
ЗООТЕХНИЯ, БИОЛОГИЯ И ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

**Диагностика патологических состояний
при хронической интоксикации нильской тилапии
как механизм коррекции биотехнологического процесса
в аквакультурных экосистемах**

**Вера Ивановна Егорова, Виктор Николаевич Крючков,
Ирина Владимировна Волкова**✉

Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

✉ **Автор, ответственный за переписку:** gridasova@mail.ru

Аннотация

Интенсивные технологии способствуют увеличению продуктивности при разведении водных животных, однако они также порождают ряд проблем, связанных с повышенной нагрузкой на организм рыб. Это обусловлено стрессом, вызванным специфическими аспектами интенсивного подхода. Нильская тилапия (*Oreochromis niloticus*), как широко распространенный вид, показала себя прекрасным объектом для коммерческого культивирования, так как имеет высокий темп роста, высокий спрос и рыночную стоимость, а также значительную устойчивость к биотическим и абиотическим стрессорам. В некоторых исследованиях при рассмотрении влияния накопления аммиака и теплового стресса на продуктивность нильской тилапии не уделялось внимание долгосрочным последствиям влияния стрессовых факторов на иммунную систему – в частности, на организм нильской тилапии. Для моделирования воздействия аммиачного азота на рыб был использован хлорид аммония (NH_4Cl). Исследования проведены на экспериментальной базе малого инновационного предприятия ООО «Эко-тропик». В процессе изучения были обнаружены трансформации, обусловленные влиянием аммонийного азота: изучены изменения работы печени, и как следствие – показатели устойчивости рыб. В частности, отмечались типичные геморрагии, которые морфологически сочетались с застойными явлениями в сосудах, дегенеративные изменения в гепатоцитах, некротическая дегенерация и телеангиэктазия эпителия и др. Чтобы определить степень повреждения тканей, в дальнейшем необходимо использование дополнительных количественных методов, в качестве которых могут выступать биохимические анализы. В результате интоксикации аммиачным азотом наблюдалось более чем в 4 раза повышение уровня билирубина в крови. Выявленные трансформации могут негативно сказаться на функциональных способностях печени рыб и снизить эффективность коммерческого выращивания.

Ключевые слова

Нильская тилапия, аквакультура, аммонийный азот, гистологические исследования, патологические процессы, культивирование в УЗВ, стрессовые факторы, дегенеративные изменения печени

Для цитирования

Егорова В.И., Крючков В.Н., Волкова И.В. Диагностика патологических состояний при хронической интоксикации нильской тилапии как механизм коррекции биотехнологического процесса в аквакультурных экосистемах // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 4. С. 112–121.

Diagnosis of pathologies in chronic intoxication of Nile tilapia as a mechanism for optimizing aquaculture biotechnological process

Vera I. Egorova, Viktor N. Kryuchkov, Irina V. Volkova✉

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

✉ **Corresponding author:** gridasova@mail.ru

Abstract

Intensive technologies contribute to increased productivity in aquatic animal farming, but they also create a number of problems associated with increased stress on the fish body. This is due to the stress caused by specific aspects of the intensive approach. Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) is a widespread species that is well-suited for commercial cultivation due to its high growth rate, high market value, and significant resistance to biotic and abiotic stressors. While some studies have examined the effects of ammonium accumulation and heat stress on Nile tilapia productivity, the long-term impacts of these stressors on the immune system, particularly on the body of Nile tilapia, remain poorly understood. Ammonium chloride (NH_4Cl) was used to simulate the effects of ammonium nitrogen on fish. The research was conducted on the experimental base of the small innovative enterprise OOO Eco-Tropic. The study revealed that ammonium nitrogen exposure leads to changes in liver function, affecting fish resistance indicators. In particular, typical hemorrhages were noted, which were morphologically combined with vascular congestion, degenerative changes in hepatocytes, necrotic degeneration and telangiectasia of the epithelium. In order to determine the degree of tissue damage, it is necessary to use additional quantitative methods in the future, such as biochemical analyses. Ammonium nitrogen intoxication resulted in a greater than four-fold increase in blood bilirubin levels. The revealed transformations can significantly impair liver function, thereby reducing the efficiency of commercial cultivation.

