

восстановленного глутатиона увеличился. Аналогичную картину наблюдали Pannunzio и др. (1998) в ткани пищеварительной железы *L. littorea*, после 6 дней аноксии. Накопление МДА является показателем развития окислительных процессов в организме, в частности, продуктов ПОЛ, с которыми, как мы увидели, антиоксидантная защита в клетках пищеварительной железы экспериментальных моллюсков не способна справляться как в период аноксии, так и в период реоксигенации.

После Р (20) активность СОД и КАТ пищеварительной железы вернулась к контрольным значениям, а ГР осталась на низком уровне. Возможно, что действие А (20) привело к более серьезным изменениям в антиоксидантной системе, чем А (8).

Гребешок оказался устойчив к непродолжительной аноксии (А 8), и последующей реоксигенации, что подтверждается согласованной работой антиоксидантных ферментов и глутатиона. Действие А (20) привело к ослаблению антиоксидантных защит, но не исключено, что большая по длительности реоксигенация (больше, чем 12 часов) способствовала бы полному восстановлению АО системы.

Как показали наши эксперименты, для *M. yessoensis* присущ хорошо сбалансированный механизм биохимической адаптации к повышенному уровню O₂ в воде, но не к его отсутствию.

THE EFFECT OF ANOXIA EXPOSURE AND AEROBIC RECOVERY ON THE ANTIOXIDANT DEFENSES OF SCALLOPS *MIZUHOPECTEN YESSOENSIS*

A.A. Istomina, N.V. Dovzhenko

V.I. Ilrichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia
istomina@poi.dvo.ru, nadezhda@poi.dvo.ru

The effect of anoxia exposure (in air for 8, 20 h at 11 °C) and aerobic recovery (12 h) to the antioxidant defenses of scallops, *Mizuhopecten yessoensis*, were assessed in digestive gland. Activities of three enzymes were suppressed (to 6–40% of controls) in digestive gland during anoxia exposure: superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), glutathione reductase (GR). When returned to aerobic conditions, activities of enzymes to return to a pre-aerial exposure levels, except GR (20 h). The decrease in SOD, CAT and GR activity during anoxic incubation suggested a decreasing ROS generation due to the lack of oxygen. Anoxia exposure stimulated an increase in the amount of the glutathione in digestive gland. Scallops were exposed to air for 8, 20 h showing a clear increase in the levels of lipid peroxidation. The results of this study demonstrate that after 20 h anoxia, 12 h of recovery is not sufficient to restore pre-anoxic conditions.

ОСОБЕННОСТИ ХОЛИНЕРГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДВУСТВОРЧАТОГО МОЛЛЮСКА *CRENOMYTILUS GRAYANUS* В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СРЕДЕ

В.Я. Кавун¹, А.И. Чепкасова², О.В. Подгурская¹, Н.Н. Ковалев²

¹ Институт биологии моря имени А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток

² Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр, Владивосток
olga_pod@mail.ru

Исследовано влияние условий среды обитания на кинетические характеристики гидролиза субстрата и активность холинэстеразы гемолимфы мидий Грея. Мидии отобраны в фоновом районе (ст. 1), в зонах действия сезонных (ст. 2) и стационарного (ст. 3) апвеллингов, а также в загрязненном районе (ст. 4).

Показано, что в мягких тканях мидий из района действия сезонных апвеллингов определено достоверно повышенное содержание Cd, Pb. Мягкие ткани мидий из зоны действия стационарного апвеллинга обогащены Cu, Pb и, особенно, Cd. В мягких тканях мидий, отобранных в загрязненном районе, накапливается Cu и Pb.

Обнаружено, что в гемолимфе мидии из района действия сезонных апвеллингов в наибольшей степени содержится Pb и Cd. Особо повышенное содержание этих же металлов (концентрация в 8.3 и 17.5 раз, соответственно, выше фонового уровня) обнаружено и в гемолимфе мидий из зоны действия стационарного апвеллинга. Гемолимфа мидий из загрязненного района обогащена Cu, Fe, Cd и Pb (табл. 1).

