

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

действию Cu и Zn по сравнению с ферментами плотвы прибрежной группы со смешанным спектром питания.

В настоящей работе представлены данные по чувствительности пищеварительных карбогидраз к действию *in vitro* ионов Cu, Zn и Cd в концентрации 0.1–50 мг/л у рыб, испытывающих хроническое действие антропогенных факторов различной природы: ацидификация водоемов, повышенный уровень тепловой нагрузки, действие метилртути и органических ксенобиотиков.

В последние десятилетия в северо-западной части России, увеличивается количество озер с низким значением рН воды. При этом окунь часто является единственным видом, обитающим в озерах с рН воды < 4.5. При изучении окуня из озер Дарвиновского заповедника с кислым и нейтральным значением рН воды установлено, что длительное пребывание в условиях ацидификации снижает не только активность пищеварительных карбогидраз, но и их устойчивость к действию ионов Cd. Увеличение чувствительности карбогидраз к действию Cd происходит не за счет увеличения величины токсического эффекта, а за счет снижения активности при более низких концентрациях металла.

В результате сброса подогретых вод промышленных предприятий, атомных и тепловых электростанций нарушается температурный режим водоемов. Для выяснения последствий этого явления на переваривание углеводов у карповых видов рыб проводили эксперименты с различной скоростью нагрева воды. Температуру в опытных аквариумах повышали до критического уровня, при котором отмечалось нарушение локомоторной функции рыб. Значения критической температуры в различные сезоны не превышали 40°C. Показано, что при медленном повышении температуры воды со скоростью около 1°C/сут активность карбогидраз во все сезоны достоверно увеличивалась. Более высокие скорости нагрева (4–50°C/ч), как правило, снижают скорость гидролиза углеводов в 2–7.5 раз во все сезоны, исключая лето. Летом активность карбогидраз увеличивается с ростом скорости нагрева воды. В то же время резкое увеличение скорости нагрева воды повышает чувствительность карбогидраз карася и карпа к действию более низких концентраций Cu, Zn и Cd, что может негативно сказаться на интенсивности пищеварения в условиях теплового и химического загрязнения.

Повышенное содержание Hg в корме (0.3–0.4 мг/кг) увеличивает чувствительность карбогидраз молоди рыб сем. карповых к действию ионов Cu, Zn и Cd в условиях *in vitro*. У карпа отмечено снижение устойчивости α -амилазы (но не амилаолитической активности или активности сахаразы) к действию ионов Cd по сравнению с контрольными рыбами, содержание ртути в корме которых составило < 0.02 мг Hg/кг. Эти результаты подтверждают большую чувствительность панкреатических ферментов к токсическому действию тяжелых металлов по сравнению с собственно мембранными ферментами. У сеголетков плотвы, получавших корм с большей концентрацией Hg, установлено снижение амилаолитической активности в более широком диапазоне концентраций Cu и Zn, и величина тормозящего эффекта значительно выше (59% и 60%) по сравнению с рыбами контрольной группы (44 и 20% соответственно).

При действии Cu и Zn на карбогидразы кишечника сеголетков плотвы, в течение 3-х мес. получавших полихлорбифенилы с кормом (50.8 нг/г сырой массы) в присутствии загрязненного грунта (425.6 нг/г сухой массы), выявлено более значительное снижение ферментативной активности по сравнению с рыбами контрольной группы. При этом отмечено как усиление величины тормозящего эффекта при одной и той же концентрации металлов, так и достоверное снижение амилаолитической активности в более широком диапазоне концентраций металла. Ионы Cu оказывают более выраженный токсический эффект по сравнению с ионами Zn, а совместное действие Cu и Zn достоверно не изменяет величину их раздельного влияния.