Keywords

Nile tilapia, aquaculture, ammonium nitrogen, histological studies, pathological processes, cultivation in RAS, stress factors, liver degenerative changes

For citation

Egorova V.I., Kryuchkov V.N., Volkova I.V. Diagnosis of pathologies in chronic intoxication of Nile tilapia as a mechanism for optimizing aquaculture biotechnological process. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 4. P. 112–121.

Введение

Introduction

Роль аквакультуры – обеспечение населения высококачественным животным белком и высококорентабельной деятельностью – становится все более значимой. Однако возрастающий спрос на пищевую продукцию из водных животных, с учетом ограниченности природных ресурсов (воды, земли и инфраструктуры), предопределяет необходимость технологической интенсификации аквакультуры [6]. Интенсивные технологии обеспечивают повышение продуктивности при культивировании водных животных, но они также создают проблемы вследствие повышения нагрузки на организм рыб по причине стресса, вызванного особенностями интенсивных технологий, в частности, вследствие накопления отходов [14]. Отходы в виде остатков корма

и фекалий водных животных приводят к повышению уровня аммиака в аквакультурных экосистемах [9].

Что касается культивирования рыб в УЗВ, то основным источником поступления в воду аммиачного азота являются сами рыбы, так как у большинства видов рыб аммиак – это конечный продукт катаболизма белков [15], который непосредственно выделяется в воду через жабры.

Ведение аквакультуры в южных регионах России дает определенные преимущества за счет возможности использования высокой естественной продуктивности водных экосистем и/или снижения энергозатрат при культивировании в промышленном режиме в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ). Однако высокая температура воды несет дополнительные риски при накоплении аммиака в воде, что повышает его токсичность [12].

Нильская тилапия (*Oreochromis niloticus*) – широко распространенный вид, который культивируется в разных условиях, в том числе в системах интенсивной аквакультуры. Многие страны уделяют серьезное внимание выращиванию разных видов тилапий, учитывая высокий спрос и рыночную стоимость, а также значительную устойчивость к биотическим и абиотическим стрессорам [17].

Кроме товарной ценности, тилапия является прекрасным модельным объектом и широко используется в исследованиях по эмбриологии, физиологии, биохимии и генетике рыб. Она также представляет большой интерес как объект экологического мониторинга тропических экосистем [3].

Работы по изучению возможности культивирования тилапии в нашей стране были начаты на кафедре прудового рыбоводства Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева в 1969 г. Результаты исследований подтвердили высокую продуктивность тилапий рода *Oreochromis* и показали перспективность их эффективной аквакультуры в промышленных хозяйствах, в садках, бассейнах и прудовых хозяйствах.

Влияние аммиака и теплового стресса на продуктивность нильской тилапии ранее уже изучалось, однако основное внимание было уделено кратковременному воздействию высоких концентраций на рыб, в частности, на иммунную систему, а также на гистологические особенности жабр и печени нильской тилапии [10], при этом не рассматривались вопросы хронического влияния данного стрессора. Вместе с тем проблемы хронической интоксикации, в том числе аммонийным азотом, имеют как теоретическое, так и практическое значение, а диагностика патологических состояний, вызванных содержанием рыб в неоптимальных условиях, позволяет своевременно вносить коррективы в ход биотехнологического процесса.

Цель исследований: изучение состояния печени нильской тилапии при хроническом воздействии аммонийного азота.

Методика исследований

Research methods

Исследования были проведены в Астраханском государственном техническом университете. Опытнo-промышленное культивирование тилапии и проведение экспериментов осуществлялись на производственно-экспериментальной базе малого инновационного предприятия ООО «Эко-тропик» в 2020–2023 гг. Одними из направлений деятельности предприятия, соучредителем которого был Астраханский государственный технический университет, были разработка и совершенствование биотехнологий культивирования тропических видов гидробионтов в условиях умеренного климата юга России.

Представленные исследования проведены с использованием нильской тилляпии *Oreochromis niloticus*, которая содержалась в садках, размещенных в прудах, и в УЗВ.

Для экспериментов использовались аквариумы объемом 300 л. Температура воды в аквариумах поддерживалась в пределах +24...+26°C; pH – 7,2...7,5; содержание растворенного кислорода – не менее 7,0 мг/л.