Таблица 1. Концентрация тяжелых металлов в мягких тканях (мкг/г сухой массы) и гемолимфе (мкг/мл) мидий Грея из исследованных районов

Станция	Fe	Zn	Cu	Cd	Pb
Мягкие ткани					
1	82 ± 10	106 ± 23	3.9 ± 0.7	7.9 ± 1.9	1.5 ± 0.6
2	85 ± 9	124 ± 12	3.8 ± 0.4	11.1 ± 2.0*	2.6 ± 0.5*
3	41 ± 10*	103 ± 14	5.4 ± 0.8*	66.0 ± 12.0*	3.5 ± 0.4*
4	78 ± 15	123 ± 35	21 ± 6.7*	3.8 ± 0.6*	58 ± 15.0*
Гемолимфа					
1	0.2 ± 0.05	0.41 ± 0.02	0.10 ± 0.01	0.02 ± 0.003	0.09 ± 0.03
2	0.55 ± 0.03*	1.40 ± 0.01*	0.14 ± 0.002	0.24 ± 0.02*	0.58 ± 0.004*
3	0.31 ± 0.002*	0.60 ± 0.004*	0.17 ± 0.002*	0.35 ± 0.03*	0.75 ± 0.005*
4	0.76 ± 0.005*	0.41 ± 0.001	0.35 ± 0.001*	0.09 ± 0.004*	0.52 ± 0.003*

* Обозначены величины, достоверно отличающиеся от фонового уровня ($p \leq 0.05$).

При исследовании ХЭ показано, что наибольшая активность фермента, а также максимальные скорости гидролиза характерны для мидий с фоновой станции (табл. 2).

Таблица 2. Кинетические характеристики гидролиза субстратов под действием холинэстеразы гемолимфы мидии Грея из исследованных районов

Станция	pS, M	Vm, mM/мин	Km · 10 ⁻⁵ , M	Vm/Km	Активность, мкМ АТХ/мин/мл
1	2.6	0.26 ± 0.003	0.7 ± 0.02	37.1	1.59 ± 0.05
2	2.1–5.6	0.10 ± 0.004	0.9 ± 0.04	11.1	0.53 ± 0.03
3	3.3	0.21 ± 0.004	1.8 ± 0.05	11.7	1.04 ± 0.05
4	2.3	0.05 ± 0.002	2.3 ± 0.1	2.2	0.26 ± 0.001

pS = lg[S]; $p < 0.05$; Vm – максимальная скорость гидролиза субстратов; Km – константа Михаэлиса; Vm/Km – сродство субстратов к ферменту.

Особо следует отметить, что, несмотря на значительно различающуюся нагрузку на организм мидий из зон природного повышенного содержания металлов (ст. 2, 3), различия в эффективности холинэргических процессов (показатель Vm/Km) нами не выявлены (табл. 2). Следовательно, уровень сродства субстратов к ферменту в среднем равный 11.5 можно принять как нижний предел физиологической нормы. Таким образом, из всех исследованных кинетических параметров ферментативного гидролиза именно величина сродства субстратов к ферменту может служить интегральным показателем адаптации моллюсков к среде обитания.

Считается, что адаптивные процессы ферментов направлены на поддержание постоянства величины константы Михаэлиса. Функционирование фермента в пределах физиологической нормы реакции (станции 1, 2) не приводит к изменению этой величины. У обитателей зон с высокой природной нагрузкой (станция 3) наблюдается повышение константы Михаэлиса (табл. 2). Однако постоянство величины сродства субстратов к ферменту у моллюсков из природных импактных зон может свидетельствовать о том, что наблюдаемое изменение константы Михаэлиса очевидно является также пределом биохимической нормы реакции. В то же время обитание в условиях высокого антропогенного загрязнения приводит к более существенному увеличению значений константы Михаэлиса у мидий на фоне падения значений величины сродства субстратов к ферменту (табл. 2).

Таким образом, показано, что стратегия адаптации фермента гемолимфы двустворчатых моллюсков к различным условиям обитания развивается в двух направлениях, а хроническое антропогенное воздействие приводит к нарушению адаптивных процессов. Поэтому сложившийся к настоящему времени подход к оценке модуляции активности ферментов под действием различных факторов, базирующийся на сохранении постоянства константы Михаэлиса и одинаковой стратегии адаптации ферментативного катализа, требует корректировки. Более информативным и отражающим степень нагрузки и возможности адаптации организма является величина сродства субстрата к ферменту (Vm/Km), который рекомендуется в качестве нового биомаркера состояния холинэргической системы.

