

4–16°C/ч (у карпа). Резкого повышения содержания ВРБ, возможно, связанного с начальным разрушением клеток и выходом образующих их белков в межклеточное пространство, не отмечено. Тем не менее, по динамике изменений содержания ВРБ в диапазоне скоростей нагрева от 4 до 32°C/ч, молодь карпа, вероятно, несколько устойчивее к нагреву.

Исследование ферментных систем различного уровня у рыб в зоне сублетальных температур позволит по-новому оценить как адаптационные возможности, так и физиолого-биохимические механизмы водных животных в процессе температурных адаптаций.

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

## **PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL ASPECTS OF FISH ADAPTATIONS IN A ZONE HIGH SUBLETHAL TEMPERATURES**

**V.K. Golovanov, G.M. Chuiko, V.A. Podgornaya**

Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia  
golovan@ibiw.yaroslavl.ru

The critical thermal maximum (KTM) of the fingerlings of river perch and yearlings of carp are investigated. The brain enzyme acetylcholinesterase activity (ACE) and soluble protein content (SPC) of the fishes, subjected heating is determined. In a range of six rates of heating from 0.08 up to 46°C/h maximal KTM are marked at yearlings carp and fingerlings of the perch at the slowest speed. The character of dependence of brain activity ACE and contents SPC in fishes from rate of heating is various. Changes of activity ACE and contents ACE are discussed at different rates of heating.

## **ГИДРОЛИЗ УГЛЕВОДОВ У ПРЕСНОВОДНЫХ КОСТИСТЫХ РЫБ И ОБЪЕКТОВ ИХ ПИТАНИЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ**

**И.Л. Голованова**

Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод  
им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Ярославской обл., Россия  
golovan@ibiw.yaroslavl.ru

Известно, что эффективность питания рыб в значительной мере зависит от состояния ферментных систем желудочно-кишечного тракта. Пищеварительные карбогидразы, участвуя в деструктурировании объектов питания, обеспечивают начальные этапы ассимиляции углеводных компонентов пищи. В свою очередь, гидробионты, составляющие кормовую базу рыб, обладают достаточно высоким уровнем активности гидролаз, способных осуществлять процессы аутодеградации и принимать участие в пищеварении консументов (Кузьмина, 2005). Различные природные и антропогенные факторы могут оказывать значительное влияние на активность ферментов рыб и объектов их питания. При этом в естественных условиях природные и антропогенные факторы, как правило, действуют комплексно, в результате чего эффекты отдельных агентов могут усиливаться или ослабляться.

В настоящее время практически все водоемы загрязнены тяжелыми металлами. Даже биогенные элементы, такие как Cu и Zn, в малых количествах являющиеся жизненно необходимыми, в больших концентрациях токсичны для гидробионтов. Попадая в организм вместе с водой и пищей, они могут оказывать негативное влияние на морфофункциональные характеристики пищеварительного тракта рыб и физиолого-биохимические показатели беспозвоночных животных. Однако к моменту начала наших исследований практически отсутствовали данные по влиянию ионов тяжелых металлов на активность карбогидраз рыб и беспозвоночных животных, а действие температуры и pH традиционно изучалось раздельно.

Цель работы состояла в изучении раздельного и комплексного влияния температуры, pH и тяжелых металлов (Cu, Zn, Cd, Hg) на гидролиз углеводов в пищеварительном тракте пресноводных костистых рыб, различающихся по типу питания, и в организме беспозвоночных животных и моллюсков, входящих в состав их кормовой базы.

В работе исследовано 16 видов пресноводных костистых различных экологических групп и 9 видов беспозвоночных животных, относящихся к типу Artropoda (класс Crustacea и Insecta) и типу Mollusca (класс Bivalvia и Gastropoda). Определяли активность карбогидраз: панкреатической  $\alpha$ -амилазы, мембранного фермента сахаразы и амилаолитическую активность (АА), отражающую суммарную активность ферментов ( $\alpha$ -амилазы, глюкоамилазы и мальтазы), гидролизующих крахмал. Активность ферментов у консументов определяли в слизистой оболочке кишечника, у объектов питания рыб – во всем организме. Концентрации ионов тяжелых металлов (0.1–50 мг/л) соответствуют содержанию этих элементов в кормовых объектах рыб и донных отложениях водоемов.

