



приоритет2030⁺
лидерами становятся



COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS

III International Scientific and Practical Conference "DEVELOPMENT AND MODERN PROBLEMS OF AQUACULTURE" ("AQUACULTURE 2023" Conference)

using remote technologies

on the basis of the complex of DSTU, SRSC "Raduga" on the Black Sea
v. Divnomorskoye, Gelendzhik district, Krasnodar Territory, Russia

September 04–10, 2023



Ассоциация
научных организаций
в области
аквакультуры



СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

III МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

«РАЗВИТИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ АКВАКУЛЬТУРЫ» (КОНФЕРЕНЦИЯ «АКВАКУЛЬТУРА 2023»)

с применением дистанционных технологий

с. Дивноморское,
4 – 10 сентября 2023 г.

Донской государственный технический университет
г. Ростов-на-Дону
2023

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS

III INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE

"DEVELOPMENT AND MODERN PROBLEMS OF AQUACULTURE" ("AQUACULTURE 2023" CONFERENCE)

using remote technologies

Divnomorskoye,
September 4 – 10, 2023

Ростов-на-Дону | Rostov-on-Don
2023

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Б.Ч. Месхи – ректор Донского государственного технического университета, член-корреспондент Российской академии образования, д-р техн. наук, профессор

Г.Г. Матишов – заместитель президента Российской академии наук, член президиума Российской академии наук, академик Российской академии наук

С.В. Бердников – директор Южного научного центра Российской академии наук, д-р геогр. наук

Мин Тзе Лионг – профессор школы промышленных технологий по технологии биопроцессов, Университет Малайзии, Малайзия, PhD

А.В. Невредин – руководитель Евразийского аквакультурного альянса, руководитель комиссии по аквакультуре, академик Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности (ООН)

Е.Н. Пономарёва – главный научный сотрудник Южного научного центра Российской академии наук, д-р биол. наук, профессор

Д.В. Рудой – руководитель специализированной организации территориального кластера «Долина Дона» Ростовской области, декан факультета «Агропромышленный» ДГТУ, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Центр агробιοтехнологии» ДГТУ, канд. техн. наук, доцент

А.В. Ольшевская – заместитель декана факультета «Агропромышленный» ДГТУ, заместитель руководителя Центра развития территориального кластера «Долина Дона» ДГТУ, доцент кафедры «Технологии и оборудование переработки продукции агропромышленного комплекса» ДГТУ, канд. техн. наук

М.Ю. Одабашян – старший научный сотрудник «Центра агробιοинженерии эфиромасличных и лекарственных растений», старший преподаватель кафедры «Технологии и оборудование переработки продукции агропромышленного комплекса» ДГТУ, канд. биол. наук (отв. ред.)

P17 **Развитие и современные проблемы аквакультуры (Конференция «Аквакультура 2023»):** сборник научных трудов III Международной научно-практической конференции (с. Дивноморское, 4 – 10 сентября 2023 г.) / ред. кол. Б.Ч. Месхи [и др.]; ДГТУ – Ростов-на-Дону: ДГТУ-Принт, 2023. – 145 с.

ISBN 978-5-6050870-1-4

Сборник опубликован по результатам III Международной научно-практической конференции «Развитие и современные проблемы аквакультуры», проводимой факультетом «Агропромышленный» Донского государственного технического университета, и предназначен для специалистов в области аквакультуры, охраны водных ресурсов, селекции и генетики, а также обучающихся соответствующих специальностей, и для широкого круга читателей, интересующихся научными исследованиями и разработками в этой области.

В сборнике содержатся материалы, отражающие многогранный подход к изучаемой тематике. Рассмотрены такие темы, как биоремедиация и фитоценозы, выращивание радужной форели и осетроводство, лекарства и корма для рыб, применение криотехнологий и т.д. Широкий круг вопросов свидетельствует о том, что аквакультура была и остаётся в центре внимания научного сообщества и что данная отрасль имеет первостепенное значение не только для хозяйства Юга России и всей страны в целом, а также для мирового научного и производственного сообществ, в рамках конференции объединяющих свои усилия для создания проектов, необходимых для активного развития отрасли, бизнеса и науки.

ISBN 978-5-6050870-1-4

© ДГТУ-Принт, 2023

ПРЕДИСЛОВИЕ

С 4 по 10 сентября в СОСК «Радуга» пос. Дивноморское прошла III Международная научно-практическая конференция «Развитие и современные проблемы аквакультуры» (Конференция «Аквакультура 2023»).

Организатором данной Конференции выступил Донской государственный технический университет совместно с Южным научным центром РАН, Аграрным научным центром «Донской», Территориальным кластером «Долина Дона», при поддержке Российской академии наук, Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, Министерства сельского хозяйства и продовольствия Ростовской области.

Международная конференция «Аквакультура 2023» - это высокопрофессиональное научное событие, собирающее ведущих специалистов широкого профиля. Конференция ориентирована на обмен передовыми научными исследованиями, инновационными технологиями и лучшими практиками в области аквакультуры. Она предоставляет уникальную возможность ученым, академикам, индустриальным лидерам и обучающимся обсудить актуальные проблемы, тенденции и перспективы развития аквакультуры. Конференция «Аквакультура 2023» является площадкой для взаимодействия и сотрудничества между участниками, способствуя дальнейшему развитию этой отрасли.

За время проведения Конференции были представлены более 100 докладов от ведущих представителей научного, образовательного и индустриального сообщества в очном и дистанционном форматах. На пленарном заседании были заслушаны доклады ведущих специалистов по основным дисциплинам биоэкологического и рыбохозяйственного направлений со всей России и стран ближнего и дальнего зарубежья: из Москвы, Санкт-Петербурга, Подольска, Иваново, Новосибирска, Тюмени, Мурманска, Иркутска, Владивостока, Астрахани, Волгограда, Ставрополя, Зернограда, Сочи, Краснодар, Белгорода, Республики Кабардино-Балкария, Республики Карелия, Социалистической Республики Вьетнам, Республики Турции, Республики Сербии, Малайзии и др.

Выступления участников Конференции отличались тематическим разнообразием: сохранение и охрана биологических ресурсов Мирового океана, профилактика заболеваний рыб и других объектов аквакультуры, применение генетических методов и современной селекции в аквакультуре, изучение перспективных источников сырья, развитие интеллектуальных технологий в аквакультуре, и много другое.

Программный и организационный комитеты, а также все участники Конференции выражают благодарность партнерам и журналу «E3S Web of Conferences», индексируемому библиографическими базами данных Web of Science и (или) Scopus, за публикацию статей Конференции «Аквакультура 2023».



PREFACE

From 4 to 10 September the SOSK "Raduga" (village of Divnomorskoe) hosted the III International Scientific and Practical Conference "Development and modern problems of aquaculture" ("Aquaculture 2023" Conference).

The organizer of this Conference was the Don State Technical University together with the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, the Agrarian Scientific Center "Donskoy", the Territorial Cluster "Dolina Dona", with the support of the Russian Academy of Sciences, the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, the Ministry of Agriculture of the Russian Federation, the Ministry of Agriculture and Food of the Rostov region.

The International Conference "Aquaculture 2023" is a highly professional scientific event that gathers leading specialists of a wide profile. The conference is focused on the exchange of advanced scientific research, innovative technologies and best practices in the field of aquaculture. It provides a unique opportunity for scientists, academics, industrial leaders and students to discuss current problems, trends and prospects for the development of aquaculture. The conference "Aquaculture 2023" is a platform for interaction and cooperation between participants, contributing to the further development of this industry.

During the Conference, more than 100 reports from leading representatives of the scientific, educational and industrial community were presented in face-to-face and distance formats. The plenary session heard reports of leading experts in the main disciplines of bioecological and fisheries management from all over Russia and countries of the near and far abroad: from Moscow, St. Petersburg, Podolsk, Ivanovo, Novosibirsk, Tyumen, Murmansk, Irkutsk, Vladivostok, Astrakhan, Volgograd, Stavropol, Zernograd, Sochi, Krasnodar, Belgorod, The Republic of Kabardino-Balkaria, the Republic of Karelia, the Socialist Republic of Vietnam, the Republic of Turkey, the Republic of Serbia, Malaysia, etc.

The presentations of the Conference participants were distinguished by thematic diversity: conservation and protection of biological resources of the World Ocean, prevention of diseases of fish and other aquaculture objects, the use of genetic methods and modern breeding in aquaculture, the study of promising sources of raw materials, the development of intelligent technologies in aquaculture, and much more.

The Program and Organizing Committees, as well as all participants of the Conference, express their gratitude to the partners and the E3S Web of Conferences magazine, indexed by the bibliographic databases Web of Science and (or) Scopus, for publishing articles of the Conference "Aquaculture 2023".





Дорогие коллеги от лица Российской академии наук рад обратиться к участникам Конференции «Аквакультура 2023»!

Эта конференция является важной площадкой, где ведущие специалисты в области аквакультуры собираются, чтобы обменяться опытом, обсудить новейшие научные открытия и вместе работать над решением глобальных проблем, связанных с аквакультурой.

Третий год подряд Донской государственный технический университет совместно с Южным научным центром РАН проводит конференцию, позволяющую объединить усилия по развитию научно-исследовательских работ и новейших технологических разработок инновационной деятельности. Вопросы аквакультуры привлекут еще больше представителей научного и образовательного сообществ, промышленных партнеров со всего мира.

Желаю вам продуктивных дискуссий, плодотворного сотрудничества и новых открытий на этой конференции. Уверен, что ваши исследования и мнения привнесут новый импульс в развитие аквакультуры и помогут нам на пути к более устойчивому будущему.

Геннадий Григорьевич Матишов

заместитель президента Российской академии наук,

член президиума Российской академии наук,

академик Российской академии наук

Dear colleagues on behalf of the Russian Academy of Sciences, I am glad to address the participants of the Conference "Aquaculture 2023"!

This conference is an important platform where leading experts in the field of aquaculture gather to exchange experiences, discuss the latest scientific discoveries and work together to solve global problems related to aquaculture.

For the third year in a row, Don State Technical University, together with the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, is holding a conference that allows combining efforts to develop research and the latest technological developments in innovation. Aquaculture issues will attract even more representatives of the scientific and educational communities, industrial partners from all over the world.

I wish you productive discussions, fruitful cooperation and new discoveries at this conference. I am sure that your research and opinions will bring a new impetus to the development of aquaculture and help us on the way to a more sustainable future.

Gennady Matishov

deputy president of the Russian Academy of Sciences,

member of the Presidium of the Russian Academy of Sciences,

academician of the Russian Academy of Sciences



Уважаемые коллеги! Конференция по аквакультуре собирает вместе экспертов, ученых и представителей индустрии, которые разделяют общий интерес к развитию аквакультуры.

Аквакультура играет важную роль в обеспечении продовольственной безопасности, сохранении биоразнообразия и устойчивого развития. Она представляет собой не только значимую отрасль, но и одну из ключевых составляющих будущего нашей планеты.

Донской государственный технический университет на сегодняшний момент не только решает фундаментально важные кадровые вопросы, но и играет значительную роль в формировании региональной производственной политики.

Желаю вам продуктивных дискуссий, вдохновляющих встреч и полезных знакомств. Пусть эта конференция станет источником новых идей и долгосрочных партнерств, способных изменить будущее аквакультуры.

Бесарион Чохоевич Месхи

*ректор Донского государственного технического университета,
член-корреспондент Российской академии образования*

Dear colleagues! The Aquaculture Conference brings together experts, scientists and industry representatives who share a common interest in the development of aquaculture.

Aquaculture plays an important role in ensuring food security, biodiversity conservation and sustainable development. It is not only a significant industry, but also one of the key components of the future of our planet.

Don State Technical University currently not only solves fundamentally important personnel issues, but also plays a significant role in the formation of regional production policy.

I wish you productive discussions, inspiring meetings and useful acquaintances. Let this conference become a source of new ideas and long-term partnerships that can change the future of aquaculture.

Besarion Meskhi

*rector of Don State Technical University,
corresponding member of the Russian Academy of Education*



Дорогие коллеги с большой радостью и глубоким уважением приветствую Вас на этом важном и значимом событии. Конференция является возможностью для ведущих экспертов, ученых, академиков, представителей промышленности и всех заинтересованных в развитии аквакультуры лиц собраться вместе, обменяться знаниями и опытом, а также обсудить последние тенденции, проблемы и достижения в отрасли.

Аквакультура является важной составляющей нашего будущего, когда растущая популяция и ограниченные ресурсы природы требуют устойчивых и инновационных методов производства. Путем разведения и выращивания разнообразных видов водных организмов в контролируемых условиях, аквакультура предлагает решения для повышения продуктивности, снижения негативного воздействия на окружающую среду и удовлетворения потребностей растущего населения в пище.

Надеюсь, что эта конференция станет источником вдохновения для всех присутствующих. Желаю участникам плодотворного сотрудничества и успехов!

Бердников Сергей Владимирович

директор Южного научного центра Российской академии наук

Dear colleagues! It is with great joy and deep respect that I welcome you to this important and significant event. The conference is an opportunity for leading experts, scientists, academics, industry representatives and all those interested in the development of aquaculture to come together, exchange knowledge and experience, as well as discuss the latest trends, problems and achievements in the industry.

Aquaculture is an important component of our future, when a growing population and limited natural resources require sustainable and innovative production methods. By breeding and cultivating diverse species of aquatic organisms under controlled conditions, aquaculture offers solutions to increase productivity, reduce negative environmental impacts and meet the food needs of a growing population.

I hope that this conference will be a source of inspiration for everyone present. I wish the participants fruitful cooperation and success!

Sergey Berdnikov

director of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛОСОСЕВЫХ НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ РОССИИ | |
| Александрова М.А., Понамарева Е.Н. | 11 |
| ОПЫТ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В УСЛОВИЯХ ПЛЕМЕННОГО ФОРЕЛЕВОДЧЕСКОГО ЗАВОДА «АДЛЕР»: ПОЛУЧЕНИЕ МЕЖРОДОВЫХ ГИБРИДОВ, ТРИПЛОИДОВ И ОДНОПОЛЫХ РЫБ | |
| Артамонова В.С., Кондратенко Я.В., Махров А.А., Пегливанян С.М., Рольская К.С., Рольский А.Ю., Степанова А.Н., Степанова Е.В., Янковская В.А. | 19 |
| ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АСТАКСАНТИНА В ПРОДУКЦИОННЫХ КОРМАХ НА ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТИЛЯПИИ | |
| Ахмеджанова А.Б., Пономарев С.В., Федоровых Ю.В., Левина О.А., Дутиков Е.А., Терганова Н.В. | 23 |
| ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДЫ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО РЫБЫ | |
| Беседина А.В. | 27 |
| АКВАКУЛЬТУРА КАК ИСТОЧНИК ОПАСНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОГО И ГЕНЕТИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОДОЁМОВ | |
| Гуськов Г.Е. | 30 |
| РАСТИТЕЛЬНЫЕ МАСЛА В КОРМАХ ДЛЯ РЫБ | |
| Дельмухаметов А.Б., Ромашова Ю.А. | 34 |
| ТЕМП ЛИНЕЙНО–ВЕСОВОГО РОСТА МОЛОДИ МУКСУНА И ЧИРА, ВЫРАЩЕННЫХ НА ИСКУССТВЕННЫХ КОРМАХ, ОБОГАЩЕННЫХ МИКРОБНЫМ БЕЛКОМ И ЖИРНЫМИ КИСЛОТАМИ | |
| Зенкович П.А., Зенкович Р.В., Литвиненко А.И. | 38 |
| ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БИОТЕХНОЛОГИИ КОРМОВ ДЛЯ МАРИКУЛЬТУРЫ ТРЕПАНГА | |
| Кадникова И.А., Аминина Н.М., Дзизюров В.Д., Сухин И.Ю. | 44 |
| ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ГЕНЕТИКИ И СЕЛЕКЦИИ АКВАРИУМНЫХ РЫБ | |
| Ковальчук Д.Ю., Ахмедов Р.А. | 50 |
| ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИСКУССТВЕННОЙ ТРИПЛОИДИЗАЦИИ СИГОВЫХ РЫБ | |
| Лютиков А.А., Костюничев В.В., Голотин В.А., Вылка М.М. | 55 |
| МИКРОВОДОРОСЛИ КАК ИСТОЧНИК БЕЛКОВ И КАРОТИНОИДОВ ДЛЯ АКВАКУЛЬТУРЫ | |
| Мальцева И.А., Мальцев Е.И., Черкашина С.В., Яковийчук А.В., Кочубей А.В. | 60 |
| ПРИМЕНЕНИЕ ПЬЕЗОАКТУАТОРОВ В ТЕХНОЛОГИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО КОНСЕРВИРОВАНИЯ РЕПРОДУКТИВНЫХ КЛЕТОК РЫБ | |
| Матросов А.А., Соловьев А.Н., Нижник Д.А., Понамарева Е.Н., Рудой Д.В., Мальцева Т.А. | 66 |
| ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ РЫБЫ ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ МЕТОДОМ ЭПР-СПЕКТРОМЕТРИИ | |
| Меджидов И.М., Полякова И.В., Санжарова Н.И., Павлов А.Н., Васильева Н.А. | 70 |
| ПЕРСПЕКТИВЫ БИОРЕМЕДИАЦИИ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ С ПОМОЩЬЮ СОЗДАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ | |
| Нейдорф А.Р., Бабичев-Ганага А.Д, Божко В.А. | 76 |
| ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОДЫ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ОСЕТРОВЫХ В УЗВ | |
| Нейдорф А.Р., Морозова М.А., Оганисян М.М. | 79 |
| ВЫРАЩИВАНИЕ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОБИОТИКОВ «ВЕТОМ 2» И «ЛИКВАФИД» | |
| Назаров В.А., Нечаева Т.А., Ильина Л.А., Ковальчук М.И. | 82 |
| ПРИМЕНЕНИЕ КАРДИОПРОТЕКТОРНЫХ КОМПОНЕНТОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В КОМБИКОРМАХ ДЛЯ ОСЕТРОВЫХ РЫБ | |

| | |
|--|-----|
| Нгуен Т.Х.В., Лагуткина Л.Ю., Хамад А.А. | 86 |
| О ПРОБЛЕМЕ КАЧЕСТВА РЫБЬЕГО ЖИРА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОРМОВ И ПОЛУЧЕНИИ ВЫСОКОСОРТНОЙ РЫБНОЙ ПРОДУКЦИИ В АКВАКУЛЬТУРЕ | |
| Остроумова И.Н., Лютиков А.А., Шумилина А.К. | 90 |
| ВЛИЯНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ ФЕНОЛА НА РЫБОВОДНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОПЛОДОТВОРЕННОЙ ИКРЫ СТЕРЛЯДИ | |
| Половинкина М.А., Осипова В.П., Пономарева Е.Н., Кудрявцев К.В., Великородов А.В. | 94 |
| РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ КОРМОВ НОВОГО ТИПА ДЛЯ ТОВАРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ АВСТРАЛИЙСКОГО КРАСНОКЛЕШНЕВОГО РАКА <i>CHERAX QUADRICARINATUS</i> В УСТАНОВКЕ ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ | |
| Пономарева Е.Н., Оганисян М.М., Румянцева Е.В. | 98 |
| НЕЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В АКВАКУЛЬТУРЕ: ПРОБЛЕМЫ И СТРАТЕГИИ | |
| Пузанов Д.С. | 103 |
| К ВОПРОСУ О ДЕФИНИЦИИ ТЕРМИНА «ОБОБЩЕННЫЕ КОЛИФОРМНЫЕ БАКТЕРИИ» В ВОДЕ | |
| Решетникова О.В., Сбойчаков В.Б., Осипова Т.С. | 107 |
| ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРАЗИКВАНТЕЛА ПРИ ВАЛИПОРОЗЕ КАРПОВ | |
| Сорокин П.А., Енгашев С.В., Гончарова М.Н. | 113 |
| ОПЫТ ВЫРАЩИВАНИЯ ПИЛЕНГАСА НА РЫБОРАЗВОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ ООО «ПРИБОЙ» | |
| Старцев А.В., Корчунов А.А., Дубов В.Е. | 117 |
| ИНВАЗИЯ СЕРЕБРЯНОГО КАРАСЯ <i>CARASSIUS GIBELIO</i> (BLOCH, 1782) <i>LERNAEA CYPRINACEA</i> (COPEPODA; LERNAEIDAE) В ДЕЛЬТЕ РЕКИ ДОН И ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА | |
| Степанова Ю.В., Казарникова А.В. | 121 |
| ОПТИМАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ БОРЬБЫ С КАННИБАЛИЗМОМ РАКООБРАЗНЫХ | |
| Ткачева И.В., Румянцева Е.В., Оганисян М.М. | 125 |
| ОЦЕНКА СЕДАТИВНОГО ЭФФЕКТА РАЗЛИЧНЫХ АНЕСТЕТИКОВ У ПЕЛЯДИ <i>COREGONUS PELED</i> (GMELIN, 1789) В АКВАКУЛЬТУРЕ | |
| Толмачева Ю.П., Борисова Е.И., Дзюба Е.В., Суханова Л.В., Небесных И.А., Демьянович И.А., Демьянович К.А. | 129 |
| БЛЕСК И НИЩЕТА АКВАКУЛЬТУРЫ | |
| Чистяков В.А., Миралимова Ш.М., Пепоян А.З., Брень А.Б. | 138 |

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛОСОСЕВЫХ НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ РОССИИ

¹Александрова М.А., ²Понамарева Е.Н.

¹Мурманский Арктический Университет (МАУ), г. Мурманск

²Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. Рассмотрено мировое развитие аквакультуры на примере 10 стран и России. С помощью метода экстраполяции выявлена динамика развития товарного рыбоводства в Российской Федерации. Проанализирована инвестиционная привлекательность развития аквакультуры на Европейском Севере России (на примере предприятия ООО «Русское море – Аквакультура»). Приведены объёмы выращивания Атлантического лосося в мире и в России. Проанализировано производство товарной рыбы по субъектам Российской Федерации за 2020 год. Представлен аквафонд внутренних водоёмов и прибрежных акваторий морей России, в том числе территории Северо-Западного Федерального округа - потенциал для ускоренного развития аквакультуры. Раскрыта политика импортозамещения и помощь государства как важный стимулирующий фактор развития аквакультуры. Европейского Севера России. Среди полученных результатов можно выделить следующие: обоснованы факторы, снижающие экономическую эффективность выращивания и реализации продукции лососевых; раскрыты причины болезней лососей на Европейском Севере России, и представлен анализ влияния развития товарного выращивания Атлантического лосося на импортозамещение.

Ключевые слова. Европейский Север России, атлантический лосось, аквакультура, импортозамещение, инвестиционная привлекательность, динамика и перспективы развития, генетическое модифицирование.

PROSPECTS FOR COMMERCIAL SALMON FARMING IN THE EUROPEAN NORTH OF RUSSIA

¹Aleksandrova M.A., ²Ponamareva E.N.

¹Murmansk Arctic University («MAU»), Murmansk, Russia

²Federal Research Center Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract. The world development of aquaculture is disclosed on the example of 10 countries and Russia. Using the extrapolation method, the dynamics of the development of commercial fish farming in the Russian Federation has been revealed. The investment attractiveness of the development of aquaculture in the European North of Russia is analyzed (by the example of the enterprise LLC "Russian Sea - Aquaculture"). The volume of Atlantic salmon cultivation in the world and in Russia is given. The production of marketable fish in the constituent entities of the Russian Federation for 2020 is analyzed. The water fund of inland water bodies and coastal waters of the seas of Russia, including the territory of the North-West Federal District, is presented - the potential for the accelerated development of aquaculture. The policy of import substitution and government assistance are disclosed as an important stimulating factor in the development of aquaculture. European North of Russia. Among the results obtained, the following can be distinguished: the factors that reduce the economic efficiency of growing and selling salmon products have been substantiated; the causes of salmon diseases in the European North of Russia are revealed, and an analysis of the impact of the development of commercial farming of Atlantic salmon on import substitution is presented.

