

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ ГИДРОБИОНТОВ

УДК [574.24.044+594.117+574.632]:546.48

**ВОЗРАСТНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ РЕАКЦИЙ
АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ
В ЖАБРАХ ПРИМОРСКОГО ГРЕБЕШКА *MIZUHOPECTEN YESSOENSIS*
НА ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ СТРЕСС**

© 2014 г. Н. Н. Бельчева, Ю. В. Кудряшова, А. А. Истомина, Т. Л. Чижова

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева ДВО РАН,

Владивосток, 690041

E-mail: belcheva@poi.dvo.ru

Поступила в редакцию 15.10.2013 г.

Окончательный вариант получен 12.03.2014 г.

В жабрах приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* в возрасте 1, 2, 3 лет определены биохимические параметры: активность супероксиддисмутазы, каталазы, глутатион-редуктазы и содержание малонового диальдегида, а также изменения этих параметров после воздействия кадмием (300 мкг/л) в течение 4 сут. Выявлена зависимость между биологическим возрастом моллюсков и их устойчивостью к окислительному стрессу.

Ключевые слова: приморский гребешок *Mizuhopecten yessoensis*, возраст, окислительный стресс, кадмий.

ВВЕДЕНИЕ

Класс двустворчатых моллюсков доминирует по численности и биомассе в составе донных биоценозов и содержит около 20 тыс. видов. Эти животные являются важным звеном в трофических цепях морских экосистем и служат объектом промысла и разведения. Виды, имеющие широкое географическое распространение и ведущие прикрепленный образ жизни, повсеместно используются в различных программах контроля загрязнения морской среды.

Для наиболее целенаправленного использования биохимических и цитологических показателей (биомаркеров) в программах биомониторинга необходимо учитывать чувствительность к стрессу, вызванному абиотическими и антропогенными факторами, у моллюсков в зависимости от индивидуального возраста (Viarengo et al., 1991; Hole et al., 1993, 1995). Кроме того, в связи с возможностью определения биологического возраста двустворчатые моллюски были предложены в качестве мо-

делей исследования клеточных и молекулярных механизмов, лежащих в основе старения. Это связано с тем, что почти все они являются фильтраторами и при этом имеют разнообразные стили жизни, адаптации к специфическим условиям среды и, соответственно, должны иметь разные стратегии старения (Sukhotin et al., 2002; Abele et al., 2007, 2009).

Среди многочисленных теорий о механизмах старения свободнорадикальная теория старения Хармана (Harman, 1956) занимает ведущее место (Тодоров И., Тодоров Г., 2003). Согласно этой теории, активные формы кислорода (АФК), как радикальной, так и нерадикальной природы, постоянно образуются во многих метаболических процессах аэробных организмов и ответственны за увеличение с возрастом окислительного повреждения клеточных компонентов и связанное с этим снижение клеточных функций.

В то же время одним из общих механизмов токсичности, вызванной действием различных поллютантов или неблагоприятных

абиотических факторов среды, является усиление образования АФК (Valavanidis et al., 2006). Все аэробные организмы обладают антиоксидантной защитной системой, способной предотвращать образование АФК, поглощать их или восстанавливать окисленные биомолекулы. Поэтому необходима непрерывная регенерация антиоксидантной способности для поддержания баланса между образованием АФК и антиоксидантной системой. Отсутствие (или сбой) этой непрерывности сопровождается накоплением окислительных повреждений и приводит к возникновению окислительного стресса, который является составным элементом целого ряда патологических процессов и заболеваний (Зенков и др., 2009) и процессов старения (Тодоров И., Тодоров Г., 2003).

