

ТОВАРНАЯ АКВАКУЛЬТУРА И ИСКУССТВЕННОЕ ВОСПРОИЗВОДСТВО ГИДРОБИОНТОВ

DOI: 10.24143/2073-5529-2020-4-113-120
УДК 639.446

АНАЛИЗ БИОХИМИЧЕСКОГО СТАТУСА КУЛЬТИВИРУЕМЫХ ГИДРОБИОНТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ МАРИКУЛЬТУРНЫХ ХОЗЯЙСТВ¹

**В. В. Слободскова^{1,2}, Н. В. Довженко^{1,2}, С. П. Кукла²,
В. П. Челомин², Е. А. Жадько¹, Т. С. Пряжевская^{1,2}**

¹Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
Владивосток, Российская Федерация

²Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН,
Владивосток, Российская Федерация

Гребешок приморский *Mizuhopecten yessoensis* является одним из самых распространенных объектов разведения в Приморском крае и обычно выращивается двумя способами: садковым и донным. Садковый (индустриальный) вариант культивирования наиболее развит, но требует пристального внимания, т. к. неправильное планирование хозяйственной деятельности может повлиять на выживаемость гребешка, что, в свою очередь, приводит к значительным финансовым потерям. В последнее время марикультурные фермы разных стран стали часто сталкиваться с массовой гибелью культивируемых гидробионтов, при этом причины подобного явления не совсем ясны, и зачастую их выявление требует большого количества времени, а также финансовых затрат. Использование прогностических механизмов на основе биомаркеров может помочь выявить скрытые угрозы в организме культивируемых гребешков, ведущие к массовой гибели. Оценка состояния моллюсков на более ранних стадиях развития позволит спрогнозировать и предупредить значительные потери среди товарных особей. Проанализированы показатели биомаркеров и смертности гребешка приморского *Mizuhopecten yessoensis*, культивируемого именно садковым способом. Проведена оценка разновозрастных групп моллюсков 2-х поколений с разницей в 10 лет. В ходе исследования обнаружено, что с увеличением количества повреждений ДНК и активным накоплением малонового диальдегида в тканях риск гибели моллюсков возрастает. Отмечено, что у гребешков возраста 1+ поколения 2015 г. в пищеварительной железе и жабрах был зарегистрирован высокий уровень повреждения молекулы ДНК и малонового диальдегида, что впоследствии привело к гибели практически всех товарных особей возраста 3+.

Ключевые слова: аквакультура, моллюски, *Mizuhopecten yessoensis*, повреждение молекулы ДНК, малоновый диальдегид, массовая гибель.

Для цитирования: Слободскова В. В., Довженко Н. В., Кукла С. П., Челомин В. П., Жадько Е. А., Пряжевская Т. С. Анализ биохимического статуса культивируемых гидробионтов для оценки устойчивости марикультурных хозяйств // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2020. № 4. С. 113–120. DOI: 10.24143/2073-5529-2020-4-113-120.

Введение

Аквакультура является одной из важных и перспективных отраслей мирового рыбного хозяйства, которая способствует увеличению и сохранению биологических ресурсов. Мировое

¹ Работа выполнена в рамках государственной темы ААА-А20-120031790021-8 и частично в рамках государственной темы ААА-А17-117030110038-5.

производство аквакультуры в 2014 г. достигло 73,8 млн т, что эквивалентно 160,2 млрд долл. США в точке первой продажи, из них 16,1 млн т составляют моллюски (на 19 млрд долл. США) [1]. Согласно данным ФАО (продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН) в 2016 г. производство в морской и прибрежной аквакультуре практически приблизилось к 30 млн т (67,4 млрд долл. США), из них на двустворчатые моллюски приходится 16,9 млн т (58,8 % общего объема производства). При этом, по расчетам специалистов, общее производство рыболовства и аквакультуры к 2030 г. может вырасти до 201 млн т [2].

В последнее время многие марикультурные хозяйства, использующие методы садкового культивирования, начали сталкиваться с массовой гибелью выращиваемых гидробионтов [3], что сопровождается большими финансовыми потерями. Массовая смертность отмечена у разных видов культивируемых двустворчатых моллюсков: устриц, гребешков и мидий. Зачастую она связана с воздействием паразитов, риккетсиоподобных организмов [4, 5], вирусов, бактерий [6, 7] и пр. Также существуют иные предпосылки, влияющие на выживаемость гидробионтов, такие как факторы окружающей среды, чрезмерная плотность посадки, инбридинг [4]. Для дальнейшего устойчивого развития хозяйств марикультуры требуется тщательное изучение последствий промышленного культивирования гидробионтов для окружающей среды, а также постоянная оценка физиологического состояния культивируемых гидробионтов, позволяющая на ранних стадиях оперативно выявлять патологические изменения, которые, в свою очередь, могут привести к массовой гибели культивируемых объектов [7, 8].