Keywords. European North of Russia, Atlantic salmon, aquaculture, import substitution, investment attractiveness, dynamics and prospects of development, genetic modification.

Россия располагает значительным потенциалом для ускоренного развития аквакультуры. В состав рыбохозяйственного фонда внутренних пресноводных водоёмов России включены 22,5 млн. га озёр, 4,3 млн. га водохранилищ, 0,96 млн. га сельскохозяйственных водоёмов косвенного назначения, 142,9 млн. га прудов и 523 млн. км рек. Протяжённая линия морского побережья России составляет около 60 тыс. км, площадь морских акваторий в Чёрном, Каспийском, Баренцевом, Белом, Азовском и дальневосточных морях, пригодная для размещения комплексов аквакультуры составляет всего около

0,38 млн. км², современная площадь акваторий, используемая для выращивания морских биоресурсов, не превышает 25.тыс. га. Но при этом по производству продукции аквакультуры наша страна занимает 26-е место в мире (по данным ФАО ООН), то есть Россия значительно отстаёт по развитию товарного рыбоводства даже от тех стран, которые не имеют выхода к морю. В настоящее время развитием товарного рыбоводства занимается 196 стран (рис. 1).

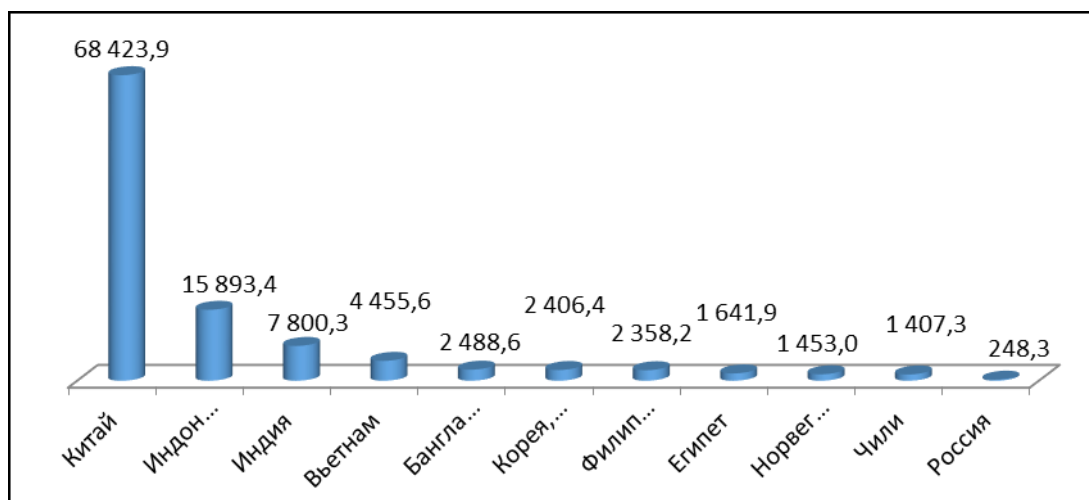


Рисунок 1 – Мировое развитие аквакультуры, тыс. т (на примере 10 стран и России)
[Мировое производство ..., 2021]

Анализ развития производства продукции рыбоводства в России с 2010 по 2020 годы выявил положительную динамику – наблюдается устойчивый рост, представленный с помощью метода экстраполяции представлена на рис. 2.

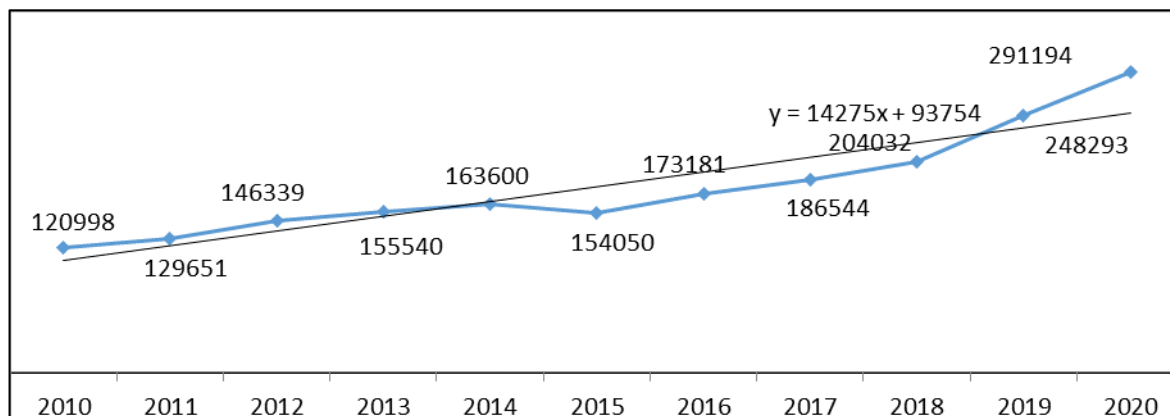


Рисунок 2 – Динамика объёма российского производства продукции товарного рыбоводства (включая рыбопосадочный материал) за 2010 – 2020 гг., т

Продукция рыбоводства в общем объёме товарной рыбной продукции составляла 4,7%. При этом на лососевые рыбы в общем объёме выращивания приходился 36,0%, на карповые – 42,0%. Объём продукции (из карповых) снизился в 2020 г. на 19,0%, а лососевых – повысился на 8,0% (по сравнению с 2018 г.) [Мировое производство ..., 2021].

Лидерами по товарному рыбоводству в стране являются Северо-Западный, Южный, Дальневосточный федеральные округа, на долю которых приходится свыше 73% всего производства продукции отрасли (рис. 3).

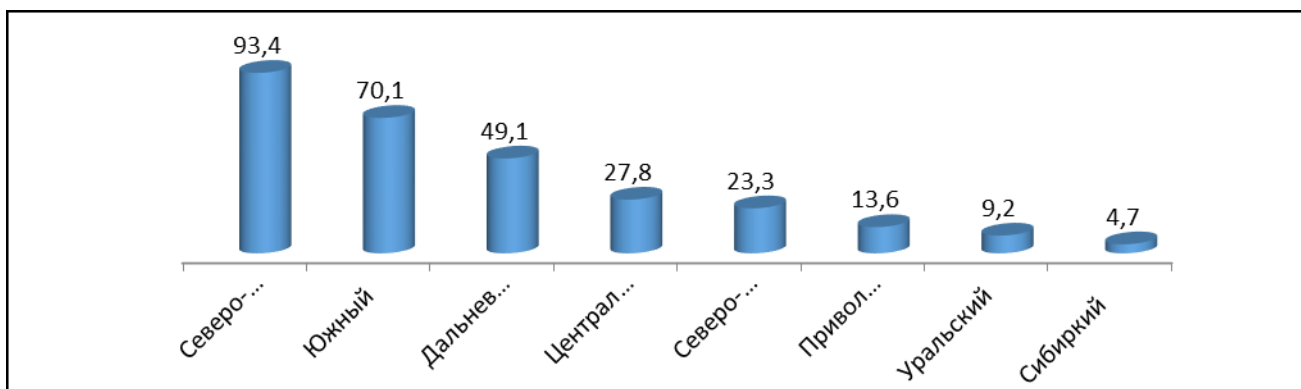


Рисунок 3 – Производство товарной рыбы по субъектам Российской Федерации за 2020 год, тыс. тонн

Территория Северо-Западного федерального округа имеет следующие особенности: огромный водный потенциал, уникальные озерно-речные системы, значительная протяжённость нерестовых рек, обильный видовой состав и качественное богатство ихтиофауны, что предоставляет возможность для развития различных направлений рыбного хозяйства (промысла, воспроизводства, аквакультуры).

Одна из самых актуальных проблем Европейского Севера России – это сохранение качества водной среды и её биоресурсов. По некоторым оценкам, для акваторий Северо-Западного Федерального округа характерны следующие параметры: площадь озёр и водохранилищ – 72 тыс. кв. км², количество озёр – 422 тыс. единиц, рек – 245 тыс. единиц, протяжённость рек 803 тыс. км, акватории Белого моря – 90 тыс. км², акватория Баренцева моря – 30 тыс. км².

Северо-Западный федеральный округ занимает второе место в РФ после Сибирского по фондам рыбохозяйственных водоемов. У него их 6510,4 тысячи гектаров, в Сибирском же - 7516,6. По обеспеченности каждого жителя субъекта водоемами, пригодными для развития аквакультуры - 0,46 гектара на человека. Для сравнения, в среднем по России - 0,19 гектара.

Данные Росрыболовства свидетельствуют, что за пять лет объем производства аквакультуры в стране вырос почти на треть, и во многом это заслуга северо-западных регионов - три кита, на которых держится аквакультура Северо-Западного федерального округа, Карелия, Мурманская и Ленинградская области.

В 2021 году объем производства продукции товарной аквакультуры (включая производство (выращивание) посадочного материала) Российской Федерации увеличился в сравнении с предыдущим 2020 годом на 28 тыс. тонн или 8,5 % и составил 356,6 тысяч тонн - улучшился, показатель за последние 10 лет более, чем в 2 раза.

Первые позиции в рейтинге объемов производства принадлежат Северо-Западному и Южному федеральным округам, где в 2021 году выращено (без учета производства (выращивания) посадочного материала) 111,01 и 71,1 тыс. тонн товарной продукции товарного выращивания соответственно.

Значительно увеличил объемы производства товарной рыбы в 2021 году Северо-Западный федеральный округ. Более 98 % продукции региона составили лососевые виды рыб: атлантический лосось (семга) и форель. Прирост производства продукции товарной аквакультуры по отношению к 2020 году составил 18,9 % (с 93,4 тыс. тонн (2020 г.) до 111,01 тыс. тонн (2021 год)).

Заслуживает особое внимание Мурманская область, где в 2021 году выращено 71,6 тыс. тонн лососей, что на 36,9 % больше объемов 2020 года (19,3 тыс. тонн). Необходимо подчеркнуть, что за последние 5 лет Мурманская область более чем в 5 раз увеличила объемы производства товарной аквакультуры. Ленинградской областью был улучшен показатель предыдущего 2020 года на 15 %, (произведено 12,6 тыс. тонн лососевых (2021 г.))

Морская аквакультура представляет собой фактор, стимулирующий деятельность рыбохозяйственного комплекса страны, способствующий получению дополнительной рыбной продукции и восполняющий промысловые ресурсы морей.

Российско-Норвежское сотрудничество продолжает развиваться и в научно-исследовательской сфере в области аквакультуры, стороны уделяют повышенное внимание потенциальному воздействию аквакультуры на экосистему, здоровье рыб и снижение распространения инвазий и эпизоотий. Сотрудничество способствует обмену отраслевым опытом и передаче знаний в рамках межправительственной Российско-Норвежской комиссии по экономическому, промышленному и научно-техническому сотрудничеству. Мурманский государственный технический университет и Университет Нурланда успешно продолжают проект по подготовке кадров по аквакультуре.

Российский бизнес в области аквакультуры лососевых получил успешное развитие в Норвегии (не далеко от Киркенеса), где предприятие «KirkenesCharr» уже много лет производит до 120 т

арктического гольца (*Salvelinus alpinus*) в год. Этому предприятию товарного выращивания рыбы уже на втором году работы было присвоено звание «Лучший продукт Норвегии». Выращивание арктического гольца производят в общих наземных зелёных резервуарах в потоке ледяной воды, которая поступает из горного озера естественным путём, и покрывая тело рыбы вместе с естественной слизью обеспечивает защиту гидробионту от инфекции и паразитов.

Арктический голец – это экологически чистая рыба, очень жизнеспособная сама по себе, требует мало корма. Забой арктического голца происходит особенно: рыбы голодает 14 дней (жесткая диета позволяет получить очень мускулистую и здоровую рыбу), что способствует очищению её организма и повышению качества продукции [Терехин, 1984; Михайлеченко, 1992; Журавлева, 2005; Анохина, 2012, Макаревич и др., 2018]. Этот представитель гидробионтов практически не наносит вред окружающей среде. Предприятие «KirkenesCharg» поставляет арктический голец так же и на российский рынок.

Это совместное предприятие российских, финских и норвежских инвесторов приобрело международную известность – стало лауреатом многих международных конкурсов и примером регионального сотрудничества в Баренцрегионе. Планируется расширение предприятия – открытие ещё одного предприятия не только в Киркенесе, но и в Мурманске. На предприятии постоянно проводятся научно-исследовательские работы, фирма сотрудничает со многими научно-исследовательскими институтами и университетами, так, например, с университетом Тромсе. Данный вид гидробионтов обладает способностью расти в ледяной воде, что представляет уникальную возможность его товарного выращивания на Европейском Севере России [Черницкий, 1987, Анохина, 2012].

Выращивание озёрной формы Арктического гольца от оплодотворённой икры до формирования маточного стада рыб впервые проводили в России на рыбноводном заводе «Имандра» Европейского Севера России в 1980 году. Несмотря на то, что полученные результаты характеризовались как положительные, индустриального внедрения данная разработка не получила [Терехин, 1984].

Разработаны рекомендации по выращиванию озёрной формы арктического гольца, усовершенствована биотехника инкубации икры, содержания и подращивания личинок [Михайличенко, 1992]

Одна из важнейших задач аквакультуры заключается в искусственном воспроизводстве ценных видов рыб в Российской Федерации, выполнение которой началось с середины XX столетия – периода интенсивного гидростроительства, который изменил среду обитания многих видов рыб, в том числе условия размножения и роста молоди [Бурлаченко, Яхонтова, 2015]. В большей степени это коснулось осетровых, лососевых и других ценных видов рыб.

Обширные знания биологии сёмги и радужной форели в различные периоды жизни делают их основными и наиболее перспективными видами индустриальной аквакультуры Европейского Севера России. Рыбоводы Европейского Севера России имеют полувековой опыт разведения данных видов рыб, учёные академических и отраслевых институтов выполнили большое число разработок, способствующих совершенствованию рыбноводного процесса и повышению жизнестойкости получаемой молоди. Большое число широкомасштабных исследований, направленных на решение проблемы товарного выращивания сёмги, и других лососевых проводилось сотрудниками Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО» (Тюва-губа, губы Чупа, Княжая, Палкина, Пильская, прибрежные воды Белого моря) и Мурманского биологического института в Восточном Мурмане (пос. Дальние Зеленцы). Результаты и выводы проведённых работ будут способствовать увеличению продуктивности маточного стада, улучшению биотехники пастбищного и товарного лососеводства [Журавлева, 2005, Воробьева И.К., Карасева Т.А., 2021].

В 1958 году на базе ПИНРО для изучения особенностей акклиматизации лососевых (горбуши) в бассейнах Белого и Баренцева морей была создана лаборатория акклиматизации и воспроизводства, которая и положила начало исследованиям по проблемам искусственного воспроизводства ценных видов рыб. Сотрудниками лаборатории проводилось культивирование норвежского лосося в специализированных условиях Западного Мурмана, полученные результаты, демонстрируют несостоятельность практики ведения рыбноводного бизнеса на основе импортного посадочного материала, и необходима организация собственного производства товарного атлантического лосося качественного смолта, адаптированного к гидрологическим условиям побережья Баренцева моря России [Анохина, Винокуров, 2014].

В лаборатории болезней промысловых гидробионтов проводят разработку методов и средств диагностики, профилактики и лечения болезней объектов аквакультуры и достигнуты определенные успехи [Карасев, 1997, 2003, Митенев 1997, 1999, 2000, 2003, Воробьева И.К., Карасева Т.А., 2021].

В рамках ихтиопатологических исследований учёными Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО» ежегодно проводится мониторинг внешней патологии морских рыб и беспозвоночных с целью своевременного выявления заболеваний, которые представляют угрозу промысловым популяциям гидробионтов. По результатам мониторинга сотрудниками института сформирована и ежегодно

пополняется база данных «Патология рыб морей Северного Ледовитого океана и Северо-Восточной Атлантики».

Произведена оценка влияния рыбоводных ферм на экологическую ситуацию рыбопромысловых водоёмов [Воробьева И.К., Карасева Т.А., 2021].

Интерес к аквакультуре растёт не только в научно-исследовательской сфере, но и среди инвесторов. Представленный анализ инвестиционной привлекательности развития аквакультуры Мурманской области на примере предприятия ООО «Русское море – Аквакультура» на основании инвестиционных показателей предприятия подтверждает перспективность развития аквакультуры в Мурманской области:

Чистая текущая стоимость (NPV) - 45303067,17 руб. - положительное значение показывает, что вызываемый инвестициями денежный поток в течение всей экономической жизни проекта превысит первоначальные капитальные вложения, обеспечит необходимый уровень доходности на вложенные фонды и увеличение рыночной стоимости.

Внутренняя норма доходности (IRR) - это такая ставка дисконтирования, при которой чистая текущая стоимость проекта (NPV) равна нулю. Таким образом, чистая текущая стоимость имеет положительное значение 10962694,24 при ставке 15% и отрицательное значение -14425286 при ставке 16%. Значение IRR составило 15,43%. Внутренняя норма доходности сравнивается с проектной ставкой дисконтирования: чем больше разница между ними, тем меньший уровень риска имеет проект. Анализируя полученный показатель IRR, можно сделать вывод о том, что проект не является рисковым, поскольку значение внутренней нормы доходности превышает проектную ставку дисконтирования ($15,432 > 13,7$)

Индекс рентабельности (PI) составил 1,038. Поскольку индекс рентабельности больше единицы, проект считается рентабельным.

Значения представленных показателей свидетельствуют о выгодном вложении инвестора в предприятие ООО «РМ – аквакультура».

По мнению специалистов, одной из основных причин большого внимания инвесторов к товарному выращиванию лососевых рыб в мире и России – это высокий уровень экономической эффективности. Операционная рентабельность садковой системы для выращивания атлантического лосося составляет около 40%, рентабельность инвестиций -18%, окупаемость 5-6 лет [Сравнение экономики ..., 2016].

В Мурманской области выращиванием Атлантического ГМ-лосося занимаются только две компании - «Русский лосось» и «Русская аквакультура».

Мурманская область – это единственный регион Европейского Севера России, где выращивают генетически модифицированного атлантического лосося (ГМ-лосося).

Политика импортозамещения и помощь государства – это важный стимулирующий фактор для развития аквакультуры на Европейском Севере России, в том числе лососевых рыб.

На экономическую эффективность выращивания атлантического лосося влияет ряд факторов, главным из которых – использование высококачественных кормов на основе рыбной муки и жира. Качество и цены отечественных кормов не удовлетворяют рыбоводов, поэтому они чаще предпочитают использовать зарубежные корма. В целом зависимость рыбных кормов от импорта составляет 69% (по оценке ассоциации «Росрыбхоз») [Овчинников и др., 2018].

Для придания мясу лососей естественного цвета их кормят красителями как натурального, так и синтетического происхождения-кантаксантином, которые влияют на зрение человека [Arrowsmith, Marks, 1989]. Пигмент является необходимым для эмбрионального развития лососей, обеспечивая выживаемость мальков. В природе каротиноиды попадают в тело рыб также с кормом, так как организм самой рыбы его не вырабатывает.

На снижение экономической эффективности выращивания ГМ-лосося влияют так же болезни рыб, лечение которых ведётся с помощью антибиотиков, и такая продукция аквакультуры поступает в продажу.

На Европейском Севере России процесс развития садкового выращивания лососевых находится на начальном этапе и в течение последних лет аквакультура не получила планируемого развития.

Серьёзное опасение вызывает корм для рыб, содержащий полихлорированные дифенилы (ПХД). Проведённые исследования свидетельствуют, что уровень ПХД в мясе искусственно выращенного лосося был заметно выше, чем у диких особей. Данные токсичные вещества могут накапливаться в организме гидробионтов и некоторые из них могут нарушать нормальное функционирование нервной, иммунной и репродуктивной систем [White, Birnbaum, 2009].

Генетически модифицированный лосось растёт круглый год из-за введенного гормона роста и достигает необходимых размеров за 16-18 месяцев. Исследования свидетельствуют, что использование рекомбинантного гормона у живых организмов может потенциально способствовать развитию рака. Результаты многочисленных исследований свидетельствуют, что ГМ-продукция может вызвать

проблемы с почками, печенью и поджелудочной железой, репродуктивные проблемы и негативно повлиять на кровообращение и иммунитет [Кузнецов, Куликов, 2005].

Влияние аквакультуры на природную среду очень велико. Основное негативное воздействие аквакультуры на дикие виды выражается в распространение опасных вирусов, бактерий и паразитов; в появлении в природных водоёмах чужеродных видов рыб (их выпуск), что может привести к межвидовой конкуренции; в появлении в водоёмах отдалённых популяций, что возможно будет способствовать «генетическому загрязнению».

Россия располагает большими запасами лососевых видов рыб, и промысловая добыча диких лососей обеспечит спрос на эти ценные водные биологические ресурсы. Решаются вопросы увеличения поставок рыбной продукции с Дальнего Востока в Европейскую часть России. Предполагается, что с увеличением объёмов перевозок рыбопродукции морским путём, тарифы будут снижены, что даст возможность уменьшить цены на рыбную продукцию [Васильев, Александрова, 2021].

Территория Кольского полуострова обладает огромным водным потенциалом для развития аквакультуры, но температура природных вод Мурманской области несколько ниже, чем в Карелии и северной Норвегии. Исследования рыбоводов свидетельствуют, что при более низкой температуре расход кормов увеличивается, и себестоимость продукции товарного выращивания возрастает.

Несмотря на раскрытые в статье серьёзные опасения по поводу выращивания и потребления Атлантического ГМ-лосося в мире и в России, существует спрос на него. Выявлена возможность обеспечения полного импортозамещения лососевой продукции, поступающей ранее из Норвегии, совместными поставками на российский рынок продукции с предприятий товарного выращивания Европейского Севера России и Дальнего Востока.

По мнению экономистов ВНИРО, несмотря на низкие закупочные цены отечественных кормов, по сравнению с зарубежными, экономическая эффективность их ниже, чем зарубежных.

Рассчитанные инвестиционные показатели предприятий товарного выращивания подтверждают инвестиционную привлекательность развития аквакультуры Европейского Севера России, в связи с этим, академическим и отраслевым институтам в тесном сотрудничестве с рыбоводами акакультурных хозяйств, необходимо продолжить широкомасштабные исследования по развитию товарного выращивания ценных видов водных биологических ресурсов на этой территории.

Список использованных источников

1. Агеев А.В. 2018. Состояние и перспективы мирового и отечественного производства кормов для объектов аквакультуры, производства и потребления рыбной муки // Рыбное хозяйство. №5. С.81-85.
2. Аквакультура в Европе: экономический обзор. 2019. Доступно через: <https://fishretail.ru/news/akvakultura-v-evrope-ekonomicheskij-obzor-401293>. 25.12.2020.
3. Александрова М.А. 2017. К вопросу об обеспечении продовольственной безопасности страны // Экономика и предпринимательство. №4-1 (81). С. 231-237.
4. Алексеев А. 2019. Какую пользу приносит и какой вред наносит выращивание лосося // Коммерсантъ. 24.08.2019. Доступно через: [fishnet.ru>news/aquaculture_news/86112.html](https://fishnet.ru/news/aquaculture_news/86112.html).
5. Алексеев М.Ю., Зубченко А.В. 2017. Причины депрессивного состояния стада Атлантического лосося (сёмги) реки Варзуга (Кольский полуостров) // Учёные записки Петрозаводского государственного университета. №2 (163). С. 16-23.
6. Анохина В.С. 2012, Рыбоводно-биологическая оценка заводского выращивания гольца озёрного на предприятиях Мурманской области // Вестник МГТУ, Т. 15, №3, с.493–504.
7. Анохина В.С., Виноградов А.С. 2014. Культивирование норвежского лосося в специфических условиях Западного Мурмана // Рыбное хозяйство. №5. С. 80-85.
8. Бурлаченко И.В., Яхонтова И.В. 2015. Рыбоводные технологии в искусственном воспроизводстве: современное состояние, проблемы, решения // Труды ВНИРО. Т. 153. С. 137-153.
9. Васильев А.М., Александрова М.А. 2021. Проблемы и перспективы развития марикультуры Атлантического лосося в Российской Арктике // Север и Арктика. №43. С. 5-18.
10. Вовченко Е. 2012. Эксперты расходятся в оценках перспектив строительства лососевых рыбопроизводных заводов на Сахалине. Доступно через: <https://ecosakh.ru/2012/04/13/rybackaya-gazeta-za-aprel-2012-g-statya-e-vovchenko>. 17.12.2020.
11. Воробьёв В.В., Проскура Д.Ю. 2018. Основа развития промышленной марикультуры – эффективная комплексная переработка культивируемых гидробионтов // Рыбное хозяйство. №1. С.87-91.
12. Воробьева И.К., Карасева Т.А. 2021. Аквакультура / ПИНРО. Путь к столетию 2021 /Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича); Сост. Л.И. Пестрикова; отв. ред. В.А. Мухин, - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, с.172-180.

