

THE EFFECT OF HEAVY METAL IONS ON INTRACELLULAR Ca^{2+} -DEPENDENT PROTEINASES IN *MYTILUS EDULIS* L. IN THE EXPERIMENTS *IN VITRO* AND *IN VIVO*

N. P. Kantserova, L. A. Lysenko, N. N. Nemova, V. V. Ostashkova

¹ Institute of Biology Karelian Research Centre RAS, Petrozavodsk, Russia

² Petrozavodsk State University, Petrozavodsk
e-mail: nkantserova@yandex.ru

The effect of heavy metal ions on intracellular Ca^{2+} -dependent proteinases (calpains) of mussels, *Mytilus edulis* L., has been investigated *in vitro* and *in vivo*. Mechanism of action of heavy metal ions with calpain can be realized by binding with SH-group of the enzyme or by replacement of Ca^{2+} in Ca^{2+} -dependent processes. Some heavy metal ions (Cd^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{3+}) has been found to be ineffective for the activation of mussel calpain *in vitro*, while Ba^{2+} has been found to be able to activate the enzyme. In aquaria experiment was shown that the effect of Cu^{2+} and Cd^{2+} on calpain activity depends on concentration of ion, time of action and metal properties defining its specificity and the accumulation and redistribution dynamics in the organs.

ТЕРМОПРЕФЕРЕНДУМ МОЛОДИ КАРПОВЫХ И ОКУНЕВЫХ ВИДОВ РЫБ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ

Д.С. Капшай¹, В.К. Голованов²

¹ Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, г. Ярославль, Россия

² Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод
им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Ярославская обл.
e-mail: kapsh@ibiw.yaroslavl.ru, golovan@ibiw.yaroslavl.ru

В процессе прохождения сезонных жизненных циклов рыбы используют различные формы температурных адаптаций, такие как температурная акклимация, терморегуляционное поведение, адаптации к предельно высоким и низким температурам, а также «зимнюю спячку» (Голованов и др., 1997). Терморегуляционное поведение представляет собой широко распространенную форму температурной адаптации и заключается в самопроизвольном выборе, возможно, наиболее оптимальных условий окружающей водной среды в зависимости от сезона года, времени суток, возраста животных и их физиолого-биохимического статуса. В результате многочисленных наблюдений в естественных условиях, а также в ходе лабораторных экспериментов само явление выбора новых температурных зон, отличных от температуры предварительной акклимации, получило название термопреферендума. Процесс выбора имеет фазный характер (Голованов, 1996; Лапкин и др., 1981; Свирский, 1996; Golovanov, 2006; Reynolds, Casterlin, 1979). Вначале (минуты, часы, сутки) происходит перемещение животных из исходных температурных условий в более высокие или низкие (в зависимости от того, на каком уровне температурного диапазона жизнедеятельности находились особи). Затем, достаточно часто с явлением «овершута» вверх или вниз, рыбы достигают области так называемого конечного термопреферендума или конечных избираемых температур. После этого избираемые температуры стабилизируются, иногда возникают периодические колебания избираемых уровней выше или ниже оптимальных. Меняющиеся условия среды (отсутствие корма, присутствие хищников, различного рода инфекции и др.) приводят к изменению уровня конечного термопреферендума.

Непосредственно зона конечных избираемых температур достаточно часто совпадает с областью эколого-физиологического оптимума, отражая тем самым оптимальные условия развития, роста, питания и поведения молоди и взрослых рыб (Golovanov, 2006; Jobling, 1981). С учетом существующих и развивающихся представлений об оптимальности (Вербицкий, 2008; Зданович, 2001; Константинов и др., 1991; Golovanov, 2006) эколого-физиологический оптимум не выглядит чем-то жестким и консервативным, расположенным только в одном месте на температурной шкале жизнедеятельности. Это подтверждают и многочисленные исследования суточных вертикальных миграций рыб. В ходе их было установлено, что отдельные группировки одного и того же вида могут совершать миграции в толще воды в широком диапазоне температур как ниже, так и выше оптималь-

ных для их жизнедеятельности сравнительно с экспериментальными данными в лаборатории (Малинин и др., 1996; Brett, 1971).

Цель настоящей работы – оценить конечные избираемые температуры у молоди карповых и окуневых видов рыб, обитающих в Рыбинском водохранилище, а также в водохранилищах и других водоемах Верхней Волги.

