

УДК [597.442-11:597.1]:574.52(262.81+282.257.5)
ББК 28.693.324-73;28.082.40(961+255.3,21 Амур)

Г. Ф. Металлов, П. П. Гераскин, О. А. Левина

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ФИЗИОЛОГИИ КАСПИЙСКИХ И АМУРСКИХ ОСЕТРОВЫХ РЫБ

G. F. Metallov, P. P. Geraskin, O. A. Levina

SOME ASPECTS OF COMPARATIVE PHYSIOLOGY OF CASPIAN AND AMUR STURGEON FISHES

Совершенствование методов культивирования осетровых рыб основывается на анализе данных о зависимости обменных процессов от абиотических факторов внешней среды. Среди большого многообразия абиотических факторов для рыб первостепенное значение имеют солёность и температура воды. Приводятся данные о состоянии водно-солевого и окислительного обменов каспийских и амурских осетровых рыб. Проанализирована динамика активности ферментов аэробного и анаэробного тканевого дыхания цитохромоксидазы и лактатдегидрогеназы. Выявленные особенности функционирования осморегулирующей системы и ферментов тканевого дыхания у амурских и каспийских осетровых рыб определяются в первую очередь условиями их обитания. Снижение эффективности энергообменных процессов (лактатдегидрогеназы в печени) при выращивании в рыбоводных условиях является реакцией молоди на условия выращивания, не соответствующие естественным потребностям рыб.

Ключевые слова: русский осетр, белуга, амурский осетр, калуга, физиология, солёность, цитохромоксидаза, лактатдегидрогеназа.

Improvement of methods of cultivation of sturgeon fishes is based on the analysis of data on dependence of exchange processes on abiotic factors of environment. Among big variety of abiotic factors salinity and water temperature are significant for fishes. Data on a condition of water-salt and oxidizing exchanges of the Caspian and Amur sturgeon fishes are presented. Dynamics of activity of enzymes of aerobic and anaerobic tissue respiration of cytochrome oxidase and lactate dehydrogenase is analyzed. The revealed features of functioning of osmoregulatory system and enzymes of tissue respiration at the Amur and Caspian sturgeon fishes, first of all, are defined by conditions of their dwelling. Decreasing in efficiency of power exchange processes (lactate dehydrogenase in a liver) at cultivation in fish-breeding conditions is fry reaction on cultivation conditions not corresponding to needs of nature of fishes.

Key words: Russian sturgeon, beluga, Amur sturgeon, kaluga, physiology, salinity, cytochrome oxidase, lactate dehydrogenase.

Представители семейства осетровых являются трансграничными видами рыб. Ряд видов (русский осетр, белуга, севрюга, амурский осетр, калуга и т. д.) основную часть жизненного цикла, кроме периода размножения, проводит в море. Исследования распределения и динамики качественной структуры популяций осетровых являются основой для прогнозирования запасов рационального использования. Анализ данных о зависимости обменных процессов от абиотических факторов внешней среды позволит совершенствовать методы культивирования этих ценных видов рыб в целях искусственного воспроизводства или товарного выращивания. Процессы обмена веществ в живом организме находятся под постоянным воздействием комплекса факторов среды обитания. Среди большого многообразия абиотических факторов для рыб первостепенное значение имеют солёность и температура воды [1–3].

Солёность воды в лиманах р. Амур в зависимости от сезона и района колеблется от 1 до 25 ‰. Охотское и Японское моря полносолёные (33 ‰) водоёмы с океанической солевой формулой. Солёность воды Каспийского моря колеблется в пределах от 0 до 12,5 ‰. Каспийская вода имеет иную солевую структуру с низким содержанием ионов натрия и хлора и высоким содержанием сульфатов [4].

