

ЭФФЕКТ СТИМУЛЯЦИИ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ РЫБ НА ФОНЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОБИОТИКА СПОРОТЕРМИН

Спирина Елена Владимировна, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Биология, ветеринарная генетика, паразитология и экология»

Романова Елена Михайловна, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой «Биология, ветеринарная генетика, паразитология и экология»

Романов Василий Васильевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Информатика»

Шадыева Людмила Алексеевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Биология, ветеринарная генетика, паразитология и экология»

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1; тел. 8(8422)55-23-75;

e-mail: elspirin@yandex.ru

Ключевые слова: аквакультура, африканский клариевый сом, антиоксидантная защита, эритроциты, супероксиддисмутаза, каталаза.

В организме рыб функционирует антиоксидантная система, состоящая из ферментативного и неферментативного звеньев, которые обеспечивают связывание радикалов, предупреждают образование или разрушают перекиси. Целью нашей работы являлось исследование влияния пробиотика споротермин на процессы свободнорадикального окисления в организме африканских клариевых сомов. Одними из важнейших элементов антиоксидантной защиты организма рыб являются супероксиддисмутаза (СОД) и каталаза. СОД - это группа металлоферментов, обеспечивающих ускорение реакции дисмутации супероксидных анион-радикалов, за счет последовательного восстановления и окисления, в активном центре фермента ионов металлов с переменной валентностью. Каталаза - это геминный фермент, содержащийся в пероксисомах, который обеспечивает разложение перекиси водорода на молекулярный кислород и воду. Главная роль каталазы в клетках у рыб – это разрушение перекиси водорода, которая образуется в клетках вследствие действия оксидаз, а также обеспечение защиты от перекиси водорода, способной разрушить клеточные структуры. В своих исследованиях мы использовали споротермин, который относится к числу пробиотиков последнего поколения. Результаты исследований показали, что у клариевых сомов, выращенных с использованием пробиотика споротермин, наблюдается увеличение активности СОД и каталазы в эритроцитах и в сыворотке крови. При исследовании антиоксидантной системы клариевых сомов было установлено, что использование пробиотика споротермин приводит к повышению активности ферментов антиоксидантной системы, тем самым стимулируя антиоксидантную защиту организма рыб.

Исследования выполнялись при поддержке РФФИ по гранту 18-416-730005.

Введение

Сегодня аквакультура стала важнейшим направлением функционирования агропромышленного, рыбохозяйственного и природоохранного комплексов Российской Федерации, обеспечивающих продовольственную безопасность страны. В связи с прогрессивным развитием аквакультуры, повышается актуальность исследований влияния условий выращивания рыб на их функциональное состояние и поиска путей повышения продуктивности водных экосистем [1].

В современных условиях одним из перспективных объектов аквакультуры стал африканский клариевый сом (*Clarias gariepinus*) [1, 2]. Выращивание клариевого сома в условиях бассейновой аквакультуры сопровождается стрессовыми факторами, которые влияют на гомеостаз организма рыб. Вследствие этого наблю-

дается ухудшение физиологического состояния, нарушаются обменные процессы в организме рыб и наблюдается снижение их продуктивности [2, 3]. Для интенсификации роста требуется высокий уровень метаболизма, который достигается за счёт активного транспорта кислорода к тканям и органам, обеспечиваемого эритроцитами, которые не только переносят кислород и углекислый газ, а также способны транспортировать аминокислоты, принимать участие в поддержании кислотно-щелочного равновесия организма рыб, обеспечивать адсорбцию токсинов и антител [4].

В условиях стресса в организме рыб происходит повышение активности ферментов, обеспечивающих окисление липидов в митохондриях для синтеза АТФ [4]. Следствием этого является образование свободных радикалов, обеспечивающих повреждение биомолекул, в

том числе и в биологических мембранах, приводящих к нарушению их функций. Способность мембран обеспечивать барьер, принимать участие в рецепции и ускорении биохимических процессов в клетке резко снижается. В тканях и органах рыб возникает гипоксия за счёт нарушения микроциркуляции и транскапиллярного обмена [5, 6], что приводит к многочисленным морфофункциональным нарушениям в организме рыб, способствует нарушению гомеостаза и может вызвать гибель организма.