В экспериментах *in vitro* установлено, что активность карбогидраз в слизистой оболочке кишечника рыб планкто- и бентофагов, и в организме потенциальных объектов их питания (беспозвоночные животные) сопоставима в широком диапазоне температуры и рН, в слизистой оболочке кишечника ихтиофагов – в 10–100 раз ниже, чем в организме кормовых объектов (молодь рыб). Максимальный уровень АА и активности сахаразы отмечен при температуре 20°C у рыб планктофагов и бентофагов в области нейтральных значений рН, у типичных и факультативных хищников – в области щелочных значений рН. Температура 0°C и рН 5.0, и особенно их сочетание вызывают наибольшее снижение активности карбогидраз, в большей степени у мирных рыб (в 3–7 раз) по сравнению с хищными (в 2–4 раза).

В присутствии ионов Cu и Zn активность карбогидраз достоверно снижается во всем диапазоне исследованных концентраций, в большей мере у бентофагов, по сравнению с ихтиофагами. Ионы Cd изменяет ее лишь в очень высоких концентрациях (25 и 50 мг/л), преимущественно у бентофагов и не более чем на 30%. В большинстве случаев максимальное торможение АА в присутствии ионов Cu, Zn и Cd отмечено при 20°C в зоне нейтральных значений рН, сдвиг рН или снижение температуры, как правило, уменьшают величину тормозящего эффекта в 2–3 раза.

В организме кормовых объектов рыб минимальные значения АА отмечены у зоопланктона и личинок стрекоз, максимальные – у моллюсков и молоди карповых видов рыб – карпа, карася и плотвы. Как раздельное, так и совместное действие температуры 0°C и рН 5.0 снижает активность карбогидраз у беспозвоночных в 2–5 раз, в тканях молоди рыб – в 4–18 раз. Наиболее устойчивы к изменению температуры и рН ферменты дрейссены, наиболее чувствительны – карбогидразы молоди рыб.

У беспозвоночных животных ионы Cu и Zn снижают активность карбогидраз в меньшей степени, чем в тканях молоди рыб. При этом карбогидразы объектов питания более чувствительны к действию ионов тяжелых металлов, чем ферменты пищеварительного тракта рыб, поскольку минимальные концентрации, вызывающие достоверное снижение АА, в тканях кормовых объектов могут быть на порядок ниже, а величина тормозящего эффекта – выше, чем у питающихся ими рыб. Наибольшее снижение активности карбогидраз у всех исследованных животных установлено при комплексном действии температуры, рН и ионов металлов.

В экспериментах *in vivo* установлено, что ацидификация водоема, повышенный уровень тепловой нагрузки, долговременное действие соединений Cd и MeHg достоверно снижают скорость гидролиза углеводов и устойчивость карбогидраз рыб к действию ионов Cu, Zn и Cd *in vitro*. Ферменты панкреатической природы более чувствительны к действию антропогенных факторов по сравнению с мембранными ферментами. Адаптации к действию указанных агентов осуществляются как за счет изменения уровня ферментативной активности, так и за счет изменения температурных и кинетических характеристик ферментов, гидролизующих углеводы.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о разной устойчивости пищеварительных карбогидраз гидробионтов, относящихся к разным таксономическим группам, к раздельному и комбинированному действию температуры, рН и тяжелых металлов. Скорость гидролиза углеводов у рыб планктофагов, бентофагов и объектов их питания при раздельном и совместном действии низкой температуры и кислых значений рН снижается в 2–7 раз; у ихтиофагов в 2–4 раза, у объектов их питания – в 4–18 раз. Ионы Cu, Zn и Cd снижают скорость гидролиза углеводов в широком диапазоне температуры и рН, в большей степени в тканях кормовых объектов, чем в слизистой оболочке кишечника питающихся ими рыб. Максимальное снижение скорости гидролиза углеводов установлено при комплексном действии температуры 0°C, рН 5.0 и ионов тяжелых металлов (Cu, Zn и Cd). Карбогидразы кормовых объектов ихтиофагов (молодь рыб) наиболее чувствительны к дейст-

вию указанных факторов. Величина эффекта зависит от вида гидробионтов, концентрации металла и типа гидролизующих связей.