В бассейне р. Амур распространены два представителя семейства *Acipenseridae* – калуга (*Huso dauricus* (Georgi, 1775)) и амурский осетр (*Acipenser schrenckii* Brandt, 1869). Ранее считалось, что калуга является исключительно пресноводной рыбой [5, 6]. Более поздние данные

свидетельствуют о том, что особи данного вида занимают не только огромный пресноводный ареал р. Амур, но и обитают вдоль побережья Охотского моря вплоть до о. Хоккайдо. Солёность в этих районах находится в пределах от 30 до 33 ‰, что свидетельствует об исключительно широком диапазоне эвригалинности калуги [7–10].

Исследование уровня осмотически активных веществ у особей калуги, выловленных недалеко от устья р. Амур при солёности воды 2,5 ‰ (46,0 мосм/кг H₂O), показало, что сыворотка крови у рыб была гипертонична среде обитания и составила 280,0 ± 5,8 мосм/кг H₂O. В то же время у рыб, выловленных у о. Байдуков, где солёность достигала 22 ‰ (470,0 мосм/кг H₂O), осмоляльность сыворотки крови была гипотонична среде обитания, но в 1,2 раза выше (330,0 ± 5,2 мосм/кг H₂O), чем у рыб в устье р. Амур. При десятикратном различии по осмоляльности воды между двумя районами вылова осмоляльность сыворотки крови различалась только в 1,2 раза. Это свидетельствует о том, что калуга обладает достаточно совершенной системой регуляции водно-солевого обмена и объективно относится к типичным анадромным мигрантам.

Осмоляльность крови амурского осетра (300,0 ± 7,8 мосм/кг H₂O), пойманного недалеко от устья р. Амур в пресной воде, соответствовала уровню осмоляльности сыворотки крови калуги (280,0 ± 5,8 мосм/кг H₂O), выловленной в этом же районе в лимане, и свидетельствовала о ее гипертоничности среде обитания. Таким образом, амурский осётр является классическим пресноводным видом с гипертоническим типом осморегуляции, обитающим в пределах опреснённой зоны.

Среди каспийских осетровых, ввиду неоднородности солёности Каспийского моря, наиболее высокая осмоляльность сыворотки крови наблюдается у рыб в Южном Каспии. Средняя солёность Южного и Среднего Каспия находится в пределах 12–13 ‰. Солёность Северного Каспия колеблется в пределах 0–9 ‰. У осетровых рыб в Северном Каспии наблюдается гипертония, осмоляльность сыворотки крови находится в пределах 219–322 мосм/кг H₂O.

Сравнение уровня осмоляльности сыворотки крови у белуги и русского осетра, выловленных в различных районах Каспийского моря и р. Волги, с таковым у амурской калуги и амурского осетра выявило некоторое превышение этого показателя у амурских осетровых.

У калуги вблизи устья р. Амур осмоляльность сыворотки крови составляла 280,0 ± 5,8 мосм/кг H₂O, а на границе с Сахалинским заливом – 330,0 ± 3,3 мосм/кг H₂O. У каспийской белуги в дельте р. Волги соответственно 271,0 ± 4,4 мосм/кг H₂O, а в Южном Каспии – 302,0 ± 6,1 мосм/кг H₂O. У осетра в устье р. Амур осмоляльность сыворотки крови (280,0 ± 5,8 мосм/кг H₂O) была также выше, чем у русского осетра в дельте р. Волги (251,0 ± 1,8 мосм/кг H₂O), что, вероятно, связано с несколько иной солевой структурой дальневосточных вод.

Важную роль в формировании физиологических функций у рыб играет температурный фактор. Как известно, Россия поделена на семь рыбоводно-климатических зон. Самая северная – первая зона рыбоводства, характеризуется незначительной суммой тепла. Температура поверхностных вод Охотского моря на местах нагула амурских осетровых в летний период не превышает 7–14 °С. Каспийские осетровые обитают в шестой рыбоводной зоне в широком диапазоне значений температуры – от 3 до 26 °С, где сумма тепла почти в 2,5 раза выше [11]. В мелководной зоне Северного Каспия, где нагуливаются осетровые рыбы, естественные значения температуры в летний период могут достигать 27 °С и выше.

