органогенез ембріона (Reverter et al., 2020; Mohamad et al., 2021).

Показано, що зміни абіотичних чинників викликають потужний тератогенний ефект на ембріони та личинок риб. За різких коливань температури води та вмісту розчиненого кисню спостерігається поява аномальних передличинок у різних видів риб, кількість яких може досягати 82 %. При цьому для ембріонів характерна одночасно наявність декількох аномалій, зокрема викривлення хребта та водянки внутрішніх органів. Також при перевищенні температури води та відповідно при зниженні концентрації розчиненого кисню у воді на пізніх стадіях розвитку ембріонів та у личинок риб відбувається збільшення середньої кількості мікроядер у клітинах (Potrokhov et al., 2021).

Істотні коливання абіотичних чинників водного середовища спричиняють негативну дію на риб на всіх етапах їх розвитку. Ікра та личинки через те, що їх системи захисту перебувають на стадії розвитку та не можуть покинути ділянки з несприятливими умовами, найбільш вразливі до їх дії. Нехарактерні температури, істотні зміни газового режиму викликають

порушення поділу клітин, процесів диференціації органів та тканин, різноманітні ембріопатії та змінюють перебіг метаболічних процесів в ембріонів риб (Sollid et al., 2005; Roesner et al., 2006; Tsurkan et al., 2019).

При цьому спостерігається тератогенез у риб, який є наслідком порушення у проходженні метаболічних процесів, зокрема і через зміни протеазної активності. Вивчення активності протеаз на ембріональних стадіях розвитку за дії екологічних чинників особливо важливо, оскільки саме на цих етапах відбуваються суттєві перетворення у риб (Weber et al., 2015).

Через кліматичні зміни, які спостерігаються останнім часом, в багатьох водоймах температура води збільшилась на 2,5 °C, спостерігаються її значні коливання впродовж доби (Vodianitskyi et al., 2016; 2017).

На швидкісні показники морфогенезу та розвиток водних організмів суттєво впливає динаміка температур. Дослідниками (Wen et al., 2013; Rønnestad & Volkoff, 2020) зазначається, що чим нижчий температурний показник режиму інкубації ікри, тим більший часовий інтервал необхідний для розвитку ембріонів. Крім того, температура пригнічує чи стимулює швидкість ембріонального розвитку, а також впливає і на постембріональну стадію онтогенезу риб. Інтенсивність метаболізму та інтенсивність росту риби перебувають у прямій корелятивній залежності від температури води. Необхідно враховувати, що вплив однакового температурного режиму на інтенсивність росту риб різних вікових груп різний (Sollid et al., 2005).

Температура води суттєво впливає на споживання кормів та обмінні процеси, а саме на білковий, ліпідний, вуглеводний обмін у риб. Підвищена температура водного середовища інтенсифікує живлення та травлення. Зі зміною температурного показника спостерігається дисбаланс частин засвоєного білка. Активізація ліпідного біосинтезу за її підвищення у більшості випадків призводить до накопичення жиру в організмі риб у ранньому віці (Zutshi et al., 2020).

Температурний режим суттєво впливає на репродуктивні процеси та інтенсивність статевого дозрівання у всіх видів риб. Короп (*Cyprinus carpio*), буффало (*Ictiobus sp.*), білий товстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix*), строкатий товстолобик (*Hypophthalmichthys nobilis*), білий амур (*Stenopharyngodon idella*) та інші види в південних еколого-географічних зонах, залежно від виду, можуть досягати статевої зрілості на 2–4 роки раніше порівняно з рибницькими господарствами у північних регіонах. Але раннє статеве дозрівання спричиняє затримку росту риби. З підвищенням температури водного середовища прискорюється розвиток організмів і загалом скорочується період всіх життєвих процесів (скорочується тривалість життя) (Vodianitskiy et al., 2017; Rønnestad & Volkoff, 2020).

Патологічні процеси організму риб також безпосередньо залежать від температурного режиму водного середовища (при високій та низькій температурі води уражається зябровий апарат, суттєво змінюється прояв та перебіг таких небезпечних хвороб, як запалення

плавального міхура, аеромоноз та ін.) (Rud et al., 2020).

На підставі оцінки морфологічної, цитологічної, фізіологічної та біохімічної реакції ембріонів та личинок корокових риб науковцями (Wen et al., 2013; Zeng et al., 2014; Vodianitskyi et al., 2016; 2017; 2020; 2021) обґрунтовані безпечні рівні змін екологічних чинників у природних водоймах в умовах підвищення температури води на нерестовищах. Підвищення температури води призводить до зменшення маси та довжини личинок риб, які зазнавали дії цього абіотичного чинника впродовж всього ембріонального розвитку. Це свідчить про надмірне використання поживних речовин під час ембріонального розвитку за підвищення температури води.