Ранее на беспозвоночных и позвоночных животных было показано, что с возрастом увеличивается уровень окисленных биомолекул и при этом часто происходит снижение антиокислительного потенциала (Viarengo et al., 1991; Tian et al., 1998), что наблюдается и при действии тяжелых металлов на двусторчатых моллюсков (Viarengo et al., 1990; Regoli et al., 1998; Compaу et al., 2004). Многие исследователи в качестве биомаркеров, указывающих на присутствие в среде различных поллютантов, предлагают учитывать показатели окислительного стресса, такие как уровни отдельных компонентов антиоксидантной защиты и окислительно-поврежденных биомолекул (Livingstone et al., 2001; Довженко и др., 2005; Almeida et al., 2007; Belcheva et al., 2011; Lushchak, 2011) в тканях животных. Однако необходимо учитывать, что механизмы и последствия стресс-реакции в организме могут зависеть не только от метаболических возможностей (особенностей) различных тканей, но и от возраста особей.

Поэтому цель настоящей работы — исследование взаимосвязи между индивидуальным (биологическим) возрастом и показателями окислительного стресса в жабрах приморского гребешка *Mizuhopecten yessoensis* трех возрастных групп (1, 2, 3-летних особей). Для этого в жабрах моллюсков определяли активность защитных антиоксидантных

ферментов (супероксиддисмутаза, каталаза и глутатионредуктаза) и уровень малонового диальдегида (МДА) — конечного продукта перекисного окисления липидов (ПОЛ), а также по изменениям значений этих показателей на модели токсического стресса (вызванного сублетальной концентрацией кадмия) исследовали возрастные особенности стрессиндуцированных окислительных процессов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Особи приморского гребешка трех возрастных групп (1, 2 и 3 года) были собраны в сентябре в экологически чистой акватории бух. Северная зал. Петра Великого (Японское море). Моллюски были акклиматизированы в течение 3 сут. в стеклянных аквариумах при постоянной аэрации. Экспериментальным животным (8 особей на каждую возрастную группу) в течение 4 сут. в воду добавляли кадмий в концентрации 300 мкг/л (воду меняли ежедневно).

На 5-е сут. жабры приморского гребешка препарировали на льду, замораживали в жидком азоте и хранили при температуре -80°C . Жабры от двух моллюсков объединяли в одну пробу (по 4 пробы в каждой возрастной группе), после чего ткань гомогенизировали в охлажденном *Трис*-HCl-буфере (0,05 М, pH 8,0; $t = 0-4^{\circ}\text{C}$), содержащем 0,1 мМ фенилметилсульфонилфторида (ингибитор протеаз).

Часть полученного гомогената использовали для определения содержания белка (Markwell et al., 1978) и МДА (Buege, Aust, 1978). Остальную часть гомогенатов сначала центрифугировали в течение 20 мин при 7700 об/мин (5000 g), затем в течение 40 мин при 10000 об/мин (10800 g) и температуре 4°C . В полученном супернатанте определяли содержание белка и активность антиоксидантных ферментов.

Активность супероксиддисмутаза (СОД) определяли по ингибированию реакции окисления НАДН, вызванного супероксидным радикалом (Paoletti et al., 1986). Активность каталазы (КАТ) определяли по

скорости распада перекиси водорода (Regoli, Principato, 1995). Активность глутатионредуктазы (ГР) определяли по реакции восстановления окисленной формы глутатиона (Regoli, Principato, 1995). Измерения проводили на двухлучевом спектрофотометре UV-2550 (Shimadzu) с термостатированной ячейкой при 20°C.

Статистическая обработка полученных результатов выполнена с использованием статистических средств приложения MS Office Excel. О достоверности изменений исследуемых параметров судили по различиям средних значений, используя критерий Стьюдента. В расчетах принят 5%-ный уровень значимости.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты исследования показали, что активность антиоксидантных ферментов

у контрольной группы животных с возрастом моллюсков изменяется (рис. 1), однако тенденции этих изменений для разных ферментов различны. Так, активность КАТ и ГР с возрастом увеличивается у 2- и 3-годовалых моллюсков по сравнению с годовалыми животными, в то время как активность СОД у 3-летних моллюсков значительно более низкая, чем у годовалых и 2-летних особей. Уровень МДА существенно не отличается у всех трех возрастных групп (рис. 1).