В организме рыб функционирует антиоксидантная система, состоящая из ферментативного и неферментативного звеньев, которые обеспечивают связывание радикалов, предупреждают образование или разрушают перекиси. Одними из важнейших элементов антиоксидантной защиты организма рыб являются супероксиддисмутаза (СОД) и каталаза.

СОД - это группа металлоферментов, обеспечивающих ускорение реакции дисмутации супероксидных анион-радикалов, поддерживая низкую концентрацию в клетке, за счет последовательного восстановления и окисления, в активном центре фермента, ионов металлов с переменной валентностью.

Каталаза - это геминовый фермент, содержащийся в пероксисомах, имеющий в своем составе обратимо изменяющийся ион железа и четыре субъединицы с молекулярной массой 60 000, фермент обеспечивает разложение перекиси водорода на молекулярный кислород и воду [7].

Главная роль каталазы в клетках у рыб – это разрушение перекиси водорода, которая образуется в клетках вследствие действия оксидаз, а также обеспечивает защиту от перекиси водорода, способной разрушить клеточные структуры.

В условиях интенсификации аквакультуры возникает необходимость применения препаратов, обеспечивающих компенсацию процессов свободнорадикального окисления, а именно пробиотиков [8]. Одним из эффективных пробиотиков является споротермин, способный обеспечить нормализацию кишечного микробиоценоза для интенсификации роста и повышения жизнеспособности.

Целью нашего исследования являлось изучение влияния пробиотика споротермина на процессы свободнорадикального окисления в организме африканского клариевого сома путём определения активности супероксиддисмутазы и каталазы в эритроцитах и крови клариевых сомов.

Объекты и методы исследований

Материалом для исследования послужили африканские клариевые сомы, выращенные в лаборатории Экспериментальной биологии и аквакультуры УлГАУ. Исследовали особей, получивших в качестве пищевой добавки пробиотик споротермин и особей, в кормлении которых не использовался пробиотик. Африканские клариевые сомы содержались в ёмкостях объемом 3,5м³, оснащенных фильтрами из кварцевого песка с 25% ежесуточной подменой воды. Температура воды в бассейнах поддерживалась на уровне 26 °С, содержание кислорода в воде составляло 4 мг/л.

Анализ ферментативной активности (ед./мг белка) осуществляли на двухлучевом спектрофотометре UV-1800 (Shimadzu, Япония), длина волны $\lambda=480$ нм и $\lambda=347$ нм, при комнатной температуре, учитывая тот факт, что исследовали пойкилотермных организмов в физиологически адекватных условиях. Активность каталазы определяли по реакции разложения перекиси водорода [9-11]. Активность супероксиддисмутазы (СОД) определялась спектрофотометрическим методом в системе нитро-синий тетразолиевый-феназинметасульфат-никотинамиддинуклеотид (НСТ-ФМС-НАДН). Активность выражали в нмоль субстрата/мин на мг белка.

Статистическую обработку полученных данных производили с помощью пакета прикладных программ «STATISTICA-6». Статистически значимыми считались различия при $p=0,05$. Были определены основные статистические характеристики изучаемых параметров (\bar{X} , Me, D). Распределение носило непараметрический характер по большинству изученных параметров, были использованы непараметрические методы анализа различий между независимыми выборками (критерий однородности Вилкоксона –U).

Результаты исследований

Сложный механизм антиоксидантной защиты организма включает в качестве основных составляющих следующие ферментные системы: супероксиддисмутаза, каталазу, глутатионредуктазу, глутатионпероксидазу и глутатионтрансферазу [12-15].

Основная роль в механизме защиты от оксидативного стресса отводится каталазе, которая обладает выраженным антиоксидантным действием [16-19]. Как и супероксиддисмутаза, каталаза защищает организм от неизбежно образующихся высокотоксичных кислородных радикалов [20-22].