Экспериментально установлено, что резкий перевод молоди каспийского осетра и белуги из пресной воды в морскую (15 ‰) и изменение температуры с 20 до 30 °С приводят к нарушению осморегулирующей функции, вызывая гибель рыб [12, 13]. Особо следует подчеркнуть исключительно высокую выживаемость молоди русского осетра в воде солёностью 5 ‰ даже в экстремальных температурных условиях (30 °С) [14]. Установлено, что оптимальными условиями для каспийских осетровых считается солёность воды 4–7 ‰ и температура 20–24 °С. Амурские осетровые обитают примерно в таком же температурном диапазоне, как и каспийские рыбы, но температурный оптимум летом сдвинут в меньшую сторону – 16–21 °С [15].

При выращивании осетровых в условиях рыбоводных заводов уровень обменных процессов, помимо температуры, определяет комплекс других важных экологических факторов, таких как качество корма и воды. Чтобы быстро оценить реакцию метаболизма амурских осетровых на комплекс факторов, действующих на них при выращивании в VI рыбоводно-климатической зоне, необходимо исследование активности ключевых ферментов аэробного и анаэробного тканевого дыхания цитохромоксидазы (ЦО) и лактатдегидрогеназы (ЛДГ).

Тканевому дыханию принадлежит ведущая роль в адаптации рыб к новым экологическим условиям, поскольку в процессе его работы трансформируется энергия, необходимая для нормального осуществления всех физиологических функций [16, 17]. Многолетний анализ динамики активности ферментов ЦО и ЛДГ в печени и белых мышцах у русского осетра и белуги в речной и морской периоды жизни выявил различные функциональные группы рыб с неодинаковым состоянием окислительного обмена. Снижение активности аэробного обмена в печени относительно белых мышц рассматривается как ухудшение функционального состояния рыб (табл.).

Динамика активности ферментов аэробного и анаэробного тканевого дыхания у амурских и каспийских осетровых

Вид	Цитохромоксидаза, ед/кг белка за мин		Лактатдегидрогеназа, мкмоль/кг белка за мин	
	В печени	В мышцах	В печени	В мышцах
Амурский осетр	10 520 ± 597	11 322 ± 580	7 419 ± 790	13 634 ± 1 609
Русский осетр	14 662 ± 2 421	16 931 ± 1 673	13 177 ± 1 470	23 423 ± 1 938
Калуга	10 230 ± 1 133	9 914 ± 1 031	4 704 ± 669	56 465 ± 6 158
Белуга	9 725 ± 1 189	22 225 ± 2 370	8 089 ± 1 120	40 922 ± 5 832

Уровень активности фермента ЦО в печени молоди амурского осетра был заметно ниже нормы. При этом активность ЦО в печени была ниже, чем в белых мышцах, что не соответствует функциональным особенностям этих тканей и говорит о патологии энергетических процессов в печени. Активность фермента ЛДГ, характеризующего анаэробный обмен в печени и белых мышцах у молоди амурского осетра, также была несколько снижена – $7\,419 \pm 790$ и $13\,634 \pm 1\,609$ мкмоль/кг белка за мин соответственно. Скорее всего, это реакция организма рыб на неадекватные условия выращивания в бассейнах.

В сравнении с амурским осетром у молоди русского осетра, выращенной в аналогичных условиях, активность ЦО в печени и мышцах была выше на 28 и 33 % соответственно. Однако, как и у амурского осетра, выявлена инверсия аэробных процессов, что также свидетельствует о негативных изменениях в энергетических процессах в печени. Активность ЛДГ в печени и белых мышцах у молоди русского осетра была в норме.

У молоди калуги и каспийской белуги выявлены процессы, аналогичные наблюдаемым у молоди амурского и каспийского осетра. У молоди калуги активность ЦО в печени и мышцах была на низком уровне. Активность ЛДГ в печени у молоди калуги также была снижена. В то же время в мышцах выявлена исключительно высокая активность этого фермента – $56\,465 \pm 6\,158$ мкмоль/кг белка за мин. Низкий уровень обменных процессов в печени свидетельствует об истощении энергоресурсов и является реакцией молоди калуги на условия выращивания, не соответствующие естественным потребностям рыб.