Действие сублетальной концентрации кадмия в течение 4 сут. вызывало специфические изменения активности антиоксидантных ферментов в каждой возрастной группе (рис. 2). У годовалых моллюсков наблюдалось увеличение активности антиоксидантных ферментов: так, возросла активность КАТ и ГР на 40 и 25% соответственно. У 2-летних моллюсков активность СОД была ингибирована на 50%, в то время как активность ГР

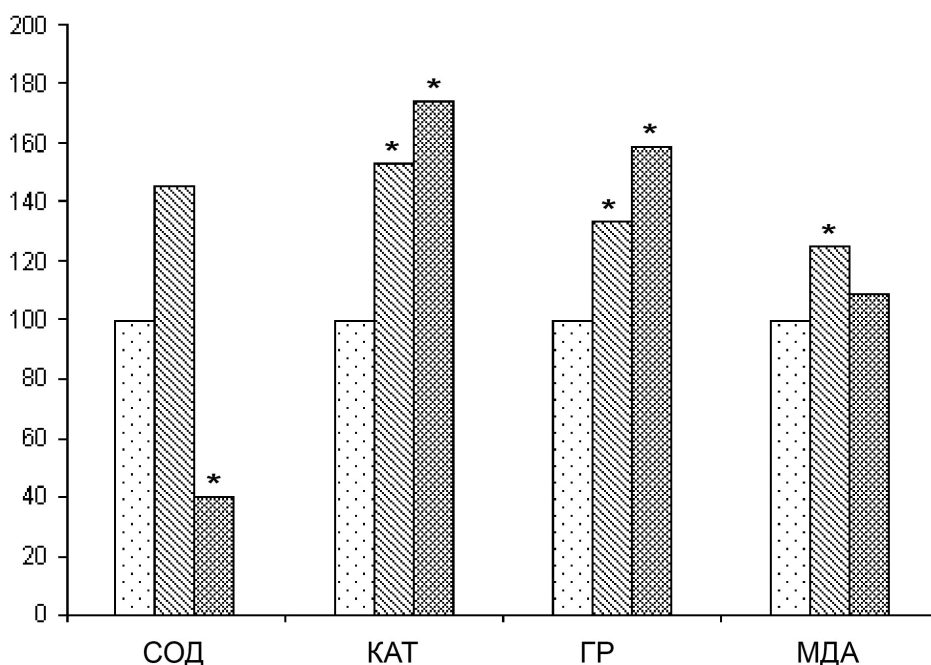


Рис. 1. Активность антиоксидантных ферментов (по оси ординат, %) и содержание малонового диальдегида (МДА) в норме у особей приморского гребешка разного возраста: (□) — 1,5 г., (▨) — 2,5 г., (▩) — 3,5 г. СОД — супероксиддисмутаза, КАТ — каталаза, ГР — глутатионредуктаза; * различия достоверны по сравнению с контролем ($n = 4$, $p < 0,05$).