13. Глобальный голод продолжает расти, говорится в новом докладе ООН. 2018. Доступно через: <https://ru.wfp.org/news/globalnyy-golod-prodolzhaet-rasti-govoritsya-v-novom-doklade-oon>. 27.08.2021.
14. Журавлева Н.Г. 2005 Академическая наука – лососеводству Мурмана // Рыбное хозяйство. №2. С. 66-67.
15. Ежегодник ФАО по статистике рыболовства и аквакультуры. 2018. Доступно через: <http://www.fao.org/fishery/statistics/yearbook/en>. 03.01.2021.
16. Корма для рыбы: современные решения. 2015. // Рыбная сфера. № 2 (13). Доступно через: https://www.fishnet.ru/news/aquaculture_news/49525.html. 24.08.2021.
17. Кузнецов В.В., Куликов А.М. 2005. Генетически модифицированные организмы и полученные из них продукты: реальные и потенциальные риски // Российский химический журнал. Т. 49. № 4. С. 70-83.
18. Карасев А.Б. 2003. Каталог паразитов рыб Баренцева моря. Мурманск: изд-во ПИНРО. 149 с.
19. Макаревич П.Р., Облучинская Е.Д., Дворецкий А.Г., Журавлева Н.Г. 2018 Современные тенденции развития и культивирования нетрадиционных объектов аквакультуры (арктический голец, камчатский краб, морской ёж) и технологии переработки гиробионтов // Вестник МГТУ. Т. 21. №2. С. 355-370.
20. Митенев В.К., Карасев А.Б. 1997. Паразиты лососевых рыб Мурманской области. Мурманск: изд-во ПИНРО. 65с.
21. Митенев В.К., Шульман Б.С. 1999. Паразиты рыб водоёмов Мурманской области. Мурманск: изд-во ПИНРО. 73с.
22. Митенев В.К. 2000 Паразиты карповых рыб Cyprinidae Кольского Севера (фауна, экология, зоогеография). Мурманск, изд-во ПИНРО. 84 с.
23. Митенев В.К. 2003 Паразиты сиговых рыб Кольского Севера (фауна, экология, зоогеография). Мурманск: изд-во ПИНРО. 135с.
24. Михайленко В.Г. 1992 Разведение арктического гольца: Рекомендации по разведению озёрной формы арктического гольца. Апатиты: КНЦ РАН. 44 с.
25. Мировое производство аквакультуры (по материалам ФАО). 2020. Статистический сборник, М.: ВНИРО. 193с.
26. Мировое производство рыбной продукции (по материалам ФАО). 2021. Статистический сборник. М.: ВНИРО. 274 с.
27. Никандров В.Я., Павлисов А.А., Шиндавина Н.И., Лукин А.А., Голод В.М., Липатова М.И. 2018. Арктический голец – перспективный объект аквакультуры Севера России // Арктика: Экология и экономика. №3(31). С. 137-142.
28. Норвежский лосось в 5 раз вреднее и токсичнее, чем любые другие продукты, - утверждают экологи. 2015. Доступно через: <https://roscontrol.com/journal/news/norvegskiy-losos-v-5-raz-vrednee-i-toksichnee-chem-lyubie-drugie-produkti-utverdayut-ekologi/>. 26.08.2021.
29. Овчинников А.С., Скоков Р.Ю., Сейдалиев Т.А., Петрухина Л.С., Уланов Е.В. 2018. Управление эффективным импортозамещением кормов в отечественном рыбном хозяйстве // Рыбное хозяйство. №6. С.67-71.
30. Распоряжение Правительства РФ от 26 ноября 2019 г. № 2798-р «Об утверждении стратегии развития рыбохозяйственного комплекса РФ на период до 2030 г. и плана мероприятий по её реализации». Доступно через: <http://government.ru/docs/38448/> 25.08.2021.
31. Регулярным перевозкам рыбы по Севморпути помогут субсидии и загрузка обратных рейсов. 2020. Доступно через: <https://tass.ru/ekonomika/8542475>. 26.08.2021.
32. Сравнение экономики и экологичности моделей с установкой замкнутого водоснабжения (УЗВ) и садковой системы для выращивания Атлантического лосося. 2016. Доступно через: <https://aquavitro.org/2016/04/23/sravnenie-ekonomiki-i-ekologichnosti-modelej-uzv-i-sadkovej-sistemy-dlya-vyrashhivaniya-atlanticheskogo-lososya/>. 25.08.2021.
33. Терехин Ю.В. 1984. Рекомендации по искусственному разведению гольцов на рыбоводном заводе «Имандра» Мурманской области. Мурманск: ПИНРО. 10 с.
34. Черницкий А.Г., Матишов Г.Г., Ермолаев В.В. 1987. Возможность использования арктического гольца для товарного лососеводства в Баренцевом море. Апатиты: Кольский филиал АН СССР. 37с.
35. Arrowsmith P.N., Marks R.G. 1989. Visual, refractive and keratometric results of radial keratotomy. Five-year follow up // Arch. Ophthalmol, V. 107 (4). pp. 506–511.
36. Gunnarsson S., Imsland A.K., Siikavuopio S.I., Árnason J., Gústavsson A., Thorarensen H. 2012. Enhanced growth of farmed Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) following a short-day photoperiod // Aquaculture. V. 350-353. P. 75–81.
37. Jeuthe H., Brännäs E., Nilsson J. 2013. Effects of egg size, maternal age and temperature on egg, viability of farmed Arctic charr // Aquaculture. V. 408-409. pp. 70–77.

38. Schwenteit J.M., Breithaupt A., Teifke J.P, Koppang E.O., Bornscheuer U.T, Fischer U., Gudmundsdottir B.K. 2013. Innate and adaptive immune responses of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*, L.) during infection with *Aeromonas salmonicida* subsp. *Achromogenes* and the effect of the AsaP1 toxin // *Fish Shellfish Immunology*. V. 35. Is. 3. pp. 866–873.
39. Siikavuopio, S.I. Sæther B.-S., Skybakmoen S., Uhlig C., Haugland E. 2009. Effects of a simulated short winter period on growth in wild caught Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) held in culture // *Aquaculture*. V. 287. pp. 431–434.
40. White S.S., Birnbaum L.S. 2009. An Overview of the Effects of Dioxins and Dioxin-Like Compounds on Vertebrates, as Documented in Human and Ecological Epidemiology // *J. of Environmental Science and Health. Part C. Environmental Carcinogenesis and Ecotoxicology Reviews*. V. 27. pp. 197-211.

ОПЫТ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В УСЛОВИЯХ ПЛЕМЕННОГО ФОРЕЛЕВОДЧЕСКОГО ЗАВОДА «АДЛЕР»: ПОЛУЧЕНИЕ МЕЖРОДОВЫХ ГИБРИДОВ, ТРИПЛОИДОВ И ОДНОПОЛЫХ РЫБ

¹Артамонова В.С., ²Кондратенко Я.В., ¹Махров А.А., ²Пегливанян С.М., ³Рольская К.С.,
³Рольский А.Ю., ²Степанова А.Н., ⁴Степанова Е.В., ²Янковская В.А.

¹ Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской Академии Наук, г. Москва,
Российская Федерация

² АО «Племенной форелеводческий завод «Адлер», г. Адлер, Российская Федерация

³ Полярный филиал «Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и
океанографии» (ФГБНУ «ПИНРО» им. Н.М. Книповича), г. Мурманск, Российская Федерация

⁴ ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет» (АГТУ), г. Астрахань,
Российская Федерация

Аннотация. В работе подведены итоги многолетних производственных экспериментов по использованию генетических методов для повышения эффективности форелеводства. На первом этапе работы были получены жизнеспособные триплоидные гибриды радужной форели породы адлерская янтарная и кумжи, которые нашли применение в качестве декоративных рыб. На втором этапе велись эксперименты по получению триплоидов радужной форели; в результате найден режим воздействия высоким давлением на икру, при котором доля триплоидных особей составила 100 %. На третьем этапе работы отработана методика получения групп рыб, состоящих только из самок; в сочетании с триплоидизацией этот метод позволяет получить рыб с неразвитыми гонадами, которые не «лошают» и не замедляют рост из-за созревания.

Ключевые слова. Полиплоидия, лососевые, рыбоводство, гормоны, стерилизация.

EXPERIENCE IN THE EFFECTIVE APPLICATION OF GENETIC METHODS AT THE TROUT BREEDING PLANT "ADLER": FARMING OF INTERGENERIC HYBRIDS, TRIPLOIDS AND ALL- FEMALE OFFSPRING

¹Artamonova V.S., ²Kondratenko Ya.V., ¹Makhrov A.A., ²Peglivanyan S.M., ³Rolskaya K.S.,
³Rolskiy A.Yu., ²Stepanova A.N., ⁴Stepanova E.V., ²Yankovskaya V.A.

¹ Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian
Federation

² JSC Trout Breeding Plant "ADLER", Adler, Russian Federation

³ Polar Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI "PINRO"
named after N.M. Knipovich), Murmansk, Russian Federation

⁴ Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation

Abstract. This paper summarizes the results from long-term industrial experiments on the application of genetic methods that aimed to enhance the trout breeding efficiency. The first stage of research activities resulted in obtaining viable triploid hybrids of rainbow trout of strain Adler Amber and brown trout, which were later farmed as ornamental fish. The second stage involved experiments that aimed to farm rainbow trout triploids. These experiments resulted in finding a mode of high-pressure shock treatment on fish eggs whereby the portion of triploid individuals was 100 %. At the third stage of research activities, we worked out and developed a method for obtaining all-female offspring. Together with triploidisation, this method allows farming fish with immature gonads, which are not exposed to deterioration due to maturation and spawning activity and do not slow down their growth.

Keywords. Polyploidy, salmonids, fish breeding, hormones, sterilization.

Введение. АО «Племенной форелеводческий завод «Адлер» (далее племзавод «Адлер») снабжает оплодотворенной икрой и молодь радужной форели рыбоводные хозяйства в

разных регионах Российской Федерации и в нескольких соседних государствах. Для успешного выращивания форели в разнообразных условиях среды необходимо поддерживать и увеличивать ее генетическое разнообразие. Для этого методами традиционной селекции за десятилетия создана «линейка» пород радужной форели, различающихся временем нереста [1], в также хорошо дифференцированных генетически [2]. Однако, выведение новых пород – процесс, занимающий десятилетия. Между тем, быстро меняющаяся экономическая ситуация требует быстро изменять характеристики выращиваемых рыб. Это позволяют современные генетические методы. Поскольку федеральным законом № 358-ФЗ от 3 июля 2016 г. в России запрещено промышленное выращивание и разведение генетически модифицированных растений и животных, мы использовали методы хромосомной инженерии.

Гибридизация кумжи и радужной форели. Метод триплоидизации часто позволяет получить жизнеспособных гибридов в тех случаях, когда диплоидные гибриды нежизнеспособны. В частности, в отличие от диплоидных, жизнеспособны триплоидные гибриды радужной форели и кумжи [3-10]. Для получения этих гибридов нами использованы самки породы адлерская янтарная, имеющие необычную для радужной форели светлую окраску; для триплоидизации применен тепловой шок [11].

Полученные гибриды имели очень разную окраску, среди них были синие, коричневые, белые, а также особи, похожие по расцветке на карпов кои. Эти рыбы успешно используются в декоративном рыбоводстве. Кроме того, как отмечено рыбоводами, они сильно сопротивляются при поимке – это затрудняет их товарное выращивание, но делает их прекрасными объектами для спортивной рыбалки. В то же время, эти рыбы имеют и ряд недостатков: в частности, имеются очень существенные различия в темпе роста между отдельными особями, а также для них характерна значительная гибель на ранних стадиях развития. В связи с этим в хозяйстве «Адлер» были начаты эксперименты по получению внутривидовых триплоидов.

Эксперименты по триплоидизации радужной форели. За рубежом триплоидизация представителей разных видов лососевых рыб используется очень широко [12-14], но в России опыт получения внутривидовых триплоидов лососевых ограничен [15-18].

Нами проведена серия экспериментов по получению триплоидов разных пород радужной форели с использованием нескольких методов термошока и высокого давления. Оказалось, что при применении для триплоидизации термического шока возникают серьезные проблемы. Его эффективность определяется различием между «фоновой» температурой воды и температурой при термошоке. Поскольку температура нереста разных пород форели различается, необходимо подбирать режим триплоидизации для каждой породы отдельно, а также учитывать межгодовые колебания температуры воды. Кроме того, известно, что при использовании термошока даже в случае правильно подобранных условий, наблюдается значительный отход икры, а выход триплоидов не превышает 80% [13, 14].

На племзаводе «Адлер» эти проблемы были решены путем освоения методики триплоидизации за счет повышения давления. В соответствии с этой методикой оплодотворенную икру помещают в барокамеру и после формирования веретена редукционного деления мейоза все еще диплоидной икринки разрушают его путем резкого повышения давления. Для этого используется специализированный аппарат высокого давления TRC-APV-M-2.7L (TRC-APV, Aqua Pressure Vessel, TRC Hydraulics inc., Dieppe, Canada). Серия экспериментов позволила подобрать режим шокового воздействия на икру, при котором доля триплоидных особей составила 100 %, при этом отход в эксперименте за весь период инкубации икры был только на 6,7 % больше, чем в контроле.

Внутривидовые триплоиды рыб обычно стерильны, что предотвращает образование популяций чужеродных видов в природных водоемах в результате «побега» выращиваемых рыб (обзор: [19]). Однако, если у самок гонады не развиты, то у самцов имеются недоразвитые гонады, где вырабатывается неполноценная сперма, поэтому самцы могут «лошась», то есть терять свои товарные качества в период нереста диплоидных рыб. Для решения этой проблемы целесообразно проводить триплоидизацию на группах рыб, представленных только самками. Методика получения таких однополых рыб также отработана на АО «Племенной форелеводческий завод «Адлер».

Получение однополых рыб. Получение групп рыб, представленных только самками, эффективно не только в сочетании с триплоидизацией. Многие товарные хозяйства предпочитают выращивать диплоидных самок, а не диплоидных разнополых рыб, поскольку самки дают икру, которая высоко ценится. Кроме того, побег самок с хозяйства менее опасен для экосистем, чем побег разнополых рыб, поскольку такие особи не могут основать в естественном водоеме популяцию чужеродного вида. Не удивительно, что за рубежом активно разрабатываются методики переопределения пола радужной форели [20-27]; в нашей стране такие работы велись лишь в небольших масштабах [28, 29].

Метод гормонального переопределения пола, используемый на племзавод «Адлер», состоит из двух этапов, разделенных длительным промежутком времени. На первом этапе группу личинок радужной форели, состоящую из самок и самцов с соотношением полов в норме (1:1), кормят комбикормом с добавлением гормона (андрогена) с момента начала перехода на внешнее питание в течении 50-80 суток. В результате в этой группе рыб наряду с генетическими самцами появляются самки с фенотипом самцов (реверсанты). На втором этапе генетических самок, функционирующих как самцы-реверсанты, скрещивают с обычными самками и получают однополое потомство, представленное только нормальными самками.

Получение и содержание реверсантов занимает длительное время и требует финансовых затрат, зато такой способ получения однополого потомства исключает попадание гормонов в организмы людей – потребителей однополых рыб.

Заключение. Таким образом, в настоящее время в хозяйстве АО «Племенной форелеводческий завод «Адлер» используются все основные генетические методы, позволяющие улучшить потребительские качества выращиваемой форели и разнообразить производимую продукцию. В этом отношении завод ничем не уступает зарубежным племенным хозяйствам.

Список использованных источников

1. Породы радужной форели (*Oncorhynchus mykiss* W.). М.: ФГНУ «Росинформагротех». 2006. 316 с.
2. Генетическая дифференциация пород радужной форели (*Parasalmo mykiss*), разводимых в Российской Федерации/В.С. Артамонова [и др.]// Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. – 2016. – Вып. 73. – С. 25-45.
3. Production of viable hybrids in salmonids by triploidization/B. Chevassus [et al.]// Genet. Sel. Evol. – 1983. – V. 15, № 4. – P. 519-532.
4. Increased survival in salmonid hybrids by induced triploidy/P.D. Scheerer, G.H. Thorgaard// Can. J. Fish. Aquat. Sci. – 1983. – V. 40. – P. 2040-2044.
5. Effect of polyploidization on survival of sea, brook, and rainbow trout hybrids during incubation and early feeding period/S. Dobosz, K. Goryczko// Acta Ichthyologica et piscatoria. – 1988. – V. 18, Fasc. 2. – P. 19-22.
6. Performances of auto and allotriploids in salmonids. I. Survival and growth in fresh water farming/E. Quillet [et al.]// Aquat. Living. Resour. – 1988. – V. 1. – P. 29-43.
7. Гибрид форели и кумжи, как объект индустриального рыбоводства/А.В. Гарин, В.В. Дума// IV Всесоюз. совещ. по рыбовод. использ. теплых вод (октябрь 1990 г., г. Курчатова Курской области). Тез. докл. М. 1990. С. 127-128.
8. Viability and development of diploid and triploid salmonid hybrids/A.K. Gray [et al.]// Aquaculture. – 1993. – V. 112. – P. 125-142.
9. Paternal variation in juvenile survival and growth of the triploid hybrid between female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) and male brown trout (*Salmo trutta* L.)/J.M. Blanc// Aquaculture Research. – 2003. – V. 34. – P. 205-210.
10. Farming evaluation of the 'brownbow' triploid hybrid (*Oncorhynchus mykiss* x *Salmo trutta*)/J.M. Blanc, P. Maunas// Aquaculture International. – 2005. – V. 13. – P. 271-281.
11. Получение декоративных форм лососевых рыб/А.А. Махров [и др.]// Рыбное хозяйство. – 2011. – № 1. – С. 68-70.
12. Артамонова В.С., Махров А.А. 2015. Генетические методы в лососеводстве и форелеводстве: от традиционной селекции до нанобиотехнологий. М.: Товарищество научных изданий КМК. 128 с.
13. Искусственная полиплоидия у рыб и возможности её использования в рыбоводстве/Б.И. Гомельский, А.С. Грунина// Рыбное хоз-во. Обзорная информация. Серия: Рыбохозяйственное использование внутренних водоёмов. – 1988. – Вып. 1. – 54 с.
14. Benfey T.J. 2009. Producing sterile and single sex populations of fish for aquaculture // New Technologies in Aquaculture: Improving Production Efficiency, Quality and Environmental Management / Eds. G. Burnell, G. Allan. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd., P. 143–164.
15. Индукция триплоидии у тихоокеанских лососей (Salmonidae)/Е.В. Черненко// Вопросы ихтиологии. – 1985. – Т. 25, Вып. 4. – С. 561-567.
16. Индукция полиплоидии термошоком в раннем эмбриогенезе лосося/Ю.П. Зелинский [и др.]// Экологическая физиология и биохимия рыб. Тез. докл. VII Всесоюз. конф., Ярославль, май 1989 г. Рыбинск. 1989. Т. 1. С. 152-154.
17. Выращивание молоди триплоидной радужной форели/В.В. Дума, А.В. Гарин// Рыбное хоз-во. – 1991. – № 2. – С. 42.

18. Особенности развития гонад у искусственно выращенной триплоидной и диплоидной беломорской горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum)/В.С. Артамонова [и др.]// Сибирский экологический журнал. – 2018. – № 3. – С. 366-377.
19. Генетические методы борьбы с чужеродными видами/А.А. Махров [и др.]// Российский журнал биологических инвазий. – 2014. – № 2. – С. 110-126.
20. Optimization of treatment regimes for controlled sex differentiation and sterilization in wild rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson) by oral administration of 17 α -methyltestosterone/I.I. Solar [et al.]// Aquaculture. – 1984. – V. 42. – P. 129-139.
21. Effect of methyltestosterone on sex differentiation and gonad morphogenesis in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* /M. Cousin-Gerber M. [et al.]// Aquat. Living Resour. – 1989. – V. 2. – P. 225-230.
22. The production of functional sex-reversed male rainbow trout with 17 α -methyltestosterone and 11 β -hydroxyandrostenedione/G. Feist [et al.]// Aquaculture. – 1995. – V. 131. – P. 145-152.
23. The effects of 17 α -methyltestosterone and 11 β -hydroxyandrostenedione on the development of reproductive system in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum)/K. Demska-Zakęs [et al.]// Archives of Polish Fisheries. – 1999. – V. 7, Fasc. 2. – P. 227-235.
24. Effects of Different Hormones on Sex Reversal of Rainbow Trout (*Oncorhynchus Mykiss* Walbaum) and Production of All-Female Populations/ H.H. Atar [et al.]// Biotechnology & Biotechnological Equipment. – 2009. – V. 23. – P. 1509-1514.
25. Effect of 17- α -methyltestosterone on the sex reversal of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)/M.M. Kashe [et al.]// Journal of Animal Environment. – 2021. – V. 13, № 2. – P. 295-302.
26. Investigation of sexual maturity and change in gonadosomatic index of sex reversed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) treated by oral 17 alpha methyl testosterone/A. Rastiannasab, E. Kazemi// International Journal of Aquatic Research and Environmental Studies. – 2022. – V. 2, № 2. – P. 11-15.
27. Effect of the hormone 17 α - methyl testosterone on the sexual reversal of trout (*Oncorhynchus mykiss*)/D. Roca [et al.]// Rev. Agrop. Sci. & Biotech. – 2023. – V. 3, № 1. – P. 11-19.
28. Получение половых реверсантов у лососей *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792)/К.В. Метальникова// Известия КГТУ. – 2016. – № 40. – С. 11-22.
29. Метальникова К.В., Бурцев И.А., Слизченко А.Г. 1989. Методические рекомендации по получению однополого женского потомства стальноголового лосося. М.: ВНИРО. 13 с.

Подготовка статьи проведена в рамках госзадания (тема 6: Экология и биоразнообразие водных сообществ 0109-2018-0076 АААА-А18-118042490059-5).

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АСТАКСАНТИНА В ПРОДУКЦИОННЫХ КОРМАХ НА ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТИЛЯПИИ

¹Ахмеджанова А.Б., ^{1,2} Пономарев С.В., ¹Федоровых Ю.В., ¹Левина О.А., ¹Дутиков Е.А.,
¹Терганова Н.В.

¹Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Российская Федерация

²Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ),
г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В данном научном исследовании рассматривается опыт применения астаксантина в кормлении сеголеток тилапии, и его влияние на физиологическое состояние особей. В работе использован набор применяемых в рыбохозяйственных исследованиях методов – вариационной статистики и гематологических тестов. Полученные в ходе исследования данные, свидетельствуют о том, что использование астаксантина в концентрации 20,0 мг на 1 кг корма дает наилучшие показатели физиологического состояния сеголеток тилапии. Анализируя данные, полученные после завершения экспериментальных работ, установлено достоверное повышение уровня концентрации гемоглобина в опытном варианте в 1,3 раза в сравнение с контрольным вариантом.