В экспериментах с органическим ядом хлорофосом и химическим мутагеном нитрозогуанидином установлено, что кратковременное действие этих ксенобиотиков в период эмбриогенеза изменяет скорость гидролиза углеводов в кишечнике развивающихся сеголетков плотвы и чувствительность пищеварительных карбогидраз к действию Cu и Zn. Для опытов использовали осемененную икру, которую экспонировали в растворах токсикантов в концентрации $3 \cdot 10^{-3}$ мг/л до стадии подвижного эмбриона (54 ч). Затем растворы были заменены речной водой. После рассасывания желточного мешка личинки развивались в однотипных выростных прудах с естественной кормовой базой. У рыб контрольной группы (икра экспонировалась в чистой речной воде) амилаолитическая

активность снижалась на 20–69% в присутствии Cu в концентрации 1–25 мг/л. В то же время эмбриотоксическое действие хлорофоса и нитрозогуанидина вызывало снижение активности карбогидраз на 25–98%, при этом тормозящий эффект выявлен и при более низкой концентрации Cu 0.1 мг/л. Близкие результаты получены и при действии нитрозогуанидина в период эмбриогенеза на чувствительность карбогидраз сеголетков плотвы в действии Zn.

Таким образом, различные по природе антропогенные факторы (ацидификация водоемов, повышенный уровень тепловой нагрузки, хроническое действие метилртути и полихлорбифенилов, кратковременное действие органических ксенобиотиков) повышают чувствительность пищеварительных карбогидраз рыб к действию ионов Cu, Zn и Cd. Повышение чувствительности происходит как за счет увеличения силы тормозящего эффекта при одной и той же концентрации металла, так и снижением активности ферментов при более низких концентрациях металлов. Усиление негативного влияния тяжелых металлов на гидролиз углеводов в кишечнике рыб значительно замедляет скорость начальных этапов ассимиляции углеводов, негативно влияя на эффективность питания рыб, обитающих в районах с повышенной антропогенной нагрузкой.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 08-05-00805).

EFFECT OF ANTHROPOGENIC FACTORS UPON FISH DIGESTIVE CARBOHYDRASE SENSITIVITY TO HEAVY METALS

I.L. Golovanova, A.A. Filippov

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

The different anthropogenic factors (water acidification, sharp increases of water temperature, chronic exposure to Cd, methylmercury and polychlorinated biphenyls, a short-term action ultralow chlorophos and nitrosoguanidine concentrations) decrease the rate of carbohydrate hydrolysis and considerably reduce digestive carbohydrase stability to Cu, Zn, and Cd in vitro. The increase of inhibitory effect of heavy metals on the intestinal carbohydrase activities result in decreased rate of carbohydrate assimilation, negatively influencing on efficiency of fish feeding.

АНТИОКСИДАНТНЫЙ КОМПЛЕКС ТКАНЕЙ У САМЦОВ И САМОК КАМБАЛЫ-КАЛКАН *PSETTA MAEOTICA* PALLAS В НЕРЕСТОВЫЙ ПЕРИОД

И.В. Головина, О.Л. Гостюхина

Институт биологии южных морей им. А.О.Ковалевского НАН Украины, Севастополь, Украина
ivgolovina@mail.ru gostolga@yandex.ru

Для оценки физиологического состояния рыб в качестве биомаркеров все чаще применяются показатели антиоксидантного (АО) комплекса и перекисного окисления липидов (ПОЛ). Они отражают устойчивость рыб к условиям окислительного стресса, который может развиваться под действием гипоксии, загрязнения и других факторов. Эти маркеры принадлежат к универсальным, способным откликаться как на антропогенные воздействия, так и на эндогенные процессы, связанные с развитием ПОЛ. Ранее нами было показано, что у двустворчатых моллюсков влияние физиологического состояния (нереста) на АО комплекс и ПОЛ может быть сравнимо с эффектом ксенобиотиков. Определение критериев для выбора параметров АО системы и ПОЛ, используемых в целях экодиагностики, по-прежнему, является актуальным. Важно выявить реакции этих показателей в период естественной окислительной нагрузки, в качестве модели которой мы рассматриваем нерест.

Целью настоящей работы было установить изменения в системе АО защиты и уровне ПОЛ в тканях самцов и самок черноморской камбалы в нерестовый период.

Камбала-калкан – ценный промысловый вид, обитающий в шельфовой зоне всех причерноморских государств. В прибрежных водах Севастополя нерестится с апреля по июнь, совершает весенние миграции на глубины 30–100 м.