

counteract the stress factor. Also, the increased activity of the enzyme in the gills may result from activation of compensatory mechanisms aimed at using more energy for normal life. SDG indicators of activity in the tissues studied species mostly correlated and indicate the onset of hypoxia in the muscles of fish from increasing water temperatures. The only difference can be noted in the gills perch, namely the initial increase in activity SDG already at 26 ° C. LDH activity in the muscles of perch and carp has turned nature and perch indicates significant inhibition of glycolytic pathways. This activity is one of the key glycolytic enzymes in carp tissues may indicate a bit slow, but more or less stable passage anaerobic processes. In both species glycogen content in the liver with changing temperature conditions increases, which may indicate a breach of its utilization. These changes can be caused by amplification glikogeneza carp in the liver due to an increase in temperature. It is also possible that high temperatures can inhibit the enzyme system in the liver glycogenolysis perch, which is reflected in his inability to carry out the disposal of the aforementioned energy substrate.

The resulting changes in biochemical parameters of carp and perch indicate interspecific differences in these types of reactions to unusual changes in temperature conditions. Later in natural waters may determine the whereabouts of these fish, and artificial - they fish productivity.

Keywords: perch, carp, temperature, energy metabolism, enzymes, glycogen

Рекомендує до друку
В. В. Грубінко

Надійшла 08.02.2017

УДК 612: [597. 551.2: 591.044]:577.17

О. С. ПОТРОХОВ, О. Г. ЗІНЬКОВСЬКИЙ, Ю. М. ХУДІЯШ, М. В. ПРИЧЕПА

Інститут гідробіології НАН України
пр-т Героїв Сталінграду, 12, Київ, 04210

ОСОБЛИВОСТІ ПРИСТОСУВАННЯ РИБ ДО ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРИ І МІНЕРАЛІЗАЦІЇ ВОДИ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ВМІСТУ ТРИЙОДТИРОНІНУ, КОРТИЗОЛУ І ГЛЮКОЗИ У ПЛАЗМІ КРОВІ

Розглянуто вплив температури та мінералізації води на вміст трийодтироніну, кортизолу та глюкози у плазмі крові плітки та коропа. Встановлено, що після 14-ти добової аклімації до підвищення температури води до 32°C не спостерігається істотних змін вмісту кортизолу у плазмі крові риб, але вміст трийодтироніну суттєво знижується. Показано, що ці зміни у плітки проходили інтенсивніше, ніж у коропа. Відмічено, що у плітки зростання вмісту глюкози спостерігається за нижчої температури (25–30°C), ніж у коропа. Зміна мінералізації води корегує відповідь риб на дію температури води. Плітка є більш чутливою до нетипово високої температури води при більшій її мінералізації, ніж коропа.

Ключові слова: короп, плітка, трийодтиронін, кортизол, глюкоза, мінералізація, температура, метаболізм

Останнім часом у наукових дослідженнях приділяється значна увага змінам клімату. Зацікавленість цією проблемою пояснюється появою фактів порушення стану довкілля, викликаного підвищенням середньостатистичної температури повітря і води [2, 3, 14]. Одним із пріоритетних напрямків цих досліджень є визначення наслідків потепління на водні екосистеми.

У більшості випадків порушення нормальної життєдіяльності гідробіонтів пов'язане зі зміною температурного балансу водойм [10]. Відомо, що значна частина водних організмів, у

тому числі й риби, є ектотермними тваринами. Таким чином, швидкість проходження метаболічних процесів та нормальне існування їх безпосередньо залежить від температури води [13]. Слід також зауважити, що порушення температурного режиму супроводжується змінами мінералізації та йонного складу води [5], що відіграють також важливу роль у житті водних тварин.

Поряд з цим одним із найбільш перспективних напрямків біомоніторингу водойм є біохімічний [6, 10]. Враховуючи те, що він є інформативним критерієм оцінки фізіологічного стану риб, його можна використовувати як інтегральний показник [6]. Це дозволяє на основі зміни фізіолого-біохімічних показників у риб оцінити та спрогнозувати наслідки кліматичних змін у водних екосистемах. Для відображення цих процесів доцільно використовувати найбільш поширені і відмінні за рівнем метаболізму представників іхтіофауни [7, 8].

