

**ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ПРООКСИДАНТНО-АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ КРОВИ МОРСКОГО ЁРША
SCORPAENA PORCUS L., 1758 ИЗ ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ
Г. СЕВАСТОПОЛЯ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)***

Скуратовская Е. Н.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь,
Российская Федерация,
e-mail: skuratovskaya@ibss-ras.ru

Аннотация: Изучены возрастные особенности показателей прооксидантно-антиоксидантной системы (активность супероксиддисмутазы (СОД), каталазы (КАТ), пероксидазы (ПЕР), глутатионредуктазы (ГР), глутатион-S-трансферазы (GST) и уровень окислительной модификации белков (ОМБ)) крови морского ёрша *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758 из прибрежной акватории г. Севастополя (Чёрное море). Установлено снижение активности СОД, КАТ, GST в эритроцитах крови рыб старших возрастных групп (5+–6+) по сравнению с более молодыми экземплярами в возрасте 2+–3+. Уровень ОМБ (альдегидные и кетонные продукты нейтрального характера, альдегидопроизводные основного характера) в сыворотке крови рыб в возрасте 5+–6+ достоверно превышал соответствующие значения особей 2+–4+. Для корректного применения показателей прооксидантно-антиоксидантной системы крови морского ёрша в экотоксикологической оценке состояния морских прибрежных акваторий необходимо учитывать возраст рыб и проводить исследования на одной, предпочтительно доминирующей в уловах, возрастной группе.

Ключевые слова: морской ёрш, биомаркеры, активность антиоксидантных ферментов, уровень окислительной модификации белков, возраст, Чёрное море.

Введение

Постоянное антропогенное воздействие на прибрежные акватории Крыма приводит к аккумуляции токсических веществ в донных отложениях, изменению физико-химических свойств воды и грунтов, сокращению видового разнообразия и истощению биологических ресурсов. Поэтому оценка состояния гидробионтов, контроль загрязнения водной среды и биоты остаются основными задачами экологического мониторинга Черноморского побережья Крыма. В связи с этим в настоящее время разрабатываются новые методы, основанные на определении чувствительных биомаркеров, позволяющих на ранних стадиях воздействия неблагоприятных факторов оценить состояние водных организмов и среды их обитания. В качестве таких биомаркеров используют параметры прооксидантно-антиоксидантной системы (ПАС) [Экотоксикологические исследования ... , 2016; Livingstone, 2003; Kroon, Streten, Harries, 2017; Luk'yanova, Korchagin, 2017].

ПАС включает генерацию активных форм кислорода (АФК), инициирующих свободно-радикальные процессы, и антиоксидантную (АО) защиту посредством низкомолекулярных соединений и ферментов, функции которых заключаются в восстановлении продуктов перекисного окисления и поддержании концентрации АФК на низком, оптимальном для организма, уровне. Соотношение процессов свободнорадикального окисления (СРО) и антиоксидантной защиты отражает адаптационные возможности и позволяет оценить ответные реакции организмов на неблагоприятные условия среды [Livingstone, 2003; Kroon, Streten, Harries, 2017; Luk'yanova, Korchagin, 2017]. Однако для корректного использования параметров ПАС

* Работа выполнена в рамках темы государственного задания ФИЦ ИнБИОМ № 121030100028-0.

в качестве биомаркеров необходимо знать пределы их естественной вариабельности в популяциях изучаемых видов, зависящие от природных факторов и физиологического состояния особей [Алешко, Лукьянова, 2008; Экотоксикологические исследования ... , 2016; Ковыршина , 2010; Ihuř et al., 2020; Сигачева, 2021].

Известно, что соотношение прооксидантно-антиоксидантных реакций в тканях животных с возрастом изменяется в сторону усиления процессов СРО, накопления свободных радикалов и продуктов перекисного окисления в клетках, что приводит к развитию патологических состояний, нарушает нормальное протекание многих физиологических процессов и функционирование органов и тканей. В настоящее время эти процессы достаточно полно изучены в тканях млекопитающих, тогда как сведения о возрастных изменениях состояния ПАС в организме рыб ограничены [Скуратовская, 2009; Сигачева, 2021; Rudneva et al., 2010; Parolini et al., 2019]. В то же время изучение возрастных особенностей показателей ПАС тканей биоиндикаторных видов рыб является необходимым условием для их корректного применения в экотоксикологических исследованиях.