Исследовалась активность СОД и каталазы в плазме крови и эритроцитах у рыб, выращиваемых на фоне споротермина и без него. При определении активности антиоксидантных ферментов: каталазы и супероксиддисмутазы (СОД) в сыворотке крови и в эритроцитах клариевых сомов были получены результаты, которые отражены на рис. 1 и 2.

В ходе исследований было установлено, что активность каталазы в сыворотке крови у африканских клариевых сомов в условиях традиционного кормления составляла $0,9 \pm 0,03$ нмоль субстрата/мин на мг белка, а в эритроцитах $1,37 \pm 0,8$ нмоль субстрата/мин на мг белка (рис.1)

В группе клариевых сомов, выращенных с использованием пробиотика спортермин, были зарегистрированы достоверные изменения активности каталазы в эритроцитах и в сыворотке крови рыб (рис.1).

Увеличение активности каталазы в сыворотке крови африканских клариевых сомов, получавших пробиотик спортермин, было существенным и достигло уровня $2,5$ нмоль субстрата/мин на мг белка, т.е. возросло в $2,7$ раза (по сравнению с $0,9$ нмоль субстрата/мин на мг белка при традиционном кормлении). Увеличение активности каталазы в эритроцитах рыб, получавших спортермин, было еще более выраженным, оно возросло в $3,7$ раза и составило $5,1 \pm 1,6$ нмоль субстрата/мин на мг белка.

Активность супероксиддисмутазы в сыворотке крови клариевых сомов, выращиваемых на традиционных кормах, составила $178,7$ нмоль субстрата/мин на мг белка, а в эритроцитах $245,2 \pm 11,8$ нмоль субстрата/мин на мг белка (рис.2).

У сомов, выращиваемых с использованием споротермина, активность СОД в сыворотке крови возросла до $205,4$ нмоль субстрата/мин на мг белка (в $1,15$ раза). Активность СОД в эритроцитах на фоне споротермина возросла в $1,2$ раза и составила $315,3 \pm 26,9$ нмоль субстрата/мин на мг белка (рис.2).

По результатам наших исследований

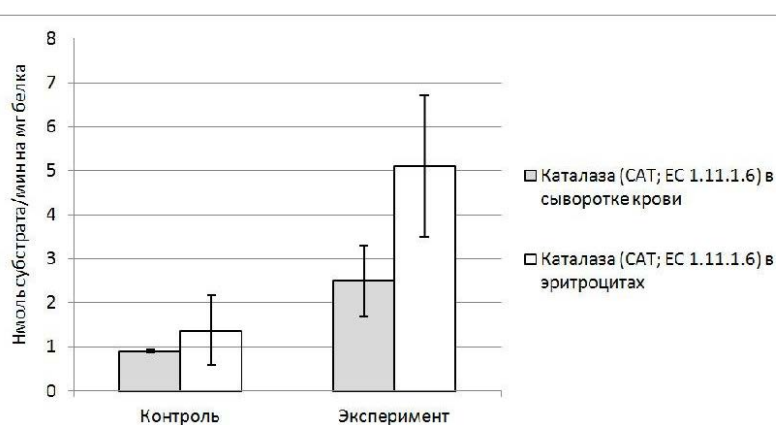


Рис. 1 - Активность каталазы в сыворотке крови и в эритроцитах на фоне споротермина и без него

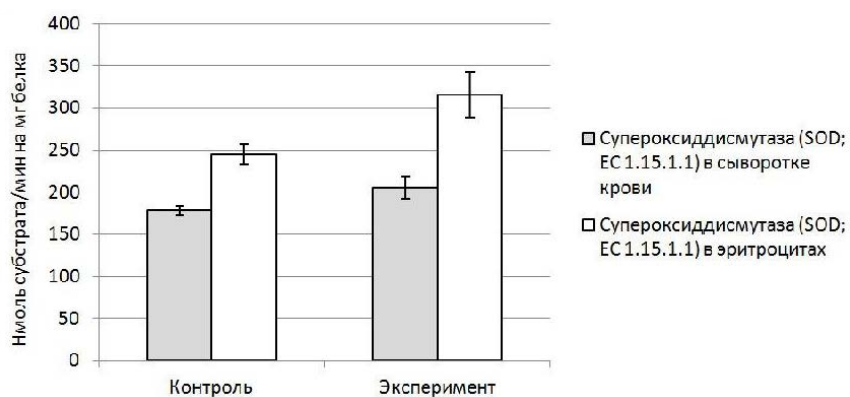


Рис. 2 - Активность супероксиддисмутазы в сыворотке крови и эритроцитах на фоне споротермина и без него