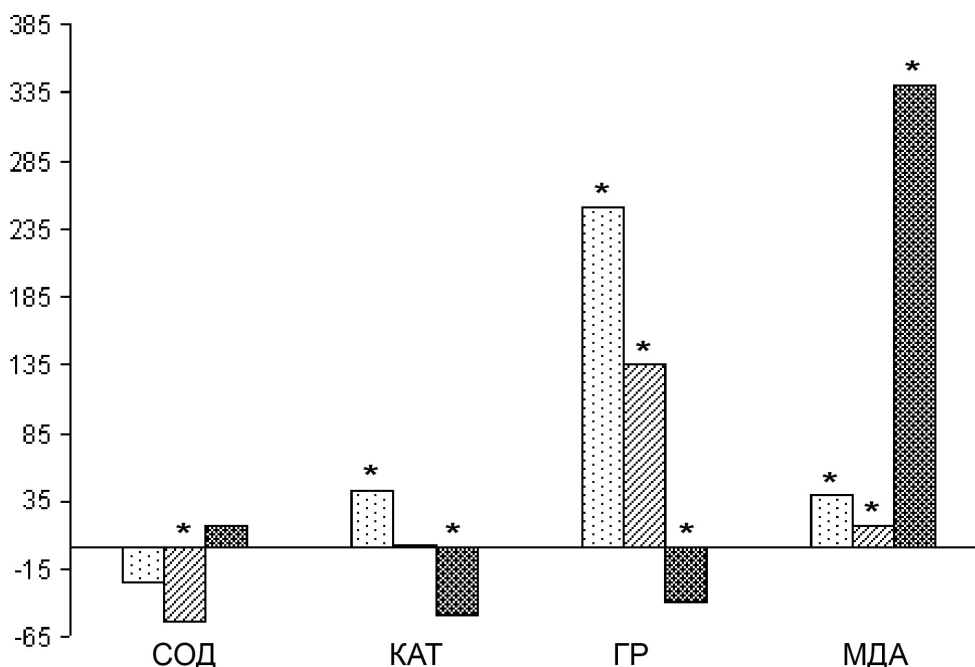


Рис. 2. Активность антиоксидантной системы ферментов (по оси ординат, % от контроля) и содержания малонового диальдегида (МДА) у особей приморского гребешка различного возраста в ответ на действие кадмия. Обозначения см. на рис. 1.

возросла на 140%. У 3-летних моллюсков наблюдалось только снижение активности КАТ и ГР на 50 и 40% соответственно. Действие кадмия вызвало значимое усиление процессов ПОЛ в клетках жабр, однако у годовалых и 2-годовалых моллюсков уровень МДА увеличился только на 40 и 15% соответственно, а у 3-годовалых животных произошло увеличение уровня МДА в четыре раза (рис. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ

Важной задачей возрастной физиологии является изучение защитных систем организма в процессе индивидуального развития, что способствует пониманию механизмов, приводящих впоследствии к его старению, и причин различной чувствительности к стрессовым воздействиям среди разновозрастных групп. Поэтому мы исследовали состояние ферментативной антиоксидантной защиты в жабрах приморского гребешка трех возрастных групп (1, 2 и 3-летние особи),

а также влияние ионов кадмия на состояние этой защитной системы.

Среди двусторчатых моллюсков приморский гребешок имеет среднюю продолжительность жизни и в природных популяциях зал. Петра Великого достигает возраста 16 лет (Силина, 1978). Линейный рост гребешка наиболее интенсивен в первые 2–3 года (Приморский гребешок, 1986). В природных популяциях гребешок становится половозрелым на третьем году жизни (Касьянов и др., 1980), а при искусственном культивировании может достигать половозрелости в возрасте двух лет (Mori, Osanai, 1976).

Наши исследования показали, что у приморского гребешка при переходе от неполовозрелой стадии (в возрасте одного года) к половозрелости наблюдается увеличение антиоксидантного потенциала в жабрах (активности КАТ и ГР), однако при этом происходит уменьшение активности СОД у 3-летних гребешков, что указывает на частичную потерю антиоксидантной способности.

Исследования по изучению влияния возраста на активность антиоксидантных ферментов у разных видов беспозвоночных показывают противоречивые результаты. Оказалось, что влияние возраста специфично для вида организма, пола и типа исследуемой ткани. Так, например, активность КАТ в мантии у двух видов гребешков — *Aegipecten opercularis* (умеренный климат) и *Adamussimum colbecki* (Антарктика) — с возрастом снижалась, при этом у *A. opercularis* активность каталазы снижалась в 5 раз быстрее, а вот активность СОД не зависела от возраста у обоих видов (Philipp et al., 2006). Снижение с возрастом активности КАТ на 34% наблюдалось в пищеварительной железе мидии *Mytilus edulis*, в то же время активность СОД и ГР оставалась без изменения (Viarengo et al., 1991). У головоногого моллюска каракатицы *Sepia officinalis* изменение активности антиоксидантных ферментов (в мантии) также различалось: с возрастом у моллюсков происходило увеличение активности СОД и глутатионпероксидазы, снижение активности КАТ, в то время как активность ГР оставалась без изменения (Zielinski, Rörtner, 2000). Снижение активности СОД и глутатионпероксидазы у зрелых особей по сравнению с ювенильными наблюдали в целом теле морской амфиподы *Gammarus locusta*, при этом активность КАТ с возрастом у нее не изменялась (Correia et al., 2003).

