

ся в проростках ячменя сортов «Якуб» – $15,9 \pm 4,4$ нМ/мг, «Дублет» – $16,6 \pm 1,7$ нМ/мг, «Поспех» – $17,5 \pm 2,06$ нМ/мг, «Дзівосны» $18,2 \pm 2,2$ нМ/мг. Далее следуют сорта со средним содержанием глутатиона, такие как «Гонар» ($32,5 \pm 5,3$ нМ/мг), «Бровар» ($28,9 \pm 5,1$ нМ/мг), «Сябра» ($33,9 \pm 8,9$ нМ/мг), «Талер» ($35,6 \pm 8,1$ нМ/мг), «Атаман» ($48,2 \pm 9$ нМ/мг). Самое высокое содержание глутатиона зарегистрировано для сорта «Сталы» – в его клетках содержание этого соединения достигало $61,2 \pm 5,1$ нМ/мг, что почти в 3 раза превышает данный показатель для сортов со средним содержанием глутатиона и более чем в 4 раза – для сортов с низким содержанием глутатиона в клетках.

Сопоставляя зависимые от сорта ячменя исходные уровни восстановленного глутатиона с повышением показателей активности пероксидазного комплекса под действием трефлана, можно сделать вывод, что сорта с более высоким содержанием глутатиона проявляют более позднюю пероксидазную реакцию либо вообще ее не проявляют.

Таким образом, в ходе выполнения работы установлено, что гербицид трефлан индуцирует реакцию окислительного стресса у ячменя, о чем свидетельствует изменение пероксидазной активности в клетках исследуемых растений. Уровень вызванного данным ксенобиотиком окислительного стресса зависит от сорта. Растения ячменя сорта «Сталы» обладают меньшей чувствительностью к трефлану по сравнению с другими исследованными сортами, на это указывает отсутствие индукции пероксидазной активности, а так же сравнительно более высокий уровень восстановленного глутатиона в клетках.

Проведенные исследования свидетельствуют, что маркерами устойчивости различных форм ячменя к воздействию гербицидов, как неблагоприятного фактора внешней среды, могут служить биохимические критерии, в частности степень индукции ферментов окислительного стресса – пероксидаз и внутриклеточный уровень восстановленного глутатиона.

Литература

1. Рогожин В.В. Пероксидаза как компонент антиоксидантной системы живых организмов. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 240с.
2. Chrispeers M.J. Signal transduction networks and the biology of plant cells // Biol. Res.– 1999.– V.32, № 1.– P.35–60.
3. Alscher R.G., Donahue J.L., Cramer C.L. Reactive oxygen species and antioxidants: relationship in green cells // Physiol. Plant.– 1997.– V.100, №2.– P.224–233.
4. Vanacker H., Carver T.L.W., Foyer C.H. Pathogen-induced changes in the antioxidant status of the apoplast in barley leaves // Plant Physiol.– 1998.– V. 117.– P.1103–1114.

СИСТЕМА АНТИОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ВОДНЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ КАК ВОЗМОЖНЫЙ БИОМАРКЕР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

А.В. Сидоров

Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь
sidorov@bsu.by

Одной из наиболее многочисленных групп беспозвоночных являются моллюски. При этом многие из них обитают в водной среде, в том числе и в пресноводных водоемах суши. Среди естественных экотопов целого ряда легочных моллюсков (роды *Lymnaea*, *Planorbis*) особое место занимают мелководные мелиоративные каналы, пруды и озера промышленных и сельскохозяйственных территорий, т.е. акватории, подвергающиеся сильному антропогенному воздействию. Принимая во внимание относительно высокую проницаемость кожных покровов моллюсков для различных веществ, в том числе для органических поллютантов и тяжелых металлов (кадмий, медь, свинец и др.) можно предположить, что данные предста-