Молодь белуги по уровню энергетики существенно не отличалась от молоди калуги, выращенной в тех же условиях. У белуги активность ЦО в печени была ниже, чем в белых мышцах на 56 %. Анаэробные процессы в печени были также снижены на фоне высокой активности этого фермента в мышцах. Выявленные нарушения свидетельствуют о снижении эффективности энергообменных процессов у молоди, выращенной в рыбоводных условиях.

Таким образом, выявленные особенности функционирования осморегулирующей системы и ферментов тканевого дыхания у амурских и каспийских осетровых в первую очередь определяются условиями обитания в естественной среде и создаваемыми при выращивании рыб в искусственных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафаралиев И. А. Современное состояние запасов, распределения и качественная структура севрюги *Acipenser stellatus* каспийской популяции / И. А. Сафаралиев // Вопросы рыболовства. 2012. Т. 13, № 4. С. 841–854.
2. Свирский В. Г. Биологические потенции роста и созревания амурского осетра *Acipenser schrenckii* Brandt и *Huso dauricus* (Georgi) в управляемых системах / В. Г. Свирский, Е. А. Рачек // Чтения памяти В. А. Леванидова. ТИПРО-ЦЕНТР, 2005. Вып. 3. С. 536–550.
3. Строганов Н. С. Экологическая физиология рыб / Н. С. Строганов. М.: МГУ, 1962. Т. 1. 444 с.
4. Металлов Г. Ф. Физиолого-биохимические механизмы эколого-адаптационной пластичности осморегулирующей системы осетровых рыб / Г. Ф. Металлов, С. В. Пономарёв, В. П. Аксёнов, П. П. Гераскин. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2010. 191 р.
5. Никольский Г. В. Рыбы бассейна Амура / Г. В. Никольский. М.: АН СССР, 1956. 551 с.

6. Никольский Г. В. Частная ихтиология / Г. В. Никольский. М.: Высш. школа, 1971. 471 с.
7. Костарев В. Л. Калуга в водах северо-западной части Охотского моря / В. Л. Костарев, Б. В. Тюрин // Изв. ТИНРО. 1970. Т. 74. С. 346–347.
8. Kunio A. First record of kaluga sturgeon *Huso Dauricus* from Japan / A. Kunio, N. Kazuchiro // Jap. Jour. Ichtiol. 1975. N 3. P. 164–166.
9. Новомодный Г. В. Амурские рыбы: Богатство и кризис / Г. В. Новомодный, С. Ф. Золотухин, П. О. Шаров. 2004. 64 с.
10. Никитин В. Д. Распределение и некоторые особенности биологии калуги – *Huso Dauricus* (Georgi, 1775) в проливе Невельского (Японское море) / В. Д. Никитин, С. Н. Сафронов, С. Н. Никифоров // VI региональная конференция по актуальным проблемам экологии, морской биологии, биотехнологии студентов, аспирантов, молодых преподавателей и сотрудников вузов и научных организаций Дальнего Востока (20–22 ноября 2003 г.): тез. докл. 2003. С. 67–68.
11. Легеца М. И. Влияние температурного фактора на распределение каспийских осетровых / М. И. Легеца // Разработка биологических основ и биотехника развития осетрового хозяйства в водоёмах СССР. Астрахань, 1968. С. 27–30.
12. Дюбин В. П. Адаптация молоди осетровых к морской воде при различных температурах и различной накормленности / В. П. Дюбин, С. Г. Киселёва // Биологические основы осетроводства. М.: Наука, 1983. С. 167–178.
13. Дюбин В. П. Влиянии температуры среды на гомеостаз ионов натрия и калия в крови молоди осетровых / В. П. Дюбин, С. Г. Киселёва // Осетровое хозяйство внутренних водоёмов СССР: тез. докл. II Всесоюз. совещ. (26 февраля – 2 марта 1979 г.). Астрахань, 1979. С. 75.
14. Шелухин Г. К. Влияние температурно-солевого режима каспийской воды на молодь русского осетра *Acipenser güldenstädti* / Г. К. Шелухин, Г. Ф. Металлов, П. П. Гераскин // Вопросы ихтиологии. 1990. Т. 30, вып. 2. С. 296–304.
15. Дуленина П. А. Корбикула японская (*Corbicula japonica*) внутренних водоёмов и эстуариев рек Хабаровского края: Информ. обзор / П. А. Дуленина. ТИНРО, 2003. Вып. 2. С. 153–159.
16. Наточин Ю. В. Ионорегулирующая функция почки / Ю. В. Наточин. Л.: Наука, 1976. 267 с.
17. Металлов Г. Ф. Физиолого-биохимические механизмы эколого-адаптационной пластичности осморегулирующей системы осетровых рыб / Г. Ф. Металлов: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Астрахань, 2002. 46 с.