Прибрежная полоса Приморского края является одним из наиболее перспективных регионов России для развития марикультуры благодаря хорошим климатическим условиям и наличию значительных по площади акваторий, особенно в южной части края, пригодных для культивирования гидробионтов. На сегодняшний день здесь насчитывается более 50 действующих марикультурных хозяйств, которые занимаются разведением наиболее ценных видов моллюсков, иглокожих и водорослей [9]. На протяжении последних десятилетий гребешок приморский *Mizuhopecten yessoensis* является одним из традиционных культивируемых морских двустворчатых моллюсков в Приморском крае. Однако в последние годы некоторые хозяйства сталкиваются с массовой гибелью моллюсков в процессе выращивания.

Цель данной работы – изучение эффективности использования биомаркеров в качестве прогностических сигналов для выявления причин гибели *M. yessoensis* разных поколений.

Материал и методика исследования

Исследование проводили на гребешках разных поколений с интервалом 10 лет, культивируемых садковым способом в марикультурном хозяйстве, расположенном в бухте Северной (Славянский залив) (рис. 1).

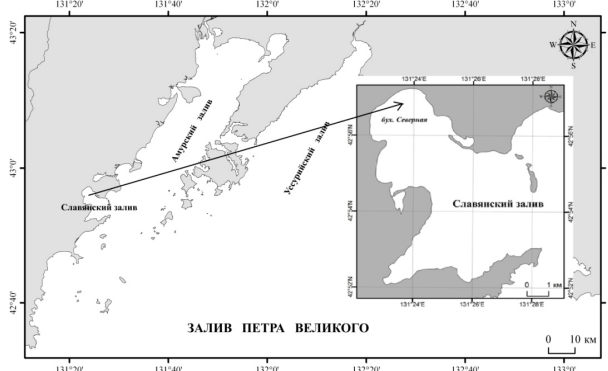


Рис. 1. Карта-схема района работ

В работе сравнивали два поколения *M. yessoensis*: первое – нерест 2005 г., второе – нерест 2015 г. Моллюсков отбирали в посленерестовый период (октябрь), в возрасте 1+, 2+ и 3+ для нереста 2005 г. и 1+, 2+ для нереста 2015 г., т. к. после летнего периода была зарегистрирована массовая смертность моллюсков возраста 3+.

Для исследования моллюски были изъяты из садков, препарированы на льду, из них выделены жабры и пищеварительная железа. Определение уровня повреждения молекулы ДНК при использовании кометного анализа проводилось сразу после извлечения тканей из моллюс-

ков в помещениях научно-производственного департамента Дальрыбвтуза, расположенного в бухте Северная. Остатки тканей, предназначенных для определения малонового диальдегида (МДА), немедленно замораживали в жидком азоте (сосуд Дьюара СДС-6М) и транспортировали в лабораторию для дальнейшей обработки.

Определение количества повреждений молекулы ДНК. При определении количества повреждений в молекуле ДНК использовали щелочной вариант кометного анализа [10], успешно адаптированного к морским организмам. Данный подход является перспективным современным диагностическим и прогностическим инструментом для выявления скрытых патологических сдвигов в любых организмах [11].

Визуализацию и регистрацию ДНК-комет осуществляли с помощью сканирующего флуоресцентного микроскопа (Zeiss, AxioImager A1), оснащенного цифровой фотокамерой AxioCam MRc. Для обработки цифровых изображений была использована компьютерная программа CometScore Freeware v1.5, которая позволяет вычислять различные параметры комет, указывающие на степень повреждения клеточной ДНК. Для каждой кометы рассчитывали долю ДНК в хвосте кометы (DNA_t). В исследованных группах гребешков анализировали по 15 гелей-слайдов (1 слайд = 1 особь), содержащих не менее 50 комет в каждом.

Определение содержания МДА. Содержание МДА – продукта окислительной деградации жирных кислот – определяли в тканях и субклеточных фракциях по цветной реакции с 2-тиобарбитуровой кислотой [12].