Ключевые слова. Кормление, аквакультура, астаксантин, гематологические показатели, тилапия.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE APPLICATION OF ASTAXANTHIN IN PRODUCTION FEED ON THE HEMATOLOGICAL INDICATORS OF TILAPIA

¹Akhmedzhanova A.B., ^{1,2} Ponomarev S.V., ¹Fedorovykh Yu.V., ¹Levina O.A.,
¹Dutikov E.A., ¹Terganova N.V.

¹Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation

²Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky (PKU),
Moscow, Russian Federation

Abstract. This scientific study examines the experience of using astaxanthin in feeding tilapia fingerlings, and its effect on the physiological state of individuals. The work used a set of methods used in fisheries research - variation statistics and hematological tests. The data obtained during the study indicate that the use of astaxanthin at a concentration of 20.0 mg per 1 kg of feed gives the best indicators of the physiological state of tilapia fingerlings. Analyzing the data obtained after the completion of the experimental work, a significant increase in the level of hemoglobin concentration in the experimental variant by 1.3 times was established in comparison with the control variant.

Keywords. Feeding, aquaculture, astaxanthin, hematological parameters, tilapia.

При разработке состава рецептов комбинированных кормов, помимо их сбалансированности по основным питательным веществам, значительное внимание уделяется адекватному использованию в них различных биологически активных веществ (БАВ), к числу которых относятся природные пигменты каротиноиды. Они играют различную роль в метаболизме рыб и также являются выраженными антиоксидантами. Каротиноиды защищают организм от действия свободных радикалов, которые оказывают повреждающее действие на мембраны клеток рыб [1].

Астаксантин – ксантофилловый каротиноид, природное вещество, которое достаточно широко распространено в природе. Астаксантин показывает более высокую активность, чем другие антиоксиданты, поскольку благодаря своей химической структуре он связывает внутреннюю и наружную клеточные мембраны [2].

Экспериментальные работы проводили на базе Инновационного центра «Биоаквапарк – НТЦ аквакультуры» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет». Объектами исследования послужили сеголетки мозамбикской тилапии (*Oreochromis Mossambicus*).

В исследовании изучалась эффективность применения природного антиоксиданта астаксантина. Исследования проводились на четырех группах. Первая группа (контроль) получала производственный корм, сбалансированный по всем элементам питания, согласно физиологическим потребностям. Вторая группа (вариант 1) получала рацион 1-й группы с добавлением природного антиоксиданта астаксантина в количестве 20 мг/кг. Третья группа (вариант 2) получала рацион 1-й группы с добавлением природного антиоксиданта астаксантина в количестве 30 мг/кг. Четвертая группа (вариант 3) получала рацион 1-й группы с добавлением природного антиоксиданта астаксантина в количестве 40 мг/кг.

Целью научного исследования явилось – оценка эффективности применения астаксантина в производственных кормах на гематологические показатели тилапии.

Выращивание проводили при одинаковой плотности посадки и постоянном температурном режиме в соответствии с биологическими особенностями вида. Кормление рыб осуществляли вручную 3 раза в светлое время суток. Суточную норму кормления определяли согласно кормовым таблицам в зависимости от средней массы рыб и температуры воды [3]. Для оценки влияния астаксантина в составе комбикорма для молоди тилапии исследовали динамику физиологических показателей крови. Оценить состояние организма в предложенных условиях выращивания можно по физиолого-биохимическим показателям крови, которые выступают в качестве специфических индикаторов физиологических или патологических изменений организма. Важнейшим элементом реализации дыхательной функции является уровень гемоглобина. Снижение концентрации гемоглобина является симптомом функциональной напряженности в системе обеспечения организма кислородом [4]. Результаты анализа гематологического состояния молоди тилапии представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Гематологические показатели крови сеголеток тилапии
(числитель – начало эксперимента, знаменатель – конец эксперимента) (n=40)

| Показатель | Контроль | Вариант № 1 | Вариант № 2 | Вариант № 3 |
|-----------------|----------|-------------|-------------|-------------|
| Гемоглобин, г/л | 48,8±1,5 | 46,2±2,1 | 50,9±2,3 | 48,9±1,9 |
| | 55,8±3,8 | 70,4±5,4** | 66,3±3,4* | 67,6±4,7* |
| СОЭ, мм/ч | 2,8±0,6 | 3,2±0,8 | 3,5±0,3 | 3,4±0,2 |
| | 2,7±0,3 | 2,3±0,7 | 2,6±0,4 | 2,5±0,8 |

Примечание: при * p<0,05, ** p<0,01 – различия достоверны

Анализируя данные, полученные после завершения экспериментальных работ, установлено достоверное повышение уровня концентрации гемоглобина в вариантах 1, 2, 3 на 14,6; 10,5 и 11,8 г/л соответственно по сравнению с контрольной группой. При добавлении в рацион астаксантина уровень гемоглобина был выше у опытных вариантов в сравнении с контрольной выборкой, это свидетельствует о положительном влиянии антиоксиданта на обмен веществ исследуемых рыб.

По показателю СОЭ в вариантах исследования различия не выявлены (p>0,05). Однако установлено, что в трех опытных группах выявлена тенденция к снижению показателя к концу экспериментальных работ. Так, у рыб первой опытной группы скорость оседания эритроцитов снизилась с 3,2 до 2,3 мм/ч, в то время как в контрольном варианте данный показатель остался практически на прежнем уровне и составил 2,7 мм/ч. Необходимо отметить, что во всех вариантах выращивания СОЭ не превышала нормативные показатели, что может свидетельствовать об отсутствии воспалительных процессов и физиологических изменений в организме выращиваемых рыб [5].

Анализ лейкоцитарной формулы крови так же подтвердил хорошее физиологическое состояние экспериментальных групп рыб (табл. 2).

Таблица 2 – Лейкоцитарная формула крови сеголеток тилапии (n=40)

| Показатель | Лимфоциты | Моноциты | Эозинофилы | Нейтрофилы | Базофилы |
|-------------|------------|-----------|------------|-------------|-----------|
| Контроль | 78,85±2,15 | 2,45±0,53 | 3,16±0,72 | 14,17±0,74* | 1,37±0,14 |
| Вариант № 1 | 77,82±1,04 | 2,97±0,11 | 3,83±0,94 | 13,40±0,13 | 1,98±0,29 |
| Вариант № 2 | 78,01±1,33 | 2,88±0,35 | 3,89±0,80 | 13,64±0,22 | 1,58±0,09 |
| Вариант № 3 | 77,53±1,19 | 2,59±0,44 | 3,99±0,81 | 13,95±0,14 | 1,94±0,10 |

Примечание: при * p<0,05 – различия достоверны

Дифференциальное количество лейкоцитов характеризовалось преобладанием лимфоцитов во всех вариантах исследования (рис. 1). В циркулирующей крови были выявлены пять типов лейкоцитов: лимфоциты, нейтрофилы, моноциты, эозинофилы и базофилы.

Лейкоциты – важные клетки, участвующие в иммунном ответе. При нарушении физиологического баланса организм вырабатывает больше белых кровяных телец, что говорит о лимфоцитах, как

иммунокомпетентных клетках. Максимальное количество лимфоцитов наблюдалось в мазках контрольной группы и составило $78,85 \pm 2,15$ %, но количество лимфоцитов у сеголеток мозамбикской тилапии не отличалось достоверно и варьировало в пределах $77,53 - 78,85$ %. В сравнении с опытными группами и контролем разница между содержанием лимфоцитов составляла от $0,84$ до $1,32$ % и не была статистически достоверной. В лейкоцитарном профиле крови рыб в контроле отмечено, что значительную часть лейкоцитов составляют нейтрофилы ($14,17 \pm 0,74$ %). В результате число нейтрофилов в контрольной группе было выше в $1,1$ раза, в сравнении с опытными вариантами, что, вероятно, указывает на активацию гранулопоэза в организме рыб в ответ на патологическое состояние организма, при котором нейтрофилы выделяют в кровь вещества, обладающие бактерицидными и антитоксическими свойствами. Количество моноцитов в контроле и трех опытных группах находилось на одном уровне и не превышало $2,97$ % от общего объема просчитанных клеток. Низкий процент моноцитов в лейкоцитарной формуле свидетельствует о хорошем физиологическом состоянии выращиваемых рыб [6].

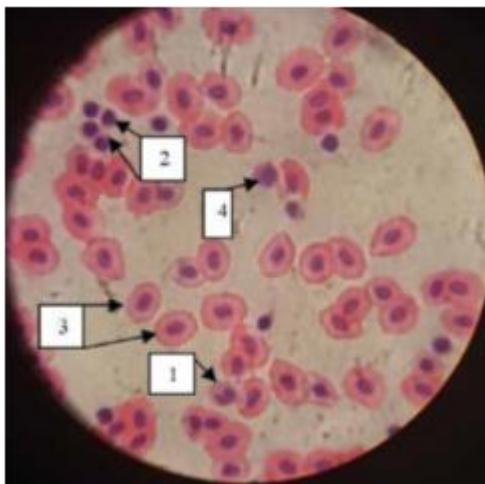


Рисунок 1 – Мазок крови сеголеток тилапии
1 – эозинофил, 2 – лимфоцит, 3 – эритроцит, 4 – моноцит

Таким образом, использование астаксантина в концентрации $20,0$ мг на 1 кг корма дает наилучшие показатели физиологического состояния сеголеток тилапии, полученными в ходе проведенных экспериментов. В целом, полученные результаты гематологических показателей согласуются с данными других авторов [7].

«Разработка и апробация инновационной технологии кормления для сохранения иммунного гомеостаза в условиях высокопродуктивного и экологически чистого аквахозяйства».

Список использованных источников

1. Грозеску Ю.Н. Новый каротиносодержащий препарат в составе комбикормов для осетровых рыб / Ю.Н. Грозеску, М.А. Митрофанова // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. - 2004.- №2 (21). - С. 81-88.
2. Пономарев С.В. Каротиноиды в аквакультуре осетровых рыб / С.В. Пономарев, Е.Н. Пономарева. - Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2010. - 148 с.
3. Пономарев С.В. Корма и кормление рыб в аквакультуре / С.В. Пономарев, А.А. Бахарева, Ю.Н. Грозеску. – М.: Моркнига, 2013. - 417 с.
4. Матишов Г.Г. Комплексный подход к проблеме сохранения и воспроизводства осетровых рыб Каспийского моря / Г.Г. Матишов, А.А. Кокоза, Г.Ф. Металлов, П.П. Гераскин. – Ростов н/Д.: ЮНЦ РАН, 2017. – 352 с.
5. Akhmedzhanova A. Bioindicators of homeostasis' constants of growing conditions of warm-water aquaculture objects in the context of obtaining marketable products / A. Akhmedzhanova, E. Evgrafova, Y. Fedorovykh, L. Lagutkina, S. Ponomarev and O. Levina // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – № 937. – 1755 – 1315. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/937/3/032032/meta> – Текст: электронный (дата обращения 05.08.2023).

6. Иванов А.А. Гомеостаз внутренней среды гидробионтов: видовые особенности хладнокровных зоотехния и ветеринарная медицина / А.А. Иванов, Г.И. Пронина, Н.Ю. Корягина, А.О. Ревякин // Известия ТСХА. – 2013. –№ 3. – С. 75 – 88.
7. Васильева Е.Г. Изменения показателей крови тилапии под влиянием электромагнитного поля / Васильева Е.Г., Быстрякова Е.А. // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2009. – № 1. – С. 119 – 120.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда, проект № 22-76-00023

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДЫ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА СОСТОЯНИЕ РЫБЫ

¹Беседина А.В.

¹Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. Данная статья исследует вопрос загрязнения воды и ее влияния на качество рыбы. Авторы обращают внимание на уровень загрязнения воды вследствие промышленных выбросов, сельского хозяйства и других антропогенных факторов. Они анализируют окружающую среду, представляющую рыбные водоемы, и оценивают содержание различных загрязнителей, таких как тяжелые металлы, пестициды, пластик и другие вещества, в воде.

Ключевые слова. Выращивание, качество, токсины, установление норм, очистка, экология, безопасность.

WATER POLLUTION AND ITS IMPACT ON THE CONDITION OF FISH

¹Besedina A.V.

¹Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Annotation. This article explores the issue of water pollution and its impact on the quality of fish. The authors draw attention to the level of water pollution due to industrial emissions, agriculture and other anthropogenic factors. They analyze the environment representing the fish ponds and evaluate the levels of various pollutants such as heavy metals, pesticides, plastics and other substances in the water.

Keywords. Cultivation, quality, toxins, standard setting, cleaning, ecology, safety.

Выращивание рыбы, моллюсков, ракообразных и прочих водных организмов в специально созданных водоемах является аквакультурой. Сегодня аквакультура играет важную роль в производстве пищевых продуктов, ведь спрос на морепродукты и рыбу постоянно растет.

Однако, аквакультура сталкивается с проблемой загрязнения воды. Загрязнение воды может быть вызвано различными источниками, например, сточными водами и химическими веществами, которые попадают в водоемы из окружающей среды.

Представление о важности влияния загрязненной воды на качество рыбы не может быть недооценено. Тяжелые металлы, пестициды и промышленные отходы - все эти загрязнители могут серьезно негативно влиять на здоровье и качество рыбы.

Важно отметить, что рыбы поглощают загрязнения непосредственно из воды своего обитания. Они могут накапливать токсичные вещества в своих телах, что может привести к повышенному содержанию токсинов в мясе рыбы. Поэтому избыточное загрязнение воды может привести к содержанию токсинов в рыбе, превышающему безопасные нормы для человека.

Проблема загрязнения воды в аквакультуре имеет серьезные последствия для роста и развития рыбы. Вредные вещества в загрязненной воде вызывают стресс и заболевания, что слабит иммунную систему рыбы и делает ее более уязвимой. В результате, качество и вкус рыбы значительно ухудшаются.

Для решения этой проблемы необходимо принять меры по контролю и предотвращению загрязнения воды в аквакультурных хозяйствах. Это может включать в себя установление строгих норм и правил относительно химических веществ, постоянный мониторинг качества воды и использование технологий очистки. Только так можно обеспечить высокое качество и вкус рыбы.

Для обеспечения выращивания рыбы в водных экосистемах необходимо поддерживать экологическое равновесие. Это можно достичь, используя методы устойчивого развития, такие как ротационное выращивание рыб и применение природных фильтров и растений для очистки воды. Экологическое балансирование является важным аспектом для обеспечения высокого качества рыбы и безопасности пищевых продуктов.

Аквакультура имеет огромный потенциал в обеспечении пищевой безопасности и удовлетворении потребности в морепродуктах и рыбе. Однако, для того чтобы сохранить экологическое

равновесие и гарантировать высокое качество рыбы, необходимо тщательно контролировать и регулировать проблемы загрязнения воды.

Помимо загрязнения воды, аквакультура сталкивается и с другими проблемами. Например, их резкое увеличение может привести к перенаселению водоемов, что может способствовать распространению болезней и увеличению смертности рыб. Кроме того, использование антибиотиков и химикатов для профилактики и лечения болезней рыб может вызвать проблемы с устойчивостью к ним микроорганизмов. Что важно знать о загрязнении воды (таблица 1).

Таблица 1 – Загрязнение воды

| | |
|--|--|
| Больше пластика, чем рыбы | К 2050 году в Мировом океане будет больше пластика (по весу), чем рыбы. |
| Ежегодное количество пластика в Мировом океане | Ежегодно в Мировой океан попадает около 8млн.т пластика. |
| Спрос на воду превышает предложение | Ученые прогнозируют, что к 2030г.дефицитпресной воды может достичь 40% от мирового потребления. Другими словами, спрос на воду превысит предложение. |

Еще одна проблема, которую стоит отметить, — это влияние аквакультуры на местные экосистемы. Выброс отходов и неконтролируемый выброс в воду таких веществ, как корма, удобрения и химикаты, могут отрицательно повлиять на ее качество и состав местной фауны и флоры. Это может привести к исчезновению некоторых видов и нарушению природного баланса. Необходимо принять ряд мер для смягчения этих проблем и обеспечения устойчивости аквакультуры.

Во-первых, сбросы и выбросы в воду должны строго контролироваться и регулироваться, включая ограничение использования химикатов и использование более эффективных систем очистки воды. Кроме того, необходимо разрабатывать и внедрять новые технологии и методы выращивания, более эффективные с точки зрения использования ресурсов и снижающие негативное воздействие на окружающую среду. Также важно проводить исследования и мониторинг аквакультурных ферм для оценки их воздействия на местные экосистемы и принятия соответствующих мер для минимизации негативного воздействия. Это может включать проведение экологической оценки перед началом аквакультурной деятельности, регулярный мониторинг качества воды и состава местной фауны и флоры, а также разработку планов устойчивого развития аквакультурной деятельности.

Подведём итоги оп пути решения проблемы загрязнения воды.

Глобальный уровень:

- 1.Разработка и совершенствование международных соглашений и конвенций, регулирующих использование морских ресурсов, добычу нефти и судоходство.
- 2.Совершенствовать меры по охране водных ресурсов и созданию охраняемых территорий.
- 3.Предотвращать незаконный промысел и браконьерство.
- 4.Усилить экологический менеджмент судов.
- 5.Регулярное обследование водоемов, выявление загрязняющих веществ и меры по очистке качества воды.
- 6.Сотрудничать с международным сообществом для привлечения внимания к проблемам загрязнения окружающей среды.
- 7.Внедрить массовое использование экологически чистого топлива.
- 8.Развивать предприятия по переработке отходов в прибрежных районах.
- 9.Регулярно проводить очистку и дезинфекцию водоемов.
- 10.Совершенствовать технологи и утилизации и переработки отходов.
- 11.Сократить количество производимого и используемого мировым сообществом пластика.

Национальный уровень:

- 1.Совершенствование законодательства в области охраны водных ресурсов.
- 2.Усиление экологического контроля над деятельностью предприятий.
- 3.Создание охранных и водоохраных зон вдоль берегов водоемов.

4. Контроль в сфере услуг и операций водного грузового транспорта.
5. Просвещение населения.
6. Усилить судебное преследование действий, угрожающих водным объектам.
7. Организовать системы разделения, хранения, обработки и утилизации отходов.
8. Регулярный мониторинг водных объектов.
9. Строительство новых очистных сооружений
10. Регулирование использования удобрений

На бытовом уровне:

1. Каждый человек может повлиять на состояние водных ресурсов с помощью практики устойчивого потребления.
2. Используйте натуральные и экологически чистые бытовые моющие и чистящие средства.
3. Не выливайте лекарства в канализацию.
4. Экономьте воду, выключая ее при чистке зубов, уменьшая количество струй воды и используя водосберегающие насадки.
5. Разделяйте отходы и правильно их утилизируйте. Например, сдавайте бумагу и картон в пункт приема макулатуры, отдавайте или перерабатывайте старую одежду нуждающимся, сдавайте батарейки и лампочки в специальный пункт приема.
6. Сократите использование пластмасс. Вместо одноразовых контейнеров выбирайте многоразовые, а вместо пластиковых пакетов на кассе пользуйтесь магазинами.
7. Используйте органические удобрения для садовых участков.
8. Собирайте отходы от отдыха на природе и сдавайте их на переработку.
9. Участвуйте в субботниках и экологических акциях по уборке мусора на улицах и пляжах.

Более того, аквакультура может быть устойчивой только в том случае, если используются устойчивые и эффективные методы ведения сельского хозяйства. Например, вы можете использовать фильтры и натуральные растения для очистки воды от загрязнений и поддержания ее качества. Вы также можете использовать методы органического земледелия, исключая использование химических удобрений и пестицидов.

Заключение. В целом аквакультура является важным сектором сельского хозяйства, который может играть ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности и устойчивого развития. Однако, чтобы максимально реализовать ее потенциал, необходимо активно решать проблемы загрязнения воды, перенаселения водоемов, использования антибиотиков и химикатов, а также негативного влияния на местные экосистемы. Оптимизация процессов и контроль за ними, внедрение новых технологий и методов, а также сотрудничество между учеными, производителями и правительством являются важными шагами в решении этих проблем. Только тогда аквакультура сможет справиться с растущим спросом на морепродукты и рыбу, обеспечивая пищевую безопасность и сохраняя экологическое равновесие.

Список использованных источников

1. Никифоров-Никишин А.Л., Глебова И.А., Шатохин М.В. Аквакультура: состояние и значение отрасли для экономики России // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии, по. 9, 2018, pp. 267-273.
2. Семькин В.А., Пигорев И.Я. Проблемы современного растениеводства и пути их решения в условиях Курской области // Проблемы развития сельского хозяйства Центрального Черноземья: материалы Всероссийской научно-практической конференции. - Курск: Изд-во КГСХА, 2005. - С. 3-7.
3. Кочетков В.А. К вопросу о производстве продовольственного зерна крупяных культур в Российской Федерации // Региональный вестник. - 2015. - № 1. - С. 23-26.
4. Соловьева Т.Н., Пожидаева Н.А., Зюкин Д.А. Государственное регулирование и импортозамещение продовольственной продукции: проблемы и решения // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. - 2016. - № 11. - С. 17-20.
5. Алтухов А.И. Достижение продовольственной независимости страны на основе новой государственной аграрной политики // Региональный вестник. - 2016. - № 2. - С. 2-5.
6. Лобуз С.В. Повышение производства отечественного зерна // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. - 2015. - № 8. - С. 83-86.

АКВАКУЛЬТУРА КАК ИСТОЧНИК ОПАСНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОГО И ГЕНЕТИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОДОЁМОВ

¹Гуськов Г.Е.

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук», г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. Из-за растущей антропогенной нагрузки на ихтиофауну естественных водоёмов и в связи с постепенным истощением природных водных биологических ресурсов всё более острым становится вопрос о повсеместном развитии аквакультуры, в частности мариккультуры. Однако, не соблюдение разработанных мер по регулированию интродукции объектов аквакультуры может негативно повлиять на ихтиоценоз природных водоёмов и способствовать сокращению или даже полному исчезновению отдельных видов аборигенной ихтиофауны.

Ключевые слова. Аквакультура, мариккультура, генетическое загрязнение, биологическое загрязнение, Дон, Кубань, Азовское и Чёрное море.

AQUACULTURE AS A SOURCE OF DANGER OF BIOLOGICAL AND GENETIC POLLUTION OF NATURAL RESERVOIRS.

¹Gus'kov G.E.

¹Federal State Budgetary Institution of Science "Federal Research Centre The Southern Scientific Centre of the Russian Academy of The Sciences", Rostov-on-Don, Russian Federation

Annotation. Due to the growing anthropogenic load on the ichthyofauna of natural reservoirs and due to the gradual depletion of natural aquatic biological resources, the question of the widespread development of aquaculture, in particular mariculture, is becoming increasingly acute. However, non-compliance with the developed measures to regulate the introduction of aquaculture objects can negatively affect the ichthyocenosis of natural reservoirs and even contribute to the extinction of certain species of native ichthyofauna.

Keywords. Aquaculture, mariculture, genetic pollution, biological pollution, Don, Kuban, Azov and Black Sea.

Южный федеральный округ (ЮФО) по показателям климатических условий является наиболее благоприятным регионом для товарного рыбоводства. Большое количество водохранилищ, озёр, искусственных прудов, лиманов способствует развитию товарной аквакультуры. По данным Федерального агентства по рыболовству в 2022 г. в России на 7,5% вырос объём производства продукции товарной аквакультуры, общий объём которой составил 383,5 тыс. тонн. В Южном федеральном округе отмечен прирост в 3%, что составило более 82 тыс. тонн, а в Северо-Кавказском федеральном округе произведено 28,6 тыс. тонн аквакультуры (Федеральное агентство по рыболовству, 2022).

Основными объектами товарной аквакультуры на юге России являются осетровые, в том числе и веслонос, а также карп, форель, карась, телapia, канальный сом и др. в качестве редких – клариевые сомы. Не менее востребованными являются и не рыбные объекты: австралийский рак, японская креветка, устрицы, мидии. Однако несанкционированный выпуск отдельных представителей аквакультуры в природные водоёмы может привести к генетическому и биологическому загрязнению.