Для моделирования воздействия аммиачного азота на рыб использовался хлорид аммония (NH₄Cl), раствор которого вносился в аквариумы с подопытной рыбой в количестве, необходимом для создания в экспериментальных резервуарах концентраций в диапазоне от 1,0 до 5,0 мгN/л, экспозиция – 10 суток. Общий уровень аммиака в течение эксперимента контролировали калориметрически с помощью фотометра для аквакультуры HI-83303–02.

Билирубин в сыворотке крови определялся методом [11] на биохимическом анализаторе «Диталаб-Эклип».

Отбор и подготовка проб печени рыб производились методами, общепринятыми при гистологическом исследовании: фиксация – в растворе Буэна; обезвоживание – в спирте возрастающей концентрации; заливка – в парафиновые блоки; окраска гематоксилин-эозином [4]; анализ и снимки микропрепаратов – на микроскопе «Микромед 3».

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Контрольной группой послужили рыбы, содержащиеся в УЗВ в оптимальных контролируемых условиях. В качестве контроля использовались также препараты печени рыб, которые выращивались летом в садках, при этом гидролого-гидрохимические условия обитания были близкими к оптимальным.

Анализ гистологических препаратов показал, что балочно-радиарная структура печени тилляпий была нечеткой, типичной для костистых рыб. Реология крови была изменена умеренно, локально. Преобладали обширные фрагменты печени с неизменной реологией крови. На других фрагментах выявлялся умеренный стаз в капиллярах. Крупные сосуды имели просветы, умеренно заполненные форменными элементами крови. Наблюдаемые точечные геморрагии морфологически сочетались с застойными явлениями в сосудах.

Гепатоциты имели типичную полигональную форму, которая менялась в зависимости от занимаемого клеткой местоположения в паренхиме органа. Полиморфизм гепатоцитов по размерам в основном не выявлялся, средний диаметр клеток составлял величину 14,15±0,22 мкм (CV = 5,6%). Вместе с тем наблюдались отдельные увеличенные гепатоциты с признаками повышенной активности, к которым можно отнести наряду с увеличением размера клеток более крупное по сравнению с преобладающими размерами ядро, большее количество ядрышек, зернистость цитоплазмы, которая обусловлена, в частности, крупными и многочисленными митохондриями.

Ядра гепатоцитов были преимущественно шаровидными, однако были и неправильной формы; располагались как в центре клеток, так и смещены были к плазмолемме. Смещение ядер из центральной области гепатоцитов обычно связывается с дистрофиями – например, с жировой, когда липиды вытесняют ядра из центра клетки к периферии [1]. У исследованных нами рыб смещенные к периферии ядра наблюдались при типичном состоянии цитоплазмы, при этом признаки дистрофических изменений не выявлялись. Кариоплазма в норме была светлой. Был отчетливо виден гетерохроматин, ассоциированный с кариолеммой. Количество ядрышек – от 1 до 3;

при наличии в ядре единственного ядрышка последнее располагалось ближе к центру ядра, однако могли быть в непосредственной близости к кариолемме.

Цитоплазма гомогенно окрашена, с выраженной зернистостью без признаков дистрофии (белковой или липидной). Какие-либо посторонние конкреции выявлены не были. Типичное состояние печени тилапии представлено на рисунке 1.

Воздействие аммонийного азота в концентрации 1,0 мгN/л инициировало изменения в микроциркуляции. Был выявлен застой крови, что особенно явно проявилось в афферентных сосудах в островках поджелудочной железы (рис. 2а). При этом сами гепатоциты морфологически не претерпели видимых изменений по сравнению с печенью рыб из контрольной группы.

Воздействие аммония в концентрации 5,0 мгN/л вызвало дегенеративные изменения в гепатоцитах. Были отмечены пикноз ядер, а также дистрофические процессы в цитоплазме. По признакам это могли быть начальные стадии развития баллонной дистрофии. Кроме того, начали развиваться некротические процессы. Нарушения реологии крови были ярко выраженными, особенно в сосудах крупного калибра (рис. 2б).