Вищі показники температури знижують рівень розчиненого у воді кисню та збільшують швидкість розкладання органічних речовин. Концентрація поживних речовин підвищує рівень евтрофікації та інтенсивність “цвітіння” води (Zutshi et al., 2020; Vodianitskyi et al., 2020).

Зниження швидкості річкового потоку (наприклад, у періоди невеликої кількості опадів) може знизити якість води за рахунок підвищеного вмісту забруднюючих речовин. Токсичність таких речовин (наприклад, фосфорорганічних сполук та важких металів) за високих температур зазвичай зростає (Vodianitskyi et al., 2020).

Мета дослідження

Обґрунтувати адаптаційні можливості цьоголіток коропа кої (*Cyprinus carpio koi*) за впливу зниженої та підвищеної температури, порівняти коефіцієнти та ритми дихання об'єктів дослідження.

Матеріал і методи досліджень

Експериментальні дослідження проводили в умовах акваріально-басейнового комплексу кафедри іхтіології та зоології Білоцерківського національного аграрного університету.

Об'єкт дослідження – цьоголітки коропа кої (*Cyprinus carpio koi*).

Для дослідів використовували два акваріуми об'ємом по 800 дм³. Особин приблизно однакового розміру і маси (25–30 г) поділили на дві групи. Першу групу риб утримували за температури 11–14 °C впродовж 30 діб, другу групу риб утримували за температури 24–29 °C впродовж 30 діб. З метою конкретизації трактування результатів дослідження, риб умовно назвали “холодними” і “теплыми”.

Акваріуми облаштовували технічним обладнанням: насос-помпа SunSun JP-023 (1000 дм³/год) – 2 шт.; фільтруючий елемент-губка Resun (10x20) – 2 шт., терморегулятор Atman AT-300, ViaAqua 300W; акваріумний термометр Hailea HL-02F – 2 шт.

Під час постановки дослідів у кожному акваріумі було по 20 екз. цьоголіток коропа кої (*Cyprinus carpio koi*).

Годівлю здійснювали кормом Alltech Coppens Pre Grower – 15EF, 2.0 мм. Склад інгредієнтів (%) на 1 г

корму: сирий протеїн – 50; жири – 15; клітковина – 0,80; зола – 8,6; фосфор – 1,21.

Для характеристики гідрохімічного режиму під час дослідів у акваріумах регулярно відбирали проби води (1 раз на тиждень) і досліджували за відповідною методикою. Контроль проводили за такими основними показниками: температура води; вміст розчиненого кисню, водневий показник середовища; загальна жорсткість; вміст нітратів і нітритів.

Результати та їх обговорення

У ході експерименту досліджували спочатку адаптацію цьоголіток коропа кої до впливу зниженої температури на основі значень споживання O_2 , виділення CO_2 та NH_3

Адаптацію цьоголіток коропа кої до впливу зниженої температури показано на [рис. 1](#).

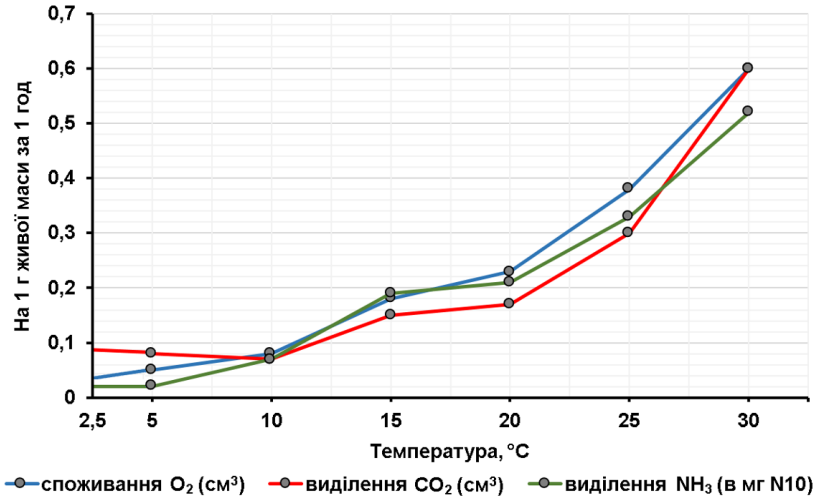


Рис. 1. Зміна споживання O_2 , виділення CO_2 та NH_3 (на 1 г живої маси за 1 годину) за температури 11–14 °C

Температура 11–14 °C наближена до нижньої межі температури, що переноситься цьоголітками коропа кої. За температури 11–14 °C риби можуть довго існувати, але перебування їх у цих умовах має ненормальний характер: риби погано споживають корм, а при падінні температури нижче за 10 °C майже зовсім не харчуються.