введение в корма для рыб споротермина в большей мере привело к увеличению активности каталазы, чем активности супероксиддисмутазы.

Уровень каталазы в эритроцитах африканских клариевых сомов, получавших пробиотик спортермин, составил $5,1$ нмоль субстрата/мин на мг белка, что достоверно выше уровня $1,37$ нмоль субстрата/мин на мг белка у особей, выращенных без использования пробиотика. Данная закономерность характерна и для активности супероксиддисмутазы в эритроцитах $315,3$ по сравнению с $245,2$, что может свидетельствовать об активации ферментного звена антиоксидантной системы защиты в организме африканского сома, выращиваемого с использованием споротермина.

Обсуждение

Показатели системы периферической крови - это информативные и высокочувствительные маркеры состояния организма, они оперативно информируют о реакциях крови на внешние и внутренние воздействия [23-25].

Исследования по изучению состояния системы антиоксидантной защиты в организме африканского клариевого сома ранее не про-

водились. Полученные результаты являются новыми и играют важную роль в оценке состояния здоровья рыб.

В литературе по изучаемой проблеме встречаются единичные источники, свидетельствующие о позитивном влиянии биологически активных веществ, в том числе пробиотиков, на процессы перекисного окисления липидов и специфику антирадикальной защиты в органах и тканях рыб.

Известно, что основополагающим при выращивании рыб в искусственных условиях является сбалансированное полноценное кормление. Важную роль в откормочном процессе играют биологически активные вещества, которые призваны не только интенсифицировать откормочный процесс, но и повышать естественную резистентность, адаптивный резерв, выживаемость и плодовитость рыб.

В ходе работы изучалось влияние пробиотика споротермина на состояние системы антиоксидантной защиты рыб. Было показано, что микроорганизмы, входящие в состав этого препарата, способствуют повышению активности ферментного звена в антиоксидантной системе, тем самым способствуя активации антиоксидантной защиты у рыб. На практике это обеспечивает защиту органов и тканей африканского клариевого сома, выращиваемого в условиях индустриальной аквакультуры от оксидативных повреждений. Споротермин, вводимый в качестве биологически активной добавки в корма, очевидно, способствует снижению уровня токсичных продуктов, образующихся при перекисном окислении липидов.

Заключение

Обобщая вышеизложенное, можно заключить, что использование споротермина способствует активации антиоксидантной защиты, адаптации и повышению резистентности организма африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*), при этом стимулирует рост, развитие и продуктивность рыб. Можно заключить, что применение пробиотиков обеспечит дальнейшее развитие и повышение эффективности индустриальной аквакультуры.