Между группами тилапий (контрольной и подвергшейся токсическому стрессу) были выявлены заметные различия по состоянию печени; отмечались застойные явления в сосудах, некротическая дегенерация и телеангиэктазия эпителия.

Таким образом, в ходе исследований были выявлены изменения в печени тилапий, вызванные воздействием аммонийного азота. При этом закономерно возникает вопрос о том, насколько эти изменения могут повлиять на функцию печени. Ответ на этот вопрос требует применения дополнительных показателей, какими могут быть биохимические тесты, с успехом используемые, например, в клинической медицине.

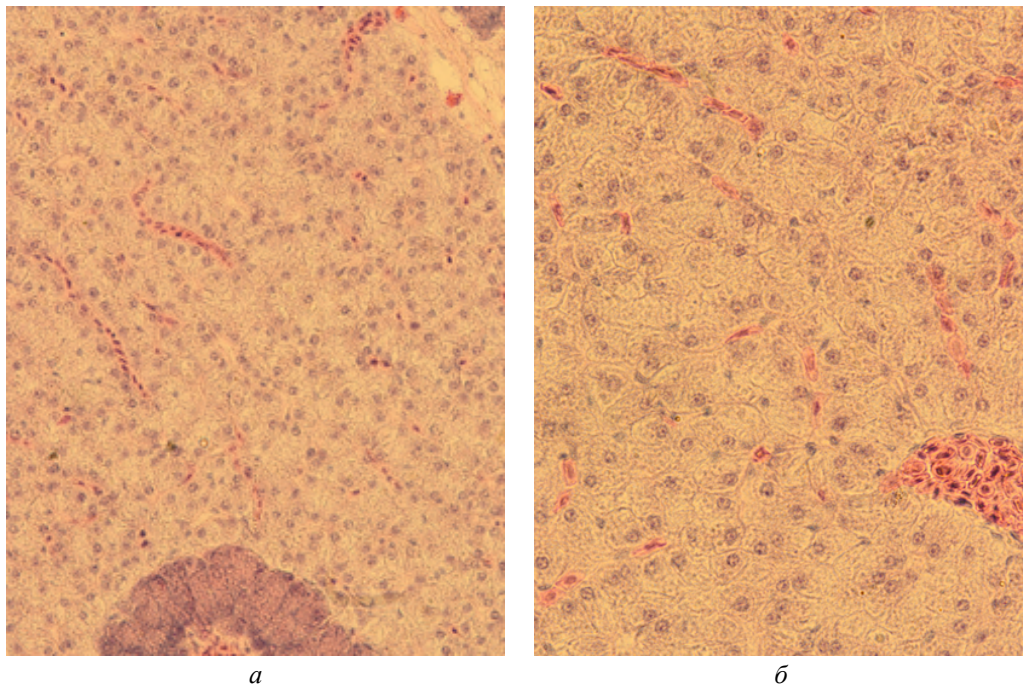


Рис. 1. Фрагменты печени тилапии (гематоксилин-эозин):
а – объектив $\times 20$; б – объектив $\times 40$

Figure 1. Fragments of tilapia liver (hematoxylin-eosin):
а – $\times 20$ lens; б – $\times 40$ lens