На [рис. 1](#) видно ущільнення кривих виділення CO_2 , та NH_3 у температурній зоні адаптації. Крива

споживання кисню, на нашу думку, слугує показником неповної адаптації цьоголіток коропа кої до цієї температури.

На відміну від попередньої групи, другу групу цьоголіток коропа кої утримували за підвищеної температури (24–29 °C). При такій температурі риби добре споживали корм, спостерігалася активність.

Адаптацію цьоголіток коропа кої до впливу зниженої температури показано на [рис. 2](#).

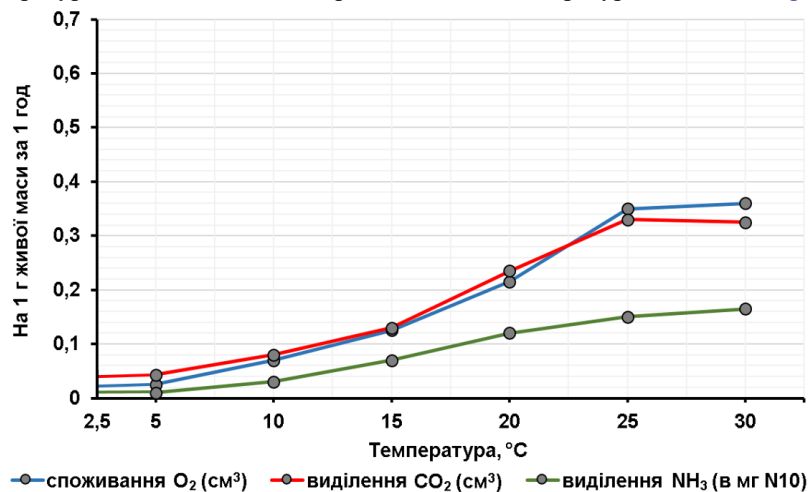


Рис. 2. Зміна споживання O_2 , виділення CO_2 та NH_3 (на 1 г живої маси за 1 годину) за температури 24–29 °C

Ущільнення кривих збігається із зоною температури, в якій перебували риби (24–29 °C). У температурній зоні адаптації обмін речовин у коропа кої при змінах температури середовища зберігається на одному рівні. У межах цієї зони обмін речовин залежить від коливань температури тіла.

Якщо визначати споживання кисню рибами за середньої температури, то “холодні” риби (адаптовані до менш високої температури) споживають за рівних умов більше кисню, ніж “теплі” риби (адаптовані до вищої температури).

Порівняння споживання O_2 та виділення NH_3 коропами кої, адаптованими до зниженої та підвищеної температур, показано на **рис. 3**.

Як видно на **рис. 3**, під час досліду за діапазону температур (2,5–30 °С) споживання кисню і виділення аміаку у риб, адаптованих до температури 11–14 °С, вище, ніж у риб, адаптованих до температури 24–29 °С. У риб першої групи зміна температури викликала пригнічений стан, у другої групи – стан збудження. Різниця викликана насамперед реакцією нервової системи на зміни температури та мала тимчасовий характер.

Зміна температури тіла цього літока коропа кої викликала у клітинах і тканинах тимчасові, короткі

(впродовж кількох днів) реакції роздратування, збудження або пригнічення. Ця реакція багато в чому нагадує реакцію організму на вплив токсичних речовин. Азотистий обмін в риб протікає у температурній зоні адаптації стійкіше, ніж споживання кисню. Особлива роль білків в енергетиці організму проявляється також і в адаптаційному процесі.

Поряд з коефіцієнтом дихання (КД) було обчислено аміачний коефіцієнт (N/O), тобто відношення азоту виділеного аміаку до спожитого кисню. Щоб зручніше було порівнювати ці два коефіцієнти, на **рис. 4** аміачний коефіцієнт ми множили на 10.