Враховуючи вище зазначене, нами була поставлена мета – з'ясувати певні особливості адаптивних реакцій риб за дії різної температури та мінералізації води.

Для досягнення мети обрані за основу біохімічні дослідження вмісту гормонів і глюкози в плазмі крові риб. Була вибрані окремі гормони (трийодтиронін та кортизол), оскільки, вони є складовою нейрогуморального механізму регулювання енергетичного обміну в організмі риб, а також глюкозу, яка є енергетичним субстратом для процесів метаболізму.

Матеріал і методи досліджень

Дослідження проводилися на Білоцерківській експериментальній гідробіологічній станції НАН України. Об'єктами дослідження були коропа *Cyprinus carpio* (L.) та плітка *Rutilus rutilus* (L.).

Здійснена низка 14 добових модельних експериментів по визначенню впливу коливань температури води впродовж доби за різної її мінералізації на біохімічний стан дворічок коропа та плітки. Дослідження проводилися в 80-літрових акваріумах, коли вдень температуру підвищували до 30, 32°C, вночі вона знижувалася. У контролі нагрівання води не застосовували. Температура води у контролі була у межах 21–23°C, в досліді – 25–30°C та 27–32°C. Різну ступінь мінералізації отримували за рахунок розведення води з р. Рось, яка становила 520 мг/дм³, дистильованою водою до показників 260 та 350 мг/дм³.

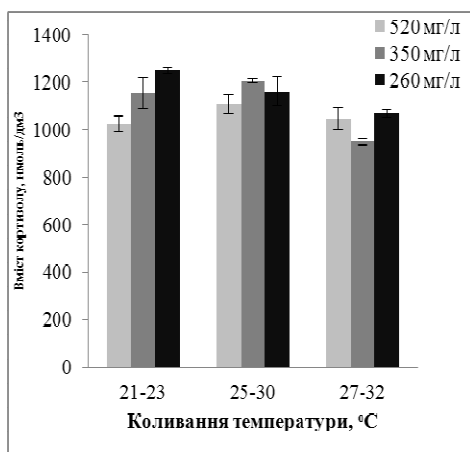
Вміст трийодтироніну та кортизолу в плазмі крові риб визначали імуноферментним методом за допомогою наборів реагентів «Т3 загальний–ІФА-Бест», «Кортизол–ІФА Бест» (Закрите акціонерне товариство «Вектор-Бест», Росія) та ІФА-аналізатора Rayto RT-2100С. Вміст глюкози у плазмі крові встановлювали глюкозооксидазним методом спектрофотометрично з використанням стандартних комерційних наборів «Філісіт-Діагностика» (Україна) та спектрофотометра СФ–26. Отримані дані оброблені статистично за допомогою програми Statistica 7,0.

Результати досліджень та їх обговорення

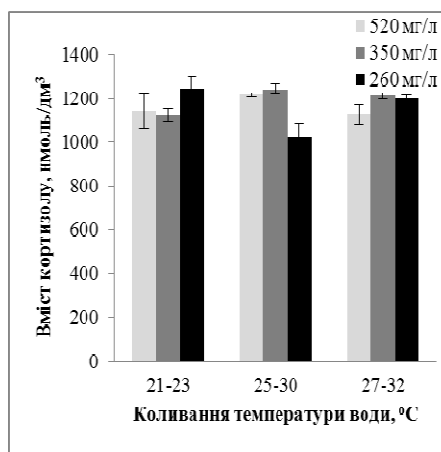
Результати наших досліджень показали, що за дії температури і мінералізації води вміст кортизолу і трийодтироніну в плазмі крові риб змінюється видоспецифічно. Так, вміст кортизолу у плазмі крові коропа і плітки майже не відрізняється за умов експерименту (рис. 1, 2).

Відомо що кортизол – кортикостероїдний гормон, який у наземних та водних тварин виконує низку важливих функцій, пов'язаних з регуляцією енергетичного та водно-сольового обміну [15, 16, 17]. Проте, одна з найважливіших його функцій є забезпечення мобілізації енергетичних ресурсів, зокрема вуглеводів, жирів, в процесі розвитку та регуляції стрес-реакцій. Це дозволяє риbam заощаджувати енергоресурси та повертати організм у стан гомеостазу після дії стрес-агента [18].