REFERENCES

1. Safaraliev I. A. Sovremennoe sostoianie zapasov, raspredeleniia i kachestvennaia struktura seviugi *Acipenser stellatus* kaspiskoi populatsii [Present state of stocks, distribution and qualitative structure of Caspian sturgeon *Acipenser stellatus*]. *Voprosy rybolovstva*, 2012, vol. 13, no. 4, pp. 841–854.
2. Svirskii V. G., Rachek E. A. Biologicheskie potentsii rosta i sozrevaniia amurskogo osetra *Acipenser schrenckii* Brandt i *Huso Dauricus* (Georgi) v upravliaemykh sistemakh [Biological potential of growth and maturing of Amur sturgeon *Acipenser schrenckii* Brandt i *Huso Dauricus* (Georgi) in regulated systems]. *Chteniia pamiati V. A. Levanidova. TINRO-TsENR*, 2005, iss. 3, pp. 536–550.
3. Stroganov N. S. *Ekologicheskaiia fiziologiia ryb* [Ecological physiology of fish]. Moscow, MGU, 1962. Vol. 1. 444 p.
4. Metallov G. F., Ponomarev S. V., Aksenov V. P., Geraskin P. P. *Fizilogo-biokhimicheskie mekhanizmy ekologo-adaptatsionnoi plastichnosti osmoreguliruiushchei sistemy osetrovyykh ryb* [Physiological biochemical mechanisms of ecological adaptive plasticity of osmoregulatory system of sturgeon]. Astrakhan, AGTU, 2010. 191 p.
5. Nikol'skii G. V. *Ryby basseina Amura* [Amur basin fish]. Moscow, AN SSSR, 1956. 551 p.
6. Nikol'skii G. V. *Chastnaia ikhtiologiia* [Private ichthyology]. Moscow, Vysshiaia shkola Publ., 1971. 471 p.
7. Kostarev V. L., Tiurin B. V. Kaluga v vodakh severo-zapadnoi chasti Okhotskogo moria [Kaluga in waters of northern-western part of the Okhotsk Sea]. *Izvestiia TINRO*, 1970, vol. 74, pp. 346–347.
8. Kunio A., Kazuchiro N. First record of kaluga sturgeon *Huso Dauricus* from Japan. *Jap. Jour. Ichtiol.*, 1975, no. 3, pp. 164–166.
9. Novomodnyi G. V., Zolotukhin S. F., Sharov P. O. *Amurskie ryby: Bogatstvo i krizis* [Amur fishes: Wealth and crisis]. 2004. 64 p.
10. Nikitin V. D., Safronov S. N., Nikiforov S. N. Raspredelenie i nekotorye osobennosti biologii kalugi – *Huso Dauricus* (Georgi, 1775) v prolyve Nevel'skogo (Iaponskoe more) [Distribution and some biological peculiarities of Kaluga – *Huso Dauricus* (Georgi, 1775) in the channel Nevelsk (the Japan Sea)]. *VI regional'naia konferentsiia po aktual'nykh problemam ekologii, morskoi biologii biotekhnologii studentov, aspirantov, molodykh prepodavatelei i sotrudnikov vuzov i nauchnykh organizatsii Dal'nego Vostoka (20–22 noiabria 2003 g.). Tezisy dokladov*, 2003, pp. 67–68.
11. Legeza M. I. Vliianie temperaturnogo faktora na raspredelenie kaspiskikh osetrovyykh [Influence of temperature factor on distribution of Caspian sturgeon]. *Razrabotka biologicheskikh osnov i biotekhnika razvitiia osetrovogo khoziaistva v vodoemakh SSSR*. Astrakhan, 1968, pp. 27–30.