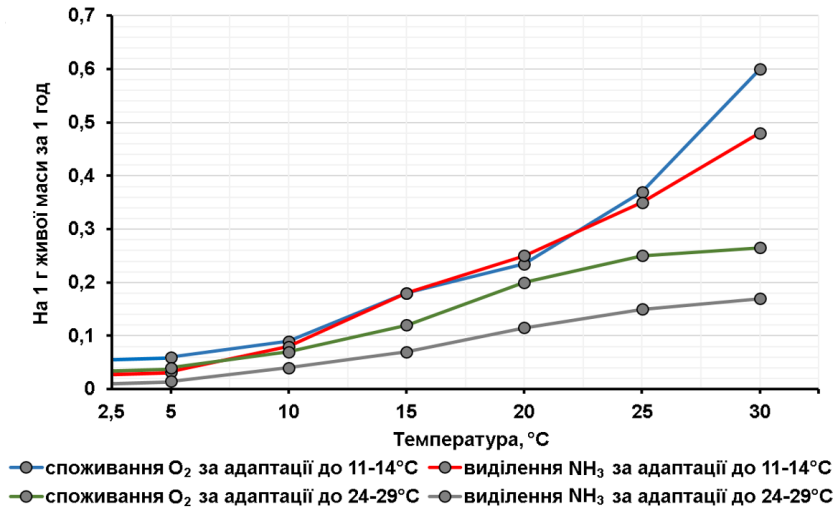


Рис. 3. Порівняння споживання O_2 та виділення NH_3 коропами кої за зниженої та підвищеної температури

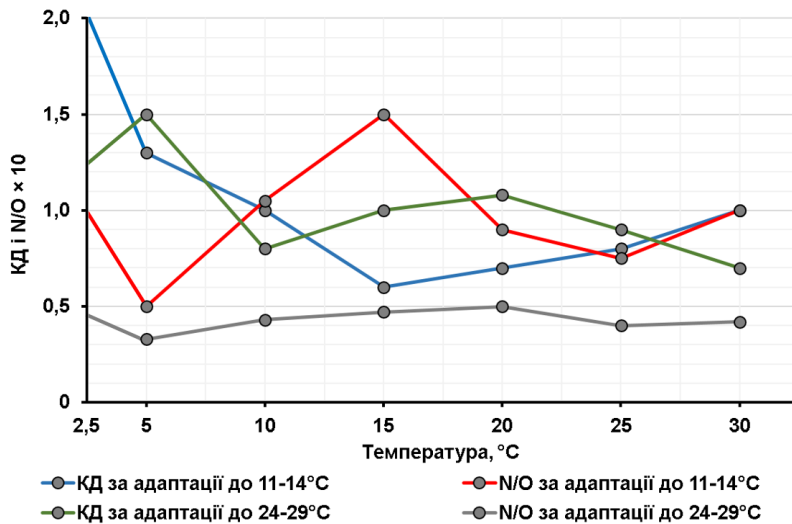


Рис. 4. Зміна коефіцієнтів дихання (КД) та амоніачного (N/O) у «теплих» та «холодних» риб із підвищенням температури

У «холодних» риб аміачний коефіцієнт (N/O) значно більший, ніж у «теплих». Але у «теплих» риб коефіцієнт дихання (КД) дещо вищий у діапазоні температур від 11 до 20 °С. Взагалі у «теплих» риб досліджувані коефіцієнти більш сталі, ніж у «холодних». У риб, адаптованих до більш зниженої температури, обидва ці коефіцієнти мало стійкі, причому в температурній зоні адаптації у «холодних» риб коефіцієнт

дихання має найменшу величину (0,47) і зростає при зміщенні температур в обидва боки цієї температурної зони. Аміачний коефіцієнт (N/O) у діапазоні температур від 6 до 23 °С виявляє залежність, зворотну до коефіцієнту дихання (КД). У «теплих» риб коефіцієнт дихання у температурній зоні адаптації дорівнює приблизно 0,90 і також зростає (хоча слабо) при відхиленні температур цієї температурної зони. Ця

група риб адаптувалася до такої температури, яка була майже критичною для їхнього тривалого існування. Тому, хоча деякий час риби перебували за такої температури, але повної адаптації при цьому не відбулося. Якщо в організмі відбувається лише “згоряння” тієї чи іншої речовини їжі, то коефіцієнт дихання (КД) коливається не більше ніж 0,7–1,0. Але якщо ці харчові речовини, вступаючи в складний ланцюг процесів обміну, отримують інший біологічний напрямок під впливом зміни температури тіла риби, то весь обмін набуває іншої якісної характеристики, а коефіцієнт дихання і аміачний коефіцієнт чисельно відхилятимуться від величин, що характеризують простий енергетичний обмін.

На підставі встановлених фізіологічними дослідженнями фактів можна зазначити, що коефіцієнт дихання (КД) стає більшим ніж 1,0 у випадках: переважання анаеробної фази дихання над аеробною (наприклад, при нестачі кисню); утворення жиру із вуглеводу.

Навпаки – коефіцієнт дихання стає меншим ніж 0,7, якщо: з жиру та білка утворюється вуглевод; утворюються проміжні продукти неповного згоряння.

З рис. 4 видно, що з відхиленням температури від температурної зони адаптації у коропа кої спостерігається зміна коефіцієнтів обміну – КД і N/O. При зниженні температури ці зміни суттєвіші, ніж при підвищенні.