Снижение активности пищеварительных ферментов у рыб и объектов их питания при раздельном и совместном влиянии ряда природных и антропогенных факторов может значительно замедлять скорость ассимиляции углеводов, уменьшая вклад ферментов жертвы в пищеварение консументов, и негативно влияя как на эффективность питания рыб, так и на скорость круговорота веществ в водных экосистемах.

## **EFFECT OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS ON CARBOHYDRATE HYDROLYSIS IN FISH AND THEIR FOOD OBJECTS**

**I.L. Golovanova**

Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia  
golovan@ibiw.yaroslavl.ru

The separate and combined effects of temperature, pH and heavy metals (Cu, Zn, Cd) on the carbohydrase activity in fish intestine and whole body of the fish natural food objects (planktic crustaceans, insect larvae, mollusks, young fishes) have been studied *in vitro*. The maximal decrease enzyme activity under combined effects of temperature 0°C, pH 5.0 and heavy metal has been found. The carbohydrases of food organisms (especially of juvenile fish serving as feeding items for piscivores) are more sensitive to toxic action of these factors compared to the enzymes of fish digestive tract. Water acidification, high temperature of outside ambient, and chronic exposure to Cd and Hg decrease the rate of carbohydrate hydrolysis and result in increased sensitivities of digestive enzymes to Cu, Zn, and Cd *in vitro*. Adaptation to conditions of functioning is achieved through changes in temperature-dependent and kinetic parameters of enzymes.

## **ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНЫХ КАРБОГИДРАЗ РЫБ К ДЕЙСТВИЮ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ**

**И.Л. Голованова, А.А. Филиппов**

Учреждение Российской академии наук Институт биологии внутренних вод  
им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Ярославской обл., Россия  
golovan@ibiw.yaroslavl.ru

В результате хозяйственной деятельности человека многие водоемы и обитающие в них гидробионты подвержены действию различных загрязняющих веществ, в том числе органических соединений и тяжелых металлов. Тяжелые металлы, поступая в организм рыб из пищи либо воды, аккумулируются в различных органах и тканях. Медь и цинк относятся к числу необходимых микроэлементов, однако в высоких концентрациях они токсичны для организма, биологические функции кадмия в настоящее время не известны. При изучении гидролиза углеводов в кишечнике пресноводных костистых рыб установлено, что Cu и Zn в концентрации 0.1–50 мг/л (Cd лишь в концентрации 25–50 мг/л) снижают активность пищеварительных карбогидраз *in vitro*, а токсичность металлов зависит от ряда биотических факторов (Голованова, 1997, 2006). Так, чувствительность карбогидраз в действии Cu, Zn и Cd снижается с возрастом рыб, у голодных особей она ниже, чем у сытых. В летний сезон на фоне высокой функциональной активности пищеварительной системы чувствительность карбогидраз рыб к действию ионов тяжелых металлов возрастает. Выявленные эффекты в большей мере проявляются у рыб бентофагов, прекращающих активное питание при температуре среды меньше 7°C, по сравнению с ихтиофагами, у которых в холодное время года питание не прекращается, лишь снижается его интенсивность. Кроме того, у рыб одного вида, но различающихся по экологии и типу питания, чувствительность кишечных карбогидраз к действию тяжелых металлов различна (Голованова и др., 2010). Так, карбогидразы плотвы пойменно-придонной экологической группы (преимущественно моллюсковоядной) более чувствительны к токсическому