Как показали наши результаты, у приморского гребешка при достижении стадии половозрелости (3 года), несмотря на снижение активности СОД, не наблюдается увеличения концентрации МДА. Отсутствие накопления продуктов ПОЛ у 3-летних особей указывает на то, что общий ферментативный антиоксидантный потенциал ткани не изменился, по-видимому, за счет увеличения активности КАТ и ГР. И процессы ПОЛ у трехлетних гребешков не отличаются от одно- и двухлетних моллюсков.

Предполагается, что с возрастом организм становится более чувствительным к окислительному стрессу, так как способность антиоксидантной системы инактивировать АФК снижается. Так, было показано, что

в экспериментальных условиях гипоксии и реоксигенации только у старых особей мидии в пищеварительной железе наблюдалось значимое увеличение МДА (Viarengo et al., 1989). Молодые мидии быстрее восстанавливали целостность лизосом мантии, дестабилизированную воздействием гипоксии, гипертермии и ионов меди, по сравнению со старыми особями (Hole et al., 1993, 1995).

Действие кадмия по-разному влияло на антиоксидантный статус жабр гребешка у разновозрастных моллюсков и соответственно на уровень процессов ПОЛ. Так, сублетальная концентрация кадмия (300 мкг/л) вызвала активацию антиоксидантной ферментной защиты (КАТ и ГР) у годовалых гребешков, в то время как у 2-летних особей на фоне активации активности ГР она привела к ингибированию активности СОД. У 3-летних особей действие кадмия вызвало ингибирование антиоксидантных ферментов КАТ и ГР. Активация антиоксидантной защиты у годовалых и 2-летних гребешков позволила сдерживать процессы ПОЛ в клетках жабр по сравнению с половозрелыми особями, уровень МДА которых увеличился в четыре раза (рис. 2).

Различные аспекты токсичности кадмия неоднократно изучались на двустворчатых моллюсках зал. Петра Великого, в том числе и на приморском гребешке (Evtushenko et al., 1986; Chelomin, Belcheva, 1991; Коротков и др., 1998) и двустворчатом моллюске *Modiolus modiolus* (Довженко и др., 2005). В этих работах использовали сублетальные концентрации кадмия от 100 до 500 мкг/л в течение 21–60 сут. Так, у приморского гребешка при действии кадмия наблюдалось ингибирование щелочной и кислой фосфатазы и Mg^{2+} -АТФазы (Evtushenko et al., 1986), ускорение дыхания и набухание митохондрий пищеварительной железы по сравнению с контролем (Коротков и др., 1998). Включение (^{14}C)-ацетата в липиды мембран приморского гребешка показало снижение скорости оборота жирных альдегидов, насыщенных и диеновых жирных кислот, но ускорило оборот моноеновых жирных кислот (Chelomin, Belcheva, 1991). В пищеварительной железе

M. modiolus кадмий индуцировал окислительный стресс, выраженный в накоплении МДА, липофусциноподобных веществ и снижении антирадикальной активности (Довженко и др., 2005). Индукция окислительного стресса кадмием показана и на других видах моллюсков (Giguere et al., 2003; Companu et al., 2004; Довженко и др., 2005).