Зміни величини КД і N/O вказують насамперед на те, що в цьому випадку відбувається як кількісна зміна обміну, так і якісна. Остання є найбільш суттєвою за зниженої температури.

За результатами, описаними вище, нами також простежена зміна ритму дихання (P) та величина споживання кисню за одне дихання.

Ритм дихання має важливе значення для надходження в організм риби кисню у необхідній кількості.

Результати зміни ритму дихання (P) та споживання кисню за одне дихання, перераховані на 1 г живої маси, показано на рис. 5. Відносно споживання кисню за одне дихання позначено ВК/P.

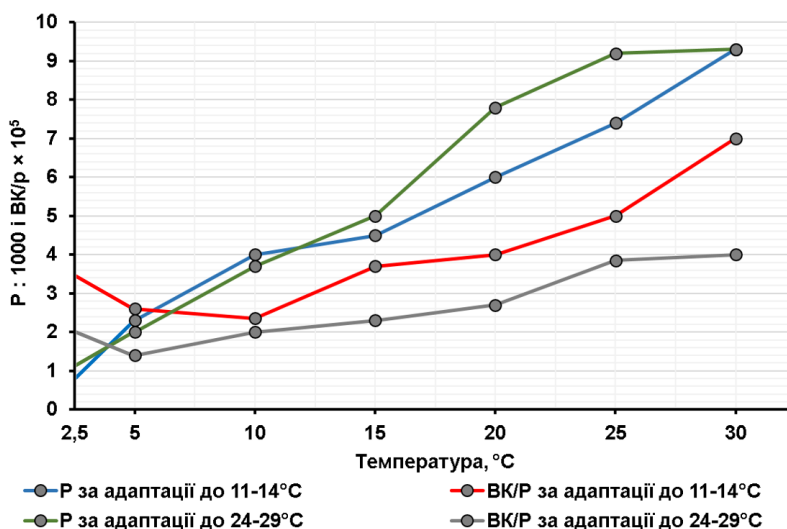


Рис. 5. Ритм дихання (P) та використання кисню на одне дихання (VK/P) у “теплих” та “холодних” риб за різної температури середовища

Кожна крива ритму дихання складається із двох майже правильних S-подібних кривих, що переходять одна в одну в ділянці температур зони адаптації. Більш загальним типом кривих, що виражають залежність обміну (або складових його ланок) від змін температури середовища, є саме такий тип кривої (двох-S-подібний), а не експоненційний, як зазвичай вважається.

Порівняння споживання кисню “теплыми” та “холодними” рибами (рис. 2, 3) показало, що “холодні” риби споживають кисню більше, ніж “теплі”. Порівняння ж ритму дихання цих груп рибок (рис. 5) виявляє зворотну залежність: у “теплих” риб ритм дихання частіший, ніж у “холодних” і лише за температури нижчої ніж 10 °C майже однаковий в обох груп.

Величини ВК/P за різних температур (2,5–30 °C) у “холодних” риб більші, ніж у “теплих”.

Від яких би чинників не залежала величина ВК/P, за інших рівних умов у більш вигідному становищі перебуває той організм, який здатний підвищити ОК/P і тим самим краще забезпечити киснем свої тканини. З іншого боку, величина ОК/P вказує на пристосувальні можливості риби постачати себе киснем у потрібній кількості при зменшеному ритмі дихання, за зниженої температури.

Весь кисень, що споживається рибою, проходить із навколишньої води до тканин через зябра (спеціальний орган дихання) та решту поверхні тіла (насамперед шкіру). Отже, спожитий кисень складається з кисню, поглиненого через зябра та через шкіру.

Споживання кисню через зябра залежить від: величини поверхні зябер та їх проникності для O₂; омивання зябрових пелюсток (швидкість та глибина дихання); швидкості руху крові; поглинальної здатності крові (кількість та якість гемоглобіну, фізико-хімічні

властивості крові, пов'язані зі здатністю тканин поглинати кисень).

Споживання кисню через шкіру залежить від: відносної величини поверхні тіла; її проникності для O_2 (характеру покривів, кількості та якості слизу); ступеня постачання кровоносних судин і капілярів периферії тіла, глибини залягання кровоносних капілярів; швидкості руху крові; поглинальної здатності крові.