Цель настоящей работы заключалась в изучении возрастных особенностей активности антиоксидантных ферментов и уровня окислительной модификации белков крови морского ёрша *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758 из прибрежной акватории г. Севастополя (Чёрное море).

Материалы и методы

Объектом исследований служил морской ёрш *Scorpaena porcus* Linnaeus, 1758 — типичный представитель донной ихтиофауны прибрежных акваторий Чёрного моря, биоиндикаторный вид, широко используемый в экотоксикологических исследованиях [Экотоксикологические исследования ... , 2016]. Рыб отлавливали в Карантинной бухте г. Севастополя в осенний период 2007 г., проводили полный биологический анализ. Возраст рыб определяли по отолитам. В уловах встречался морской ёрш пяти возрастных групп — от 2+ до 6+.

Материалом для исследования служили эритроциты и сыворотка крови рыб. Эритроциты отмывали путём смешивания с 10-кратным объёмом физиологического раствора (0,85 % NaCl) и последующего отделения эритроцитарной массы. Для получения гемолизата в основную массу эритроцитов добавляли дистиллированную воду в соотношении 1 : 4 (по объёму), выдерживали сутки при температуре 4 °С в холодильнике. Полученные гемолизаты разбавляли десятикратно дистиллированной водой и проводили дальнейшие исследования. В эритроцитах определяли активность пяти АО-ферментов: супероксиддисмутазы (СОД), каталазы (КАТ), пероксидазы (ПЕР), глутатионредуктазы (ГР) и глутатион-S-трансферазы (GST) — методами, описанными ранее [Rudneva et al., 2016]. В сыворотке крови анализировали уровень окислительной модификации белков (ОМБ) по реакции взаимодействия окисленных аминокислотных остатков белков с 2,4-динитрофенилгидразином. Оптическую плотность образовавшихся 2,4-динитрофенилгидразонов регистрировали при следующих длинах волн (λ): 356 и 370 нм — альдегидные (C₃₅₆) и кетонные (C₃₇₀) продукты нейтрального характера, 430 и 530 нм — альдегидные (C₄₃₀) и кетонные (C₅₃₀) продукты основного характера [Дубинина и др., 1995]. Все измерения проводили на спектрофотометре Spescol 211 (Германия). Результаты обрабатывали статистически, вычисляли среднее арифметическое и стандартную ошибку средней. Достоверность различий между выборками оценивали с применением U-критерия Манна — Уитни. Различия считали достоверными при уровне значимости ($p < 0,05$).

Результаты и обсуждение

Результаты исследований позволили выявить определённые возрастные изменения параметров ферментной АО-системы и уровня ОМБ (табл. 1, 2). Активность СОД и КАТ была достоверно ниже у рыб в возрасте 5+–6+ по сравнению с особями 2+–3+ ($p < 0,05$). Активность GST имела минимальные значения в возрасте 5+–6+ по сравнению с группой 2+–4+ ($p < 0,05$). Активность ПЕР у рыб в возрасте 5+ превышала соответствующие значения экземпляров 2+–4+ ($p < 0,05$). Для ГР достоверных возрастных отличий не установлено (табл. 1).

Таблица 1

Активность антиоксидантных ферментов (на мг гемоглобина / мин, $M \pm m$) в эритроцитах крови морского ерша разного возраста

Возраст, годы	n	СОД, усл. ед.	КАТ, мг H_2O_2	ПЕР, опт. ед.	ГР, нмоль НАДФН	GST, нмоль конъюгата
2+	18	165,60 ± 15,41	0,46 ± 0,02	28,07 ± 1,62	1,53 ± 0,24	11,43 ± 1,29
3+	30	148,12 ± 7,89	0,46 ± 0,02	27,00 ± 1,19	2,37 ± 0,34	10,81 ± 1,08
4+	23	138,60 ± 11,00	0,42 ± 0,01	30,24 ± 1,44	2,55 ± 0,42	11,42 ± 1,29
5+	12	114,10 ± 9,81*	0,41 ± 0,01*	37,0 ± 2,6**	2,10 ± 0,44	7,37 ± 1,26**
6+	7	114,90 ± 15,02*	0,38 ± 0,03*	30,75 ± 3,74	2,31 ± 0,80	4,86 ± 1,38**