Библиографический список

1. Seasonal studies of caviar production and the growth rate of the african catfish (*Clarias Gariepinus*, Burchell, 1822) / E. M. Romanova, V. N. Lyubomirova, V. V. Romanov, M. E. Mukhitova, T. M. Shlenkina // Egyptian journal of aquatic research. - 2018. - Vol. 44, № 4. - P. 315-319.
2. Pathology of cells and tissues of the gastrointestinal tract of african catfish in high-tech industrial aquaculture / E. Spirina, E. Romanova, V. Romanov, V. Lyubomirova, L. Shadyeva, T. Shlenkina, L. Rakova // IOP conference series : Earth and environmental science. - 2019. - Vol. 403. – P. 012220.
3. Влияние различных кормов на состояние про- и антиоксидантной системы крови рыб / Ш. К. Бахтиярова, Б. А. Джусипбекова, Б. И. Жаксымов, Е. К. Макашев // Вестник Казахского национально-го медицинского университета. - 2015. - № 2. - С. 496-499.
4. Драган, Л. П. Оценка состояния антиоксидантной системы в сыворотке крови сеголеток радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*), инфицированных вирусом IPN / Л. П. Драган // Вестник Камчатского государственного технического университета. - 2015. - № 31. - С. 56-60.
5. Effect of hypoxia on growth performance, energy metabolism and oxidative stress of mugil cephalus / X. Xiong, G. Huang, Y. Peng, X. Liu // Journal of fisheries of China. - 2016. - Vol. 40, № 1. - P. 73-82.
6. Antioxidant effect of propolis against exposure to chromium in cyprinus carpio / M. E. Yonar, S. M. Yonar, M. Z. Çoban, M. Eroğlu // Environmental toxicology. - 2014. - Vol. 29, №2. - P. 155-164.
7. Rudneva, I. I. Blood antioxidant system of black sea elasmobranch and teleosts / I. I. Rudneva // Comparative biochemistry and physiology. part C : pharmacology, toxicology and endocrinology. - 1997. - Vol. 118, № 2. - P. 255-260.
8. Гистологическая характеристика кишечника африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*) на фоне использования пробиотика “споротермин” / Е. М. Романова, Е. В. Спирина, В. Н. Любомирова, В. В. Романов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2019. - № 4 (48). - С. 76-82.
9. Сирота, Т. В. Использование нитросинего тетразолия в реакции автоокисления адреналина для определения активности супероксиддисмутазы / Т. В. Сирота // Биомедицинская химия. - 2013. - Т. 59, № 4. - С. 399-410.
10. Determination of metal content in superoxide dismutase enzymes by capillary electrophoresis / J. Kazarjan, M. Vaher, M. Kulp, M. Kaljurand, T. Hunter, G. J. Hunter, R. Bonetta, D. Farrugia // Journal of separation science. - 2015. - Vol. 38, № 6. - P. 1042-1045.
11. Kaminsky, Y. Can erythrocyte catalase regulate blood pressure? / Y. Kaminsky, E. Kosenko, G. Aliev // Cardiovascular and hematological agents in medicinal chemistry. - 2016. - Vol. 14, № 1. - P. 49-52.
12. Yonar, M. E. Chlorpyrifos-induced

biochemical changes in cyprinus carpio: ameliorative effect of curcumin / M. E. Yonar // *Ecotoxicology and environmental safety*. - 2018. - Vol. 151. - P. 49-54.

13. Yonar, M. E. The effect of lycopene on oxytetracycline-induced oxidative stress and immunosuppression in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, w.) / M. E. Yonar // *Fish & shellfish immunology*. - 2012. - Vol. 32, № 6. - P. 994-1001.

14. Rudenko, O. P. Сезонні та породні особливості пероксидних процесів і активність ензимів системи антиоксидантного захисту у коропових риб / О. Р. Руденко, О. І. Vishchur // *Біологія тварин*. - 2016. - Т. 18, № 4. - С. 72-77.

15. Влияние кадмия и хрома(VI) на состояние антиоксидантной системы в клетках крови карпа (*Cyprinus carpio* L.) / Т. В. Багдай, В. В. Снитинский, Г. Л. Антоняк, Н. П. Олексюк // *Біологія тварин*. - 2015. - Т. 17, № 1. - С. 9-15.

16. Histological and antioxidant responses in *rhamdia quelen* sedated with propofol / L. T. Gressler, F. J. Sutili, E. M. H. Saccol, T. S. Pês, T. V. Parodi, M. A. Pavanato, B. Baldisserotto, L. Loebens, S. T. Da Costa // *Aquaculture research*. - 2016. - Vol. 47, № 7. - P. 2297-2306.

17. Oxidative stress responses of juvenile catfish, *clarias gariepinus* exposed to potassium dichromate at sublethal concentrations in south-eastern Nigeria / F. N. Ekeh, E. N. Ekechukwu, C. I. Atama, F. I. Ezenwajiaku, C. M. Ohanu, J. I. Nzei, I. O. N. Aguzie, G. E. Odo, U. M. E. Dibuah // *African journal of aquatic science*. - 2018. - Vol. 43, № 4. - P. 393-403.