Измерения проводили на спектрофотометре Shimadzu UV-1650 PC. Относительное содержание МДА выражали в нмолях в расчете на грамм сырого веса. Исследование проводили в 15 параллельных пробах, где 1 проба = 1 особь.

Статистическая обработка полученных результатов проводилась с использованием пакета прикладных программ STATISTICA 6.0 и Microsoft Excel 2016. Оценку проводили по каждому эксперименту путем сравнения среднегрупповых показателей ($P < 0,01$ с использованием критерия Манна – Уитни). Коэффициенты корреляции были оценены с использованием регрессии Пирсона.

Результаты и обсуждение

В результате исследования установлено, что у годовалых (1+) и двухгодовалых (2+) гребешков поколения 2015 г. степень деградации молекулы ДНК в жабрах и пищеварительной железе оказалась значительно выше, чем у гребешков поколения 2005 г. (рис. 2).

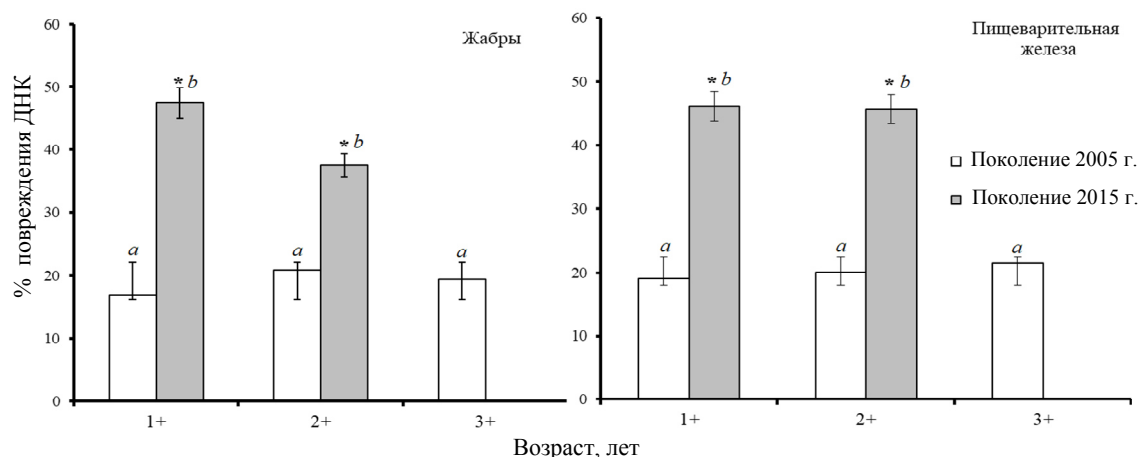


Рис. 2. Степень повреждения молекулы ДНК жабр и пищеварительной железы *M. yessoensis* поколений 2005 и 2015 г.: «*» – достоверные отличия между поколениями $P = 99\%$ (критерий Манна – Уитни); *a, b* – достоверные отличия между разными возрастными группами одного поколения, $p < 0,01$ (регрессия Пирсона)

Очевидно, что уровень повреждения молекулы ДНК у моллюсков поколения 2005 г. – как в жабрах, так и в пищеварительной железе – у всех исследованных возрастных групп находился практически на одном уровне и не превышал 20%. При этом достоверных различий между разновозрастными группами нереста 2005 г. выявлено не было.

У *M. yessoensis* поколения 2015 г. уровни повреждения ДНК жабр и пищеварительной железы также достоверно не отличались у разновозрастных особей. Достоверные отличия отмечены у годовалых и двухгодовалых особей поколений 2005 и 2015 г., так, в жабрах и пищеварительной железе гребешков поколения 2015 г. уровень повреждения молекулы ДНК был выше в среднем в 2,5 раза, в отличие от моллюсков поколения 2005 г.

Содержание МДА в тканях гребешков (рис. 3) имеет сходную картину с уровнем повреждения ДНК.