Генетическое загрязнение (таксономическое загрязнение) - явление случайного, либо добровольного внедрения генов, модифицированных или чужеродных видов в дикой популяции, посредством вертикальной передачи или горизонтального переноса.

Биологическое загрязнение - привнесение в экосистемы не типичных видов живых организмов, ухудшающих условия существования естественных биотических сообществ в результате антропогенного воздействия.

Согласно статье №50 Федерального закона от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 14.07.2022) "Об охране окружающей среды" «запрещаются производство, разведение и использование растений, животных и

других организмов, не свойственных естественным экологическим системам, а также созданных искусственным путем...» (Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ).

Ниже приведены примеры случайной или намеренной интродукции объектов аквакультуры в природные водоёмы на юге России.

Сибирский осетр *Acipenserbaerii* Brandt, 1869. Родина сибирского осетра - бассейны рек Сибири (река Енисей, Обь-Иртышский бассейн и др.), а также некоторые озера (например, о. Телецкое, о. Байкал и др.), в которых водится жилая форма *A. baerii*,

Однако известны случаи, когда особи сибирского осетра были обнаружены в Азовском море (устное сообщение Т.А.Чепурной)

Этот вид выращивают в аквакультуре на Кубани. Вероятно, случайно или намеренно *A. baerii* мог попасть в море при проведении компенсационных мероприятий. Сибирский осётр в исконных местах обитания является (в основном) полупроходным видом, однако невозможно предвидеть, как он поведёт себя в новых условиях. Вероятно, при его адаптации в Азовском море не исключено появление гибридов с русским осетром. Есть и некоторая вероятность распространения сибирского осетра и его гибридов в Чёрном море. Это связано с тем, что от 10 до 20% осетровых рыб из Азовского моря совершают нагульные миграции, формируя стада в северо-восточной части Чёрного моря (Чепурная и др., 2017). Существует запрет на выпуск русского осетра каспийской популяции в Азовское море для предотвращения генетического загрязнения.

Веслонос *Polyodon spathula* (Walbaum, 1792). Родина данного вида - Северная Америка, бассейн реки Миссисипи и реки, впадающие в Мексиканский залив. Веслонос является пресноводным видом.

В СССР веслонос культивировался с 1974 г. в южных водоемах европейской части страны. В России в аквакультуре успешно развивается и производит потомство.

Осуществлялись выпуски веслоноса в водоёмы Ставропольского края, в Краснодарское и Воронежское водохранилища. В Ростовской области отмечены поимки его рыбаками-любителями в 2015 г. в р. Сал, в 2018 г. в р. Дон. Можно предположить, что веслонос не способен каким-либо существенным образом повлиять на ихтиоценоз р. Дон и других водоемов Донского края.

Карп *Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758. Карп – одомашненная форма сазана. В результате селекции выведено большое количество различных форм этого вида, основные формы это чешуйчатый, зеркальный и голый карп.

Данный вид интродуцирован по всем континентам, без детального научного обоснования. В некоторых водоёмах карп, будучи инвазивным видом стал угрозой для многих аборигенных представителей ихтиофауны. В Южной Австралии в реке Мюррей он составляет до 80% общей биомассы рыб, а популяция эндемика мюррейской трески, интенсивно сокращается из-за прессинга карпа на кормовую базу.

В уловах в восточной части Таганрогского залива и в дельте Дона среди улова иногда попадаются фенотипически ярко выраженные чешуйчатые, зеркальные и голые карпы. Данные формы выращиваются в условиях прудовых, пастбищных хозяйств и в естественных водоёмах находится не должны. Источником такого генетического загрязнения может являться Миусский лиман, где карпов разводят в аквакультуре и оттуда возможно их проникновение в Таганрогский залив. Второй источник появления карпов в природном водоёме — это прудовые товарно-выростные хозяйства по берегам Дона и Кубани. Летом из-за аномально высоких температур в воде понижается уровень кислорода, что приводит к заморным явлениям в прудовых хозяйствах. Во избежание массовой гибели и гниения рыбы в прудах некоторые хозяйства открывали заслонки и спускали воду вместе с рыбой в реку. Такая практика в рыбохозяйственной деятельности крайне опасна для аборигенных видов рыб. Подобная интродукция представляет угрозу для генетической чистоты дикой популяции сазана, кроме того прудовые рыбы могут быть носителями различных заболеваний для других видов рыб естественных водоемов (Гуськов и др. 2020).

Возможно, большая часть сазанов в уловах являются гибридными формами, произошедшими от скрещивания сазана и чешуйчатого или других форм карпа. Однако это предположение нуждается в проверке с использованием молекулярно-генетических методов анализа.

Дикий сазан еще встречаются в водоемах республики Калмыкия и притоках нижней Волги.

Радужная форель *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792), она же микижа или стальноголовый лосось – вид лососевых рыб. Происхождение – тихоокеанское побережье Северной Америки.

Радужная форель перспективный вид аквакультуры. Помимо отменных вкусовых качеств этот вид имеет на рынке высокую стоимость. При разведении хорошо усваивает искусственные корма, быстро растет в замкнутых пространствах при значительной плотности посадки. (Гуськов, 2023).

В районе г. Сочи в январе 2022 г. в Чёрное море попало, по разным оценкам, от 20 до 300 тонн радужной форели, выращиваемой в марикультуре. Причиной послужил разрушивший морские садки шторм. Такой разбитый стихией морской садок нашли на побережье возле Адлера (Белова, 2022).

Рыбы передвигались по течению вдоль побережья и за 6 дней достигли Новороссийска и Анапы. Впоследствии форель добывалась рыбаками у Крымского полуострова в районе Феодосии, преодолев, таким образом, около 730 км.

Социальные сети были переполнены фотографиями уловов форели. В средствах массовой информации приводилась цифра 300 т., однако достаточно трудно представить какой должна быть плотность посадки форели и каких размеров должны были быть данные морские садки.

В основном посадочный материал поставляется из-за границы (США, Италия, Финляндия и др.), а в связи с санкциями такие поставки в последнее время весьма затруднительны. Пока не известна плоидность этих искусственно выведенных особей и непонятно, как они повлияют на ихтиоценоз. Особую тревогу вызывает судьба кумжи *Salmo labrax* Pallas, 1814, занесённой в Красные книги РФ и Краснодарского края. Если использовалась диплоидная форма, есть некоторая вероятность появления гибридных форм кумжи и радужной форели. У тетраплоидных особей *O. mykiss* репродуктивные функции пока детально не изучены. Если искусственно выведенная форель адаптируется к условиям Черного моря, то она из-за своей многочисленности может стать пищевым конкурентом естественной популяции кумжи *S. labrax*, вплоть до полного исчезновения последней. Так как экосистема Черного моря на данном этапе не стабильна, любые инвазивные виды могут непредсказуемо изменить баланс в ихтиофауне Черного моря (Гуськов, 2023).

Рыбы, выращиваемые в рыбоводных хозяйствах, могут быть источником опасных заболеваний. В данном случае, радужная форель может распространять такие паразитарные заболевания как триэнцефалоз и диплостомоз (Румянцев, 2007). Специалисты-ихтиопатологи, как правило, не проверяют частные хозяйства, которые занимаются марикультурой, на предмет выявления заболеваний рыб.

Помимо перечисленных выше видов, в наших природных водоемах периодически, а в водоёмах – охладителях, которые могут иметь сообщение с естественными водоемами или являются таковыми, регулярно встречаются экзотические виды рыб. Среди чужеродной ихтиофауны России отмечены канальный, американский и клариевые сомы, различные виды тилапий, цихлазомы, хромис-красавец, гамбузия, гуппи, медака, басс, солнечный окунь, единично встречаются различные виды пираний, панцирные сомы, панцирные щуки и некоторые другие виды экзотических рыб.

Учитывая вышеизложенные факты, чтобы избежать генетическое, биологическое загрязнения естественных водоемов следует разводить в аквакультуре виды, свойственные тому или иному природному водоёму.

Так для Российского побережья Чёрного моря можно рекомендовать разведение в морских садках светлого горбыля *Umbrina cirrosa* (Linnaeus, 1758). Умбина является перспективным объектом аквакультуры. Для примера, этот вид выращивают в условиях марикультуры в Турции (Черное и Средиземное море), на Кипре в Греции и т.д. (Mylonaset al. 2000; Ballarin et al. 2004; Kaspiris et al. 2005;).

Светлый горбыль растет в три раза быстрее, чем дорада или сибас при тех же условиях и на том же корме. Плотность рассадки умбрины может составлять до 50 кг / м³. Этот вид переносит колебания солёности от 5 до 30‰. *U. cirrosa* у северных берегов Черного моря является редким видом и занесен в Красные книги Краснодарского края и Республики Крым, так что при утечке аквакультурного материала, он только восполнит малочисленную дикую популяцию и не приведет к биологическому загрязнению. Стоит выращивать свой посадочный материал, полученный от местных производителей во избежание генетического загрязнения природной популяции и влияния западных санкций на развитие отечественной аквакультуры.

Список использованных источников

1. Федеральное агентство по рыболовству <https://fish.gov.ru/news/2023/02/16/rybovody-uspeshno-zavershili-2022-god-v-trojke-liderov-severo-zapadnyj-yuzhnyj-i-dalnevostochnyj-federalnye-okruga/>.
2. Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ (последняя редакция).
3. Чепурная Т.А., Реков Ю.И., Живоглядов А.А., Гуськов Г.Е. Осетровые северо-восточной части Черного моря // Материалы XIX Международной научной конференции с элементами научной школы молодых ученых «Биологическое разнообразие Кавказа и юга России», 2017. –Т. 2, С. 658–660.
4. Гуськов Г. Е., Гуськова О. С., Биологические характеристики популяции сазана *Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758 в юго-восточной части Таганрогского залива и дельте Дона // «Живые и биокосные

системы». – 2020. – № 33; URL: <https://jbks.ru/archive/issue-33/article-5>; DOI: 10.18522/2308-9709-2020-33-5.

5. Гуськов Г.Е. Распространение радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) в Чёрном море в 2022 начале 2023 гг. // В сборнике: Экологическая безопасность и сохранение генетических ресурсов растений и животных России и сопредельных территорий. Материалы XIV Всероссийской научной конференции с международным участием. Владикавказ, 2023. С. 46-51.

Белова И. Рыбаки штурмуют побережье Сочи из-за обилия форели // Российская газета. 2022. № 19(8667). <https://rg.ru/2022/01/27/reg-ufo/rybaki-shturmuiut-poberezhe-sochi-iz-za-obiliia-foreli.html>

6. Румянцев Е. А. Паразиты рыб в озерах Европейского Севера (фауна, экология, эволюция). Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ. 2007. – 52 с.

7. Mylonas C., Georgiou G., Stephanou D., Atack T., Afonso A., Zohar Y. Preliminary data on the reproductive biology and hatchery production of the shi drum (*Umbrina cirrosa*) in Cyprus. // Recent advances in Mediterranean aquaculture finfish species diversification. Zaragoza: CIHEAM, 2000. p. 303–312 (Cahiers Options Méditerranéennes; n. 47).

8. Ballarin L., Dall’Oro M., Bertotto D., Libertini A., Francescon A., Barbaro A., Haematological parameters in *Umbrina cirrosa* (Teleostei, Sciaenidae): a comparison between diploid and triploid specimens. // Comparative Biochemistry and Physiology 2004. 138:45-51.

9. Kaspiris P., Kiriakou Y., Georgiou G., Divanach P., Kentouri M., Mylonas C., Ontogeny of the shi drum *Umbrina cirrosa* (Linnaeus 1758), a candidate new species for aquaculture. // Aquaculture Research 2005. 36:1265-1272.

Публикация подготовлена в рамках государственного задания (00-23-09, номер государственной регистрации 122020100328-1) по теме ЮНЦ РАН.

РАСТИТЕЛЬНЫЕ МАСЛА В КОРМАХ ДЛЯ РЫБ

¹Дельмухаметов А.Б., ²Ромашова Ю.А.

¹ Калининградский филиал Санкт-Петербургского государственного аграрного университета, г. Полесск, Калининградская область, Российская Федерация

² Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Калининградская область, Российская Федерация

Аннотация. В статье предпринята попытка краткого обзора литературных источников, посвященных применению растительных масел в производстве кормов для рыб. Отмечено, что растительные масла могут выступать заменой рыбьего жира. В общем случае, оптимальным вариантом является замена в составе корма 50-60% рыбьего жира на масло растительного происхождения. В ряде случаев, по-видимому, возможна полная замена рыбьего жира на растительные масла без ущерба для здоровья рыб и качества конечного продукта.

Ключевые слова. Аквакультура, кормление рыб, растительные масла, альтернативные компоненты корма.

VEGETABLE OILS IN FISH FEED

¹Delmuchametov A.B., ²Romashova Y.A.

¹The Kaliningrad branch of St. Petersburg State Agrarian University,
Polesk, Kaliningrad region, Russian Federation

²Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russian Federation

Abstract. The article attempts to briefly review the articles devoted to the use of vegetable oils in the production of fish feed. Vegetable oils can be possible substitute for fish oil. In general, it is possible to replace 50-60% of the fish oil in the feed with a vegetable oil. In some cases, apparently, it is possible to completely replace fish oil with vegetable oil without affecting the health of the fish and the quality of the final product.

Keywords. Aquaculture, fish feeding, vegetable oils, alternative feeds.

Введение. Выращивание здоровой товарной рыбы в рамках индустриальной формы аквакультуры возможно только при наличии искусственных кормов хорошего качества и питательного состава при условии их соответствия физиологическим потребностям рыб на различных этапах развития, а также требованиям санитарной безопасности.

Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса России подразумевает достижение объемов производства товарной аквакультуры к 2025 году на уровне 598 тыс. тонн (необходимо, правда, отметить, что в этот объем входит продукция пастбищного лососеводства), что обуславливает необходимость значительного роста количества производимых рыбных кормов.

По итогам 2022 года производство продукции товарной аквакультуры в России увеличилось на 7%, и достигло 384 тыс. тонн. По оценкам компании «Feedlot», объем потребления кормов для рыб в России составляет в настоящее время около 250 тыс. тонн в год. Половину от этого объема составляют корма для карповых рыб. И если потребность в кормах для карповых обеспечивают отечественные производители, то 90% кормов для ценных видов рыб (лососевые, осетровые) поставляется по импорту [3].

Объем выпуска комбикормов для рыб в России за последние четыре года увеличился более чем на 60% и достиг 35 тыс. тонн по итогам 2022 года. В первом квартале 2023 года производство кормов для рыб выросло в 4 раза по сравнению с аналогичным периодом 2022 года, а в целом за первое полугодие текущего года – на 50%, составив 22,4 тыс. тонн [2].

Тем не менее, учитывая необходимость импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности, указанные объемы производства, как видно из приведенных данных, недостаточны.

Важными составляющими компонентами рыбных кормов является рыбная мука и рыбий жир. И для первого, и для второго существуют определенные сложности с доступом к качественному сырью. Кроме того, оба компонента значительно подорожали. Если в середине 2021 года качественная рыбная мука с протеином 68-72% стоила около 120 руб./кг, к концу года — уже 140 руб., то сегодня её стоимость составляет 200-210 руб./кг. То же самое можно сказать и о рыбьем жире. Если в прошлом году его приобретали по 100 руб./л, то в этом году он стоит около 200 руб./л [4].

В качестве замены рыбной муки, а также как источник липидов или отдельных незаменимых жирных кислот, в качестве энергетической добавки, используют различные растительные масла.

Цель нашего исследования — провести краткое обобщение информации из научных статей, посвященных растительным маслам, используемым в кормах для рыб; оценить перспективы их применения в современной индустрии кормопроизводства.

Материал и методы. Обзор и поиск информации осуществлялся по тематикам, смежным с темой исследования. При поиске отдавалось предпочтение источникам не старше десяти лет.

Основная часть. Растительные масла все чаще используются в производстве кормов для аквакультуры из-за их высокой доступности и из соображений экономической целесообразности.

Одними наиболее распространенных видов растительных масел, применяемых в аквакультуре являются рапсовое, подсолнечное, соевое и оливковое.

Как правило, практикуется частичная замена рыбьего жира на растительные масла, т.к. масла растительного происхождения не в полной мере удовлетворяют потребностям рыб в незаменимых жирных кислотах.

В.И. Пахомов с соавторами [6] отмечают на основе анализа литературных источников, что оптимальным вариантом является замена в составе корма 50-60% рыбьего жира на масло растительного происхождения [6,7,8,9]. При такой замене можно получить результаты, близкие к таковым при применении комбикормов с полновесным содержанием рыбьего жира. Использование же традиционных растительных масел в рационе на уровне более 60% не рекомендовано и может оказывать негативный эффект на здоровье рыб. Из традиционных растительных масел весьма эффективным в питании рыб является соевое.

Новым недорогим и перспективным источником жиров для рыб является пальмовое масло, имеющее содержание жирных кислот, сходное с животными жирами. Те же авторы, например, указывают на исследование С. Larbi Ayisi [8], который сообщает об отсутствии негативных последствий при замене 100 % рыбьего жира в рационе нильской тилляпии пальмовым маслом [6,8].

Рапсовое масло - отличный источник омега-3 (линоленовая), омега-6 (линолевая) и омега-9 (олеиновая) жирных кислот. Является богатым источником витамина Е, который одновременно является антиоксидантом. Из минеральных веществ следует упомянуть про ценнейший магний, цинк, медь, кальций, фосфор, калий. Также рапс не обделён витаминами В-группы, ретинолом, витамином К.

Соевое масло характеризуется высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот, особенно линоленовой (омега-3) и линолевой (омега-6). Одним из самых ценных компонентов масла из сои является лецитин, который нормализует работу клеточных мембран, обеспечивает защиту на клеточном уровне от различных негативных воздействий. Кроме этого, в нем в достаточном количестве присутствуют витамины группы В (холин), Е, К, минералы – цинк и железо.

В качестве примера применения рапсового и соевого масел можно привести исследование С.В. Биндюкова с соавторами [1]. Авторами была оценена возможность применения комбикормов для радужной форели с различными липидными композициями, состоящими из рыбьего жира, рапсового и соевого масел. Так, на основании проведённых исследований авторами установлено, что содержание и соотношение полиненасыщенных жирных кислот в комбикормах для радужной форели изменялось при увеличении доли рапсового и соевого масла в рецептуре. Самые высокие ростовые показатели и выживаемость при более низких затратах комбикорма выявлены у рыб, выращиваемых на кормах без замены рыбьего жира и кормах с использованием смеси рыбьего жира, рапсового и соевого масла (4, 6 и 8% соответственно). Замена в рецептах кормов рыбьего жира на растительные масла не оказала отрицательного влияния на химический состав мышечной ткани радужной форели [5].

Льняное масло также является одним из вариантов использования компонентов растительного происхождения в кормах для рыб. Так, А. А. Лютиков с соавторами [5] сообщают о возможности частичной и даже полной замены в рационе рыбной муки и рыбьего жира на соевый кормовой концентрат и льняное масло при выращивании личинок муксуна с начала питания до 130 мг. По данным авторов, молодь, получавшая экспериментальные корма с соевым кормовым концентратом и льняным маслом, показывала схожую выживаемость и среднюю массу с контрольной

группой, получавшей корм со стандартным содержанием рыбной муки и рыбьего жира. Кроме того, биохимические и гематологические показатели молоди, получавшей экспериментальные корма имели близкие значения с таковыми для молоди контрольной группы и укладывались в физиологическую норму, что может говорить о физиологической полноценности личинок. Также авторы отмечают, что анализ жирнокислотного состава корма показал, что замена половины рыбной муки на соевый белок существенным образом не отразилась на составе липидов экспериментального корма, который был сопоставим с составом контрольного корма. Полное замещение рыбной муки соевым кормовым концентратом, а рыбьего жира – льняным маслом значительно изменило содержание жирных кислот, снизив концентрацию n-3 в опытном корме до 1%. Несмотря на это выращенная молодь характеризовалась близким (или выше) содержанием незаменимых жирных кислот с контрольной молодью.

Еще одной интересной альтернативой традиционно применяемым в кормопроизводстве растительным маслам является масло рыжика посевного. Наибольшее применение в настоящее время рыжиковое масло находит при приготовлении кормов для нужд птицеводства. Тем не менее, оно может быть использовано и в кормах для рыб.

S. Nixon с соавторами [13] указывают на возможность замены рыбной муки и рыбьего жира на масло и муку из рыжика полевого в кормах для атлантического лосося. Так, по данным этих авторов, даже полная замена рыбьего жира на масло рыжика, не оказывала негативного влияния на рост атлантического лосося. Указывается, однако, на существенно более высокий уровень жира в мышечной ткани рыб при такой замене. Тем не менее, органолептические качества филе лосося были такими же, как и при кормлении обычными кормами.

Отметим также исследование M. V. Betancor с соавторами [11]. В рамках данной работы изучалось влияние включения в корма для атлантического лосося масла рыжика полевого, а также его генетически модифицированной формы. Исследование показало отсутствие негативного влияния включения рыжикового масла (полученного как из природной, так и из модифицированной формы) в рацион рыб. По окончании семи недель эксперимента рыбы всех исследованных групп рыбы всех исследованных групп достигли близкой конечной массы, демонстрировали схожие темпы роста и одинаково высокую выживаемость. Кормовой коэффициент во всех исследованных группах также был одинаков (0,9).

Исследования S. Ofori-Mensah с соавторами [12] показывает возможность успешной замены рыбьего жира на масло рыжика и такой культуры, как чиа, в рационе дорады. В результате 90-дневного опыта, где испытывались рационы с полной и частичной (60%) заменой рыбьего жира на растительные масла, были получены достаточно хорошие результаты по росту рыб (несколько ниже в группе со 100% заменой рыбьего жира на масло рыжика).

Заключение. Рыбий жир является достаточно дорогостоящим компонентом в кормопроизводстве. На основе проведенного анализа литературных источников, можно заключить, что замена рыбьего жира на растительные масла возможна без существенного ущерба для характеристик роста и выживаемости рыб. В общем случае, оптимальным вариантом является замена в составе корма 50-60% рыбьего жира на масло растительного происхождения. В ряде случаев, по-видимому, возможна полная замена рыбьего жира на рыбную муку без ущерба для здоровья рыб и качества конечного продукта.

Список использованных источников

1. Биндюков С. В., Бурлаченко И. В., Баскакова Ю. А., Артемов Р. В., Арнаутов М. В., Новоселова Ю. А., Гершунская В. В. Опыт замены рыбьего жира растительными маслами в комбикормах для радужной форели. - ТРУДЫ ВНИРО, 2022 г., Т. 187. - с. 138-148.
2. Ибатова Э. Выпуск кормов для рыб за 4 года вырос на 60%, в первом полугодии 2023 года. – на 50%. – 2023. [Электронный ресурс]. – URL: <https://feedlot.ru/novosti/vyipusk-kormov-dlya-ryib-za-4-goda-vyiros-na-60,-v-pervom-polugodii-2023-goda-%E2%80%93-na-50> (дата обращения 16.08.23).
3. Ибатова Э. Импортзамещение на рынке кормов для рыб займет более трех лет. – 2023. [Электронный ресурс]. – URL: <https://feedlot.ru/novosti/importozameshhenie-na-ryinke-kormov-dlya-ryib-zajmet-bolee-trex-let> (дата обращения 16.08.23).
4. Клепикова С. На корм рыбам. Сможет ли Россия обеспечить себя кормами для аквакультуры? //Агротехника и технологии. – 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agroinvestor.ru/interview/article/39244-na-korm-rybam-smozhet-li-rossiya-obespechit-sebya-kormami-dlya-akvakultury> (дата обращения 16.08.23).