18. Using condition factor and blood variable biomarkers in fish to assess water quality / H. Sadauskas-Henrique, M. M. Sakuragui, M. G. Paulino, M. N. Fernandes // *Environmental monitoring and assessment*. - 2011. - Vol. 181, № 1-4. - P. 29-42.

19. Antioxidant effect of propolis against

exposure to chromium in cyprinus carpio / M. E. Yonar, S. M. Yonar, M. Z. Çoban, M. Eroğlu // *Environmental toxicology*. - 2014. - Vol. 29, № 2. - P. 155-164.

20. Trichlorfon-induced haematological and biochemical changes in cyprinus carpio: ameliorative effect of propolis / M. E. Yonar, S. M. Yonar, N. Saflam, A. Pala, S. Silici // *Diseases of aquatic organisms*. - 2015. - Vol. 114, № 3. - P. 209-216.

21. Azimzadeh, K. Total sialic acid, oxidative stress and histopathological changes in rainbow trout saprolegniasis (*Oncorhynchus mykiss*) / K. Azimzadeh, A. Amniattalab // *Kafkas universitesi veteriner fakultesi dergisi*. - 2017. - Vol. 23, № 1. - P. 55.

22. Skuratovskaya, E. N. Response of the antioxidant system of black sea whiting *merlangus merlangus euxinus* (Nordmann, 1840) to parasitic nematode *hysterothylacium aduncum* (Rudolphi, 1802) infection / E. N. Skuratovskaya, A. V. Zav'yalov, I. I. Rudneva // *Bulletin of the european association of fish pathologists*. - 2015. - Vol. 35, № 5. - P. 170-176.

23. Rudneva, I. I. Blood antioxidant system of black sea elasmobranch and teleosts. / I. I. Rudneva // *Comparative Biochemistry and Physiology. part c : pharmacology, toxicology and endocrinology*. - 1997. - Vol. 118, № 2. - P. 255-260.

24. Xiong, X. Effect of hypoxia on growth performance, energy metabolism and oxidative stress of *Mugil cephalus* / X. Xiong, Y. Huang Peng, X. Liu // *Journal of Fisheries of China*. - 2016. - Vol. 40, № 1. - P. 73-82.

25. Taheri Mirghaed, A. Effects of dietary 1,8-cineole supplementation on physiological, immunological and antioxidant responses to crowding stress in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) / A. Taheri Mirghaed, M. Ghelichpour, S. M. Hoseini // *Fish & Shellfish Immunology*. - 2018. - Vol. 81. - P. 182-188.

STIMULATION EFFECT OF ANTIOXIDANT SYSTEM OF FISH AGAINST USE OF PROBIOTICS OF SPORE TERM

Spirina E.V., Romanova E.M., Romanov V.V., Shaldyeva L.A.

FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University

432017, Ulyanovsk, Novyy Venets Boulevard, 1; tel. 8(8422)55-23-75;

e-mail: elspirin@yandex.ru

Key words: aquaculture, African catfish, antioxidant defense, red blood cells, Superoxide dismutase, catalase.

Antioxidant system works in fish organism consisting of enzymatic and non-enzymatic links, which provide with radical assay, alert about peroxide formation or destruction. The purpose of our work was the study of spore term probiotics influence on the process of free-radical oxidation in the organisms of African sharp-tooth catfish. One of the most important elements of antioxidant defence of fish organism are superoxide dismutase (SOD) and catalase. SOD – is a group of metalloenzymes, providing acceleration of reaction of dismutation of superoxide anion- radicals, by means of consistent reduction and oxidation in zymophore of metal ions with mixed valence. Catalase is a haemin ferment contained in peroxisomes which provide hydrogen peroxide decomposition into molecular oxygen and water. The main role of catalase in fish cells is peroxide destruction, which forms in cells due to oxidase actions, and also protection from peroxide, able to destroy cell structure. In our research we used spore term, that is rated as last-gen probiotic. Research results showed that sharp-tooth catfish grown with the use of probiotics spore term, have increase of SOD and catalase activity an red blood cells and in blood serum. During research of antioxiode system of catfish it was established that the use of spore term probiotic leads to increase of activity of antioxidant system ferments, thus stimulating antioxidant defence of fish organism.