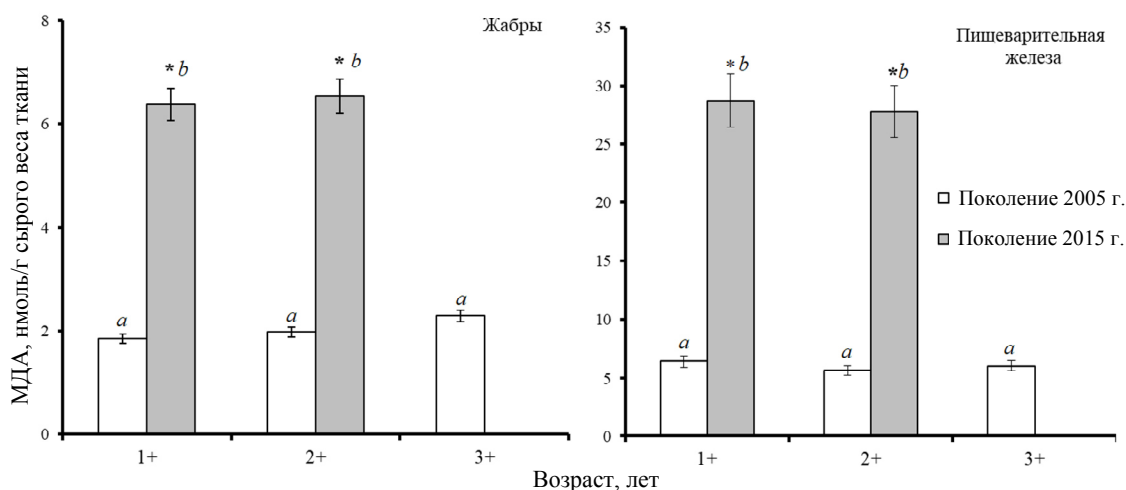


Рис. 3. Уровень МДА в жабрах и пищеварительной железе *M. yessoensis* поколений 2005 и 2015 гг.:

«*» – достоверные отличия между поколениями $P = 99\%$ (критерий Манна – Уитни);
 a, b – достоверные отличия между разными возрастными группами одного поколения, $p < 0,01$ (регрессия Пирсона)

У *M. yessoensis* нереста 2015 г. данный показатель значительно выше: практически в 3 раза в жабрах и более чем в 5 раз в пищеварительной железе, чем у гребешков поколения 2005 г. (рис. 3). Так, у поколения 2005 г. концентрация МДА в жабрах находилась в пределах 2–2,5 нмоль/г сырого веса, в пищеварительной железе 5–7 нмоль/г. Как видно из полученных результатов, достоверных различий между возрастными группами в пределах одного поколения выявлено не было. При этом достоверно различались между собой одновозрастные группы двух исследованных нами поколений моллюсков. Также была отмечена значительная положительная корреляция между уровнем МДА в тканях и процентом повреждений ДНК в исследованных тканях у двух разных поколений гребешков ($P < 0,05$).

Следует отметить, что в октябре 2017 и 2018 гг. наблюдалась смертность моллюсков поколения 2015 г.: в возрасте 2+ – более чем 50 %, в возрасте 3+ – 95 %. При этом у поколения 2005 г. массовой гибели не наблюдалось, смертность составляла менее 20 % во всех возрастных группах. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что поврежденность молекулы ДНК клеток жабр и пищеварительной железы *M. yessoensis* при значениях более 40 % (см. рис. 2) и высокие уровни МДА (см. рис. 3) в тканях являются сигналами необратимых последствий, протекающих в организме, которые приводят к массовой гибели гидробионтов. Известно, что МДА является широко используемым индикатором развития окислительного стресса, при этом содержание высоких концентраций МДА в тканях (см. рис. 3) само по себе может приводить к повреждению молекулы ДНК и мутациям [13]. Скорее всего, в периоды массовой гибели моллюски находятся в состоянии окислительного стресса, что подтверждается значительным увеличением содержанием МДА в тканях моллюсков, при этом повреждение молекулы ДНК достигает критических значений, практически 50 %.

Разные исследователи отмечают, что пик смертности в гребешковых хозяйствах соответствует поздней части нереста [4–6]. Считается, что именно стресс, связанный с нерестом, является основным фактором гибели моллюсков из-за ослабления основных защитных систем организма (иммунной, антиоксидантной, репаративной), и именно в этот период организм подвержен раз-

личным инфекциям и инвазиям [4]. Еще к одной из предпосылок высокой смертности гидробионтов некоторые авторы относят чрезмерную плотность посадки, которая способствует развитию инфекционных процессов, а также имбридинг, ослабляющий защитный физиологический потенциал культивируемых моллюсков [3–8]. Наши результаты подтверждают данные выводы, т. к. именно несостоятельность системы репарации молекулы ДНК приводит к накоплению повреждений в ее структуре, а ослабление антиоксидантной защиты способствует накоплению продуктов перекисного окисления липидов в тканях.