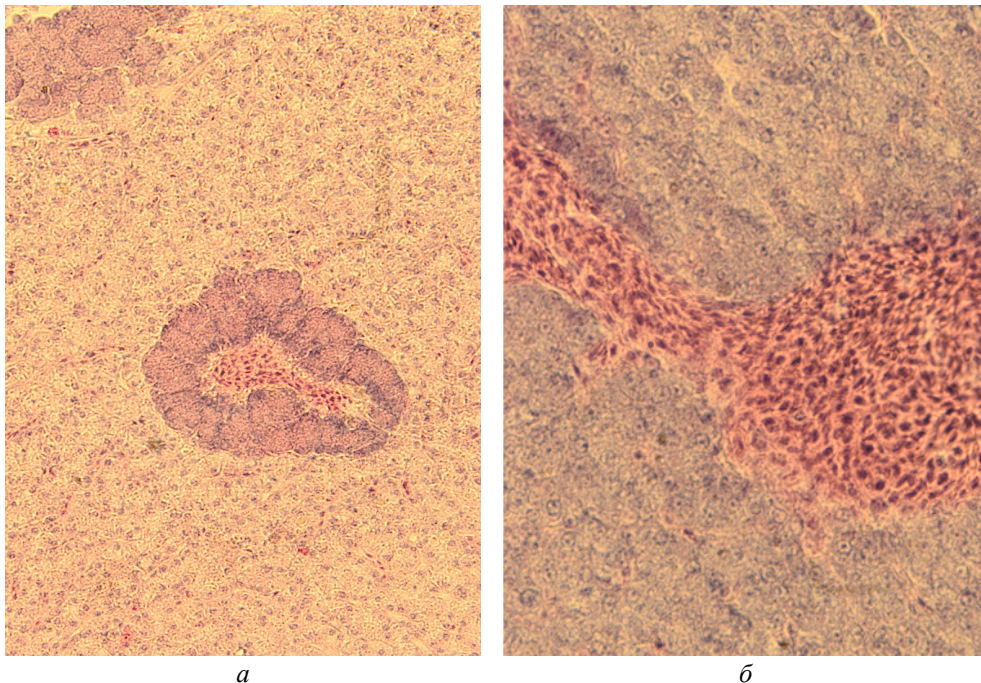


Рис. 2. Фрагменты печени тилапии (гематоксилин-эозин):
а – нарушения реологии крови в синусоидах
 и афферентных сосудах панкреатических островков (объектив $\times 20$);
б – обширные геморрагии (объектив $\times 40$)

Figure 2. Fragments of tilapia liver (hematoxylin-eosin):
a – disorders of blood rheology in sinusoids and afferent vessels of pancreatic islets ($\times 20$ lens);
b – extensive hemorrhages ($\times 40$ lens)

Для функциональной оценки повреждения может быть использован анализ на содержание в крови билирубина. Билирубин – это желчный пигмент, образующийся в печени при ферментативном разложении гемоглобина. В норме билирубина в крови относительно немного, так как он активно утилизируется печенью, однако нарушения функций последней могут привести к резкому повышению концентрации пигмента в крови.

У контрольных (здоровых) тилапий концентрация билирубина в сыворотке крови составляла величину 4,9 ммоль/л, отравление аммонийным азотом сопровождалось выраженной билирубинемией с повышением концентрации до 21,0 ммоль/л, что выше исходного уровня более чем в 4 раза.

В условиях интенсивной аквакультуры избыточное кормление с большей вероятностью повышает возможность аммиачного стресса у водных животных. Как известно, общий аммиачный азот состоит из неионизированного аммиака ($\text{NH}_3\text{-N}$) и ионизированного аммония ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), при этом неионизированный аммиак более токсичен, чем аммоний [16, 18]. Высокие уровни содержания аммиака в воде вызывают нарушение осморегуляции у рыб, нарушение дыхания, окислительный стресс, нарушение метаболических функций, нейротоксичность, иммуносупрессию, что в итоге приводит к повышенному отходу и снижению эффективности культивирования [7]. Другими словами, нарушения в управлении аквакультурой влекут за собой ухудшение качества воды, вызывая множество проблем [2]. Выделение рыбами аммиака тормозится при высоких концентрациях в воде ввиду уменьшения градиента диффузионного выведения,

что в итоге может привести к увеличению содержания аммиака в гемолимфе, а также к снижению способности крови водных животных переносить кислород [5]. Последующее кислородное голодание еще больше повысит концентрацию аммиака и приведет к его избыточному поступлению в организм, что впоследствии вызовет выработку активных форм кислорода (АФК) и окислительный стресс [8].

Токсичность аммиака и аммония также связывается с повышенной секрецией кортизола, глюконеогенезом, гликогенезом, мобилизацией энергетических резервов и катаболизмом белков [13]. Кроме того, высокое накопление аммиака подавляет функциональность клеток ввиду проникновения в их стенки [19], что было показано и на микропрепаратах печени тилапий.

Выводы

Conclusions

Таким образом, хроническое действие аммонийного азота инициирует патологические процессы, приводящие к выраженным морфологическим изменениям в печени нильской тилапии. Показано изменение функций печени, что может иметь серьезные последствия для здоровья рыб и повлиять на успешность товарного выращивания в случае дополнительных функциональных нагрузок на них.