Для получения сводки данных использованы собственные экспериментальные данные, полученные в многолетних исследованиях, в том числе неопубликованные ранее, кроме того – известные литературные материалы. Вместе с тем, для сравнения приводится ряд экспериментальных данных по видам-вселенцам, а также видам, не обитающим непосредственно в Рыбинском водохранилище (радужная форель, пелядь, сибирский осетр, стерлядь и др.).

Эксперименты проводились в условиях естественного фотопериода в течение летнего сезона года. Установки представляли собой горизонтальные термоградиентные лотки из оргстекла размерами 300×20×15 см, 400×35×15 см и 1000×50×50 см. Горизонтальный градиент температур создавался посредством нагрева (терморегулятор) и охлаждения (регулирующее устройство и холодильные агрегаты ВС-1.1 или ВС-1.5). Первые две установки были разделены на 10–12 камер с полуперегородками и аэрацией в каждом отсеке у дна, что позволяло создавать градиент температур с разностью на концах установок 20–25°C. Продолжительность каждого отдельного опыта составляла от 8 до 15 суток. Количество рыб в установке варьировало (в зависимости от размера особей) от 6 до 30 экз. Питание рыб производили дважды в сутки живым кормом, комбикормом или сухой дафнией. Избираемые температуры определялись 6–8 раз в сутки, далее определялись средние избираемые температуры за сутки, динамика выбора температур и конечная избираемая температура на стабильном участке выбора (после 4–8 суток пребывания в градиенте температур). Более подробно методика определения избираемых и конечных избираемых температур описана ранее (Голованов, Валтонен, 2000; Лапкин и др., 1979; Свирский, 1996 и др.). Данные по конечным избираемым температурам молоди (сеголетков и годовиков) рыб в летний сезон года приведены в таблице. Ориентировочный возраст экспериментальных особей – пескаря, гольца и 2 видов-вселенцев, бычка-кругляка и бычка-цуцика $\approx 1+$ – $2+$.

Анализ данных позволяет сделать некоторые заключения. В пределах всего температурного диапазона жизнедеятельности пресноводных рыб от 0 до 43.4°C, как следует из таблицы, молодь рыб, обитающих в бассейне Верхней Волги, в экспериментальных условиях предпочитает в летний сезон года температурный интервал от 12 до 31°C. Наименьшие оптимумы отмечены у корюшки – 12–13°C, несколько более высокие КИТ – у налима (14–16°C), пеляди (16–18°C) и у представителя семейства вьюновых – гольца (15.1°C), возраст которого чуть выше. Если для первых трех видов, как холодолюбивых рыб, это (в сравнении с лососевыми, например, радужной форелью – 14–17°C) вполне объяснимо, то для гольца подобная избираемая низкая температура существенно ниже, чем у другого представителя этого же семейства, вьюна – 25°C.

Такие виды, как щука (КИТ = 24°C), сибирский осетр (КИТ = 20.8–22.7°C), стерлядь (КИТ = 23.6°C) и два вида-вселенца, бычок-цуцик и бычок-головач (у обоих КИТ = 22.4°C) в несколько более старшем возрасте, а также единственный представитель карповых с низкими избираемыми температурами – пескарь (20.4°C) в возрасте ориентировочно $\approx 1+$ – $2+$ представляют собой группу видов, которые предпочитают оптимум несколько выше холодолюбивых рыб, упомянутых ранее.

Молодь окуневых видов – речного окуня, ерша и судака – еще более теплолюбивы, а их КИТ расположены в диапазоне от 22 до 26°C (несколько выше у окуня, возможно, ниже – у ерша и судака).

Наиболее исследована молодь карповых видов рыб, 10 представителей этого семейства. За исключением пескаря, о котором уже упоминалось, как о наиболее холодолюбивом карповом виде, все остальные виды предпочитают оптимальные условия существенно выше, от 23 до 31°C. Наблюдается тенденция повышения КИТ в ряду: плотва – язь – лещ – уклейка – густера – карась серебряный – синец – карась золотой – карп (сазан). Наиболее теплолюбивым видом оказался карп, имеющий происхождение из вод юго-восточной Азии (Golovanov, 2006).