Заключение

Анализ экспериментальных данных свидетельствовал о том, что моллюски поколения 2015 г. испытывали выраженный окислительный стресс, и это привело к повышению содержания МДА в тканях и значительному повреждению ДНК. Считаем, что данные биомаркеры являются ранними и чувствительными индикаторами, отражающими физиологическое состояние культивируемых моллюсков, а также сигналами о возникновении развития патологий, ведущих к массовой гибели гидробионтов. Так, при уровне повреждения молекулы ДНК у гребешков возраста 1+ в диапазоне 40–50 % можно предвидеть предстоящие экономические потери в связи с массовой гибелью гидробионтов в следующем году. Конечно, для того чтобы с уверенностью делать такие прогнозы, необходимо собрать больше данных о поврежденности генома и уровнях содержания МДА на разных и более ранних возрастных стадиях моллюсков. Результаты, полученные в данной работе, могут быть использованы для начала нового и перспективного направления по прогнозированию устойчивости не только хозяйств марикультуры, но и естественных экосистем в тех морских акваториях, которые используются для промышленного воспроизводства гидробионтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ФАО. 2016. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры 2016. Вклад в обеспечение всеобщей продовольственной безопасности и питания. URL: <http://www.fao.org/publications/sofia/2016/ru/> (дата обращения: 15.03.2020).
2. ФАО. 2018. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры 2018. Достижение целей устойчивого развития. URL: <http://www.fao.org/family-farming/detail/ru/c/1145056/> (дата обращения: 15.03.2020).
3. Xiao J., Ford S. E., Yang H., Zhang G., Zhang F., Guo X. Studies on mass summer mortality of cultured zhikong scallops (*Chlamys farreri* Jones et Preston) in China // *Aquaculture* 250 (3–4). 2005. P. 602–615.
4. Lan Y., Ye T., Xue Y., Liu H., Zhang H., Cheng D., Zhao M., Zhang Y., Li S., Ma H., Zheng H. Physiological and immunological responses to mass mortality in noble scallop *Chlamys nobilis* cultured in Nan'ao waters of Shantou, China // *Fish and Shellfish Immunology*. 2018. N. 82. P. 453–459.
5. Chao L., Fucun W. U., Huayong Q., Guofan Z. Relationships of growth and mortality to enzymatic activity, and the relative mRNA expression of cultured scallops *Patinopecten yessoensis* in the Yellow Sea, China // *Journal of Oceanology and Limnology*. 2019. V. 37. N. 4. P. 1409–1422.
6. Zhang X., Zhu M., Li R., Wang Z., Xia B., Zhang L. Density-dependent mortality of the scallop *Chlamys farreri* in grow-out culture // *Aquaculture research*. 2006. N. 37. P. 842–844.
7. Read P. A., Fernandes T. F. Management of environmental impacts of marine aquaculture in Europe // *Aquaculture*. 2003. V. 226. P. 139–163.
8. Ansari Z. A., Ingole B. S., Parulekar A. H. Effect of high organic enrichment of benthic polychaete population in an estuary // *Marine Pollution Bulletin*. 1986. N. 17. P. 361–365.
9. Коваль И. В., Овчинникова И. А. Состояние и тенденции развития аквакультуры в Приморском крае // *Вестн. Тихоокеан. гос. эконом. ун-та*. 2013. № 1 (65). С. 36–47.
10. Collins A. R. Investigating oxidative DNA damage and its repair using the comet assay // *Mutation Research*. 2009. V. 681. P. 24–32.
11. Singh N. P., McCoy M. T., Tice R. R., Schneider E. L. A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells // *Experimenta Cell Research*. 1988. V. 175. P. 184–191.
12. Buege J. A., Aust S. D. Microsomal lipid peroxidation // *Methods in Enzymology*. N.Y.: Academic Press, 1978. V. 52. P. 302–310.
13. Cooke M. S., Evans M. D., Dizdaroglu M., Lunec J. Oxidative DNA damage: mechanisms, mutation, and disease // *The FASEB Journal*. 2003. V. 17. N. 10. P. 1195–1214.

Статья поступила в редакцию 10.05.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Слободскова Валентина Владимировна – Россия, 690087, Владивосток; Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; канд. биол. наук; доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры; Россия, 690041, Владивосток; Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН; старший научный сотрудник лаборатории морской экотоксикологии; slobodskova@list.ru.