5. Лютиков А. А., Шумилина А. К., Вылка М. М. Опыт замены рыбной муки и рыбьего жира на растительные протеин и масло в стартовых кормах для сиговых рыб // Известия КГТУ. - 2021. - №60. - С. 32-42.
6. Пахомов В. И., Хлыстунов В. Ф., Брагинец С. В., Бахчевников О. Н. Состояние и перспективы использования растительного сырья в кормах для аквакультуры (обзор). Аграрная наука Северо-Востока. - 2022;23(3). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.281-294> - с. 281-294.
7. Alexis M. N. Fish meal and fish oil replacers in Mediterranean marine fish diets, Feeding tomorrow's fish. // Cahiers Options. Méditerranéennes.- 1997. -22. - P. 183-204.
8. Ayisi C. L., Zhao J. L. Recent developments in the use of palm oil in aquaculture feeds: a review. // International Journal of Scientific & Technology Research. – 2014. -3(6). - P. 259-264.
9. Hodar A. R., Vasava R. J., Mahavadiya D. R., Joshi N. H. Fish meal and fish oil replacement for aqua feed formulation by using alternative sources: A review. // Journal of Experimental Zoology India. -2020. - 23(1). - P. 13-21.
10. Izquierdo M, Montero D, Robaina L, Caballero M, Rosenlund G and Gines R Alterations in fillet fatty acids profile and flesh quality in gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed vegetable oils for a long term period. Recovery of fatty acid profiles by fish oil feeding. // Aquaculture. – 2005. – P. 431-444.
11. M. B. Betancor, M. Sprague, S. Usher, O. Sayanova, P. J. Campbell, J. A. Napier, D. R. Tocher A nutritionally-enhanced oil from transgenic *Camelina sativa* effectively replaces fish oil as a source of eicosapentaenoic acid for fish // Scientific Reports. - 5 : 8104 | DOI: 10.1038/srep08104
12. Ofori-Mensah, S., Yıldız, M., Eldem, V., Ürkü, Ç., Kaplan, Ç. (2022). Effect of dietary inclusion of camelina or chia oil on fatty acid digestibility, histology, blood biochemistry and molecular biomarkers in juvenile gilthead sea bream (*Sparus aurata*, L.). // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. - 22(11), TRJFAS20857. <https://doi.org/10.4194/TRJFAS20857>
13. Stefanie M Hixson, Christopher C Parrish, Derek M Anderson. Full substitution of fish oil with camelina (*Camelina sativa*) oil, with partial substitution of fish meal with camelina meal, in diets for farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) and its effect on tissue lipids and sensory quality. // Food Chem. - 2014 Aug 15. - 157:51-61.doi: 10.1016

ТЕМП ЛИНЕЙНО–ВЕСОВОГО РОСТА МОЛОДИ МУКСУНА И ЧИРА, ВЫРАЩЕННЫХ НА ИСКУССТВЕННЫХ КОРМАХ, ОБОГАЩЕННЫХ МИКРОБНЫМ БЕЛКОМ И ЖИРНЫМИ КИСЛОТАМИ

¹Зенкович П.А., ¹Зенкович Р.В., ¹Литвиненко А.И.

¹Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень, Российская Федерация

Аннотация. В статье представлены результаты исследования по подращиванию молоди муксуна и чира при использовании искусственных кормов, обогащенных сухой биомассой метанотрофных бактерий при концентрации 10 % и жирными кислотами (льняное масло, препарат–премикс «Арфит». Применение экспериментальных обогащенных кормов позволило ускорить темп роста муксуна (весового – на 63,7 %, линейного – на 15,3 %) и чира (весового – на 17,7 %, линейного – на 4,1 %). Приведены данные по динамике коэффициентов массонакопления и коэффициентов упитанности.

Ключевые слова. Муксун, чир, микробный белок, искусственные корма, обогащенные корма, коэффициент массонакопления, коэффициент упитанности.

LINEAR-WEIGHT GROWTH RATE OF MUKSUN AND CHIR GROWN ON ARTIFICIAL FEED ENRICHED WITH MICROBIAL PROTEIN AND FATTY ACIDS

¹Zenkovich P.A., ¹Zenkovich R.V., ¹Litvinenko A.I.

¹Northern Trans-Ural State Agrarian University, Tyumen, Russian Federation

Abstract. The article presents the results of a study growing mucksun and chir using artificial feed enriched with dry biomass of methanotrophic bacteria at a concentration of 10% and fatty acids (linseed oil, Arfit premix preparation). The use of experimental enriched feeds made it possible to accelerate the growth rate of mucksun (weight – by 63,7 %, linear – by 15,3 %) and whitefish (weight – by 17,7%, linear – by 4,1%). The data are given according to the dynamics of mass accumulation coefficients and fatness coefficients.

Keywords. Mucksun, whitefish, microbial protein, artificial feed, enriched feed, mass accumulation coefficient, fatness coefficient.

Актуальность темы. Одним из перспективных направлений рыбоводства в России является выращивание рыбы в контролируемых условиях – установках замкнутого водоснабжения (УЗВ). Объем товарного рыбоводства в России с 2011 по 2021 гг. увеличился в 2,6 раз [3, 13], что говорит об устойчивой тенденции развития индустриального метода выращивания.

Главное преимущество выращивания рыбы в УЗВ – это высокая продуктивность (до 1500 т/га). Такой результат возможен благодаря высоким плотностям посадки, использованию оптимального температурного режима, рациональному кормлению, а также применению высокоэффективных искусственных кормов [1]. Однако на отечественном рынке наблюдается дефицит экструдированных кормов высокого качества.

Выращивание сиговых рыб в индустриальных условиях базируется на импортных искусственных кормах, предназначенных для кормления лососевых рыб [7]. Поэтому становятся актуальными исследования, направленные на разработку новых рецептур искусственных кормов для сиговых рыб с целью выращивания качественного рыбопосадочного материала.

Примером такого направления исследований выступает обогащение искусственных кормов микробным белком (гаприном), выращенным на углеводородах природного газа. Это сухая инактивированная микробная масса метанотрофных бактерий *Methylococcus capsulatus*. Гапсин обладает высоким содержанием белка (70–75 %) и незаменимых аминокислот. Однако в гапсине отсутствуют ВНЖК семейства линоленовых (омега–3) и линолевых (омега–6) [6]. Поэтому для улучшения жирнокислотного состава обогащенных кормов стоит включать комплекс ВНЖК.

Эксперименты по включению гапсина в рацион сеголеток пеляди (*Coregonus peled*) и волховского сига (*Coregonus lavaretus baeri*) показали возможность применения гапсина для сиговых рыб в концентрации 10–15 % [8]. Эффективность применения гапсина как белкового компонента в

составе кормов для рыб была доказана также для карповых, окуневых, лососевых и осетровых рыб [4, 5, 6, 10].

Цель исследований – изучить влияние инновационных стартовых искусственных кормов на изменчивость размерно-весовых характеристик муксуна и чира.

Материалы и методы.

Объектами исследования послужили муксун (*Coregonus muksun*) и чир (*Coregonus nasus*), выращиваемые в рамках выполнения работ по искусственному воспроизводству сиговых рыб.

Экспериментальные работы проводили в ООО «НПО «Собский рыбоводный завод» (пгт. Харп Приуральского района, ЯНАО), расположенном на нерестовой реке сиговых рыб 1-й категории (р. Собь). В качестве источника водоснабжения использовали речную воду с применением рециркуляционной системы.

Для исследовательских работ применяли стартовые искусственные корма фирмы *Coppens*, фракции № 0,2–0,3; 0,3–0,5. Период выдерживания личинок муксуна и чира длился 8–10 суток, после чего личинок кормили науплиусами артемии. Далее контрольные группы муксуна и чира переводили на искусственный корм без питательных добавок. Опытные группы кормили стартовым искусственным кормом, обогащенным гаприном при концентрации 10 % и комплексом ВНЖК (льняное масло, препарат–премикс «Арфит»).

Подращивание молоди муксуна проводили в 6 квадратных бассейнах (рабочий объем бассейна – 9,6 м³), подращивание чира проводили в 6 прямоугольных лотках (рабочий объем лотка – 0,7 м³). Температура воды в начале эксперимента составляла 12 °С, однако далее температуру воды постепенно повышали до оптимальных для роста сиговых рыб значений – 16 °С. Содержание растворенного в воде кислорода для опытных и контрольных групп муксуна составляло 7,6–9,5 мг/л, для опытных и контрольных групп чира – 7,5–9,8 мг/л. Каждый вариант опыта и контроль включали в себя по три повторности.

В процессе анализа результатов исследования применяли следующие методы статистической обработки: сравнение средних арифметических значений по массе и длине; расчет абсолютных и относительных среднесуточных приростов, удельной скорости весового роста (по формуле Шмальгаузена и Броди) [12], коэффициентов вариабельности массы тела (*Сi*), коэффициентов массонакопления [11]; определение достоверности различий по t-критерию Стьюдента [9].

Результаты исследований

Данные по темпам линейно-весового роста молоди муксуна и чира приведены в таблице 1.

Начальная средняя масса муксуна в опытных группах была 21,7±5,4 мг, в контрольных – 19,6±5,3 мг. Начальная средняя масса чира в опыте составляла 369,3±134,1 мг, в контроле – 373,7±136,9 мг.

Результаты выращивания молоди муксуна, потреблявшей искусственные корма, обогащенные сухой биомассой метанотрофных бактерий при концентрации 10 % и ВНЖК, до средней массы 84,8±30,9 мг показали ускорение линейного (на 15,3 % выше контроля) и весового роста (на 63,7 % выше контроля).

Анализ результатов исследования позволил установить увеличение массы чира, питавшегося искусственными кормами, обогащенными метанотрофными бактериями при концентрации 10 % (1503,6±470,8 мг) на 17,7 % по сравнению с контрольной группой (1277,0±500,1 мг). Также отмечено увеличение линейного роста опытных особей (на 4,1 % больше, чем в контроле).

Абсолютный среднесуточный прирост муксуна при добавлении в искусственные корма гаприна при концентрации 10 % и ВНЖК составил 2,63 мг, в контроле – 1,34 мг. Относительный среднесуточный прирост молоди муксуна в опыте, где искусственные корма обогащали сухой биомассой метанотрофных бактерий при концентрации 10 % и ВНЖК, составил 4,9 %, в контроле – 3,8 %.

Абсолютный среднесуточный прирост молоди чира, питавшейся искусственными кормами, обогащенными сухой биомассой метанотрофных бактерий при концентрации 10 % и ВНЖК, составил 66,7 мг, в контроле – 53,1 мг. Относительный среднесуточный прирост в опытных группах был выше, чем в контрольных (7,1 и 6,4 % соответственно).

Удельная скорость весового роста молоди муксуна была наиболее высокой в опытных группах и составила 0,31, в контроле – 0,29. Удельная скорость весового роста опытных групп чира составила 0,78, контрольных – 0,77.

Исходя из полученных результатов, следует отметить, что наибольшие различия в темпах линейно-весового роста между опытными и контрольными группами наблюдались для молоди муксуна. Вероятно, это обусловлено тем, что при выращивании муксуна была использована молодь более низкой

массы по сравнению с чиром. Аналогичные закономерности были отмечены нами в опытах при выращивании молоди сибирского осетра [2].

Таблица 1 – Динамика показателей длины и массы тела муксуна и чира

| Показатель | Муксун | | Чир | |
|---|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| | Опыт (ИК + 10 % гаприна + ВНЖК) | Контроль (необогащенные ИК) | Опыт (ИК + 10 % гаприна + ВНЖК) | Контроль (необогащенные ИК) |
| Начальная масса, мг | 21,7±5,4 | 19,6±5,3 | 369,3±134,1 | 373,7±136,9 |
| Конечная масса, мг* | 84,8±30,9 | 51,8±18,8 | 1503,6±470,8 | 1277,0±500,1 |
| Начальная длина, мм | 13,9±0,8 | 13,4±0,9 | 29,0±3,7 | 29,7±3,6 |
| Конечная длина, мм* | 21,9±2,3 | 19,0±1,7 | 48,5±6,0 | 46,6±6,9 |
| Абсолютный среднесуточный прирост, мг | 2,63 | 1,34 | 66,7 | 53,1 |
| Относительный среднесуточный прирост, % | 4,9 | 3,8 | 7,1 | 6,4 |
| Удельная скорость весового роста | 0,31 | 0,29 | 0,78 | 0,77 |
| Коэффициент вариальности массы тела (Сv), min-max | 24,8–36,5 | 27,0–36,3 | 31,3–55,6 | 30,6–39,2 |
| Коэффициент массонакопления (Км), min-max | 0,007–0,02 | 0,004–0,013 | 0,029–0,076 | 0,021–0,064 |
| Коэффициент упитанности, min-max | 0,81–0,99 | 0,76–0,96 | 1,06–1,51 | 1,01–1,43 |
| Продолжительность кормления, сутки | 24 | 24 | 17 | 17 |

Примечание: * в таблице указаны величины статистически достоверных различий при $p < 0,001$

Динамика коэффициентов массонакопления в зависимости от массы муксуна и чира представлена на рисунках 1–2.

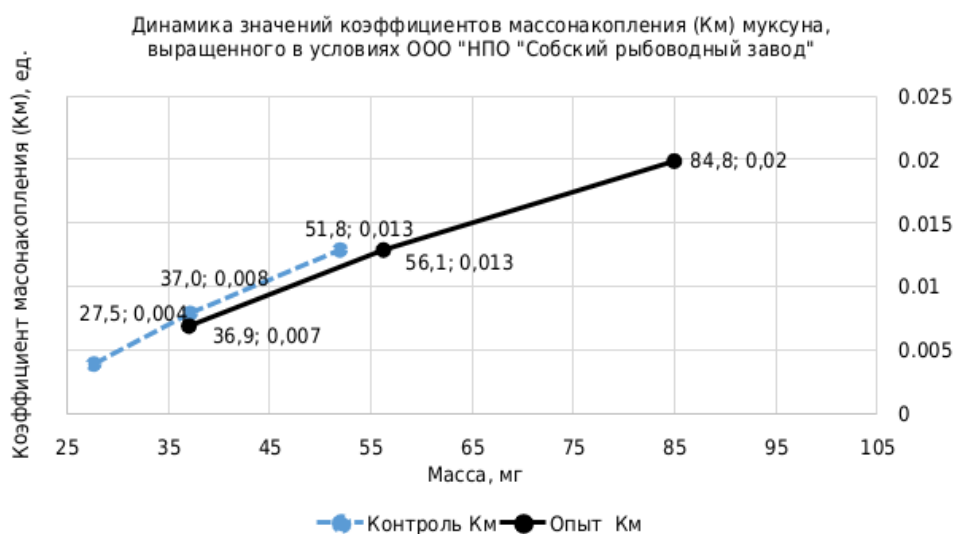


Рисунок 1 – Динамика значений коэффициентов массонакопления (Км) муксуна, выращенного в условиях ООО «НПО «Собский рыбоводный завод»

Коэффициенты массонакопления в первые дни исследований были минимальными: для опытных групп муксуна – 0,007, для контрольных – 0,004. К концу экспериментальных работ коэффициент массонакопления в опытных группах увеличился до 0,02, в контрольных – до 0,013.

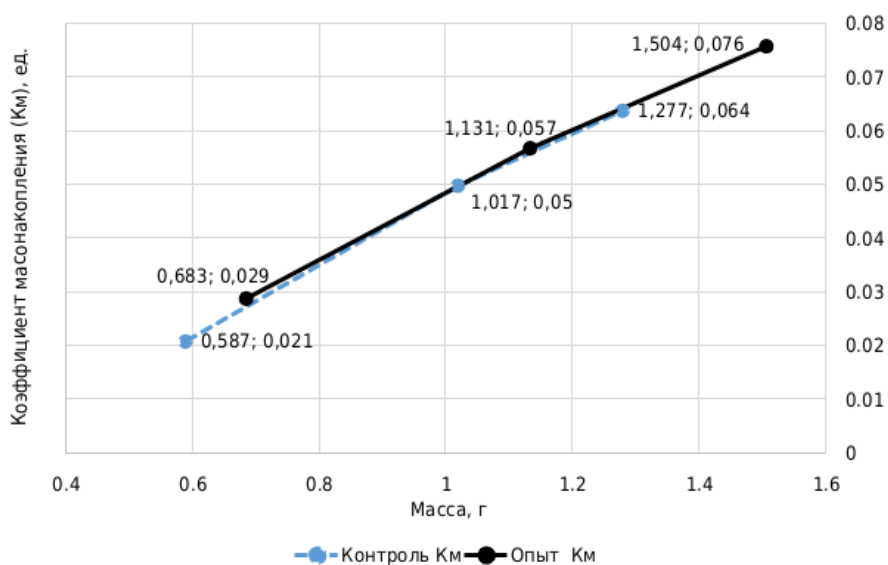


Рисунок 2 – Динамика значений коэффициентов массонакопления (K_m) чира, выращенного в условиях ООО «НПО «Собский рыбоводный завод»

Коэффициенты массонакопления молоди чира в первые дни исследований были минимальными: для опытных особей чира – 0,029, для контрольных – 0,021. К концу исследования коэффициент массонакопления опытных особей увеличился до 0,076, для контрольных – до 0,064.

Динамика коэффициентов упитанности массы муксуна и чира представлена на рисунках 3–4.

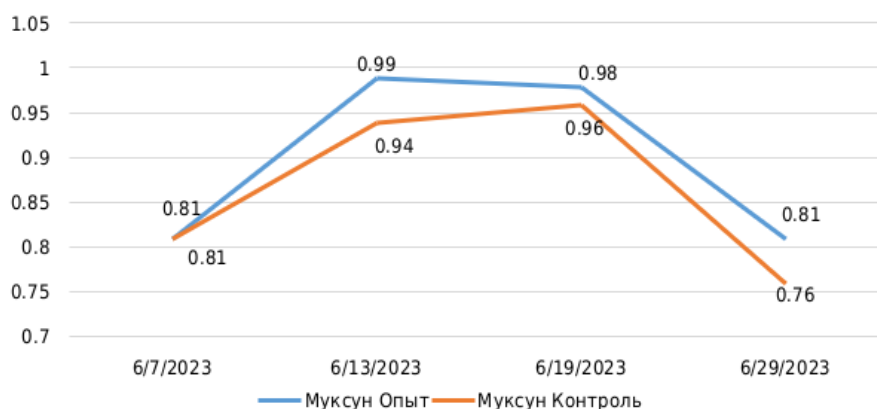


Рисунок 3 – Динамика значений коэффициентов упитанности муксуна, выращенного в условиях ООО «НПО «Собский рыбоводный завод»

В первые дни исследований коэффициенты упитанности опытных и контрольных групп муксуна были одинаковыми и составили 0,81. Максимальное значение коэффициента упитанности в опытных группах (0,99) было отмечено на 7-е сутки эксперимента, в контрольных (0,96) – на 13-е сутки. К концу экспериментальных работ коэффициент упитанности в опытных группах составил 0,81, в контрольных – 0,76. Следовательно, коэффициент упитанности в конце исследования в опытных бассейнах был на 6,6 % больше, чем в контрольных.

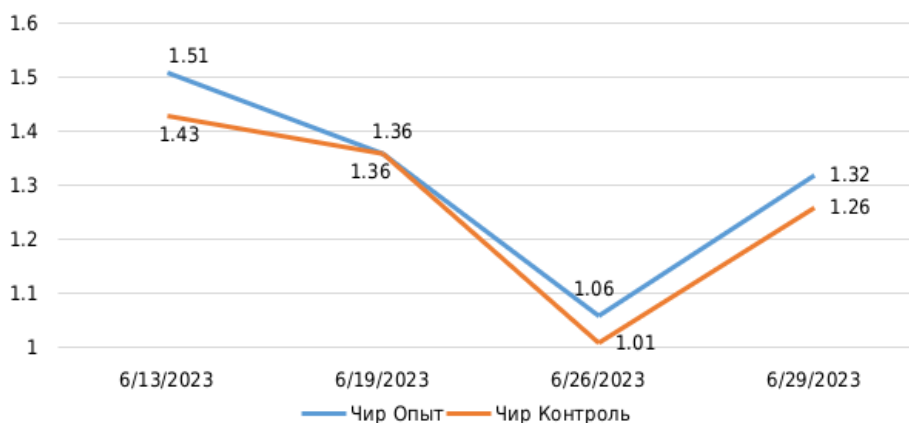


Рисунок 4 – Динамика значений коэффициентов упитанности чира, выращенного в условиях ООО «НПО «Собский рыбоводный завод»

Максимальное значение коэффициентов упитанности было отмечено в 1-й день эксперимента: в опытных группах – 1,51; в контрольных – 1,43. К концу исследования коэффициент упитанности в опытных группах составил 1,32, в контрольных – 1,26. Таким образом, коэффициент упитанности к концу экспериментальных работ в опытных бассейнах был на 4,8 % больше, чем в контрольных.

Выводы

1. Применение искусственных кормов, обогащенных микробным белком (гаприном) при концентрации 10 % и ВНЖК (льняное масло, препарат–премикс «Арфит»), для молоди муксуна и чира существенно ускоряет темп линейного и весового роста. Также при кормлении молоди муксуна и чира обогащенными кормами было отмечено повышение абсолютных и относительных среднесуточных приростов, удельной скорости весового роста, коэффициента массонакопления и коэффициента упитанности по сравнению с контрольными группами.

2. Наилучшие результаты по темпам линейно–весового роста были отмечены для молоди муксуна, начавшей потреблять обогащенные корма при средней массе около 20 мг. Следовательно, наиболее целесообразным является включение искусственных кормов, обогащенных гаприном при концентрации 10 % и ВНЖК, через несколько дней после перехода на экзогенное питание, постепенно переводя особей с кормления науплиусами артемии на обогащенные стартовые искусственные корма.

Список использованных источников

1. Волошин Г.А. Состояние и перспективы развития рынка комбикормов для индустриальной аквакультуры в Российской Федерации / Г.А. Волошин, Е.Б. Акимов, Р.В. Артемов, В.В. Гершунская // Труды ВНИРО. – 2022. – Т. 190. – С. 163-169.

2. Зенкович П.А. Анализ рентабельности выращивания молоди сибирского осетра на искусственных кормах, обогащенных микробным белком (гаприном) и ВНЖК / П.А. Зенкович, М.А. Корентович, А.И. Литвиненко // Сборник трудов LVII научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Достижения молодежной науки для агропромышленного комплекса». – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2023. – С. 45–51.

3. Колончин К.В. Возможные направления решения проблемы обеспечения новых требований потребления рыбной продукции / К.В. Колончин, С.Н. Серегин, М.А. Горбунова // Труды ВНИРО. – 2022. – Т. 187. – С. 170–179.

4. Литвиненко А.И. Влияние инновационных стартовых кормов на темп роста и выживаемость молоди сибирского осетра в установках замкнутого водоснабжения / А.И. Литвиненко, М.А. Корентович, П.А. Зенкович, А.А. Гинзбург // Сборник трудов национальной научно-практической конференции «Интеграция науки и образования в аграрных вузах для обеспечения продовольственной безопасности России». – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2022. – С. 58–64.

5. Лютиков А.А. Культивирование ранней молоди судака (*Sander lucioperca*) и окуня (*Perca fluviatilis*) на искусственных диетах / А.А. Лютиков, А.Е. Королев, И.Н. Остроумова // Известия КГТУ. – 2020. – № 56. – С. 34–47.

6. Остроумова И.Н. Эффективность использования гаприна в рационах карпа разного возраста / И.Н. Остроумова, Д.С. Аршавский, В.К. Калкун // Сборник научных трудов ГосНИОРХ: Белковые продукты микробиосинтеза в кормлении рыб и другие вопросы интенсивного рыбоводства. – Л.: ГосНИОРХ, 1991. – Т. 306. – С. 27–46.

7. Остроумова И.Н. Разработка физиологически полноценных кормов для молоди сиговых рыб (*Coregonidae*) и сравнительная оценка их с импортными кормами / И.Н. Остроумова, В.В. Костюничев, А.А. Лютиков [и др.] // Вопросы рыбоводства. – 2016. – Т. 17, № 3. – С. 335–350.