Отже, відсутність істотних змін у вмісті кортизолу у плазмі піддослідних риб свідчить про те, що вони впродовж 14 діб достатньо адаптувалися до коливального режиму температури та різної мінералізації води.



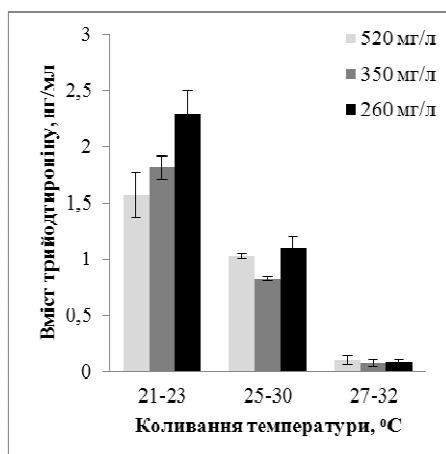
1. Вміст кортизолу у плазмі крові коропа за впливу мінералізації та коливань температури води. $M \pm m$, $n=5$



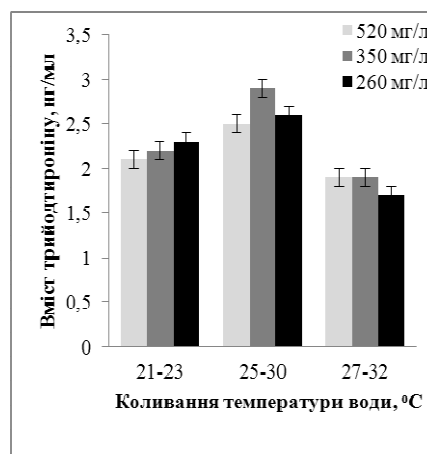
2. Вміст кортизолу у плазмі крові плітки за впливу мінералізації та коливань температури води. $M \pm m$, $n=5$

Слід відмітити, що функцією кортизолу також є регулювання перетворення тироксину (Т4) в активну форму тиреоїдних гормонів – трийодтироніну (Т3), тобто цей гормон активізує адаптаційні процеси у напрямку зниження дії тих чи інших чинників [11, 22]. З літературних джерел відомо, що головна функція трийодтироніну полягає в регулюванні енергетичного та пластичного обміну, а також він регулює швидкість споживання тканинами кисню [1, 21].

На протипагу від кортизолу, вміст Т3 у плазмі крові коропа і плітки суттєво змінювався залежно від умов експерименту. Так, у контрольних умовах на вміст Т3 у плазмі крові плітки істотно впливає рівень мінералізації води. При мінералізації 350 та 260 мг/дм³ вміст гормону зростає на 15,9 та 46,5% порівняно з 520 мг/дм³ (рис. 3). Це свідчить про активізацію енергетичного обміну в умовах на доволі високої мінералізації води.



3. Вміст трийодтироніну у плазмі крові плітки за впливу мінералізації та коливань температури води $M \pm m$, $n=5$



4. Вміст трийодтироніну у плазмі крові коропа за впливу мінералізації та коливань температури води. $M \pm m$, $n=5$

На відміну від плітки у контрольних групах коропа значних змін вмісту Т3 у їх крові за дії різної мінералізації не спостерігали (рис. 4). Отже, результати досліджень свідчать, що плітка більш чутлива, ніж короп, до рівня мінералізації води. Зростання вмісту гормону в

плазмі, очевидно, свідчить про активізацію енергетичного обміну, спрямованого на забезпечення осморегуляційних процесів. Оскільки цей гормон також виконує важливу роль у регуляції водно-сольового балансу у різних видів риб [12, 19].