Примечание: * — различия достоверны по сравнению с экземплярами 2+–3+; ** — различия достоверны по сравнению с экземплярами 4+ ($p < 0,05$); n — количество особей

Уровень альдегидных (C_{356}) и кетонных (C_{370}) продуктов нейтрального характера, а также альдегидопроизводных (C_{430}) основного характера у рыб в возрасте 5+–6+ превышал соответствующие показатели экземпляров 2+–4+ ($p < 0,05$). Содержание кетонных продуктов основного характера в эритроцитах крови морского ерша с возрастом не изменялось (табл. 2).

Таблица 2

Уровень окислительной модификации белков (опт. ед. / мл сыворотки, $M \pm m$) в сыворотке крови морского ерша разного возраста

Возраст, годы	n	продукты нейтрального характера		продукты основного характера	
		альдегидные 356 нм	кетонные 370 нм	альдегидные 430 нм	кетонные 530 нм
2+	12	2,75 ± 0,55	3,83 ± 0,68	2,11 ± 0,23	0,46 ± 0,06
3+	17	2,48 ± 0,55	3,53 ± 0,62	1,90 ± 0,41	0,32 ± 0,08
4+	10	2,75 ± 0,45	3,65 ± 0,50	1,70 ± 0,52	0,35 ± 0,04
5+	7	5,10 ± 0,80*	6,75 ± 0,78*	3,08 ± 0,37*	0,40 ± 0,10
6+	6	5,25 ± 0,54*	6,92 ± 0,63*	3,10 ± 0,25*	0,42 ± 0,07

Примечание: * — различия достоверны по сравнению с экземплярами 2+–4+ ($p < 0,05$); n — количество особей

Таким образом, обнаруженные возрастные особенности исследуемых параметров крови рыб характеризуются снижением активности ферментов СОД, КАТ, GST и увеличением уровня окислительной модификации белков (альдегидные и кетонные продукты нейтрального характера, альдегидопроизводные основного характера) у особей старших возрастных групп (5+–6+). Эти особенности характерны и для других организмов, в том числе гомойотермных, что согласуется со свободнорадикальной теорией старения и свидетельствует об универсальности динамики СРО и АО-системы в онтогенезе животных разных систематических групп [Harman, 1956; Yargicoğlu et al., 1999; Correia et al., 2003; Rudneva et al., 2010; Parolini et al., 2019].

Снижение АО-активности и повышение уровня ОМБ, вероятно, связаны как с накоплением токсичных веществ в тканях, приводящим к подавлению синтеза ферментов, так и с усилением процессов СРО в организме при старении. Известно, что аккумуляция модифицированных макромолекул с возрастом вызвана окислительным повреждением в тканях и потерей способности восстанавливать или утилизировать эти молекулы [Winston, Livingstone, Lips, 1990]. В процессе старения организма повышается чувствительность многих белков-ферментов к металлкализируемому окислению и в тканях накапливаются их окисленные неактивные формы [Дубинина, 1993]. Установлено, что в течение примерно последней трети жизни происходит существенное увеличение концентрации карбонильных групп белков, причём это не зависит ни от вида организма, ни от типа исследуемой ткани. Накопление с возрастом окисленных белков может быть обусловлено в том числе снижением активности протеаз, которые разрушают их модифицированные формы [Дубинина, 1989; Лихолат, Ананьева, Антонюк, 2000].

Известно также, что у рыб с длительным жизненным циклом в последние годы жизни наблюдается торможение белкового роста. Изучение азотистого баланса показывает, что с возрастом потребление, утилизация, эффективность использования и экскреция азота у рыб снижаются. Это связано, с одной стороны, с затуханием белкового обмена при старении, с другой — свидетельствует об увеличении удельного веса диссимилирующих процессов [Шульман, 1996], что в свою очередь может обуславливать снижение синтеза АО-ферментов у рыб старших возрастных групп.