PECULIARITY OF CHOLINERGIC SYSTEM OF THE MUSSEL *CRENOMYTILUS GRAYANUS* FROM METAL-ELEVATED ENVIRONMENT

V.Y. Kavun¹, A.I. Chepkasova², O.V. Podgurskaya¹, N.N. Kovalev²

¹A.V. Zhirumsky Institute of Marine Biology FEB RAS, Vladivostok

²Pacific Scientific Research Fisheries Center, Vladivostok
olga_pod@mail.ru

Environmental condition effects on cholinesterase activity and kinetic parameters of substrate hydrolysis in the hemolymph of mussel *Crenomytilus grayanus* was study. Mussels were collected from reference area (site 1), seasonal (site 2) and stationary (site 3) upwelling zones and high contaminated area (site 4). It was found, that under seasonal upwellings cholinergic system efficiency provide by wide range of efficient concentration of substrate, i.e. under such condition mussels at molecular level have quantitative adaptation strategy of ferment. For the mussels from stationary upwelling zone for efficiency of cholinergic system qualitative strategy of ferment adaptation realize. In the mussels from high contaminated site irreversible damages of cholinergic process were observed. It was shown, that affinity of substrate to ferment is the most informative and appropriate biomarker for load level and adaptational capacity of organism. The affinity of substrate to ferment is recommended as a new biomarker.

ОЦЕНКА ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОЛОДИ ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ, ВЫРАЩИВАЕМОЙ НА ИМПОРТНЫХ КОРМАХ В УСЛОВИЯХ РЫБОВОДНЫХ ЗАВОДОВ КАМЧАТКИ

Е.И. Кальченко¹, Т.В. Гаврюсева¹, М.И. Юрьева²

¹ Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия

kalchenko.e.i@kamniro.ru

² Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр (ТИНРО-центр), Владивосток, Россия

В настоящее время на Камчатке действует 5 лососевых рыборазводных заводов (ЛРЗ), нуждающихся ежегодно в 40–50 тоннах комбикорма. На полуострове корма для лососей пока не производятся, а закупаются за рубежом — в Японии, США, Дании. Для оценки адекватности применяемых искусственных диет большое значение имеет изучение физиолого-биохимических показателей рыб. Они позволяют получить информацию о том, в какой степени используемые рационы удовлетворяют потребности организма в элементах питания, а также об их качестве.

Цель данной работы заключалась в оценке физиолого-биохимических показателей молоди тихоокеанских лососей, выращиваемой на различных импортных комбикормах в условиях рыбоводных заводов Камчатки, и определении на ее основе наиболее эффективных рационов для рыб.

Проведена комплексная оценка качественного состояния молоди кеты и чавычи, выращиваемой на импортных диетах, по рыбоводным (рост, выживаемость, затраты корма), биохимическим (содержание белка, липидов, воды, состав жирных кислот) и гистологическим (морфологическое состояние гепатоцитов, слизистой желудка и кишечника, нефроцитов и гемопозитической ткани почки) показателям. На основании этой оценки установлено, что для молоди кеты, выращиваемой при температуре воды 3–5° С, наиболее эффективным является полувлажный комбикорм марки «Biodiet» американского производства, отличающийся высоким содержанием жира (18%) и полиненасыщенных жирных кислот ω -3 типа (30% от суммы всех жирных кислот), соотношением полиненасыщенных жирных кислот ω -3 и ω -6 типов ($\Sigma\omega$ -3/ $\Sigma\omega$ -6) равным 4,9, протеина (46%), энерго-протеиновом отношении 9,7 ккал на 1 г белка. Он обеспечивает максимальные показатели роста и выживаемости рыб при наименьших кормовых затратах и наилучших биохимических и гистологических показателях. Для молоди чавычи, выращиваемой при температуре воды 8° С, наиболее адекватными являются комбикорма марки «Ауукко» японского производства и марки «Aller Aqua» датского производства с более высоким уровнем протеина (56–59%) и углеводов (10–14%), но низким — жира (10–11%), энерго-протеиновом отношении 8–8,4 ккал на 1 г белка.