З наведеного рисунку видно, що “холодні” риби мають менший ритм дихання, а кисню поглинають більше, ніж “теплі” риби; величина ВК/Р у них більша. Іншими словами, дихальна функція у “холодних” риб здійснювалася більш ефективно. Утримання риб за зниженої температури призводить до того, що серцево-судинна система звикає, пристосовується до цієї температури і починає функціонувати нормально (або майже нормально). Якщо потім температура середовища підвищується, вона діє збудливо на серцево-судинну систему. Серце б'ється частіше, кровоносні судини та капіляри розширені (вся система працює сильніше), унаслідок чого поглинання кисню зростає. У “тепліх” риб спостерігається зворотна картина: при зниженні температури серце сповільнює ритм, кровоносні судини і капіляри звужуються і в результаті здатність поглинати кисень зменшується. При такому тлумаченні вважається, що властивості дихальної функції крові залишаються практично незмінними, оскільки “теплі” і “холодні” рибки перебувають за однакової температури, тому реакція між гемоглобіном і киснем має протікати однаково.

Висновки

Отже, “холодні” риби (адаптовані до нижчої температури) споживають за рівних умов більше кисню, ніж “теплі” риби (адаптовані до вищої температури). За діапазону температур (2,5–30 °C) споживання кисню і виділення аміаку у риб, адаптованих до температури 11–14 °C, вище, ніж у риб, адаптованих до температури 24–29 °C. У “холодних” риб аміачний коефіцієнт (N/O) значно більший, ніж у “тепліх”. Коефіцієнт дихання (КД) “тепліх” риб дещо вищий у діапазоні температур від 11 до 20 °C. З відхиленням температури від температурної зони адаптації у коропа кої спостерігається зміна коефіцієнтів обміну – КД і N/O. При зниженні температури ці зміни суттєвіші, ніж при підвищенні. У “тепліх” риб ритм дихання частіший, ніж у “холодних” і лише за температури нижче 10 °C майже однаковий в обох груп. Величини ВК/Р за різних температур (2,5–30 °C) у “холодних” риб більші, ніж у “тепліх”.

Відомості про конфлікт інтересів. Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів щодо їхнього викладу та результатів досліджень.

References

- Abram, Q. H., Dixon, B., & Katzenback, B. A. (2017). Impacts of low temperature on the teleost immune system. *Biology*, 6(4), 39. DOI: 10.3390/biology6040039.
- Chiaromonte, L., Munson, D., & Trushenski, J. (2016). Climate Change and Considerations for Fish Health and Fish Health Professionals. *Fisheries*, 41(7), 396–399. DOI: 10.1080/03632415.2016.1182508.
- Choongo, K., Hang'ombe, B., Samui, K.L., Syachaba, M., Phiri, H., Maguswi, C., Muyangaali, K., Bwalya, G., & Mataa, L. (2009). Environmental and climatic factors associated with epizootic ulcerative syndrome (EUS) in fish from the Zambezi floodplains, Zambia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 83(4), 474–478. DOI: 10.1007/s00128-009-9799-0.
- Dietrich, M. A., Hliwa, P., Adamek, M., Steinhagen, D., Karol, H., & Ciereszko, A. (2018). Acclimation to cold and warm temperatures is associated with differential expression of male carp blood proteins involved in acute phase and stress responses, and lipid metabolism. *Fish & Shellfish Immunology*, 76, 305–315. DOI: 10.1016/j.fsi.2018.03.018.
- Gracheva, E. O., & Bagriantsev, S. N. (2015). Evolutionary adaptation to thermosensation. *Current Opinion in Neurobiology*, 34, 67–73. DOI: 10.1016/j.conb.2015.01.021.
- Grangere, K., Lefebvre, S., & Blin, J.-L. (2012). Spatial and temporal dynamics of biotic and abiotic features of temperate coastal ecosystems as revealed by a combination of ecological indicators. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 108, 109–118. DOI: 10.1016/j.ecss.2012.02.020.
- Hrynevych, N. Ie., Vodianskyi, O. M., Khomiak, O. A., Svitelskyi, M. M., & Zharchynska, V. S. (2021). Monitorynh vmistu hlikohenu khyzhykh vydiv ryb na yuvenalnii stadii rozvytku za zminy temperaturnoho ta kysnevoho rezhymu vodoimy. *Vodni bioresursy ta akvakultura: naukovyi zhurnal*, 1, 49–61. DOI: 10.32851/wba.2021.1.5 (in Ukrainian).
- Hrynevych, N., Prychepa, M., Kovalenko, Yu., Vodianskyi, O., Svitelskyi, M., Fotin, O., Zahorui, L., Zharchynska, V., Gutyj, B., Kulish, S., Honcharenko, V., Velesyk, T., Sachuk, R., Stravsky, Ya., & Boltyk, N. (2021). The role of macrophytes in waterfowl reproduction. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11(2), 320–326. DOI: 10.15421/2021_117.
- King, T. W., Vynne, C., Miller, D., & Fisher, S. (2020). The influence of spatial and temporal scale on the relative importance of biotic vs. abiotic factors for species distributions. *Diversity and Distributions*, 27(2), 327–343. DOI: 10.1111/ddi.13182.
- Kofonov, K., Potrokhov, O., Hrynevych, N., Zinkovskiy, O., Khomiak, O., Dunaievska, O., Rud, O., Kutsocon, L., Chemerys, V., Gutyj, B., Fijalovych, L., Vavrysevych, J., Todoriuk, 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. DOI: 10.15421/2020_181.
- Mamun, A. A., Rahman, M. L., Islam, S. M., & Jannat, R. (2020). High temperature acclimation alters upper thermal limits and growth performance of Indian major carp, rohu, *Labeo rohita* (Hamilton, 1822). *Journal of Thermal Biology*, 93, 102–119. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2020.102738.