Список источников

1. Абдурахманов Г.М., Крючков В.Н., Федорова Н.Н. *Морфология органов и тканей водных животных*: Учебное пособие. Москва: Наука, 2004. 143 с. EDN: QKMWQX
2. Мирзахалилов М.М. Гидрохимическое состояние прудов рыбоводных хозяйств и сезонные изменения их // *International Scientific Journal of Biruni*. 2022. Vol. 1, Iss. 2. С. 108–113. <https://doi.org/10.24412/2181-2993-2022-2-108-113>
3. Привезенцев Ю.А. *Тилапии (систематика, биология, хозяйственное использование)*: Монография. Москва: Изд-во РГАУ-МСХА, 2011. 121 с. EDN: QKTXFV
4. Ромейс Б. *Микроскопическая техника*: Пер. с нем. В.Я. Александрова, З.И. Крюкова / Под ред., предисл. И.И. Соколова. Москва: Иностранная литература, 1954. 720 с.
5. Baldisserotto B., Martos-Sitcha J.A., Menezes C.C. et al. The Effects of Ammonia and Water Hardness on the Hormonal, Osmoregulatory and Metabolic Responses of the Freshwater Silver Catfish *Rhamdia quelen*. *Aquat. Toxicol.* 2014;152:341-352. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2014.04.023>
6. Dawood M.A.O., Noreldin A.E., Sewilam H. Long Term Salinity Disrupts the Hepatic Function, Intestinal Health, and Gills Antioxidative Status in Nile Tilapia Stressed with Hypoxia. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021;220:112412. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112412>
7. Divya M., Gopi N., Iswarya A. et al. β -glucan extracted from eukaryotic single-celled microorganism *Saccharomyces cerevisiae*: dietary supplementation and enhanced ammonia stress tolerance on *Oreochromis mossambicus*. *Microb. Pathog.* 2020;139:103917-103917. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103917>
8. Cheng C.H., Yang F.F., Ling R.Z. et al. Effects of Ammonia Exposure on Apoptosis, Oxidative Stress and Immune Response in Pufferfish (*Takifugu obscurus*). *Aquat. Toxicol.* 2015;164:61-71. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.04.004>
9. Egnew N., Renukdas N., Ramena Y. et al. Physiological Insights into Largemouth Bass (*Micropterus salmoides*) Survival during Long-term Exposure to High Environmental Ammonia. *Aquat. Toxicol.* 2019;207:72-82. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.11.027>

10. Fatma E., Khalafalla M.M., Gewaily M.S. et al. Acute Ammonia Exposure Combined with Heat Stress Impaired the Histological Features of Gills and Liver Tissues and the Expression Responses of Immune and Antioxidative Related Genes in Nile Tilapia. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2022;231:113187. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113187>
11. Jendrassik L., Gróf P. Vereinfachte photometrische Methoden zur Bestimmung des Blutbilirubins. *Biochem Zeitschrift*. 1938;297:82-89
12. Kim J.-H., Par H.-J., Kim K.-W. et al. Growth performance, oxidative stress, and non-specific immune responses in juvenile sablefish, *Anoplopoma fimbria*, by changes of water temperature and salinity. *Fish Physiol. Biochem*. 2017;43:1421-1431. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2013.02.001>
13. Li M., Chen L., Qin J.G. et al. Growth Performance, Antioxidant Status and Immune Response in Darkbarbel Catfish *Pelteobagrus vachelli* Fed Different PUFA/Vitamin E Dietary Levels and Exposed to High or Low Ammonia. *Aquaculture*. 2013;406-407:18-27. <https://doi.org/10.1021/jf9913458>
14. Mangang Y.A., Pandey P.K. Hemato-biochemical Responses and Histopathological Alterations in the Gill and Kidney Tissues of *Osteobrama belangeri* (Valenciennes, 1844) Exposed to Different Sub-lethal Unionized Ammonia. *Aquaculture*. 2021;542:736887. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736887>
15. Miramontes E., Mozdziak P., Petitte J.N. et al. Skeletal Muscle and the Effects of Ammonia Toxicity in Fish, Mammalian, and Avian Species: a Comparative Review Based on Molecular Research. *Int. J. Mol. Sci*. 2020;21:4641. <https://doi.org/10.3390/genes11080840>
16. Molayemraft T., Peyghan R., Razi Jalali M., Shahriari A. Single and Combined Effects of Ammonia and Nitrite on Common Carp, *Cyprinus carpio*: Toxicity, Hematological Parameters, Antioxidant Defenses, Acetylcholinesterase, and Acid Phosphatase Activities. *Aquaculture*. 2022;548:737676. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.07.066>
17. Mugwanya M., Dawood M.A., Kimera F., Sewilam H. Updating the Role of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics for Tilapia Aquaculture as Leading Candidates for Food Sustainability: A Review. *Probiotics Antimicrob. Proteins*. 2021;14(1):130-157. <https://doi.org/10.1007/s12602-021-09852-x>
18. Zhang M., Wang S., Sun L. et al. Ammonia Induces Changes in Carbamoyl Phosphate Synthetase I and Its Regulation of Glutamine Synthesis and Urea Cycle in Yellow Catfish *Pelteobagrus fulvidraco*. *Fish Shellfish Immunol*. 2022;120:242-251. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.11.023>
19. Zhu Z.X., Jiang D.L., Li B.J. et al. Differential Transcriptomic and Metabolomic Responses in the Liver of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Exposed to Acute Ammonia. *Mar. Biotechnol*. 2019;21:488-502. <https://doi.org/10.1007/s10126-019-09897-8>