вители животного мира могут быть использованы в качестве биоиндикаторов загрязнения окружающей среды. Антиокислительная система защиты является ведущим образованием в процессе детоксикации и биотрансформации ксенобиотиков, а следовательно ее состояние может коррелировать с наличием поллютантов в окружающей среде. Так, продукция активных форм кислорода в микросомальной фракции клеток пищеварительных желез в ответ на действие органических загрязнителей, – широко распространенное явление у водных организмов, лежащее в основе токсических эффектов ксенобиотиков [1]. В частности, для моллюсков рода *Physa* установлено существование сильной обратной зависимости между уровнем активности супероксиддисмутазы (СОД) и количеством погибших в результате применения пестицидов моллюсков [2]. Уровень СОД и каталазы в пищеварительных железах *Mytilus galloprovincialis* хорошо коррелирует с накоплением в тканях полициклических ароматических углеводородов и полихлорированных бифенилов [3], а у животных, постоянно обитающих в загрязненных водах, отмечен повышенный уровень СОД по сравнению с особями, живущими в условиях меньшего органического загрязнения [4]. В некоторых случаях, наиболее чувствительным к действию ксенобиотиков оказываются глутатионпероксидаза и глутатионредуктаза, что приводит к выраженному (до 80 %) снижению уровня восстановленного глутатиона у пресноводного двустворчатого моллюска *Unio tumidus* [5], а у мидии *Perna viridis* отмечена положительная корреляция активности ферментов глутатионпероксидазного семейства с накоплением хлорсодержащих органических соединений [6]. Исследование особенностей распределения антиоксидантных ферментов в тканях *Perna viridis* показало, что их активность зависит прежде всего от вида ткани и места обитания животного и не зависит от его линейных размеров [7].

Антиоксидантные системы моллюсков способны реагировать и на присутствие в окружающей среде различных тяжелых металлов. Анализ концентрации ряда тяжелых металлов (Cu, Fe, Pb, Zn, Cd) в тканях *Macoma balthica* показал положительную корреляцию с уровнем СОД и глутатионпероксидазы и отрицательную с активностью каталазы [8]. Некоторые виды способны усиленно накапливать металлы в своих тканях. Так, в жабрах *Ruditapes decussates* накопление кадмия ассоциируется с синтезом металлотионеина, происходящим лишь спустя неделю после начала действия загрязнителя. На начальном же этапе, токсическому эффекту кадмия противостоит повышенный уровень цитозольной СОД [9]. Несмотря на то, что накопление кадмия линейно зависит от его концентрации и возрастает по мере увеличения времени экспозиции, после 2-х недель воздействия кадмий не вызывает повышения активности СОД и уровня перикисного окисления липидов, поскольку все его излишки надежно связываются с металлотионеином. Аналогично и действие на указанный вид моллюсков меди – в этом случае, в течение первой недели отмечается снижения активности митохондриальной СОД, каталазы и пероксидазы [10]. Схожие результаты получены и при анализе антиоксидантной активности пищеварительных желез *Ruditapes decussates* [11]. Данный вид (точнее уровень металлотионеина в ткани его жабр) с успехом может быть использован в качестве биоиндикатора загрязнения кадмием водной среды обитания [11]. Отметим, что эффекты тяжелых металлов весьма вариабельны и зависят от выбора объекта исследования. Например, концентрация СОД, каталазы, глутатионпероксидазы, а также глутатиона и аскорбиновой кислоты в клетках пищеварительных желез и почках наземного брюхоного моллюска *Achatina fulica* уменьшается при действии солей кадмия и цинка [12]. Сезонные колебания активности ферментов в пищеварительных железах отмечены и для морских устриц *Saccostrea cucullata* – максимальная активность отмечалась в марте–июне, минимальная – в ноябре–феврале [13], коррелируя при этом с содержанием полиароматических углеводородов в исследованной ткани, а количество органических загрязнителей в тканях *Mytilus galloprovincialis* заметно выше зимой [14].

Таким образом, анализ литературных данных позволяет заключить, что система антиокислительной защиты тканей моллюсков может быть использована в качестве биомаркера загрязнения водных экотопов различными поллютантами.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ (проекты Б05К-113 и Б08Р-075).