В отличие от переходных металлов (например, меди и железа), повреждающее действие которых проявляется через реакцию Фентона, кадмий не способен к окислительно-восстановительным реакциям и не может прямо вызывать образование таких разрушительных радикалов, как $\cdot\text{OH}$, $\text{LO}\cdot$, $\text{L}\cdot$, $\text{LOO}\cdot$ (Ercal et al., 2001). Тем не менее на реснитчатых простейших *Tetrahymena species* и *Colpoda steinii* с помощью специфических флуорофоров продукция супероксидного радикала кислорода и пероксидов была индуцирована действием не только меди, но и кадмия и цинка (Rico et al., 2009). Результаты нашего эксперимента также косвенно указывают на то, что действие кадмия усиливает внутриклеточное образование АФК, что приводит к развитию в тканях моллюсков окислительного стресса, который проявляется в накоплении продуктов окисления биомолекул и в изменении активности антиоксидантных ферментов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований показали, что при половом созревании в жабрах приморского гребешка наблюдалось изменение состояния антиоксидантной защиты (активация КАТ и ГР, снижение активности СОД). Возможно, изменения в поглощении кислорода, связанные с различными потребностями в энергии на разных стадиях развития организма, приводят также к качественным и количественным изменениям в продукции радикалов. Возрастная модуляция уровней антиоксидантных ферментов, вероятно, соответствует продукции оксирадикалов, так как уровень МДА не зависит от возраста моллюсков. Установлено, что одним из механизмов токсического действия кадмия является

окислительный стресс, что подтверждается изменением активности антиоксидантных ферментов, увеличением окислительного повреждения липидов биологических мембран у всех возрастных групп моллюсков.

Разная реакция неполовозрелых и половозрелых гребешков на действие кадмия является следствием реализации специфических программ развития на каждом из этапов онтогенеза организма. По-видимому, из-за конкуренции за метаболические ресурсы между системами воспроизведения и поддержания соматических тканей у 3-летних гребешков энергетические ресурсы в большей степени направлены на развитие репродуктивных органов, чем на поддержание общего роста и развития (Тодоров И., Тодоров Г., 2003). Так, если у 1- и 2-летних гребешков внешнее воздействие приводит к активации защитной системы, что позволяет им адаптироваться к влиянию того или иного фактора и поддерживать хорошее физиологическое состояние, то у 3-летних особей такая адаптивная способность снижена, что связано с ингибированием активности антиоксидантных ферментов и повышением уровня МДА в жабрах.

Наши исследования также показали, что при использовании показателей окислительного стресса в качестве биомаркеров изменения качества внешней среды необходимо учитывать биологический (индивидуальный) возраст животных, так как степень проявления окислительного стресса зависит от сочетания внутренних (например, возраст) и внешних факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Довженко Н.В., Куриленко А.В., Бельчева Н.Н., Челомин В.П. Окислительный стресс, индуцируемый кадмием, в тканях двустворчатого моллюска *Modiolus modiolus* // Биология моря. 2005. Т. 31. № 5. С. 358–362.
- Зенков Н.К., Меньщикова Е.Б., Ткачев В.О. Некоторые принципы и механизмы редокс-регуляции // Кислород и антиоксиданты. 2009. Вып. 1. С. 3–64.