**Конечные избираемые температуры (КИТ) у молоди различных видов рыб
из Рыбинского водохранилища в сравнении с другими видами**

Вид рыбы	Возраст	КИТ, °C
Сем. Карповые – Cyprinidae		
Сазан (карп), <i>Cyprinus carpio</i> (L.)	С, Г	29–31.0
Карась золотой, <i>Carassius carassius</i> (L.)	С, Г	28–29.0
Карась серебряный, <i>Carassius auratus</i> (L.)	С, Г	27–28.0
Синец, <i>Abramis ballerus</i> (L.)	С, Г	27–29.0
Лещ, <i>Abramis brama</i> (L.)	С, Г	27.0
Густера, <i>Blicca bjoerkna</i> (L.)	С, Г	26–28.0
Язь, <i>Leuciscus idus</i> (L.)	С, Г	26–27.0
Плотва, <i>Rutilus rutilus</i> (L.)	С, Г	23–26.0
Уклейка, <i>Alburnus alburnus</i> (L.)	С, Г	26–28.0
Пескарь, <i>Gobio gobio</i> (L.) ¹	≈ 1+ – 2+	20.4
Сем. Окуневые – Percidae		
Речной окунь, <i>Perca fluviatilis</i> L. ²	С, Г	25.2–25.8
Ерш, <i>Gymnocephalus cernuus</i> (L.)	С, Г	24–26.0
Судак, <i>Stizostedion volgensis</i> (Gmelin)	С	22–26.0
Сем. Вьюновые – Gobitidae		
Вьюн, <i>Misgurnus fossilis</i> (L.)	Г	25.0
Голец, <i>Noemacheilus barbatulus</i> (L.) ¹	≈ 1+ – 2+	15.1
Сем. Щуковые – Esocidae		
Щука, <i>Esox lucius</i> L. ³	С	24.0
Сем. Осетровые – Acipenseridae		
Сибирский осетр, <i>Acipenser baeri</i> Brandt	С	20.8–22.7
Стерлядь, <i>Acipenser ruthenus</i> (L.) ⁴	С	23.6
Сем. Бычковые – Gobiidae		
Бычок-головач, <i>Neogobius kessleri</i> (Günther) ¹	≈ 1+ – 2+	22.4
Бычок-цуцик, <i>Proterorhinus marmoratus</i> (Pallas) ¹	≈ 1+ – 2+	22.4
Сем. Сиговые – Coregonidae		
Пелядь, <i>Coregonus peled</i> (Gmelin)	С	16–18.0
Сем. Корюшковые – Osmeridae		
Корюшка, <i>Osmerus eperlanus</i> (L.) ⁵	Г	12–13.0
Сем. Лососевые – Salmonidae		
Радужная форель, <i>Oncorhynchus mykiss</i> Walbaum	С	14–17.0
Сем. Тресковые – Gadidae		
Налим, <i>Lota lota</i> (L.)	С	14–16.0

Примечание. С – сеголетки, Г – годовики. Все данные приведены по результатам собственных экспериментов, проведенных в различные годы. Ссылки на дополнительные литературные источники: 1 – Вербицкий и др., 2005; 2 – Свирский, Лапкин, 1987; 3 – Свирский, Обухова, 1999; 4 – Смирнов, 2009; 5 – Иванова, Лапкин, 1982.

Таким образом, как это показано на примере молоди карповых, окуневых и других, взятых для сравнения видов, каждый исследованный вид по показателям эколого-физиологического оптимума или КИТ занимает свою определенную «термальную нишу» (Golovanov, 2006; Magnuson et al., 1979). Если судить по температурам поверхностного слоя воды в Рыбинском водохранилище в июне, июле и августе – от 14 до 22.5°C (Голованов и др., 1997), большинство карповых и окуневых видов имеет оптимальные температурные зоны, превышающие температуры естественной среды. Тем не менее, следует учитывать, что на мелководьях Рыбинского водохранилища, других водохранилищ Верхней Волги и водоемах региона в июле-августе достаточно часты продолжительные жаркие периоды, в течение которых температуры воды могут достигать уровня в 30°C и даже превышать его. Кроме того, существенное значение имеет и тот факт, насколько ближе к экспериментально определенным оптимальным условиям развития, роста и питания расположены температуры, в которых непосредственно происходят данные процессы у молоди рыб в естественных условиях. Немаловажно, что в регионе расположено несколько сбросов подогретой воды в районе Конаковской ГРЭС (Иваньковское водохранилище), Череповецкого металлургического комбината (Рыбинское водохранилище) и Костромской ГРЭС (Горьковское водохранилище). В зоне этих сбросов температуры воды в летний сезон года часто превышают порог в 30°C. Известно, что именно эти, более прогретые воды, привлекают молодь многих видов рыб, преимущественно карповых и окуневых, обеспечивая повышенный рост и благоприятные условия питания (Голованов и др., 2005).