- Martseniuk, V. M., Potrokhov, O. S., & Zinkovskiy, O. G. (2017). Physiological-biochemical peculiarities of adaptation of perch and common carp to elevated water temperature. *Hydrobiological Journal*, 53(6), 60–67. DOI: 10.1615/HydrobJ.v53.i6.60.
- Metz, J. R., Bonga, W., & Flik, G. (2003). Regulation of branchial Na⁺/K⁺-ATPase in common carp *Cyprinus carpio* L. acclimated to different temperatures. *Journal of Experimental Biology*, 206(13), 2273–2280. DOI: 10.1242/jeb.00421.
- Mohamad, S., Liew, H. J., Zainuddin, R. A., & Rahmah, S. (2021). High environmental temperature and low pH stress alter the gill phenotypic plasticity of Hoven's carp *Leptobarbus hoevenii*. *Journal of Fish Biology*, 99(1), 206–218. DOI: 10.1111/jfb.14712.
- Morgan, D. K. J., & Hicks, B. J. (2013). A metabolic theory of ecology applied to temperature and mass dependence of N and P excretion by common carp. *Hydrobiologia*, 705, 135–145. DOI: 10.1007/s10750-012-1388-2.
- Nilsson, G. E., & Renshaw, G. M. (2004). Hypoxic survival strategies in two fishes: extreme anoxia tolerance in the North European crucian carp and natural hypoxic pre-conditioning in a coral-reef shark. *Journal of Experimental Biology*, 207(18), 3131–3139. DOI: 10.1242/jeb.00979.
- Oyugi, D., Cucherousset, J., Baker, D. J., & Britton, R. (2012). Temperature effects on the growth and foraging of juvenile common carp *Cyprinus carpio*. *Journal of Thermal Biology*, 37(1), 89–94. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2011.11.005.
- Potrokhov, O. S., Zinkovskiy, O. H., & Vodianskiy, O. M. (2021). Proteazna aktivnist v embrionakh koropovykh vydiv ryb na rannikh stadiiakh ontogenezu za riznoho temperaturnoho rezhymu vodoimy. Publishing House "Baltija Publishing", 100–104. DOI: 10.30525/978-9934-26-047-6-25 (in Ukrainian).
- Prychepa, M., Hrynevych, N., Kovalenko, Yu., Vodianskiy, O., Svitelskiy, M., Khomiak, O., Prysiazhniuk, N., Ishchuk, O., Sliusarenko, A., Kunovskii, J., Mihal'skiy, O., Heiko, L., Trofymchuk, A., Gutyj, B., & Levkivska, N. (2021). Diversity of aquatic animals in water bodies Opechen' (Dnipro floodplain, Ukraine). *Ukrainian Journal of Ecology*, 11(3), 285–291. DOI: 10.15421/2021_173.
- Reverter, M., Sarter, S., Caruso, D., et al. (2020). Aquaculture at the crossroads of global warming and antimicrobial resistance. *Nat Commun*, 11, 1870. DOI: 10.1038/s41467-020-15735-6.
- Roesner, A., Hankeln, T., & Burmester, T. (2006). Hypoxia induces a complex response of globin expression in zebrafish (*Danio rerio*). *The Journal of Experimental Biology*. Published by The Company of Biologists, 209, 2129–2137. DOI: 10.1242/jeb.02243.
- Rønnestad, I., & Volkoff, H. (2020). Effects of temperature on feeding and digestive processes in fish. *Temperature*, 7(4), 307–320. DOI: 10.1080/23328940.2020.1765950.
- Rud, Yu. P., Zaloilo, O. V., Buchatskiy, L. P., & Hrytsyniak, I. I. (2020). Vplyv zminy klimatu na infektsiini zakhvoriuvannia ryb (ohliad). *Rybohospodarska nauka*, 4(54), 78–104. DOI: 10.15407/fsu2020.04.078 (in Ukrainian).
- Sollid, J., Weber, R. E., & Nilsson, G. E. (2005). Temperature alters the respiratory surface area of crucian carp *Carassius carassius* and goldfish *Carassius auratus*. *Journal Experimental Biology*, 208(6), 1109–1116. DOI: 10.1242/jeb.01505.