Bibliography

*1. Seasonal studies of caviar production and the growth rate of the african catfish (*Clarias Gariepinus*, Burchell, 1822) / E. M. Romanova, V. N. Lyubomirova, V. V. Romanov, M. E. Mukhitova, T. M. Shlenkina // *Egyptian journal of aquatic research*. - 2018. - Vol. 44, № 4. - P. 315-319.*

*2. Pathology of cells and tissues of the gastrointestinal tract of african catfish in high-tech industrial aquaculture / E. Spirina, E. Romanova, V. Romanov, V. Lyubomirova, L. Shadyeva, T. Shlenkina, L. Rakova // *IOP conference series : Earth and environmental science*. - 2019. - Vol. 403. – P. 012220.*

3. Influence of different feeds on state of pro- and antioxidant system of fish blood / Sh. K. Bakhtiyarova, B. A. Jusipbekova, B. I. Jaksymov, E. K. Makashev // *Vestnik of Kazakh National Medical University*. - 2015. - № 2. - P. 496-499.
4. Dragan, L. P. Assessment of antioxidant system in blood serum of fingerling of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), infected by virus IPN / L. P. Dragan // *Vestnik of Kamchatka State Technical University*. - 2015. - № 31. - P. 56-60.
5. Effect of hypoxia on growth performance, energy metabolism and oxidative stress of mugil cephalus / X. Xiong, G. Huang, Y. Peng, X. Liu // *Journal of fisheries of China*. - 2016. - Vol. 40, № 1. - P. 73-82.
6. Antioxidant effect of propolis against exposure to chromium in cyprinus carpio / M. E. Yonar, S. M. Yonar, M. Z. Çoban, M. Eroğlu // *Environmental toxicology*. - 2014. - Vol. 29, №2. - P. 155-164.
7. Rudneva, I. I. Blood antioxidant system of black sea elasmobranch and teleosts / I. I. Rudneva // *Comparative biochemistry and physiology. part C : pharmacology, toxicology and endocrinology*. - 1997. - Vol. 118, № 2. - P. 255-260.
8. Histological characteristic of African catfish intestine (*Clarias gariepinus*) against the use of "spore term" prebiotic / E. M. Romanova, E. V. Spirina, V. N. Lyubomirova, V. V. Romanov // *Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. - 2019. - № 4 (48). - P. 76-82.
9. Sirota, T. V. The use of nitro blue tetrazolium in reaction of adrenaline auto-oxidation for determination of superoxide dismutase activity / T. V. Sirota // *Biomedical chemistry*. - 2013. - V. 59, № 4. - P. 399-410.
10. Determination of metal content in superoxide dismutase enzymes by capillary electrophoresis / J. Kazarjan, M. Vaheer, M. Kulp, M. Kaljurand, T. Hunter, G. J. Hunter, R. Bonetta, D. Farrugia // *Journal of separation science*. - 2015. - Vol. 38, № 6. - P. 1042-1045.
11. Kaminsky, Y. Can erythrocyte catalase regulate blood pressure? / Y. Kaminsky, E. Kosenko, G. Aliev // *Cardiovascular and hematological agents in medicinal chemistry*. - 2016. - Vol. 14, № 1. - P. 49-52.
12. Yonar, M. E. Chlorpyrifos-induced biochemical changes in cyprinus carpio: ameliorative effect of curcumin / M. E. Yonar // *Ecotoxicology and environmental safety*. - 2018. - Vol. 151. - P. 49-54.
13. Yonar, M. E. The effect of lycopene on oxytetracycline-induced oxidative stress and immunosuppression in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, w.) / M. E. Yonar // *Fish & shellfish immunology*. - 2012. - Vol. 32, № 6. - P. 994-1001.