Выполненная работа и приведенная сводка данных могут быть полезны экологам, ихтиологам и гидробиологам, а также практикам рыбного хозяйства. В сравнении с другими периодами онтогенеза, у молоди рыб – сеголетков, годовиков и двухлетков – отмечены максимальные показатели температур эколого-физиологического оптимума и КИТ. Разработка критериев, определяющих нормы сброса подогретой воды тепловых и атомных электростанций, число которых планируется увеличивать; оценка влияния климатических изменений и температурного режима вод применительно к гидробионтам при зарегулировании стока рек; возможность использования обширных мелководий водохранилищ для подрачивания молоди различных видов рыб – только примерный перечень вопросов, при решении которых настоящие данные могут быть востребованы. Кроме того, приведенные количественные данные могут служить исходной информацией при решении теоретических вопросов, связанных с проблемами сохранения и мониторинга биологических ресурсов.

Работа выполнена в рамках Программы ОБН РАН «Биологические ресурсы России».

Литература

Малинин Л.К., Базаров М.И., Голованов В.К., Линник В.Д. 1996. Влияние температуры воды на диапазон суточных вертикальных миграций рыб // Поведение и распределение рыб. Докл. 2-го Всерос. совещ. «Поведение рыб». Борок. С. 103–118.

Вербицкий В.Б. 2008. Понятие экологического оптимума и его определение у пресноводных пойкилотермных животных // Ж. общ. биол. Т. 69. № 1. С. 44–56.

Вербицкий В.Б., Гибенко И.В., Свирский А.М. 2005. Окончательно избираемые температуры каспийских рыб-вселенцев (бычков головача и цулика) в сравнении с двумя аборигенными видами (пескарем и гольцом) // Поведение рыб. Материалы докладов Международной конф. 1–4 ноября 2005 г. Борок, Россия. М: АКВАРОС. С. 58–62.

Голованов В.К. 1996. Эколого-физиологические аспекты терморегуляционного поведения пресноводных рыб // Поведение и распределение рыб. Докл. 2-го Всерос. совещ. «Поведение рыб». Борок. С. 16–40.

Голованов В.К., Смирнов А.К., Болдаков А.М. 2005. Воздействие термального загрязнения водохранилищ Верхней Волги на рыбное население: современное состояние и перспективы // Актуальные проблемы рационального использования биологических ресурсов водохранилищ. Рыбинск: Изд-во ОАО «Рыбинский Дом печати». С. 59–81.

Голованов В.К., Валтонен Т. 2000. Изменчивость термоадаптационных свойств радужной форели *Oncorhynchus mykiss* Walbaum в онтогенезе // Биол. внутр. вод. № 2. С. 106–115.

Голованов В.К., Гречанов И.Г., Маврин А.С., Обухова В.М. Термопреферендум сибирского осетра *Acipenser baeri* Brandt // Тез. докл. Международн. конф. «Осетровые на рубеже XXI века», Астрахань. Изд-во КаспНИРХ. 2000 г. С. 136–138.

Голованов В.К., Свирский А.М., Извеков Е.И. 1997. Температурные требования рыб Рыбинского водохранилища и их реализация в естественных условиях // Современное состояние рыбных запасов Рыбинского водохранилища. Ярославль: ЯрГТУ. С. 92–116.

Зданович В.В. 2001. Некоторые особенности термопреферендного поведения молоди рыб, акклиматизированной к постоянным и переменным температурам // Вопр. ихтиол. Т. 41. № 5. С. 686–690.

Иванова М.Н., Лапкин В.В. 1982. Влияние температуры на жизнедеятельность и распределение пресноводной корюшки в водоемах // Биол. внутр. вод.: Информ. бюлл. № 55. Л.: Наука. С. 37–41.

Константинов А.С., Зданович В.В., Шолохов А.М. 1991. Астатичность температурных условий как фактор оптимизации роста, энергетики и физиологического состояния молоди рыб // Вестн. Московск. ун-та. Сер. 16. Биол. № 2. С. 38–44.

Лапкин В.В., Сопов Ю.Н., Свирский А.М. 1979. Избираемая температура и температура акклимации рыб // Зоол. журн. Т. 58. Вып. 11. С. 1659–1670.

Свирский А.М. 1996. Поведение рыб в гетеротермальных условиях // Поведение и распределение рыб. Докл. 2-го Всерос. совещ. «Поведение рыб». Борок. С. 140–152.

Свирский А.М., Лапкин В.В. 1987. Сезонная и возрастная изменчивость избираемых температур у рыб Рыбинского водохранилища: 1. Окунь (*Perca fluviatilis* L.) // Биол. внутр. вод.: Информ. бюлл. № 76. Л.: Наука. С. 45–49.