8. Остроумова И.Н. Влияние замены рыбной муки на высокобелковые соевые продукты и гаприн в кормах для сеголеток сиговых рыб / И.Н. Остроумова, В.В. Костюничев, А.А. Лютиков [и др.] // Современное состояние водных биоресурсов: материалы международной научной конференции. – Новосибирск: НГАУ, 2019. – Т. 1. – С. 322–325.

9. Пухаренко Ю.В. Статистическая обработка результатов измерений. Учебное пособие для вузов / Ю.В. Пухаренко, В.А. Норин. – СПб.: Лань, 2021. – 236 с.

10. Тимошина Л.А. Использование гаприна в кормах для радужной форели / Л.А. Тимошина // Сборник научных трудов ГосНИОРХ: Белковые продукты микробиосинтеза в кормлении рыб и другие вопросы интенсивного рыбоводства. – Л.: ГосНИОРХ, 1991. – Т. 306. – С. 47–54.

11. Хрусталева Е.И. Современные проблемы и перспективы развития аквакультуры: учебное пособие / Е.И. Хрусталева, Т.М. Курапова, О.Е. Гончаренко, К.А. Молчанова. – СПб.: Лань, 2017. – 416 с.

12. Шмальгаузен И.И. Определение основных понятий и методика исследования роста / И.И. Шмальгаузен. – М.: ЁЁ Медиа, 2012. – 53 с.

13. Akimov E.V. The production of compound feeds for the cultivation of valuable fish species is the main task of aquaculture in Russia / E.V. Akimov // Bull. of the Academy of Knowledge. – 2021. – № 47(6). – P. 20–24.

Исследование выполнено в рамках выполнения договора № 3-3.3/2023 на проведение НИР «Оценка состояния ремонтно–маточного стада муксуна и чира на территории Ямало–Ненецкого автономного округа».

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ BIOTECHNOLOGY КОРМОВ ДЛЯ МАРИКУЛЬТУРЫ ТРЕПАНГА

¹Кадникова И.А., ¹Аминина Н.М., ¹Дзизюров В.Д., ¹Сухин И.Ю.

¹Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), г. Владивосток, Российская Федерация

Аннотация. В статье приведены данные по биотехнологии изготовления кормов для разных стадий развития трепанга в заводских условиях. Для непрерывного обеспечения живыми кормами личинок трепанга используется режим многоциклического выращивания трех видов микроводорослей *Dunaliella salina*, *Chaetoceros muelleri*, *Phaeodactylum tricornutum* с последовательным запуском циклов. В качестве основы для стартовых и продукционных кормов для молоди трепанга рекомендуется ферментированная смесь, состоящая из красной водоросли *Ahnfeltia tobuchiensis*, бурой водоросли *Saccharina japonica*, морской травы *Zostera marina*. Использование стартового корма на основе ферментированной смеси в промышленных условиях увеличивает массу молоди трепанга в 5,4 раза, продукционного – в 5,9 раз. Разработаны рекомендации по применению кормов на основе ферментированных макрофитов для промышленного выращивания молоди трепанга разных стадий развития.

Ключевые слова. Микроводоросли, макрофиты, анфельция, сахарина, zostera, ферментация, корм, прирост, молодь трепанга

PRACTICAL ASPECTS BIOTECHNOLOGY OF FEEDS FOR TREPANG MARICULTURE

¹Kadnikova I.A., ¹Aminina N.M., ¹Dzizyurov V.D., ¹Sukhin I.Y.

¹Pacific branch of VNIRO (TINRO), Vladivostok, Russian Federation

Abstract. The article presents data on biotechnology for manufacture of feed for different stages of development sea cucumber in the factory conditions. The regime of multi-cycle cultivation of three species of microalgae *Isochrysis galbana*, *Dunaliella salina*, *Chaetoceros muelleri*, *Phaeodactylum tricornutum* with sequential start of cycles is used for continuous provision of live food for larvae trepang. A fermented mixture consisting of red algae *Ahnfeltia tobuchiensis*, brown algae *Saccharina japonica* and the sea grass *Zostera marina* is recommended as the basis for starter and production feeds for juvenile trepang. Use of starter feed of fermented mixtures in industrial conditions increases mass of young trepang by 5,4 times, production – by 5,9 times. Recommendations have been developed on the use of feeds based on fermented macrophytes for the industrial cultivation of juvenile sea cucumber of different stages of development.

Key words. Microalgae, macrophytes, ahnfeltia, saccharina, zostera, fermentation, feed, growth, sea cucumber juvenile.

Дальневосточный трепанг является одним из ценных объектов марикультуры. Для успешного выращивания молоди трепанга требуются искусственные корма, отвечающие его физиологическим потребностям. В России корма для молоди пока не производятся, отсутствуют на рынке и коммерческие корма импортного производства. Предприятия на Дальнем Востоке, занимающиеся искусственным воспроизводством трепанга до жизнестойкой молоди, до настоящего времени привлекали китайских технологов и корма китайского производства. В связи с возрастающим вниманием к разведению трепанга и дальнейшим решением вопросов массового воспроизводства разработка искусственных кормов для молоди трепанга представляет одну из актуальных проблем марикультуры. Искусственное воспроизводство трепанга в заводских условиях представляет собой процесс его развития от микроскопических личинок, питающихся микроводорослями, до жизнестойкой молоди. Товарной продукцией считается молодь размером от 3 см и более (от 300 мг).

При разработке биотехнологии кормов для искусственного выращивания трепанга исходили из данных о питании трепанга в естественной среде, а также опыта отечественных и зарубежных исследователей по созданию кормов для этого объекта марикультуры.

Процесс выращивания трепанга до жизнестойкой молоди можно разделить на три этапа. Каждый этап выращивания требует определенный вид кормового продукта. На первом этапе, через 2 суток после оплодотворения икры, личинки переходят на экзогенное питание, и им требуется корм из

микроводорослей. На втором этапе выращивания, с момента оседания личинки размером от 300 мкм до появления 70-80 % пигментированной молоди массой 30 мг, необходим стартовый корм из макроводорослей. На третьем этапе, от начала пигментации до получения 70-80 % жизнестойкой молоди массой 300 мг и выше, используют продукционный корм, содержащий морские макрофиты [1].

Оптимальный режим выращивания кормовых микроводорослей для кормления личинок трепанга в искусственных условиях был установлен на культуре *Chaetoceros muelleri*. Полученные результаты показали, что подобранный режим выращивания микроводорослей является высокоэффективным. Показано, что наращивание культуры клеток *Chaetoceros muelleri* достаточно хорошо аппроксимируется S-образной кривой, теоретически описывающей идеальный процесс роста клеточной культуры. Для непрерывного обеспечения живыми кормами в течение всего периода выращивания личинок трепанга используется режим многоциклического выращивания трех видов микроводорослей *Dunaliella salina*, *Chaetoceros muelleri*, *Phaeodactylum tricornutum* с последовательным запуском циклов [2].

Рецептуры кормов для второй и третьей стадии развития трепанга обязательно содержат макрофиты — от 20 до 80 %. Они используются в качестве источника углеводов, макро- и микроэлементов, белка. В странах Азиатско-Тихоокеанского региона, как правило, использовались саргассовые водоросли, имеющие широкий ареал развития в прибрежных водах этих стран [3,4,5]. Саргассум считается наиболее качественным легкоусвояемым компонентом корма для молоди трепанга. С развитием индустрии культивирования трепанга появились альтернативы в виде разных видов водорослей [6,7]. В нашей стране в качестве замены саргассовых водорослей можно использовать цистозиру (стефаноцистис) или другие виды бурых водорослей (ламинарию, сахарину), красных водорослей (анфельцию), морских трав (зостеру) [8]. Содержание углеводов в этом сырье превышает 50 %, причем в основном в виде прочно связанных полисахаридов. Ферменты пищеварительного тракта молоди трепанга не обладают высокой активностью, поэтому оптимальным способом для повышения усвоения растительного сырья является его ферментирование. Применение таких ферментов, как целлюлаза, ксиланаза, б-глюканаза, гемицеллюлаза, приводит к деструкции полисахаридов. С этой целью возможно использование коммерческих препаратов из смеси ферментов, используемых при производстве кормовой продукции из наземного растительного сырья: препараты из группы оллзаймов, целлолюкс F [9,10]. Наиболее рациональными параметрами гидролитического расщепления являются: pH 6, температура 55 – 65 °C и продолжительности 6 ч. Обработка водорослей под действием ферментных препаратов снижает содержание полисахаридов, клетчатки и увеличивает количество легкогидролизуемых полисахаридов (ЛГП), соответственно меняется состав кормов (табл. 1).

Таблица 1 – Состав углеводов морского растительного сырья после ферментации

| Вид сырья | Ферментный препарат | Параметры гидролиза | Содержание, % сухого вещества | | | |
|-----------|-------------------------|---------------------|-------------------------------|--------------------|------|-----------|
| | | | *Агар/пектин | Альгиновая кислота | ЛГП | Клетчатка |
| анфельция | Оллзайм РТ, Целлолюкс-F | pH6, 60°C, 6 ч | *11,1 | - | 29,0 | 8,9 |
| зостера | Оллзайм BG | pH 6, 60 °C, 6 ч | 12,0 | - | 27,0 | 9,5 |
| сахарина | Оллзайм BG | pH 6, 55 C, 6 ч | - | 26,6 | 20,9 | 6,8 |

Использование ферментированных растений в кормах положительно влияет на физиологическое состояние молоди трепанга, они легко усваиваются животными, и дают высокий прирост (рис.1).



Рисунок 1 – Прирост особи молоди трепанга при кормлении кормами на основе натуральных и ферментированных морских растений

1 – натуральная сахарина; 2 – ферментированная сахарина; 3 – натуральная анфельция; 4 – ферментированная анфельция; 5 – натуральная зостера; 6 – ферментированная зостера; 7 – контроль.

Наиболее интенсивный рост наблюдается у молоди трепанга на кормах, содержащих ферментированные водоросли: за 20 суток кормления трепанга абсолютный прирост увеличивается от 60,0 мг до 101,3 мг в зависимости от вида сырья. Однако интенсивность ростовых процессов трепанга различна. Среднесуточный прирост массы тела особи при использовании в кормах с ферментированными водорослями варьирует от 3,0 мг/сут до 5,1 мг/сут в зависимости от вида используемого сырья.

Использование кормов с ферментированным морским сырьем повышает среднесуточный прирост массы тела особи в 2,0-2,2 раза. Увеличение прироста во всех кормах с использованием ферментированного сырья связано с увеличением в нем содержания легкогидролизуемых полисахаридов и снижением количества клетчатки по сравнению с применением натуральных водорослей (рис. 2).

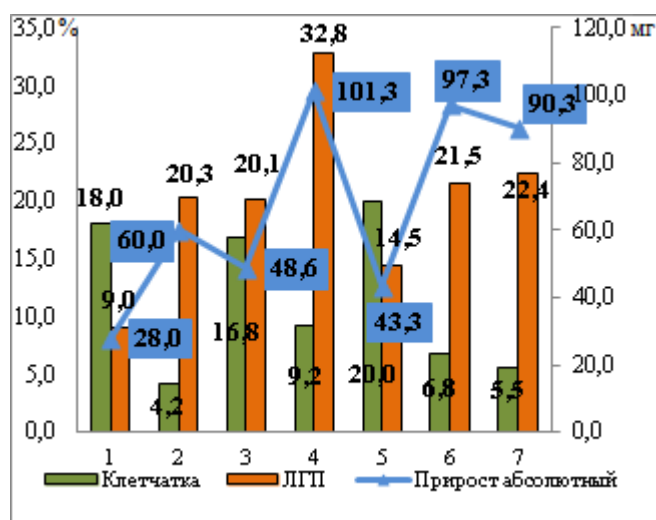


Рисунок 2 – Прирост молоди трепанга в зависимости от содержания ЛГП и клетчатки в корме
1 – натуральная сахарина; 2 – ферментированная сахарина; 3 – натуральная анфельция; 4 – ферментированная анфельция; 5 – натуральная зостера; 6 – ферментированная зостера; 7 – контроль.

Таким образом, использование макрофитов после ферментации в составе кормов повышает прирост молоди. При этом в эксперименте была определена разная скорость роста молоди трепанга при использовании отдельных видов макрофитов в зависимости от вида и степени гидролиза сырья.

С целью выравнивания показателей прироста используют ферментативную обработку смесей макрофитов. Наибольшую эффективность дает ферментативная обработка смеси, состоящей из анфельции:сахарины:зостеры (1:1,5:2,5), комплексным ферментным препаратом вискоферм. Вискоферм содержит комплекс ферментов, действующих на углеводы разных видов морских растений. В результате обработки ферментным препаратом происходят изменения в количественном составе полисахаридов с переходом их в легкогидролизуемую форму (табл. 2).

Таблица 2 – Состав углеводов смесей морского растительного сырья после ферментации

| Вид сырья | Ферментный препарат | Параметры гидролиза | Содержание, % сухого вещества | | | |
|--|---------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------|------|-----------|
| | | | ΣАгар+ пектин+ альгиновая кислота | ΣАгар+ пектин | ЛГП | Клетчатка |
| анфельция:зостера (1:2) | Вискоферм | pH 6, 65°C, 16 ч | - | 17,2 | 23,0 | 8,5 |
| анфельция:сахарина : зостера (1:1,5:2,5) | Вискоферм | pH 6, 65°C, 16 ч | 14,6 | - | 23,5 | 8,6 |

Рыбоводно-биологические показатели молоди трепанга при кормлении стартовым и продукционным кормами с использованием ферментированной смеси в промышленных условиях представлены в таблице 3. Использование стартового корма увеличивает массу особей молоди трепанга в 5,4 раза, продукционного - в 5,9 раз. Добавление ферментированной смеси из трех видов растений повышает эффективность кормов для выращивания молоди трепанга в промышленных условиях. На основании данных биологической оценки рекомендовано использовать ферментированную смесь из анфельции:сахарины:зостеры (в соотношении 1:1,5:2,5) для производства стартового и продукционного кормов.

Таблица 3 – Биологические показатели молоди трепанга за период выращивания в промышленных условиях при кормлении стартовым и продукционным кормом

| Наименование корма | | Стартовый | Продукционный |
|----------------------|------------------------|-----------|---------------|
| Масса особи, мг | начальная | 10,0±25,0 | 62,0±30,0 |
| | конечная | 54,3±50,0 | 365,5±65,0 |
| Прирост особи | абсолютный, мг | 44,3±5,0 | 303,5±5,0 |
| | среднесуточный, мг/сут | 2,1±0,3 | 7,6±1,0 |
| | относительный, % | 443 | 489 |
| Выживаемость, % | | 92 | 96 |
| Кормовой коэффициент | | 0,9 | 1,1 |

В связи с этим в качестве основы для получения промышленных кормов рекомендуется использовать ферментированные смеси макрофитов. Ферментированные смеси получают из трех видов растений анфельции, сахарины и зостеры (в соотношении 1:1,5:2,5) в результате их обработки ферментным препаратом при pH 6,0 и температуре 65 °C в течение 16 ч при соотношении 1:12 к массе сухой смеси с периодическим перемешиванием мешалкой со скоростью вращения 15-17 об/ми. По окончании обработки, сопровождающейся гидролизом полисахаридов морских растений, реакцию

смесь подогревают до 80 °С и выдерживают её в течение 15-20 минут для инактивации ферментов. Обработанную смесь высушивают в конвективных сушилках до содержания влаги не более 10%. Температура продукта при сушке должна быть не более 70 °С.

Для увеличения количества легкоусвояемых веществ в рецептуру вводят ферментированные отруби. Для улучшения перевариваемости углеводных компонентов в состав кормов добавляют дрожжи (3 %). С целью оптимизации рецептуры для изготовления стартового комбикорма белковую составляющую увеличивают на 10 % по сравнению с производственным кормом за счет увеличения количества отходов мягких тканей моллюсков (с 5 до 15 %) и снижения содержания ферментированных растений (с 40 до 30 %). Для усиления биологической ценности в корм добавляют премикс ПФ1-2, представляющий смесь витаминов А, Дз, группы В и микроэлементов Fe, Mn, Cu, Zn, Co. До начала приготовления кормовой смеси все компоненты по рецептуре дополнительно сушат, измельчают, просеивают и смешивают с ферментированными смесями. Корма представляют собой порошки тонкого помола с размером частиц 15,0-17,8 мкм.

Питательная ценность кормовых продуктов на основе ферментированных макрофитов для индустриального выращивания должна соответствовать данным представленным в таблице 4.

Таблица 4 – Данные по питательной ценности индустриальных комбикормов на основе ферментированных макрофитов и их смесей

| Комбикорма | Содержание, % сухого вещества | | | | | Энергия, Ккал/100 г |
|------------------|-------------------------------|---------------|--------------|-----------------|-----------|---------------------|
| | Сырая зола | Сырой протеин | Сырые липиды | Углеводы | | |
| | | | | Сырая клетчатка | ЛГП | |
| Стартовый | 24,0-27,0 | 25,0-33,0 | 2,0-3,0 | 10,0-12,5 | 20,0-22,0 | 200,0-280,0 |
| Производственный | 26,0-28,0 | 19,0-27,0 | 2,0-3,0 | 12,0-15,0 | 22,0-25,0 | 180,0-250,0 |

Стартовый корм на основе ферментированных продуктов из макрофитов содержит больше белка (25,0-33,0 %), меньше клетчатки (10,0-12,5 %) и минеральных (24,0-27,0 %) по сравнению с производственным кормом на этой же основе. Это разница определяется количеством мягких тканей моллюсков и ферментированной смеси макрофитов, вводимых в рецептуру кормов.

На основании полученных данных разработаны рекомендации по применению кормов на основе ферментированных макрофитов для индустриального выращивания молоди трепанга разных стадий развития.

Список использованных источников

1. Инструкция по технологии получения жизнестойкой молоди трепанга в заводских условиях / Н.Д. Мокрецова [и др.] – Владивосток: ТИПРО-Центр, 2012. – 104 с.
2. Результаты производственной проверки технологии кормов из микро-и макроводорослей для промышленного выращивания трепанга / И.А.Кадникова [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2022, №2. – С.72-75.
3. Effect of various protein sources in formulated diets on the growth and body composition of juvenile sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka) / Y.J.Seo [et al.] // Aquaculture Research. – 2011, №. 42. – P. 623–627.
4. Lactic acid fermentation of seaweed (*ulva reticulata*) for preparing marine single cell detritus (MSCD) / S.Felix [et al.] // Tamilnadu Journal of Veterinary and Animal Sciences. – 2012, № 2. – P. 76–81.
5. Effects of Replacing Algae Powder by Fermented Soybean Meal on Growth and Digestive Physiology of Juvenile Sea Cucumber *Apostichopus japonicus* Selenka / L. Baoshan [et al.] // Advances in Marine Sciences. – 2018, № 5. – P. 89–97.
6. Ферментативная обработка морских водорослей-перспективный способ получения кормовых добавок для марикультуры /И.А. Кадникова [и др.]// Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: материалы VI Всероссийской конференции. 22-24 апреля 2014 г./ под.ред. Н.Г.Базарновой, В.И. Маркина.-Барнаул:Из-во Алт.ун-та, 2014. – С.415–416.
7. Влияние ферментной обработки на химический состав сахарины японской / А.М. Рогов [и др.] // Вестник КамчатГТУ. – 2016, №38. – С.44–50.
8. Применение разных видов водорослей в составе кормов для молоди трепанга / И.А.Кадникова [и др.] // Вестник АГТУ. – 2015, №4. – С.62-68.

9. Исследование влияния ферментации сахарины японской на химический состав комбикормов для молоди трепанга /А.М. Рогов // Известия ТИНРО. – 2017. – Т.190, № 4. – С.196-203.
10. Комбикорма для промышленного выращивания молоди трепанга *Apostichopus japonicus* (Selenka) /И.А.Кадникова [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2021, № 2. – С. 68-71.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ГЕНЕТИКИ И СЕЛЕКЦИИ АКВАРИУМНЫХ РЫБ

¹Ковальчук Д.Ю., ¹Ахмедов Р.А.

¹Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. Генетика и селекция рыб – это важные области науки, которые позволяют создавать новые виды и улучшать существующие. В этой статье мы расскажем об основных принципах и методах, которые используются в генетике и селекции аквариумных рыб.

Ключевые слова. Генетика, селекция, аквариумные рыбы, мутации, гибриды.

BASIC PRINCIPLES OF GENETICS AND BREEDING OF AQUARIUM FISH

¹Kovalchuk D.Yu., ¹Akhmedov R.A.

¹Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Annotation. Genetics and fish breeding are important areas of science that allow you to create new species and improve existing ones. In this article we will talk about the basic principles and methods that are used in the genetics and breeding of aquarium fish.

Keywords. Genetics, breeding, aquarium fish, mutations, hybrids.

Аквариумные рыбы являются одним из самых популярных домашних питомцев, которые радуют своих хозяев своим ярким внешним видом. Подавляющее большинство разновидностей аквариумных рыб выведены не специалистами, а аквариумистами-любителями.

Генетика аквариумных рыб представляет собой особый интерес для профессиональных селекционеров, поскольку позволяет создавать новые виды, улучшая их характеристики и адаптируя к различным условиям содержания.

В данной статье будут рассмотрены основные особенности генетики и селекции аквариумных рыб, а также перспективы и возможности развития этой области науки.

Генетические и селекционные принципы и особенности аквариумных рыб

Для понимания принципов селекции и генетики аквариумных рыб необходимо знать основные генетические законы и механизмы, которые определяют наследственность и изменчивость вида.

Законы Менделя

Законы Менделя, открытые в XIX веке, описывают основные принципы наследования признаков при скрещивании организмов. Эти законы применимы к аквариумным рыбам, и позволяют селекционерам определять наиболее вероятные комбинации признаков у потомства и прогнозировать результаты скрещивания.

1-й закон Менделя – закон единообразия гибридов первого поколения или правило доминирования. При моногибридном скрещивании у гибридов первого поколения проявляются только доминантные признаки – оно фенотипически единообразно.

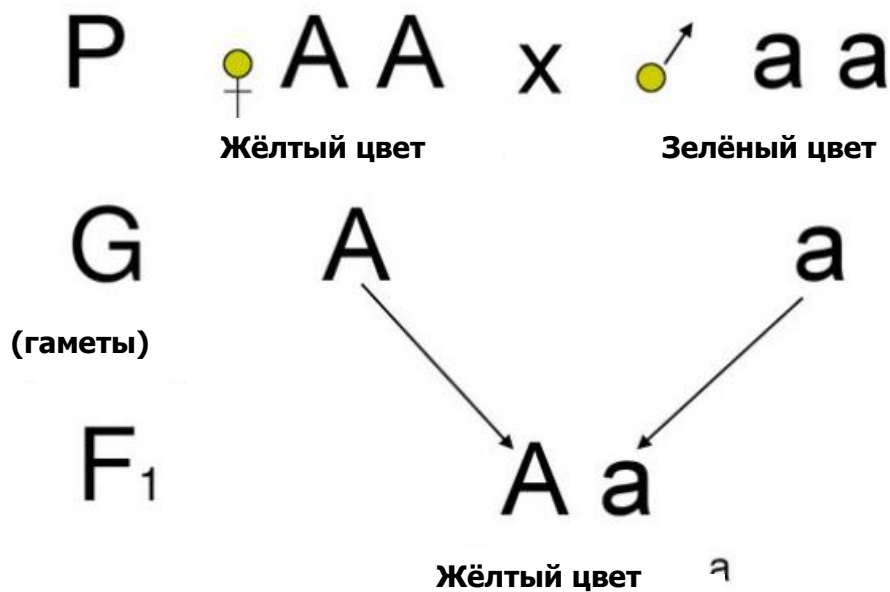


Рисунок 1 - 1-й Закон Менделя

2-й закон Менделя– закон расщепления гибридов второго поколения. В потомстве, полученном от скрещивания гибридов первого поколения, наблюдается явления расщепления: четверть особей из гибридов второго поколения несёт рецессивный признак, три четверти – доминантный.