14. Rudenko, O. P. Seasonal and pedigree features of peroxide process and ferment activity of antioxidant defence system of cyprinid / O. P. Rudenko, O. I. Vishchur // *Animal biology*. - 2016. - V. 18, № 4. - P. 72-77.
15. Influence of cadmium and chrome (VI) on the state of antioxidant system in blood cells of carp (*Cyprinus carpio* L.) / T. V. Bagday, V. V. Snitinskiy, G. L. Antonyak, N. P. Oleksyuk // *Animal biology*. - 2015. - V. 17, № 1. - P. 9-15.
16. Histological and antioxidant responses in rhamdia quelen sedated with propofol / L. T. Gressler, F. J. Sutili, E. M. H. Saccol, T. S. Pês, T. V. Parodi, M. A. Pavanato, B. Baldisserotto, L. Loebens, S. T. Da Costa // *Aquaculture research*. - 2016. - Vol. 47, № 7. - P. 2297-2306.
17. Oxidative stress responses of juvenile catfish, *clarias gariepinus* exposed to potassium dichromate at sublethal concentrations in south-eastern Nigeria / F. N. Ekeh, E. N. Ekechukwu, C. I. Atama, F. I. Ezenwajiaku, C. M. Ohanu, J. I. Nzei, I. O. N. Aguzie, G. E. Odo, U. M. E. Dibuah // *African journal of aquatic science*. - 2018. - Vol. 43, № 4. - P. 393-403.
18. Using condition factor and blood variable biomarkers in fish to assess water quality / H. Sadauskas-Henrique, M. M. Sakuragui, M. G. Paulino, M. N. Fernandes // *Environmental monitoring and assessment*. - 2011. - Vol. 181, № 1-4. - P. 29-42.
19. Antioxidant effect of propolis against exposure to chromium in cyprinus carpio / M. E. Yonar, S. M. Yonar, M. Z. Çoban, M. Eroğlu // *Environmental toxicology*. - 2014. - Vol. 29, № 2. - P. 155-164.
20. Trichlorfon-induced haematological and biochemical changes in cyprinus carpio: ameliorative effect of propolis / M. E. Yonar, S. M. Yonar, N. Sağlam, A. Pala, S. Silici // *Diseases of aquatic organisms*. - 2015. - Vol. 114, № 3. - P. 209-216.
21. Azimzadeh, K. Total sialic acid, oxidative stress and histopathological changes in rainbow trout saprolegniasis (*Oncorhynchus mykiss*) / K. Azimzadeh, A. Amniattalab // *Kafkas universitesi veteriner fakultesi dergisi*. - 2017. - Vol. 23, № 1. - P. 55.
22. Skuratovskaya, E. N. Response of the antioxidant system of black sea whiting merlangus merlangus euxinus (Nordmann, 1840) to parasitic nematode *hysterothylacium aduncum* (Rudolphi, 1802) infection / E. N. Skuratovskaya, A. V. Zav'yalov, I. I. Rudneva // *Bulletin of the european association of fish pathologists*. - 2015. - Vol. 35, № 5. - P. 170-176.
23. Rudneva, I. I. Blood antioxidant system of black sea elasmobranch and teleosts. / I. I. Rudneva // *Comparative Biochemistry and Physiology. part c : pharmacology, toxicology and endocrinology*. - 1997. - Vol. 118, № 2. - P. 255-260.
24. Xiong, X. Effect of hypoxia on growth performance, energy metabolism and oxidative stress of Mugil cephalus / X. Xiong, Y. Huang Peng, X. Liu // *Journal of Fisheries of China*. - 2016. - Vol. 40, № 1. - P. 73-82.
25. Taheri Mirghaed, A. Effects of dietary 1,8-cineole supplementation on physiological, immunological and antioxidant responses to crowding stress in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) / A. Taheri Mirghaed, M. Ghelichpour, S. M. Hoseini // *Fish & Shellfish Immunology*. - 2018. - Vol. 81. - P. 182-188.