References

1. Abdurakhmanov G.M., Kriuchkov V.N., Fedorova N.N. *Morphology of organs and tissues of aquatic animals: a study guide*. Moscow, Russia: Nauka, 2004:144. (In Russ.)
2. Mirzakhililov M.M. Hydrochemical status of fish farms' ponds and their seasonal changes. *International Scientific Journal of Biruni*. 2022;1(2):108-113. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2181-2993-2022-2-108-113>
3. Privezentsev Yu.A. *Tilapia (taxonomy, biology, economic use): a monograph*. Moscow, Russia: Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2011:121. (In Russ.)
4. Romeys B. *Microscopic technique*. Translated from German. Moscow, Russia: Inostrannaya literatura, 1953:720. (In Russ.)

5. Baldisserotto B., Martos-Sitcha J.A., Menezes C.C. et al. The Effects of Ammonia and Water Hardness on the Hormonal, Osmoregulatory and Metabolic Responses of the Freshwater Silver Catfish. *Rhamdia quelen*. *Aquat. Toxicol.* 2014;152:341-352. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2014.04.023>
6. Dawood M.A.O., Noreldin A.E., Sewilam H. Long Term Salinity Disrupts the Hepatic Function, Intestinal Health, and Gills Antioxidative Status in Nile Tilapia Stressed with Hypoxia. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021;220:112412. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112412>
7. Divya M., Gopi N., Iswarya A. et al. β -glucan extracted from eukaryotic single-celled microorganism *Saccharomyces cerevisiae*: dietary supplementation and enhanced ammonia stress tolerance on *Oreochromis mossambicus*. *Microb. Pathog.* 2020;139:103917-103917. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103917>
8. Cheng C.H., Yang F.F., Ling R.Z. et al. Effects of Ammonia Exposure on Apoptosis, Oxidative Stress and Immune Response in Pufferfish (*Takifugu obscurus*). *Aquat. Toxicol.* 2015;164:61-71. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.04.004>
9. Egnew N., Renukdas N., Ramena Y. et al. Physiological Insights into Largemouth Bass (*Micropterus salmoides*) Survival during Long-term Exposure to High Environmental Ammonia. *Aquat. Toxicol.* 2019;207:72-82. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.11.027>
10. Fatma E., Khalafalla M.M., Gewaily M.S. et al. Acute Ammonia Exposure Combined with Heat Stress Impaired the Histological Features of Gills and Liver Tissues and the Expression Responses of Immune and Antioxidative Related Genes in Nile Tilapia. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2022;231:113187.
11. Jendrassik L, Gróf P. Vereinfachte photometrische Methoden zur Bestimmung des Blutbilirubins. *Biochem Zeitschrift*. 1938;297:82-89.
12. Kim J.-H., Par H.-J., Kim K.-W. et al. Growth performance, oxidative stress, and non-specific immune responses in juvenile sablefish, *Anoplopoma fimbria*, by changes of water temperature and salinity. *Fish Physiol. Biochem.* 2017;43:1421-1431. <https://doi.org/10.1016/j.juro.2013.02.001>
13. Li M., Chen L., Qin J.G. et al. Growth Performance, Antioxidant Status and Immune Response in Darkbarbel Catfish *Pelteobagrus vachelli* Fed Different PUFA/Vitamin E Dietary Levels and Exposed to High or Low Ammonia. *Aquaculture*. 2013;406-407:18-27. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.04.028>
14. Mangang Y.A., Pandey P.K. Hemato-biochemical Responses and Histopathological Alterations in the Gill and Kidney Tissues of *Osteobrama belangeri* (Valenciennes, 1844) Exposed to Different Sub-lethal Unionized Ammonia. *Aquaculture*. 2021;542:736887. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736887>