12. Diubin V. P., Kiseleva S. G. Adaptatsiia molodi osetrovykh k morskoi vode pri razlichnykh temperaturakh i razlichnoi nakormlennosti [Adaptation of sturgeon fry to sea water at different temperatures and different nutrition]. *Biologicheskie osnovy osetrovodstva*. Moscow, Nauka Publ., 1983, pp. 167–178.

13. Diubin V. P., Kiseleva S. G. Vliianie temperatury sredy na gomeostaz ionov natriia i kaliia v krovi molodi osetrovykh [Influence of temperature of the environment on homeostase of sodium ions and potassium in blood of sturgeon fry]. *Osetrovoe khoziaistvo vnutrennikh vodoemov SSSR. Tezisy dokladov II Vsesoiuznogo soveshchaniia (26 fevralia – 2 marta 1979 g.)*. Astrakhan, 1979, p. 75.

14. Shelukhin G. K., Metallov G. F., Geraskin P. P. Vliianie temperaturno-solevogo rezhima kaspiskoi vody na molod' russkogo osetra *Acipenser guldenstädti* [Influence of temperature-salinity mode of the Caspian water on Russian sturgeon (*Acipenser guldenstädti*) fry]. *Voprosy ikhtiologii*, 1990, vol. 30, iss. 2, pp. 296–304.

15. Dulenina P. A. Korbikula iaponskaia (*Corbicula japonica*) vnutrennikh vodoemov i estuariiev rek Khabarovskogo kraia: Informatsionnyi obzor [Japan corbicula in inland water basins and estuaries of rivers in Khabarovsk region]. *TINRO*, 2003, iss. 2, pp. 153–159.

16. Natochin Iu.V. *Ionoreguliruiushchaia funktsiia pochki* [Ion-regulated function of kidney]. Leningrad, Nauka Publ., 1976. 267 p.

17. Metallov G. F. *Fiziologo-biokhimicheskie mekhanizmy ekologo-adaptatsionnoi plastichnosti osmoreguliruiushchei sistemy osetrovykh ryb*. Avtoreferat. dis. dokt. biol. nauk [Physiological biochemical mechanisms of ecological adaptive plasticity of osmoregulated system of sturgeon. Abstract of dis. doc. biol. sci.]. Astrakhan, 2002. 46 p.

Статья поступила в редакцию 25.02.2014

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Металлов Геннадий Фёдорович – Южный научный центр Российской академии наук, Ростов-на-Дону; д-р биол. наук, профессор; ведущий научный сотрудник отдела водных биологических ресурсов бассейнов южных морей; aqua-group@yandex.ru.

Metallov Gennadiy Fedorovich – Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don; Doctor of Biology, Professor; Leading Researcher of the Department of Aquatic Biological Resources of the Southern Seas basins; aqua-group@yandex.ru.

Гераскин Петр Петрович – Астраханский государственный технический университет; канд. биол. наук; ведущий научный сотрудник лаборатории «Криотехнологии в аквакультуре»; PPG46@mail.ru.

Geraskin Petr Petrovich – Astrakhan State Technical University; Candidate of Biology; Leading Researcher of the Laboratory «Cryotechnology in aquaculture»; PPG46@mail.ru.

Левина Ольга Александровна – Астраханский государственный технический университет; аспирант кафедры «Аквакультура и водные биоресурсы»; levina90@inbox.ru.

Levina Olga Aleksandrovna – Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department "Aquaculture and Water Bioresources"; levina90@inbox.ru.