Многими исследователями установлено, что АО-активность тканей молодых рыб выше, чем у особей более старшего возраста [Сигачева, 2021; Rudneva et al., 2010; Dong et al., 2017; Parolini et al., 2019]. Отмечено, что активность АО-ферментов крови биоиндикаторного вида бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* из севастопольских акваторий Чёрного моря (КАТ, ГР) и юго-западной части Азовского моря (СОД, ГР) была в 1,5–2 раза ниже у рыб в возрасте 2+ по сравнению с группой 0+–1+ [Сигачева, 2021], тогда как содержание окисленных форм белков было выше в сыворотке крови рыб старших возрастных групп из прибрежной зоны Севастополя. Снижение ферментативной АО-активности в эритроцитах крови рыб с возрастом показано для налима *Gaidropsarus mediterraneus* (СОД, КАТ, ПЕР, GST), мерланга *Merlangius merlangus euxinus* (ГР, GST), султанки *Mullus barbatus ponticus* (СОД, КАТ, ГР), спикары *Spicara flexuosa* (КАТ, GST), ставриды *Trachurus mediterraneus* (КАТ, ПЕР), обитающих в прибрежных акваториях Чёрного моря [Скуратовская, 2009; Rudneva et al., 2010]. Повышение уровня ОМБ в крови особей старших возрастных групп выявлено для мерланга [Скуратовская, 2009].

Следует отметить, что возрастные изменения протекают неравномерно в различных органах и тканях, проявляя неоднородность, скорость и направленность процессов и отражая компенсаторную адаптацию развивающегося и стареющего организма [Dong et al., 2017; Parolini et al., 2019]. Возрастные изменения активности АО-ферментов и уровня перекисного окисления липидов (ПОЛ) обнаружены в жабрах и печени кумжи *Salmo trutta*, обитающей в реке Национального парка Гран-Парадизо (Италия). С возрастом наблюдалось снижение активности глутатионпероксидазы (ГП) и уровня перекисного окисления липидов (ПОЛ) в обоих органах, тогда как СОД — только в печени [Parolini et al., 2019]. В результате исследований, проведённых на самцах модельного вида — нотобранхиуса Гюнтера *Nothobranchius guentheri*, были установлены возрастные тканезависимые изменения уровня ОМБ и ПОЛ, а также активности КАТ, СОД и ГП, позволившие авторам сделать вывод о том, что старение является тканеспецифичным и асимметричным [Dong et al., 2017].

В наших исследованиях обращает на себя внимание повышение активности ПЕР в крови рыб в возрасте 5+ по сравнению с экземплярами 2+–4+ на фоне снижения активности КАТ, что может быть связано с взаимокompенсаторной функцией ферментов, разлагающих перекись

водорода (табл. 1). Снижение активности КАТ и повышение активности ГП в семенниках старых самцов, по сравнению с молодыми экземплярами, было выявлено для нотобранхиуса Гюнтера [Dong et al., 2017]. Компенсаторное повышение активности ПЕР при низких значениях КАТ также отмечено в крови спикары в возрасте 4+ по сравнению с возрастной группой 1+ [Скуратовская, 2009].

Выводы

На основании полученных результатов можно заключить, что для показателей ПАС крови морского ерша, обитающего в прибрежных акваториях г. Севастополя, характерны существенные возрастные изменения.

Установлено снижение активности СОД, КАТ, GST в эритроцитах крови рыб старших возрастных групп (5+–6+) по сравнению с более молодыми экземплярами в возрасте 2+–3+.

Уровень ОМБ (альдегидные и кетонные продукты нейтрального характера, альдегидопродукты основного характера) в сыворотке крови рыб в возрасте 5+–6+ достоверно превышал соответствующие значения особей 2+–4+.