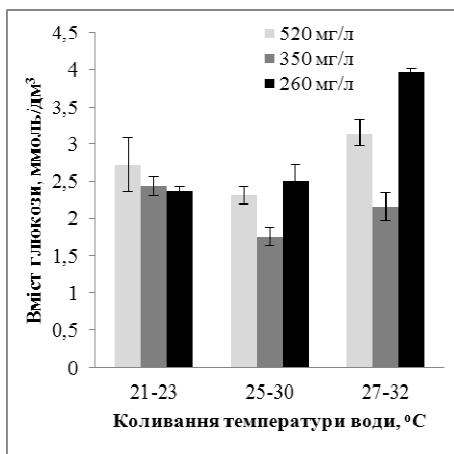
Температурний чинник викликав більш значні зміни вмісту Т3 в плазмі крові як коропа, так і плітки. У коропа найбільший рівень гормону спостерігали за добового коливання температури в межах 25–30°C. Такий температурний режим для коропа є оптимальним, а рівень обмінних процесів проходить активно. З підвищенням температури води до 27–32°C відмічено зниження вмісту Т3 в плазмі крові коропа. Це забезпечую збереження енергетичних ресурсів, коли в умовах підвищеної температури активність ферментів зростає. При чому за низької мінералізації води (260 мг/дм³) рівень гормону у крові коропа завжди нижчий при підвищеній температурі води (див. рис. 4).

На відміну від коропа за температури 21–23°C в плазмі крові плітки встановлені найвищі показники вмісту тиреоїдних гормонів. Ця температура є більш оптимальною для цього виду риб. Зростання температури води викликає істотне зниження вмісту Т3 у плазмі крові плітки. Зокрема, при добовому коливанні температури від 25 до 30°C вміст цього гормону зменшується в 1,5–2,2 разів порівняно з контролем. За більш високої температури (27–32°C) вміст трийодтироніну в плазмі крові взагалі зводиться до мінімуму (3,5–6,4% від контролю). Зменшення мінералізації до 260 мг/дм³ дещо корегує рівень Т3 у напрямку його збільшення. Відомо, що зі зростанням температури води активність ферментів відповідно збільшується. Отже, суттєве зменшення вмісту трийодтироніну може бути одним з компенсаторних механізмів, спрямованих на пригнічення активності метаболічних процесів з метою підтримки гомеостазу на відповідному рівні.

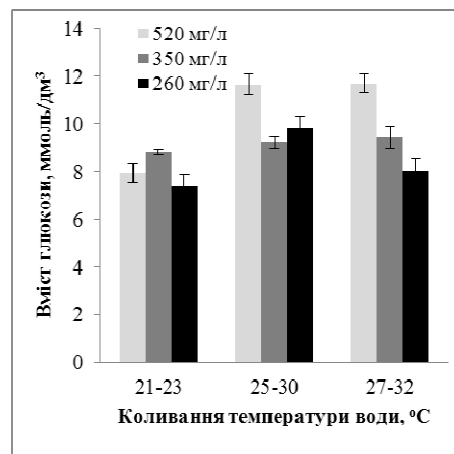
Очевидно, зниження вмісту Т3у плазмі крові коропа за температури від 27 до 32°C і в плітки за діапазону температури вище 25–30°C свідчить про те, що риби знаходились у неоптимальних для них умовах.

З найбільш лабільних і легко доступних субстратів енергетичного обміну у тканинах риб є вуглеводи, зокрема глюкоза. Зміни вмісту глюкози у крові свідчать про рівень проходження енергетичного обміну у риб, а також по наявність порушень у ньому, активізацію адаптивних та компенсаторних механізмів, спрямованих на протидію різноманітним несприятливим чинникам [16, 20].

Вміст глюкози в плазмі крові коропа за зменшення мінералізації води від 520 мг/м³ до 350, 260 мг/дм³ при температурі води від 21–23°C знижувався на 11,9 та 15,3% відповідно (рис. 5).



5. Вміст глюкози у плазмі крові коропа за впливу мінералізації та коливань температури води. $M \pm m$, $n=5$.



6. Вміст глюкози у плазмі крові плітки за впливу мінералізації та коливань температури води. $M \pm m$, $n=5$.

Вміст ТЗ, як вже зазначалося вище, навпаки зростає зі зменшенням мінералізації води. Тобто, глюкоза активно утилізувалася в процесах осморегуляції у риб. Саме вона використовувалася на процеси утримання градієнтів концентрацій йонів у тканинах і як наслідок забезпечення внутрішньоклітинного осмотичного балансу. Це могло викликати активізацію синтезу щитоподібною залозою трийодтироніну.