Довженко Надежда Владимировна – Россия, 690087, Владивосток; Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; канд. биол. наук, доцент; доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры; Россия, 690041, Владивосток; Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН; старший научный сотрудник лаборатории морской экотоксикологии; nadezhda@poi.dvo.ru.

Кукла Сергей Петрович – Россия, 690041, Владивосток; Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН; научный сотрудник лаборатории морской экотоксикологии; kukla.sp@mail.ru.

Челомин Виктор Павлович – Россия, 690041, Владивосток; Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН; д-р биол. наук, профессор; научный сотрудник лаборатории морской экотоксикологии; chelomin@poi.dvo.ru.

Жадко Елена Александровна – Россия, 690087, Владивосток; Россия; Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; канд. биол. наук, доцент; доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры; zhadko.helen@gmail.com.

Пряжевская Татьяна Сергеевна – Россия, 690087, Владивосток; Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; канд. биол. наук, доцент; доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры; Россия, 690041, Владивосток; Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН; старший научный сотрудник лаборатории морской экотоксикологии; iria-vba@yandex.ru.



**ANALYZING BIOCHEMICAL STATUS OF CULTIVATED HYDROBIONTS
FOR EVALUATION OF MARICULTURE SUSTAINABILITY**

**V. V. Slobodskova^{1,2}, N. V. Dovzhenko^{1,2}, S. P. Kukla²,
V. P. Chelomin², E. A. Zhad'ko¹, T. S. Pryazhevskaya^{1,2}**

¹*Far Eastern State Technical Fisheries University,
Vladivostok, Russian Federation*

²*V. I. Ilichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,
Vladivostok, Russian Federation*

Abstract. The article touches upon the problem of sustainable development of the sea hydrobionts. Deep-sea scallop *Mizuhopecten yessoensis* is one of the most common breeding species in Primorsky Krai usually grown by two methods: cage and bottom. The cage (industrial) cultivation type is the most developed, but requires close attention. Improper planning of the mariculture development can affect the scallop survival, which in turn will lead to significant financial losses. Nowadays mariculture farms in different countries register the mass mortality of the cultivated aquatic organisms, the causes of this phenomenon being not clear, and often their identification requires a lot of time, as well as financial expenses. The use of prognostic mechanisms based on biomarkers can help identify the hidden threats in the body of cultivated scallops that lead to the mass mortality. The assessment of the state of mollusks at earlier stages of development will allow predicting and preventing significant losses of commercially valuable species. There have been analyzed the biomarker and scallop mortality rates of the scallop *Mizuhopecten yessoensis* cultivated

by the cage method. Different groups of mollusks from 2 generations with the age difference of 10 years have been evaluated. In the course of the study it was found that with the increasing number of DNA defects and active accumulation of malondialdehyde in tissues the mortality of mollusks increases. It was stated that in scallops aged 1+ generations of 2015 there were registered the great number of DNA molecule defects and the high level of malondialdehyde concentration in the digestive gland and in the gills, which subsequently led to the mortality of almost all commercially valuable species aged 3+.

Key words: aquaculture, mollusks, *Mizuhopecten yessoensis*, DNA molecule damage, malondialdehyde, mass mortality.

For citation: Slobodskova V. V., Dovzhenko N. V., Kukla S. P., Chelomin V. P., Zhad'ko E. A., Pryazhevskaya T. S. Analyzing biochemical status of cultivated hydrobionts for evaluation of mariculture sustainability. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2020;4:113-120. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-5529-2020-4-113-120.