Свирский А.М., Обухова В.М. Терморегуляционное поведение сеголеток щуки *Esox lucius* L. // Экологическая физиология и биохимия рыб. Т. II. Тез. докл. IX Всерос. Конф. Ярославль, 2000. С. 129–130.

Смирнов А.К. 2009. Избираемая температура молоди стерляди *Acipenser ruthenus* L. // Материалы XXVIII Международн. конф. «Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера». Петрозаводск.

Brett J.R. 1971. Energetic responses of salmon to temperature. A study of some thermal relations in the physiology and freshwater ecology of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) // Amer. Zool. V. 1. № 11. P. 99–113.

Golovanov V.K. 2006. The ecological and evolutionary aspects of thermoregulation behavior of fish // Journal of Ichthyology. Vol. 46. Suppl. 2. P. S180–S187.

Jobling M. 1981. Temperature tolerance and the final preferendum – rapid methods for the assessment of optimum growth temperature // J. Fish. Biol. Vol. 19. № 4. P. 439–455.

Magnuson J.J., Crowder L.B., Medvick P.A. 1979. Temperature as an ecological resource // Amer. Zool. Vol. 19, № 1. P. 331–343.

Reynolds W.W., Casterlin M.E. 1979. Behavioral thermoregulation and the «final preferendum» paradigm // Amer. Zool. V. 19. № 1. P. 211–224.

THERMOPREFERENDUM OF YOUNG CYPRINIDS AND PERCIDS FISHES AND OTHER SPECIES FROM UPPER VOLGA REGION

D.S. Kapshay¹, V.K. Golovanov²

¹Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl

²Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Yaroslavl reg., Russia

e-mail: kapsh@ibiw.yaroslavl.ru, golovan@ibiw.yaroslavl.ru

The final preferred temperatures of young cyprinids and percids, also other species of fishes from Rybinsk reservoir and other reservoirs of Upper Volga are estimated. For more complete picture of fish thermopreference characteristics the experimental data on species – invaders and species which are not living in Rybinsk reservoir (rainbow trout, siberian sturgeon, sterlet etc.) are resulted. Every investigated specie on parameters of an ecological-physiological optimum or final thermopreferendum occupies certain «thermal niche». The analysis of the data has shown, that the young of fishes living in region of Upper Volga, in experimental conditions selected temperature interval from 12 up to 31°C. The least optimum preferred in summer season of year are marked at smelt, burbot, peled and loach (12–18°C). A pike, siberian sturgeon, sterlet and gudgeon represent group of species, which selected an optimum a little bit above of coldwaters fishes (20.4–24°C). The young of percids species – river perch, ruffe and zander – even more warmwater, and their final thermopreferendum are located in a range from 22 up to 26°C. The young of cyprinids fishes – bream, roach, blue bream, goldfish and carp – preferred optimum thermal conditions much above, from 23 up to 31°C.

ПАРАЗИТОФАУНА ЕВРОПЕЙСКОЙ КОРЮШКИ *OSMERUS EPERLANUS* НЕКОТОРЫХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ОЗЕРНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ СЕВЕРО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

А.Б. Карасев¹, С.В. Пономарев¹, О.С. Еременко²

¹Полярный научно-исследовательский морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича (ПИНРО), г. Мурманск,

²Мурманский государственный технический университет (МГТУ), г. Мурманск
e-mail: paralab@pinro.ru

Европейская корюшка – прибрежная проходная рыба. Изолированные озерные популяции обитают в районах Скандинавии и европейской части России. Корюшка служит важным кормовым объектом для ценных хищных рыб и является также объектом массового любительского и промышленного лова. Исходя из этих соображений, во вновь созданное Верхнетуломское водохранилище (Мурманская область, бассейн Баренцева моря) в период с 1979 по 1985 годы было выпущено 258,8 млн. шт. личинок мелкой онежской корюшки, которая успешно натурализовалась в данном водоеме (Неличик, 1998). Экологические особенности интродуцированной корюшки по паразитологическим данным были изучены В.К. Митеневым, А.Б. Карасевым и С.В. Пономаревым (2007).

Ранее паразитофауна корюшки была изучена в естественных водоемах Карелии – озера Ладожское, Онежское и Пяозеро (Румянцев, 2007) и Кольского полуострова – озера Ковдозеро/Княжегубское водохранилище, Имандра и Колвицкое (Митенев, 1997).

Цель настоящей работы – провести сравнительный анализ паразитофауны европейской корюшки *Osmerus eperlanus*, интродуцированной в Верхнетуломское водохранилище (ВТВ), паразито-