Подібну закономірність спостерігали за підвищення температури. Так, зі зростанням температури води до 30°C вміст глюкози знижується на 17,7% щодо контролю. Найбільше зниження цього показника (на 55,4%) спостерігається при зниженні мінералізації води до 350 мг/дм³. Можливо, що підвищення температури води викликало зростання загальної активності метаболізму і тим самим збільшувалося використання глюкози.

За подальшого підвищення температури води до 32,0°C спостерігається зростання вмісту глюкози у плазмі крові коропа на 15,8% порівняно до контролю. Найбільший її вміст був відмічений за мінералізації 260 мг/дм³, який перевищував контрольні значення на 45,6%.

Зміни вмісту глюкози в плазмі крові плітки за дії різної температури і мінералізації мав схожий характер. Так, за температури води від 21 до 23°C вміст глюкози при падінні мінералізації зростає на 17,0% (див. рис. 6). При цьому слід відмітити, що зростання вмісту глюкози спостерігається за нижчої температури (25–30°C) порівняно до коропа.

Слід також зауважити, що за дії мінералізації 260 мг/дм³ при температурі 27–32°C у плітки відбувається зниження вмісту глюкози, що може свідчити про наявність певних перебудов у енергетичному обміні за зниження мінералізації води.

Висновки

Встановлено, що температура та мінералізація води суттєво впливають на протікання метаболічних процесів у плітки та коропа. За показниками вмісту трийодтироніну та глюкози у плазмі крові плітка є більш чутливою до нетипово високих температур води, ніж короп. Крім того, вона позитивно реагує на зменшення рівня мінералізації води.

Вміст кортизолу у плазмі крові плітки та коропа після 14-добової адаптації до температурного режиму та рівня мінералізації води вирівнюється до контрольних значень.

Вміст трийодтироніну у плазмі крові риб більше залежить від температурного чинника, ніж від мінералізації води. Так, у коропа найбільший рівень гормону спостерігався за добового коливання температури в межах 25–30°C. Це свідчить про те, що такий температурний режим для коропа є оптимальним і рівень обмінних процесів відбувається активно. З підвищенням температури води до 27–32°C відмічено зниження вмісту ТЗ в плазмі його крові.

На відміну від коропа найвищі показники вмісту тиреоїдних гормонів в плазмі крові плітки встановлені за температури 21–23°C. Істотне зменшення вмісту трийодтироніну при підвищених температурах спрямоване на пригнічення активності метаболічних процесів з метою підтримки гомеостазу на відповідному рівні.

За температури води від 21 до 23°C вміст глюкози у плазмі крові плітки по мірі зменшення мінералізації води зростає, у коропа – знижується. Максимальний вміст глюкози у крові плітки спостерігався при температурі 25–30°C, у коропа – 27–32°C.

Мінералізація води на рівні 520 мг/дм³ та температури води 25–30°C для коропа можна вважати оптимальними, для плітки – 260 мг/дм³ та 21–23°C відповідно.

Отримані дані свідчать про міжвидову різницю у способі енергозабезпечення адаптивних реакцій у коропа та плітки.

1. *Болотовский А. А.* Сезонная изменчивость уровня трийодтиронина у трех видов карповых рыб из Рыбинского водохранилища, бассейн Волги / А.А. Болотовский, В.А. Левин // Мат. Всерос. конф. с междунар. участием, Борок, 12 сент. 2012 г. — Борок, 2012. — С. 54—57.
2. *Голованов В. К.* Температурные границы жизнедеятельности пресноводных рыб: эколого-физиологические аспекты / В.К. Голованов, А.К. Смирнов // Мат. Междунар. конф. «Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов», Петрозаводск, 6—9 сент. 2004 г. — Петрозаводск, Республика Карелия, Россия. — 2004. — С. 33—34.
3. *Гребінь В. В.* Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) / В.В. Гребінь. — К., Ніка-Центр. — 2010. — 316 с.