REFERENCES

1. FAO. 2016. *Costoianie mirovogo rybolovstva i akvakul'tury 2016. Vklad v obespechenie vseobshchei prodovol'stvennoi bezopasnosti i pitaniia* [FAO. 2016. The State of Global Fisheries and Aquaculture 2016. Contributing to Global Food Security and Nutrition]. Available at: <http://www.fao.org/publications/sofia/2016/ru/> (accessed: 15.03.2020).
2. FAO. 2018. *Costoianie mirovogo rybolovstva i akvakul'tury 2018. Dostizhenie tselei ustoichivogo razvitiia* [FAO. 2018. The State of Global Fisheries and Aquaculture 2018 - Achieving sustainable development goals]. Available at: <http://www.fao.org/family-farming/detail/ru/c/1145056/> (accessed: 15.03.2020).
3. Xiao J., Ford S. E., Yang H., Zhang G., Zhang F., Guo X. Studies on mass summer mortality of cultured zhikong scallops (*Chlamys farreri* Jones et Preston) in China. *Aquaculture* 250 (3–4), 2005, pp. 602-615.
4. Lan Y., Ye T., Xue Y., Liu H., Zhang H., Cheng D., Zhao M., Zhang Y., Li S., Ma H., Zheng H. Physiological and immunological responses to mass mortality in noble scallop *Chlamys nobilis* cultured in Nan'ao waters of Shantou, China. *Fish and Shellfish Immunology*, 2018, no. 82, pp. 453-459.
5. Chao L., Fucun W. U., Huayong Q., Guofan Z. Relationships of growth and mortality to enzymatic activity, and the relative mRNA expression of cultured scallops *Patinopecten yessoensis* in the Yellow Sea, China. *Journal of Oceanology and Limnology*, 2019, vol. 37, no. 4, pp. 1409-1422.
6. Zhang X., Zhu M., Li R., Wang Z., Xia B., Zhang L. Density-dependent mortality of the scallop *Chlamys farreri* in grow-out culture. *Aquaculture research*, 2006, no. 37, pp. 842-844.
7. Read P. A., Fernandes T. F. Management of environmental impacts of marine aquaculture in Europe. *Aquaculture*, 2003, vol. 226, pp. 139-163.
8. Ansari Z. A., Ingole B. S., Parulekar A. H. Effect of high organic enrichment of benthic polychaete population in an estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 1986, no. 17, pp. 361-365.
9. Koval' I. V., Ovchinnikova I. A. Sostoianie i tendentsii razvitiia akvakul'tury v Primorskom krae [Status and development trends of aquaculture in Primorsky Krai]. *Vestnik Tikhookeanskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*, 2013, no. 1 (65), pp. 36-47.
10. Collins A. R. Investigating oxidative DNA damage and its repair using the comet assay. *Mutation Research*, 2009, vol. 681, pp. 24-32.
11. Singh N. P., McCoy M. T., Tice R. R., Schneider E. L. A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells. *Experimental Cell Research*, 1988, vol. 175, pp. 184-191.
12. Buege J. A., Aust S. D. *Microsomal lipid peroxidation. Methods in Enzymology*. N.Y., Academic Press, 1978. Vol. 52. Pp. 302-310.
13. Cooke M. S., Evans M. D., Dizdaroglu M., Lunec J. Oxidative DNA damage: mechanisms, mutation, and disease. *The FASEB Journal*, 2003, vol. 17, no. 10, pp. 1195-1214.

The article submitted to the editors 10.05.2020

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Slobodskova Valentina Vladimirovna – Russia, 690087, Vladivostok; Far Eastern State Technical Fisheries University; Candidate of Biology; Assistant Professor of the Department

of Aquatic Bioresources and Aquaculture; Russia, 690041, Vladivostok; V. I. Ilichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences; Senior Researcher of the Laboratory of Marine Ecotoxicology; slobodskova@list.ru.

Dovzhenko Nadezhda Vladimirovna – Russia, 690087, Vladivostok; Far Eastern State Technical Fisheries University; Candidate of Biology, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture; Russia, 690041, Vladivostok; V. I. Ilichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences; Senior Researcher of the Laboratory of Marine Ecotoxicology; nadezhda@poi.dvo.ru.

Kukla Sergey Petrovich – Russia, 690041, Vladivostok; V. I. Ilichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences; Senior Researcher of the Laboratory of Marine Ecotoxicology; kukla.sp@mail.ru.

Chelomin Victor Pavlovich – Russia, 690041, Vladivostok; V. I. Ilichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences; Doctor of Biology, Professor; Researcher of the Laboratory of Marine Ecotoxicology; chelomin@poi.dvo.ru.

Zhad'ko Elena Aleksandrovna – Russia, 690087, Vladivostok; Far Eastern State Technical Fisheries University; Candidate of Biology, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture; zhadko.helen@gmail.com.

Pryazhevskaya Tat'yana Sergeevna – Russia, 690087, Vladivostok; Far Eastern State Technical Fisheries University; Candidate of Biology, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture; Russia, 690041, Vladivostok; V. I. Ilichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences; Senior Researcher of the Laboratory of Marine Ecotoxicology; iria-vba@yandex.ru.