- Tsurkan, L. V., Volichenko, Yu. M., Kutishchev, P. S., & Sherman, I. M. (2019). Osoblyvosti zymivli tsoholitok koropa ta roslynoidnykh ryb v umovakh Pivdnia Ukrainy. *Tavriiskiyi naukovyi visnyk. Silskohospodarski nauky*, 108, 224–230. DOI: 10.32851/2226-0099.2019.108.30 (in Ukrainian).
- Vodianskiy, O. M., Potrokhov, O. S., & Zinkovskiy, O. G. (2017). Embryonic and early postembryonic development of carp and activity of enzymes of the energy and plastic metabolism under impact of water temperature fluctuations. *Hydrobiological Journal*, 53(1), 78–86. DOI: 10.1615/HydrobJ.v53.i1.80.
- Vodianskiy, O. M., Potrokhov, O. S., & Zinkovskiy, O. G. (2017). Embryonic and Early Postembryonic Development of Carp and Activity of Enzymes of the Energy and Plastic Metabolism under Impact of Water Temperature Fluctuations. *Hydrobiological Journal*, 53(1), 78–86. DOI: 10.1615/HydrobJ.v53.i1.80.
- Vodianskiy, O. M., Hrynevych, N. Ie., Khomiak, O. A., & Prysiazhniuk, N. M. (2020). Vplyv fizychnykh pokaznykiv vody na kilkist mikroioder u klitynakh embrioniv khyzhykh vydiv ryb. *Tekhnolohiia vyrobnytstva i pererobky produktii tvarynnytstva: zbirnyk naukovykh prats. Bila Tserkva*, 1(156), 142–149. DOI: 10.33245/2310-9270-2020-157-1-142-149 (in Ukrainian).
- Vodianskiy, O. M., Potrokhov, O. S., Zinkovskiy, O. G., Khudiyash, Y. M., & Prychepa, M. V. (2021). Effects of increasing water temperature and decreasing water oxygen concentration on enzyme activity in developing carp embryos (*Cyprinus carpio*). *Fisheries & Aquatic Life*, 29(1), 35–44. DOI: 10.2478/aopf-2021-0004.
- Vodianskiy, O. M., Primachov, M. T., & Hrynevych, N. Ie. (2016). Vplyv temperaturnoho ta kysnevoho rezhymiv vodnoho seredovyshcha na vyzhyvanist i rozvytok koropovykh ryb. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Serii: Biolohiia, biotekhnolohiia, ekolohiia*, 234, 70–78 (in Ukrainian).
- Vodianskiy, O., Potrokhov, O., Hrynevych, N., Khomiak, O., Khudiyash, Y., Prysiazhniuk, N., Rud, O., Sliusarenko, A., Zagoruy, L., Gutyj, B., Dushka, V., Maxym, V., Dadak, O., & Liublin, V. (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. DOI: 10.15421/2020_83.
- Vodianskiy, O., Potrokhov, O., Hrynevych, N., Khomiak, O., Khudiyash, Y., Prysiazhniuk, N., Rud, O., Sliusarenko, A., Zagoruy, L., Gutyj, B., Dushka, V., Maxym, V., Dadak, O., & Liublin, V. (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. DOI: 10.15421/2020_83.
- Weber, M. J., Brown, M. L., Wahl, D. H., & Shoup, D. E. (2015). Metabolic theory explains latitudinal variation in common carp populations and predicts responses to

- climate change. *Ecosphere*, 6(4), 1–16. DOI: 10.1890/ES14-00435.1 (in Ukrainian).
- Wen, W., Huang, X., Chen, Q., Feng, L., & Wei, L. (2013). Temperature effects on early development and biochemical dynamics of a marine fish, *Inimicus japonicus*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 442, 22–29. DOI: 10.1016/j.jembe.2013.01.025.
- Zeng, P., Chen, T., & Shen, J. (2014). Effects of cold acclimation and storage temperature on crucian carp (*Carassius auratus gibelio*) in a waterless preservation. *Fish Physiology and Biochemistry*, 40, 973–982. DOI: 10.1007/s10695-013-9898-z.
- Zutshi, B., Singh, A., & Dasgupta, P. (2020). Impact of transient temperature disturbance on the oxidative stress indices and glucose levels of juvenile Koi carps (*Cyprinus carpio var koi*). *The Journal of Basic and Applied Zoology*, 81, 4. DOI: 10.1186/s41936-020-0142-y.