4. Свтушенко М. Ю. Наукові-методичні рекомендації щодо вибору індикаторних організмів в системі біомоніторингу / М.Ю. Свтушенко, П.Г. Шевченко, М.І. Хижняк. — К.: Український фітосоціальний центр. — 2011. — 24 с.
5. Курило С. М. Основні тенденції багаторічних змін мінералізації води та вмісту головних іонів у річках України / С.М. Курило // Гідрохімія. Гідрологія. Гідроекологія. — 2016. — Т. 2, № 41. — С. 85—90.
6. Немова Н. Н. Оценка состояния водных организмов по эколого-биохимическому статусу / Н.Н. Немова // Междунар. научн. конф. «Северные территории России: проблемы и перспективы развития», Архангельск, 23—26 июня 2008 г. — Архангельск, 2008. — С. 995—998.
7. Потрохов О. С. Гормональний статус окуня та плітки за зміни екологічних чинників водного середовища / О.С. Потрохов, О.Г. Зінковський, Ю.М. Худіяш // Наук. записки Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер.: Біол. — 2015. — № 3—4 (64). — С. 539—543.
8. Романенко В. Д. Механизмы температурной акклимации рыб / В.Д. Романенко, О.М. Арсан, В.Д. Соломатина. — К.: Наукова думка, 1991. — 190 с.
9. Руднева И. Н. Применение биомаркеров рыб для экологической диагностики водной среды / И.Н. Руднева // Рыбное хозяйство Украины. — 2006. — Вып. 1. — С. 20—23.
10. Шахматова О. А. Отклик гидробионтов на стрессовые факторы морских экосистем / О.А. Шахматова // Экосистемы их оптимизация и охрана. — 2012. — Вып.7. — С. 98—113.
11. Arjona F. J. Effects of cortisol and thyroid hormone on peripheral outer ring deiodination and osmoregulatory parameters in the Senegalese sole (*Solea senegalensis*) / F.J. Arjona, L. Vargas-Chacoff, M.P. Martin del Rio et al. // J. Endocrinol. — 2011. — Vol. 208. — P. 323—330.
12. Arjona F. J. Acclimation of *Solea senegalensis* to different ambient temperatures: implications for thyroidal status and osmoregulation / F.J. Arjona, J. Ruiz-Jarabo, L. Vargas-Chacoff et al. // J.Mar. Biol. — 2010. — Vol. 157. — P. 1325—1335.
13. Hochacka P. W. Biochemical adaptation mechanism and process in physiological evolution / P.W. Hochacka, G.N. Somero. — New York, London Oxford University Press US. — 2002. — 466 p.
14. Janauer G. A. Aquatic Vegetation in river floodplains: Climate change effects, river restoration and ecohydrology aspects / G.A. Janauer // Climate Change. Inferences from Paleoclimate and Regional Aspects. — New York : Springer, 2012. — P. 149—156.
15. Laiz-Carrión R. Influence of cortisol on osmoregulation and energy metabolism in gilthead sea bream *Sparus aurata* / R. Laiz-Carrión, M.P. Martín del Río, J.M. Míguez et al. // J. Exp. Zool. — 2003. — Vol. 298. — P. 105—118.
16. Martinez-Porchas M. Cortisol and glucose: Reliable indicators of fish stress / M. Martinez-Porchas, L.R. Martinez-Cordova, R. Ramos-Enriquez // Pan-Amer. J. Aquatic Sci. — 2009. — Vol. 4, № 2. — P. 158—178.
17. McCormick S. D. Endocrine control of osmoregulation in teleost fish / S.D. McCormick, D. Stephen // Am. Zool. — 2001. — Vol. 41. — P. 781—794.
18. Mommsen T. P. Cortisol in teleost: dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation / T.P. Mommsen, M.M. Vijayan, T.W. Moon / Rev. Fish Biol. Fisheries. — 1999. — Vol. 9. — P. 211—268.
19. Peter M. C. The role of thyroid hormones in stress response of fish / M.C. Peter // Gen. Comp. Endocrinol. — 2011. — Vol. 172, № 2. — P. 198—210.
20. Sangiao-Alvarellos S. Acclimation of *S. aurata* to various salinities alters energy metabolism of osmoregulatory and nonosmoregulatory organs / S. Sangiao-Alvarellos, R. Laiz-Carrion, J.M. Guzman et al. // Am. J. physiol. regul. integr. comp. physiol. — 2003. — Vol. 285. — P. 897—907.
21. Varghese S. Thyroid hormones regulate lipid metabolism in a teleost *Anabas testudineus* (Bloch) / S. Varghese, O.V. Oommen // Comp. Biochem. Physiol. — 1999. — Vol. 124. — P. 445—450.
22. Vijayan M. M. Effect of cortisol on the in vitro hepatic conversion of thyroxine to triiodothyronine in brook charr (*Salvelinus fontinalis Mitchill*) / M.M. Vijayan, P.A. Flett, J.F. Leatherland // Gen and Comp. Endocrinol. — 1988. — Vol. 70. — P. 312—318.