- Касьянов В.Л., Медведева Л.А., Яковлев Ю.М., Яковлев С.Н. Размножение иглокожих и двустворчатых моллюсков. М.: Наука, 1980. 204 с.
- Коротков С.М., Скульский И.А., Глазунов В.В. и др. Устойчивость к действию Cd^{2+} изолированных митохондрий пищеварительной железы возросла после их выдерживания в морской воде, содержащей CdCl_2 // Докл. РАН. 1998. Т. 362. №2. С. 269–273.
- Приморский гребешок. Изменения в онтогенезе. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. 161 с.
- Силина А.В. Определение возраста и темпов роста приморского гребешка по скульптуре поверхности его раковины // Биология моря. 1978. №5. С. 29–39.
- Тодоров И.Н., Тодоров Г.И. Стресс, старение и их биохимическая коррекция. М.: Наука, 2003. 479 с.
- Abele D., Philipp E., Gonzalez P., Puntarulo S. Marine invertebrate mitochondria and oxidative stress // Front. Biosci. 2007. V. 12. P. 933–946.
- Abele D., Brey T., Philipp E. Bivalve models of aging and the determination of molluscan lifespans // Exp. Gerontol. 2009. V. 44. P. 307–315.
- Almeida E.A., Bainy A.C.D., Loureiro A.P.M. et al. Oxidative stress in *Perna perna* and other bivalves as indicators of environmental stress in the Brazilian marine environment: antioxidants, lipid peroxidation and DNA damage // Comp. Biochem. Physiol. A. 2007. V. 146. P. 588–600.
- Belcheva N.N., Zakhartsev M.V., Dovzhenko N.V. et al. Anthropogenic pollution stimulates oxidative stress in soft tissues of mussel *Crenomytilus grayanus* (Dunker, 1853) // Ocean Sci. J. 2011. V. 46. № 2. P. 85–94.
- Buege J.A., Aust S.D. Methods in Enzymology. Microsomal lipid peroxidation. N.Y.: Acad. Press, 1978. P. 302–310.
- Chelomin V.P., Belcheva N.N. Alterations of microsomal lipid synthesis in gill cells of bivalve mollusc *Mizuhopecten yessoensis* in response to cadmium accumulation // Comp. Biochem. Physiol. C. 1991. V. 99. № 1–2. P. 1–5.
- Company R., Serafim A., Bebianno M.J. et al. Effect of cadmium, copper and mercury on antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in the gills of the hydrothermal vent mussel *Bathymodiolus azoricus* // Mar. Environ. Res. 2004. V. 58. P. 377–381.
- Correia A.D., Costa M.H., Luis O.J., Livingstone D.R. Age-related changes in antioxidant enzyme activities, fatty acid composition and lipid peroxidation in whole body *Gammarus locusta* (Crustacea: Amphipoda) // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 2003. V. 289. P. 83–101.
- Ercal N., Gurer-Orhan H., Aykin-Burns N. Toxic metal and oxidative stress part I: mechanisms involved in metal induced oxidative damage // Curr. Top. Med. Chem. 2001. V. 1. P. 529–539.
- Evtushenko Z.S., Belcheva N.N., Lukyanova O.N. Cadmium accumulation in organs of the scallop *Mizuhopecten yessoensis*. 2. Subcellular distribution of metals and metal-binding proteins // Comp. Biochem. Physiol. 1986. V. 83. P. 377–383.
- Giguere A., Couillard Y., Campbell P.G.C. et al. Steady-state distribution of metals among metallothionein and other cytosolic ligands and links to cytotoxicity in bivalves living along a polymetallic gradient // Aquat. Toxicol. 2003. V. 64. P. 185–200.
- Harman D. Aging: a theory based on free radical and radiation biology // J. Gerontol. 1956. V. 11. P. 298–300.
- Hole L.M., Moore M.N., Bellamy D. Age-related cellular reactions to copper in the marine mussel *Mytilus edulis* (L.) // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1993. V. 94. P. 175–179.
- Hole L.M., Moore M.N., Bellamy D. Age-related cellular and physiological reactions to hypoxia and hyperthermia in marine mussels // Ibid. 1995. V. 122. P. 173–178.
- Livingstone D.R. Contaminant-stimulated reactive oxygen species production and oxidative damage in aquatic organisms // Mar. Pollut. Bull. 2001. V. 42. № 8. P. 656–666.
- Lushchak V.I. Environmentally induced oxidative stress in aquatic animals // Aquat. Toxicol. 2011. V. 101. P. 13–30.