Литература

1. Garsia Martinez P., Winston G.W., Metash-Dickey C. et al. Nitrofurantoin-stimulated reactive oxygen species production and genotoxicity in digestive gland microsomes and cytosol of the common mussel (*Mytilus edulis* L.) // *Toxicol. Appl. Pharmacol.*– 1995.– V.131.– P.332–341.
2. Karnaukhova T.B., Korobova L.N., Reikh E.M. Superoxide dismutase activity as an index of the toxic action of pesticides // *Nauchnye Dokl. Vyss. Shkoly. Biol. Nauki.*– 1990.– № 5.– P.146–149.
3. Porte C., Sole M., Albaiges J., Livingstone D.R. Responses of mixed-function oxygenase and antioxidant enzyme system of *Mytilus* sp. to organic pollution // *Comp. Biochem. Physiol. C.*– 1991.– V.100.– P.183–186.
4. Nasci C., Nesto N., Monteduro R.A., Da Ros L. Field application of biochemical markers and a physiological index in the mussel, *Mytilus galloprovincialis* transplantation and biomonitoring studies in the lagoon of Venice (NE Italy) // *Mar. Environ. Res.*– 2002.– V. 54.– P.811–816.
5. Cossu C., Doyotte A., Jacquin M.C. et al. Glutathione reductase, selenium-dependent glutathione peroxidase, glutathione levels, and lipid peroxidation in freshwater bivalves, *Unio tumidus*, as biomarkers of aquatic contamination in field studies // *Ecotoxicol. Environ. Saf.*– 1997.– V.38.– P.122–131.
6. Cheung C.C., Zheng G.J., Lam P.K., Richardson B.J. Relationships between tissue concentrations of chlorinated hydrocarbons (polychlorinated biphenyls and chlorinated pesticides) and antioxidative responses of marine mussels, *Perna viridis* // *Mar. Pollut. Bull.*– 2002.– V.45.– P.181–191.
7. Lau P.S., Wong H.L. Effect of size, tissue parts and location on six biochemical markers in the green-lipped mussel, *Perna viridis* // *Mar. Pollut. Bull.*– 2003.– V.46.– P.1563–31572.
8. Regoli F., Hummel H., Amiard-Triquet C. et al. Trace metals and variations of antioxidant enzymes in Arctic bivalve populations // *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*– 1998.– V.35.– P.594–601.
9. Geret F., Serafim A., Barreira L., Bebianno M.J. Effect of cadmium on antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation in the gills of the clam *Ruditapes decussatus* // *Biomarkers.*– 2002.– V.7.– P.242–256.
10. Geret F., Serafim A., Barreira L., Bebianno M.J. Response of antioxidant systems to copper in the gills of the clam *Ruditapes decussatus* // *Mar. Environ. Res.*– 2002.– V. 54.– P.413–417.
11. Geret F., Serafim A., Bebianno M.J. Antioxidant enzyme activities, metallothioneins and lipid peroxidation as biomarkers in *Ruditapes decussatus*? // *Ecotoxicology.*– 2003.– V.12.– P.417–426.
12. Chandran R., Sivakumar A.A., Mohandass S., Aruchami M. Effect of cadmium and zinc on antioxidant enzyme activity in the gastropod, *Achatina fulica* // *Comp. Biochem. Physiol. C. Toxicol. Pharmacol.*– 2005.– V.140.– P.422–426.
13. Niyogi S., Biswas S., Sarker S., Datta A.G. Antioxidant enzymes in brackishwater oyster, *Saccostrea cucullata* as potential biomarkers of polyaromatic hydrocarbon pollution in Hoogly Estuary (India): seasonality and its consequences // *Sci. Total Environ.*– 2001.– V.281.– P.237–246.
14. Orbea A., Ortiz-Zarragoitia M., Sole M. et al. Antioxidant enzymes and peroxisome proliferation in relation to contaminant body burdens of PAHs and PCBs in bivalve mollusks, crabs and fish from the Urdaibai and Plenzia estuaries (Bay of Biscay) // *Aquat. Toxicol.*– 2002.– V.58.– P.75–98.

ВЛИЯНИЕ ФУЗАРИЕВОЙ КИСЛОТЫ НА ЛИПИДНЫЙ БИСЛОЙ МЕМБРАНЫ РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТКИ

С.Г. Сидорова, В.А. Кудряшова

Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь
sidorova_sg@mail.ru

Возбудитель фузариозного увядания растений микромицет *Fusarium oxysporum* (Sacc.) Snyder and Hansen относится к некротрофам, которые прежде чем оккупировать какой-либо участок растения, убивают его своими токсичными выделениями. Механизм поражения сосудов растений, наряду с механической закупоркой их просветов мицелием и конидиями патогена-полифага, дополнен действием продуцируемых им гидролитических ферментов и