А. С. Потрохов, О. Г. Зиньковский, Ю. Н. Худияш, Н. В. Причеп

Институт гидробиологии НАН Украины

ОСОБЕННОСТИ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ РЫБ К ИЗМЕНЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРЫ И МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОДИ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ СОДЕРЖАНИЯ ТРИЙОДТИРОНИНА, КОРТИЗОЛА И ГЛЮКОЗЫ В ПЛАЗМЕ КРОВИ

Рассмотрено влияние температуры и минерализации воды на содержание трийодтиронина, кортизола и глюкозы в плазме крови плотвы и карпа. Установлено, что после 14-ти суточной акклимации к повышению температуры воды до 32°C не наблюдается существенных изменений содержания кортизола в плазме крови рыб, но содержание трийодтиронина существенно снижается. Показано, что эти изменения у плотвы проходили интенсивнее, чем у карпа. Отмечено, что у плотвы рост уровня глюкозы наблюдается при более низкой температуре (25–30°C), чем у карпа. Изменение минерализации воды корректирует ответ рыб на действие температуры воды. Плотва является более чувствительной к нетипично высокой температуре воды при большей ее минерализации, чем карп.

Ключевые слова: карп, плотва, трийодтиронин, кортизол, глюкоза, минерализация, температура, метаболизм

A. S. Potrokhov, O. G. Zinkovskiy, Y. N. Hudiyash, N. V. Prichepa

Institute of Hydrobiology of NASU, Ukraine

FEATURES ADAPTATION OF FISH TO A CHANGE OF TEMPERATURE AND SALINITY ON INDICATORS TRIIODOTHYRONINE, CORTISOL AND GLUCOSE CONTENTS IN PLASMA

Our research has shown that water temperature and salinity significantly affect the metabolism of roach and carp. In terms of content triiodothyronine and glucose in plasma roach is more sensitive to atypical high temperature of water than carp. In addition, it responds positively to the reduction of water salinity.

The content of cortisol in the blood plasma roach and carp after a 14-day adaptation to temperature and salinity of water is aligned to the control values.

The content of triiodothyronine in blood plasma of a fish depends on the temperature factor than the salinity of the water. Thus, the biggest hormone levels in carp blood was observed for daily fluctuations in temperature within 25–30°C. This indicates that a temperature regime for carp optimal level and metabolism runs at the highest level. With increasing temperature to 27–32°C marked reduction of plasma T3 in his blood.

Unlike carp highest rates of thyroid hormones in the blood plasma roach set the temperature 21–23°C. Significant reduction of triiodothyronine at elevated temperatures directed to inhibition of metabolic processes to maintain homeostasis at the appropriate level.

With the water temperature from 21 to 23°C glucose in plasma roach as the reduction of water salinity increases, in carp – is reduced. The maximum blood glucose roach was observed at 25–30°C, in carp – 27–32°C.

Mineralization of water at 520 mg / dm³ and water temperature 25–30°C for carp may be considered optimal, for roach – 260 mg / dm³ and 21–23°C respectively.

These data suggest interspecies differences in the way energy adaptive responses in carp and roach.

Keywords: carp, roach, triiodothyronine, cortisol, glucose, salinity, temperature, and metabolism

Рекомендує до друку

Надійшла 08.02.2017

В. В. Грубінко