Для корректного применения показателей прооксидантно-антиоксидантной системы крови морского ерша в экотоксикологической оценке состояния морских прибрежных акваторий необходимо учитывать возраст рыб и проводить исследования на одной, предпочтительно доминирующей в уловах, возрастной группе особей.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность Салеховой Лидии Павловне за помощь в определении возраста рыб.

Список литературы

1. Аleshko С. А., Лукьянова О. Н. Сезонные изменения некоторых параметров биотрансформации и антиоксидантной системы в печени полосатой камбалы *Liopsetta pinnifasciata* из Амурского залива Японского моря // Биология моря. – 2008. – Т. 34, № 2. – С. 148–151.
2. Дубинина Е. Е. Биологическая роль супероксидного анион-радикала и супероксиддисмутазы в тканях организма // Успехи современной биологии. – 1989. – Т. 108, вып. 1 (4). – С. 3–18.
3. Дубинина Е. Е. Некоторые особенности функционирования ферментативной антиоксидантной защиты плазмы крови человека // Биохимия. – 1993. – Т. 58, вып. 2. – С. 268–273.
4. Дубинина Е. Е., Бурмистов С. О., Ходов Д. А., Поротов И. Г. Окислительная модификация белков сыворотки крови человека, метод её определения // Вопросы медицинской химии. – 1995. – Т. 41, № 1. – С. 24–26.
5. Ковыришина Т. Б. Особенности антиоксидантной ферментативной системы крови черноморского бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* в нерестовый период // Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов : сб. науч. ст. / Рос. акад. наук, Отд-ние биол. наук РАН ; редкол.: Н. Н. Немова [и др.]. – Петрозаводск : Карел. науч. центр РАН, 2010. – Т. 1. – С. 80–83.
6. Лихолат Е. А., Ананьева Т. В., Антониук С. В. Пероксидное окисление липидов в лёгких при ингаляционном воздействии соли свинца в низких концентрациях // Украинский биохимический журнал. – 2000. – Т. 72, № 2. – С. 68–71.
7. Сигачева Т. Б. Возрастные особенности прооксидантно-антиоксидантной системы крови бычка-кругляка *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) из Чёрного и Азовского морей // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – природного заповедника РАН. – 2021. – № 4 (20). – С. 10–15. – <https://doi.org/10.21072/eco.2021.20.02>