- Markwell M., Haas S., Bieber L., Tolbert N. A modification of the Lowry procedure to simplify protein determination in membrane and lipoprotein samples // *Analyt. Biochem.* 1978. V. 87. P. 206–210.
- Mori K., Osanai K. Abnormal gonad development observed in one-year-old scallops cultivated in Yamada Bay // *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 1976. V. 43. № 1. P. 1–8.
- Paoletti F., Aldinuccio D., Mocali A., Carparrini A. A sensitive spectrophotometric method for the determination of superoxide dismutase in tissue extracts // *Anal. Biochem.* 1986. V. 154. P. 526–541.
- Philipp E., Brey T., Heilmayer O. et al. Physiological ageing in a temperate and a polar swimming scallop // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2006. V. 307. P. 187–198.
- Regoli F., Principato G. Glutathione, glutathione-dependent and antioxidant enzymes in mussel, *Mytilus galloprovincialis*, exposed to metals under field and laboratory conditions: implications for the use of biochemical biomarkers // *Aquat. Toxicol.* 1995. V. 31. P. 143–164.
- Regoli F., Nigro M., Orlando E. Lysosomal and antioxidant responses to metals in the Antarctic scallop *Adamussium colbecki* // *Ibid.* 1998. V. 40. № 4. P. 375–392.
- Rico D., Martín-González A., Díaz S. et al. Heavy metals generate reactive oxygen species in terrestrial and aquatic ciliated protozoa // *Comp. Biochem. Physiol. C.* 2009. V. 149. P. 90–96.
- Sukhotin A.A., Abele D., Pörtner H.-O. Growth, metabolism and lipid peroxidation in *Mytilus edulis*: age and size effects // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2002. V. 226. P. 223–234.
- Tian L., Cai Q., Wei H. Alterations of antioxidant enzymes and oxidative damage to macromolecules in different organs of rats during aging // *Free Radical BioMed.* 1998. V. 24. № 9. P. 1477–1484.
- Valavanidis A., Vlahogianni T., Dassenakis M., Scoullou M. Molecular biomarkers of oxidative stress in aquatic organisms in relation to toxic environmental pollutants // *Ecotox. Environ. Safe.* 2006. V. 64. P. 178–189.
- Viarengo A., Pertica M., Canesi L. et al. Lipid peroxidation and level of antioxidant compounds (GSH, vitamin E) in the digestive glands of mussels of three different age groups exposed to anaerobic and aerobic conditions // *Mar. Environ. Res.* 1989. V. 28. P. 291–295.
- Viarengo A., Canesi L., Pertica M. et al. Heavy metal effects on lipid peroxidation in the tissues of *Mytilus galloprovincialis* Lam. // *Comp. Biochem. Physiol. C.* 1990. V. 97. № 1. P. 37–42.
- Viarengo A., Canesi L., Pertica M. et al. Age-related lipid peroxidation in the digestive gland of mussels: the role of the antioxidant defense systems // *Experientia.* 1991. V. 47. P. 454–457.
- Zielinski S., Pörtner H.-O. Oxidative stress and antioxidative defense in cephalopods: a function of metabolic rate or age? // *Comp. Biochem. Physiol. B.* 2000. V. 125. P. 147–160.

AGE-RELATED ALTERATIONS ANTIOXIDANT ENZYME REACTIONS IN SCALLOPS *MIZUHOPECTEN YESSOENSIS* IN RESPONSE TO OXIDATIVE STRESS

© 2014 y. N.N. Belcheva, Yu.V. Koudryashova, A.A. Istomina, T.L. Chizhova

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences,
Vladivostok, 690041

We have identified biochemical parameters: superoxide dismutase, catalase, glutathione reductase and the content of malondialdehyde in the gills of scallop *Mizuhopecten yessoensis* 1, 2, 3 years and their changes after exposure to cadmium (300 mg/l) for 4 days. The results have demonstrated the relationship between the age of mollusks and resistance to oxidative stress.

Keywords: scallop *Mizuhopecten yessoensis*, age, oxidative stress, cadmium.