15. Miramontes E., Mozdziak P., Petite J.N. et al. Skeletal Muscle and the Effects of Ammonia Toxicity in Fish, Mammalian, and Avian Species: a Comparative Review Based on Molecular Research. *Int. J. Mol. Sci.* 2020;21:4641. <https://doi.org/10.3390/genes11080840>
16. Molayemraftar T., Peyghan R., Razi Jalali M., Shahriari A. Single and Combined Effects of Ammonia and Nitrite on Common Carp, *Cyprinus carpio*: Toxicity, Hematological Parameters, Antioxidant Defenses, Acetylcholinesterase, and Acid Phosphatase Activities. *Aquaculture*. 2022;548:737676. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.07.066>
17. Mugwanya M., Dawood M.A., Kimera F., Sewilam H. Updating the Role of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics for Tilapia Aquaculture as Leading Candidates for Food Sustainability: A Review. *Probiotics Antimicrob. Proteins*. 2021;14(1):130-157. <https://doi.org/10.1007/s12602-021-09852-x>
18. Zhang M., Wang S., Sun L. et al. Ammonia Induces Changes in Carbamoyl Phosphate Synthetase I and Its Regulation of Glutamine Synthesis and Urea Cycle

in Yellow Catfish *Pelteobagrus fulvidraco*. *Fish Shellfish Immunol.* 2022;120:242-251. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.11.023>

19. Zhu Z.X., Jiang D.L., Li B.J. et al. Differential Transcriptomic and Metabolomic Responses in the Liver of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Exposed to Acute Ammonia. *Mar. Biotechnol.* 2019;21:488-502. <https://doi.org/10.1007/s10126-019-09897-8>

Сведения об авторах

Вера Ивановна Егорова, канд. биол. наук, доцент, доцент кафедры гидробиологии и общей экологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное научное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет»; 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16/1; e-mail: lekaego@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7688-723x>

Виктор Николаевич Крючков, д-р биол. наук, доцент, профессор кафедры гидробиологии и общей экологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное научное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет»; 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16/1; e-mail: kvn394@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8749-6069>

Ирина Владимировна Волкова, д-р биол. наук, доцент, профессор кафедры гидробиологии и общей экологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное научное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет»; 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 16/1; e-mail: gridasova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8945-6669>

Information about the authors

Vera I. Egorova, CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Hydrobiology and General Ecology, Astrakhan State Technical University; 16/1 Tatishcheva St., Astrakhan, 414056, Russian Federation; e-mail: lekaego@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7688-723x>

Victor N. Kriuchkov, DSc (Bio), Associate Professor, Professor at the Department of Hydrobiology and General Ecology, Astrakhan State Technical University; 16/1 Tatishcheva St., Astrakhan, 414056, Russian Federation; e-mail: kvn394@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8749-6069>

Irina V. Volkova, DSc (Bio), Associate Professor, Professor at the Department of Hydrobiology and General Ecology, Astrakhan State Technical University; 16/1 Tatishcheva St., Astrakhan, 414056, Russian Federation; e-mail: gridasova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8945-6669>