8. Скуратовская Е. Н. Состояние антиоксидатной ферментной системы крови черноморских рыб в условиях комплексного хронического загрязнения : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.04. – Одесса, 2009. – 20 с.
9. Шульман Г. Е. Физиолого-биохимические исследования гидробионтов // Экология моря : сб. науч. тр. / НАН Украины, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского. – Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 1996. – Вып. 45. – С. 39–48.
10. Экотоксикологические исследования прибрежной черноморской ихтиофауны в районе Севастополя / Ин-т мор. биол. исслед. им. А. О. Ковалевского РАН, Рос. фонд фундам. исслед. ; под ред. И. И. Рудневой. – Москва : ГЕОС, 2016. – 360 с.
11. 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) // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. – 2003. – Vol. 289, iss. 1. – P. 83–101. – [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(03\)00040-6](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(03)00040-6)
12. Dong Y., Cui P., Li Z., Zhang S. Aging asymmetry: systematic survey of changes in age-related biomarkers in the annual fish *Nothobranchius guentheri* // Fish Physiology Biochemistry. – 2017. – Vol. 43, iss. 2. – P. 309–319. – <https://doi.org/10.1007/s10695-016-0288-1>
13. Harman D. Aging: a theory based on free radical and radiation chemistry // Journal of Gerontology. – 1956. – Vol. 11, iss. 3. – P. 298–300. – <https://doi.org/10.1093/geronj/11.3.298>
14. Ihuț A., Răducu C., Cocan D., Munteanu C., Luca I. T., Uiuu P., Lațiu C., Rus V., Mireșan V. Seasonal variation of blood biomarkers in huchen, *Hucho hucho* (Actinopterygii: Salmoniformes: Salmonidae) reared in captivity // Acta Ichthyologica Et Piscatoria. – 2020. – Vol. 50, iss. 4. – P. 381–390. – <https://doi.org/10.3750/AIEP/02836>
15. Kroon F., Streten C., Harries S. A protocol for identifying suitable biomarkers to assess fish health: a systematic review // PLOS ONE. – 2017. – Vol. 12, iss. 4. – e0174762. – <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174762>
16. Livingstone D. R. Oxidative stress in aquatic organisms in relation to pollution and aquaculture // Revue De Medecine Veterinaire – 2003. – Vol. 154, iss. 6. – P. 427–430.
17. Luk'yanova O. N., Korchagin V. P. Integral biochemical index of the state of aquatic organisms under polluted conditions // Biology Bulletin. – 2017. – Vol. 44, iss. 2. – 203–209. – <https://doi.org/10.1134/S106235901702011X>
18. Parolini M., Iacobuzio R., Felice B., Bassano B., Pennati R., Saino N. Age- and sex-dependent variation in the activity of antioxidant enzymes in the brown trout (*Salmo trutta*) // Fish Physiology and Biochemistry. – 2019. – Vol. 45, iss. 1. – P. 145–154. – <https://doi.org/10.1007/s10695-018-0545-6>
19. Rudneva I. I., Skuratovskaya E. N., Chesnokova I. I., Shaida V. G., Kovyrshina T. B. Biomarker response of Black Sea scorpion fish *Scorpaena porcus* to anthropogenic impact // Advances in Marine Biology / eds.: A. Kovács, P. Nagy. – New York : Nova Publ., 2016. – Vol. 1. – P. 119–147.
20. Rudneva I. I., Skuratovskaya E. N., Kuzminova N. S., Kovyrshina T. B. Age composition and antioxidant enzyme activities in blood of Black Sea teleosts // Comparative Biochemistry and Physiology. Pt. C. Toxicology and Pharmacology. – 2010. – Vol. 151, iss. 2. – P. 229–239. – <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2009.11.001>
21. Winston G., Livingstone D., Lips F. Oxygen reduction metabolism by the digestive gland of the common mussel *Mytilus edulis* L. // Journal of Experimental Zoology. – 1990. – Vol. 255, iss. 3. – P. 296–308. – <https://doi.org/10.1002/JEZ.1402550307>
22. Yargıçođlu P., Ađar A., Gümüşlü S., Bilmen S., Ođuz Y. Age-related alterations in antioxidant enzymes, lipid peroxide levels, and somatosensory-evoked potentials: effect of sulfur dioxide // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. – 1999. – Vol. 37, iss. 4. – P. 554–560. – <https://doi.org/10.1007/s002449900552>

AGE-RELATED FEATURES OF THE PROOXIDANT-ANTIOXIDANT SYSTEM PARAMETERS IN BLOOD OF BLACK SCORPIONFISH *SCORPAENA PORCUS L.*, 1758 FROM SEVASTOPOL COASTAL AREA (THE BLACK SEA)

Skuratovskaya E. N.

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,

e-mail: skuratovskaya@ibss-ras.ru

Abstract: Age-related features of the prooxidant-antioxidant system parameters (activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (PER), glutathione reductase (GR), glutathione-S-transferase (GST) and oxidized protein levels) in blood of black scorpionfish *Scorpaena porcus* L., 1758 from Sevastopol coastal area (the Black Sea) were studied. A decrease in SOD, CAT, GST activities in fish blood erythrocytes of older age groups (5+–6+) compared to younger specimens aged 2+–3+ was found. Oxidized protein levels (neutral aldehydes and ketones, basic aldehydes) in the blood serum of fish aged 5+–6+ significantly exceeded the corresponding values of individuals aged 2+–4+. For the correct application of the blood prooxidant-antioxidant system parameters of black scorpionfish in the ecotoxicological assessment of the marine coastal water state, it is necessary to take into account fish age and conduct research on single age group of individuals, preferably dominant in catches.

Keywords: black scorpionfish, biomarkers, antioxidant enzyme activities, oxidized protein levels, age, Black Sea.

Сведения об авторе

Скуратовская
Екатерина
Николаевна

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», skuratovskaya@ibss-ras.ru

Поступила в редакцию 15.02.2022 г.

Принята к публикации 15.03.2022 г.