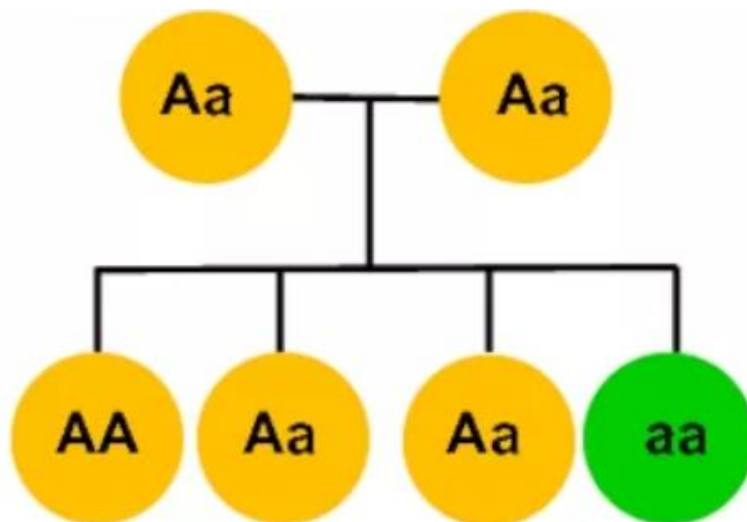


Рисунок 2 – 2-й Закон Менделя

3-й закон Менделя– закон независимого наследования или закон независимого комбинирования признаков. При дигибридном скрещивании у гибридов каждый из признаков наследуется независимо от других и даёт с ними разные сочетания. Образуются фенотипические группы, характеризующиеся отношением 9:3:3:1 (расщепление по каждой паре генов идёт независимо от других пар генов)

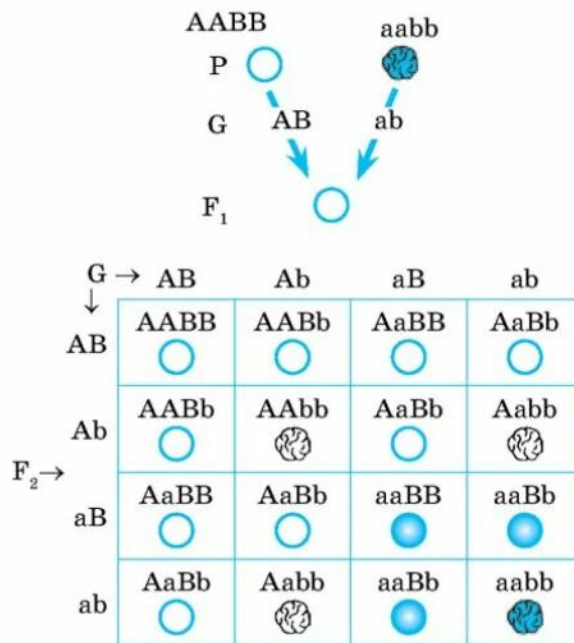


Рисунок 3 – 3-й Закон Менделя

Генетический материал

Генетический материал аквариумных рыб представлен ДНК, которая находится в хромосомах. Каждая хромосома содержит гены – участки ДНК, отвечающие за проявления определённых признаков. Аквариумные рыбы, как правило, имеют двойной набор хромосом, один из которых наследуется от отца, а другой – от матери.

| ФЕНОТИП новая генира (цвет) | ФЕНОТИП старая генира (цвет) | Распределение пигмента и кол-во пигментных клеток | ГЕНОТИП новая генира | Тип наследования |
|-----------------------------------|------------------------------------|---|--|--|
| Серый («однотип») | Серый («однотип») | | MM GG EE XX | полностью доминантный |
| Серебряный | Серебряный | | MM GG EE xx MM GG ee XX | рецессивный |
| Синий | Синий | | MM GG ee xx | двойной рецессивный |
| Оранжевый | Кремовый | | MM gg EE XX | рецессивный |
| Красный | Золотой | | MM gg EE xx | двойной рецессивный |
| Желтый | Розовый | | MM gg ee XX | двойной рецессивный |
| Дымчатый | Светлый | | MM gg ee xx | тройной рецессивный |
| Светлый | Светлый | | mm GG EE XX mm GG EE xx mm gg EE XX mm GG ee XX | рецессивный или двойной рецессивный |
| Супер светлый | Светлый | | mm gg EE xx | тройной рецессивный |
| Супер светлый | Лимонный | | mm gg ee XX | тройной рецессивный |
| Супер светлый | Белый | | mm GG ee xx | тройной рецессивный |
| Прозрачный | Прозрачный | | mm gg ee xx | полностью рецессивный |

Рисунок 4 – Наследование некоторых признаков гуппи (*Poecilia reticulata*)

Мутации

Мутации – это изменения в структуре ДНК, которые могут приводить к появлению новых признаков и свойств. Мутации могут быть спонтанными или вызванными воздействием внешних

факторов, таких как радиация или химические вещества. Мутации играют важную роль в процессе селекции аквариумных рыб и позволяет создавать новые, уникальные виды.

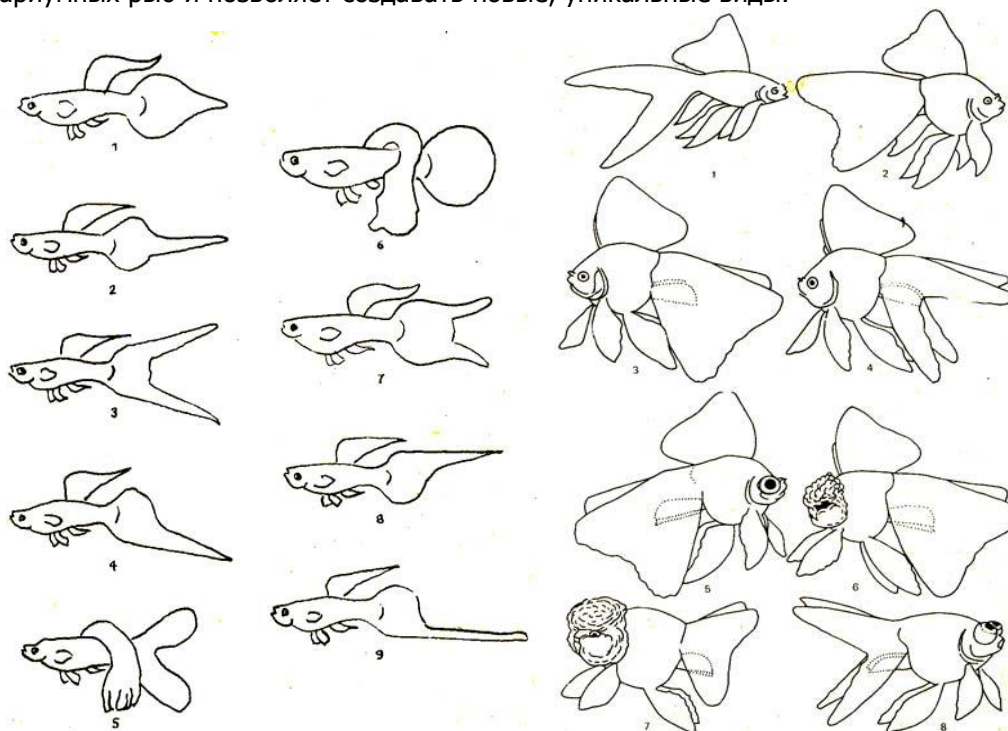


Рисунок 5 – Некоторые мутации аквариумных рыб

Селекция аквариумных рыб

Селекция – это процесс отбора и разведения особей с желаемыми признаками для получения потомства с лучшими характеристиками. Селекция аквариумных рыб может проводится с целью создания новых видов, улучшения существующих пород или адаптации к определённым условиям.

Основными методами селекции являются:

1. Инбридинг – скрещивание близкородственных особей с целью закрепить желаемые признаки и свойства в потомстве.
2. Отбор – отбор лучших особей для дальнейшего разведения на основе их характеристик и соответствия требованиям селекционера
3. Линейное разведение – получение потомства от особей с наилучшими характеристиками в пределах одной линии, что позволяет сохранять и усиливать желаемые признаки.
4. Искусственное осеменение – процесс получения потомства от отобранных особей с использованием технологий искусственного оплодотворения, что позволит контролировать процесс скрещивания и получать более однородное потомство.
5. Клонирование – создание генетически идентичных копий особей с помощью методов генной инженерии

Возможности развития генетики и селекции аквариумных рыб

Генетика и селекция аквариумных рыб представляет большой интерес для ученых и селекционеров. С развитием технологий и методов генной инженерии открываются новые возможности для создания уникальных видов.

К возможностям развития можно отнести следующие:

1. Создание новых видов путём введения мутаций и изменения структуры ДНК
2. Использование генной терапии для лечения наследственных заболеваний
3. Создание генетически модифицированных рыб с заданными свойствами и характеристиками

С развитием технологий, генетика и селекция аквариумных рыб становятся все более сложными и интересными. Например, ученые могут использовать генную инженерию для создания новых видов или изменения существующих.

Список использованных источников

1. Демкина, Н.В. Генетическая изменчивость и эффективность селекции карпа // Рыбное хозяйство. – 2012. – № 4. – С. 65-67.
2. Петропавловская, Е. Е. Генетические особенности размножения рыб в условиях аквакультуры // В мире научных открытий: материалы IV Международной студенческой научной конференции, Ульяновск, 20–21 мая 2020 года. Том IV. Часть 2. – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2020. – С. 37-39.
3. Минакова, Н. Геномные технологии для животноводства // Наука и инновации. – 2021. – № 8(222). – С. 4-8.
4. Политов, Д.В. Лаборатории популяционной генетики им. академика Ю.П. Алтухова ИОГен РАН – 50 лет // Успехи современной биологии. – 2022. – Т. 142, № 5. – С. 419-423.
5. Труфанов, О.Ф. Биоэтические проблемы доместификации и генной инженерии животных// Colloquium-Journal. – 2019. – № 15-5(39). – С. 55-60.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИСКУССТВЕННОЙ ТРИПЛОИДИЗАЦИИ СИГОВЫХ РЫБ

¹Лютиков А.А., ¹Костюничев В.В., ¹Голотин В.А., ¹Вылка М.М.

¹Санкт-Петербургский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ГосНИОРХ им. Л. С. Берга), Санкт-Петербург, 199053

Аннотация. Показана принципиальная возможность триплоидизации сиговых рыб с использованием гидростатического шока. Установлен наиболее эффективный протокол создания триплоидов нельмы, при котором воздействие на икру осуществляется давлением 650 бар в течение 5 мин спустя 340 градусо-минут после осеменения. Соблюдение данных параметров позволило получить 100% триплоидизацию и лучшую выживаемость среди подопытной икры нельмы – 34,6%, однако это существенно меньше, чем в контроле – 61,0%. Рост триплоидной и диплоидной молоди нельмы был сопоставим, однако частота встречаемости рыб со скелетными деформациями значительно выше у триплоидов (в 6 раз), при более низкой выживаемости, чем у диплоидов – 44,5 против 55,6%. Как правило, нарушения в развитии скелета выражаются в искривлении хвостового отдела позвоночника и деформации челюстного аппарата.

Ключевые слова. Сиговые, триплоиды, гидростатический шок, цитометрия

PRELIMINARY RESULTS OF STUDIES ON ARTIFICIAL TRIPLOIDIZATION OF WHITEFISH

¹Lyutikov A.A., ¹Kostyunichev V.V., ¹Vylka M.M., ¹Golotin V.A.

¹St. Petersburg branch of the All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (State Research Institute of Lake and River Fisheries named after L.S. Berg), Makarova Emb. 26, 199004 St. Petersburg, Russia

Abstract. Obtaining triploid fish in modern aquaculture is aimed to solve the problem of growth reduction during the maturation of cultivated objects. Our study shows a fundamental possibility of triploidization of whitefish from Coregonidae family (in particular *Stenodus leucichthys nelma*) with the use the hydrostatic shock. The triploidization experiment included a control and five experimental timepoints within a time period of 204-476 degree-minutes after fertilization. In each of them inseminated nelma eggs were placed under hydrostatic pressure of 650 bar for 5 minutes with a time interval of 68 degree minutes. The most effective protocol for obtaining nelma triploids was established at 340 degree minutes after insemination that made it possible to obtain a triploidization rate close to 100% according to flow cytometry results. The best survival among experimental nelma eggs was 34.6%, however, this is significantly less than in the control (61.0%). The growth rate of obtained triploid and diploid were comparable, however, the survival rate in triploids was lower: 44.5% (55.6% in diploids) with a 6-times higher incidence of skeletal deformities. Disturbances in skeleton development are expressed generally in the caudal spine curvature and jaw deformation.

Keywords. Whitefish, triploids, hydrostatic shock, cytometry

Введение. Современная аквакультура направлена на получение таких объектов рыбоводства, которые характеризуются наилучшими продукционными свойствами. Как правило, культивируемые объекты демонстрируют высокий ростовой потенциал до момента половозрелости, с наступлением которой происходит значительное снижение темпа роста, выживаемости и, вместе с тем, качества рыбной продукции. Одним из решений данной проблемы является использование в аквакультуре триплоидных рыб, которые по своей природе являются частично или полностью стерильными, что достигается путем нарушения процесса мейоза при формировании зародышевых клеток.

Целью настоящей работы было исследовать возможность получения триплоидов сиговых рыб, которые в нашей стране являются одними из наиболее ценных и распространенных промысловых видов, и широко используются в товарной аквакультуре. Для разработки протоколов триплоидизации

сиговых в качестве ориентира использовали данные по получению триплоидов лососевых рыб, чьи взрослые триплоидные особи культивируются для массового коммерческого производства [1]. Для различных видов лососевых, применяют схожие протоколы триплоидизации с использованием гидростатического шока: давление в момент обработки икры составляет от 500 до 700 бар (или 7000-10000 psi), время после осеменения находится в диапазоне 30-40 мин в зависимости от температуры воды, которая в различных экспериментах варьирует в пределах 6-10°C, экспозиция составляет 4-6 мин, иногда больше [2]. Соблюдение данных условий позволяет получать у лососевых видов рыб до 100% триплоидов при выживаемости икры до 80-90% [3].

Материал и методы исследования. Исследования проводили в производственных условиях рыбоводного хозяйства ООО «Форват» (оз. Суходольское, Приозерский р-н, Ленинградская обл.). В качестве объекта исследований была выбрана нельма *Stenodus leucichthys nelma*, от двух производителей которой получали икру объемом 730 мл (около 75 тыс. икринок) и сперму (12 мл). Собранные половые продукты были равномерно разделены на 6 равных порций, после чего индивидуально смешаны с добавлением воды, что считалось нулевой точкой в эксперименте.

Эксперимент по триплоидизации состоял из пяти различных вариантов опыта, в которых икра нельмы была подвергнута гидростатическому шоку (650 бар) через 30 мин после осеменения – вариант опыта Т30, 40 мин – Т40, 50 мин – Т50, 60 мин – Т60 и 70 мин – Т70. Экспозиция составляла 5 мин, сброс давления до атмосферного занимал около 2-3 с. Контрольной выступала икра без обработки – Д0. Температура воды во время манипуляций с икрой составляла 6,8°C. Для обработки икры использовали специализированный коммерческий электрогидравлический аппарат TRC-APV™ (TRC Hydraulics Inc., Канада).

После вылупления для оценки роста и выживаемости подопытных предличинок рассаживали поштучно в экспериментальные 60-литровые бассейны (фактический объем воды в бассейне составлял 40 л) по 600 экз. в каждый (15 экз./л), за исключением личинок, полученных из икры, обработанной на 70 мин после сбора, их количество на этапе вылупления составляло 163 экз. Нумерацию опытов при рассадке сохраняли.

Для диагностирования триплоидии нельмы использовали общепринятые цитогенетические и цитометрические методы [3]. Статистическую обработку материала проводили с использованием прикладной программы Stadia (версия 8.0). В качестве статистического критерия при сравнении двух выборок применяли критерий Пирсона (хи-квадрат). Различия считались значимыми при уровне $p \leq 0,05$. Данные представлены в виде средних значений и их ошибок ($M \pm m$).

Результаты. Инкубация икры. Количество выживших эмбрионов нельмы на 5-е сутки после обработки высоким давлением (стадия мелкоклеточной бластулы) во всех опытных вариантах и контроле находилась в диапазоне 95,7-97,1%, за исключением икры, обработанной на 70 мин после осеменения – её выживаемость составила 59,1% (табл. 1). На 20-е сут развития, когда зародыш огибает около половины желтка, икра, обработанная последней в опыте (70 мин), характеризовалась высокой смертностью – более 90% относительно этапа бластуляции. Остальная подопытная и контрольная икра имела схожую выживаемость – от 74,3 до 78,9%, кроме икры, из варианта опыта Т40, её выживаемость составила 39,8%. Значительное сокращение доли живых эмбрионов, особенно у подопытной икры (более чем в два раза по сравнению с предыдущим этапом), произошло на 34 сут развития с началом пульсации сердечной трубки, в варианте опыта Т70 доля живых икринок составляла менее 1%. Выживаемость контрольной икры снизилась на 12,4% (табл. 1). К концу инкубации лучшей выживаемостью характеризовалась контрольная икра – 61,0%, среди подопытной икры наибольший процент выживших икринок был в вариантах опыта Т50 и Т60 – 34,6 и 28,7%, соответственно, наименьшая выживаемость икры (8,1%) была в варианте опыта Т40 (табл. 1).

Таблица 1 - Выживаемость контрольной и подопытной икры нельмы, обработанной высоким давлением, на различных этапах эмбрионального развития, %

| Вариант опыта, № | Д0 | Т30 | Т40 | Т50 | Т60 | Т70 |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Время обработки икры давлением после осеменения, мин | 0 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| Мелкоклеточная бластула, 5 сут. | 95,7±2,1 ^a | 97,1±1,9 ^a | 96,8±1,7 ^a | 95,9±2,0 ^a | 96,3±2,2 ^a | 59,1±1,2 ^b |

| | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| Формирование зародыша, 20 сут. | 78,7±1,6 ^a | 74,3±1,6 ^a | 39,8±1,8 ^b | 78,9±1,5 ^a | 76,6±1,4 ^a | 5,4±0,1 ^c |
| Пulsация сердечной трубки, 34 сут. | 66,3±1,1 ^a | 32,8±0,9 ^b | 24,5±0,8 ^c | 46,0±1,0 ^d | 43,4±0,9 ^d | <1,0 |
| Вылупление, 172-176 сут. | 61,0±0,7 ^a | 18,4±0,4 ^b | 8,1±0,2 ^c | 34,6±0,5 ^d | 28,7±0,5 ^e | около 0 |

Здесь и далее – значения с различными буквенными индексами в пределах одной строки имеют достоверные различия при уровне значимости $p \leq 0,05$

Определение плоидности икры. Использование проточной цитометрии на этапе крупноклеточной морулы (4 сутки эмбрионального развития) показало высокую степень триплоидизации икры, близкую к 100%, обработанную давлением через 50 и 60 мин после осеменения. Воздействие на икру высоким давлением через 30, 40 и 70 мин после осеменения приводит к появлению бимодальных групп, состоящих из диплоидов и триплоидов в соотношении 1/3-2/3.

Выращивание молоди. Лучшие ростовые качества были у личинок из вариантов опыта Т30 и Т50, которые к концу выращивания достигли 1,39 и 1,40 г, соответственно. Худший рост на всем протяжении исследований был у личинок из вариантов опыта Т40 и Т60, их конечная средняя индивидуальная масса составила 1,20 и 1,14 г (табл. 2). Конечная масса контрольных личинок составила 1,33 г. Наиболее высокая итоговая выживаемость была у контрольных (64,4%) и подопытных личинок из вариантов опыта Т50 (65,0%) и Т60 (68,1%), относительно низкой выживаемостью характеризовались личинки из вариантов опыта Т30 (56,4%) и Т40 (53,3%). Наибольшая ихтиомасса в эксперименте была в варианте опыта Т50 и составила 544 г, что на 30 г больше, чем в контроле (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты выращивания личинок и мальков контрольной и подопытной нельмы (период выращивания 62 сут, начальная масса личинок – 12,66-13,20 мг)

| Вариант опыта, № | Д0 | Т30 | Т40 | Т50 | Т60 |
|-------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Масса конечная, г | 1,33±0,01 _a | 1,39±0,02 _a | 1,20±0,01 _b | 1,40±0,02 _a | 1,14±0,01 _b |
| Выживаемость, % | 64,4 | 56,4 | 53,3 | 65,0 | 68,1 |
| Ихтиомасса, г | 515 | 471 | 382 | 544 | 464 |

Далее контрольная молодь и молодь из варианта опыта Т50, определенная методом проточной цитометрии как триплоидная, были высажены на последующее доращивание в два садка размером 2×2×2 м, установленных в озере. По итогам 123 сут. выращивания средняя индивидуальная масса рыб-триплоидов составила 29,73±1,32 г, контрольных особей – 24,74±2,44 г, различия не достоверны.

Выживаемость триплоидов за период садкового выращивания составила 44,5%, при этом 11,6% особей были с различными отклонениями, связанными в большей степени с деформацией хвостового отдела позвоночника и челюстного аппарата. Сеголетки с дефектами значительно отставали в росте от нормальной молоди, и, вероятно, характеризовались повышенной смертностью, что послужило снижению выживаемости у триплоидных рыб. Выживаемость контрольной нельмы за аналогичный период составила 55,6% при частоте встречаемости уродств у рыб менее 2%.

Гематологический анализ. Показатели крови сеголеток нельмы с разной плоидностью, представленные в таблице 3, имели значительные отличия, за исключением содержания гемоглобина (60,4-60,6 г/л) и незрелых эритроцитов (8,4-8,5%). У триплоидных особей отмечено достоверное снижение в крови эритроцитов до 0,58 млн./мкл, против 0,77 млн./мкл у диплоидов, которое, вероятно, компенсируется повышенным (на 25%) содержанием гемоглобина в эритроците (СГЭ) по сравнению с диплоидными рыбами (табл. 3). Повышение СГЭ у триплоидов происходит за счет увеличения самих клеток эритроцитов и их ядер, которые, соответственно, в 1,7 и 1,3 раза больше, чем аналогичные показатели у диплоидных особей (рисунок). На фоне увеличения размеров клеток и ядер эритроцитов у триплоидов наблюдается снижение ядерно-плазматического отношения (ЯПО) до 0,16, относительно 0,21 у диплоидов. Вследствие увеличения объема ядер и клеток у триплоидов происходит уменьшение соотношения площади поверхности ядер и клеток к объему.

Таблица 3 – Гематологические показатели диплоидных (контроль) и триплоидных сеголеток нельмы

| Показатель | Диплоиды | <i>CV</i> | Триплоиды | <i>CV</i> |
|---|--------------------------|-----------|-------------------------|-----------|
| Гемоглобин, г/л | 60,4±1,26 ^a | 6,6 | 60,6±1,27 ^a | 6,6 |
| Эритроциты, млн./мкл | 0,77±0,03 ^a | 12,3 | 0,58±0,03 ^b | 13,9 |
| Содержание гемоглобина в эритроците (СГЭ), пг | 79,7±4,10 ^a | 16,3 | 106,5±5,20 ^b | 15,4 |
| Объем эритроцита, мкм ³ | 306,3±11,56 ^a | 11,9 | 507,1±7,79 ^b | 4,9 |
| Объем ядра эритроцита, мкм ³ | 65,3±2,22 ^a | 10,8 | 83,49±1,28 ^b | 4,9 |
| Ядерно-плазматическое отношение (ЯПО) | 0,21±0,004 ^a | 5,4 | 0,16±0,002 ^b | 3,9 |
| Сегментоядерные эритроциты, % | 0,4±0,09 ^a | 116,5 | 3,6±0,26 ^b | 37,3 |
| Незрелые эритроциты из 500 шт., % | 8,5±1,32 ^a | 49,1 | 8,4±0,81 ^a | 30,5 |
| Лейкоциты, тыс. шт./мкл | 16,2±1,41 ^a | 44,1 | 4,6±0,50 ^b | 68,1 |

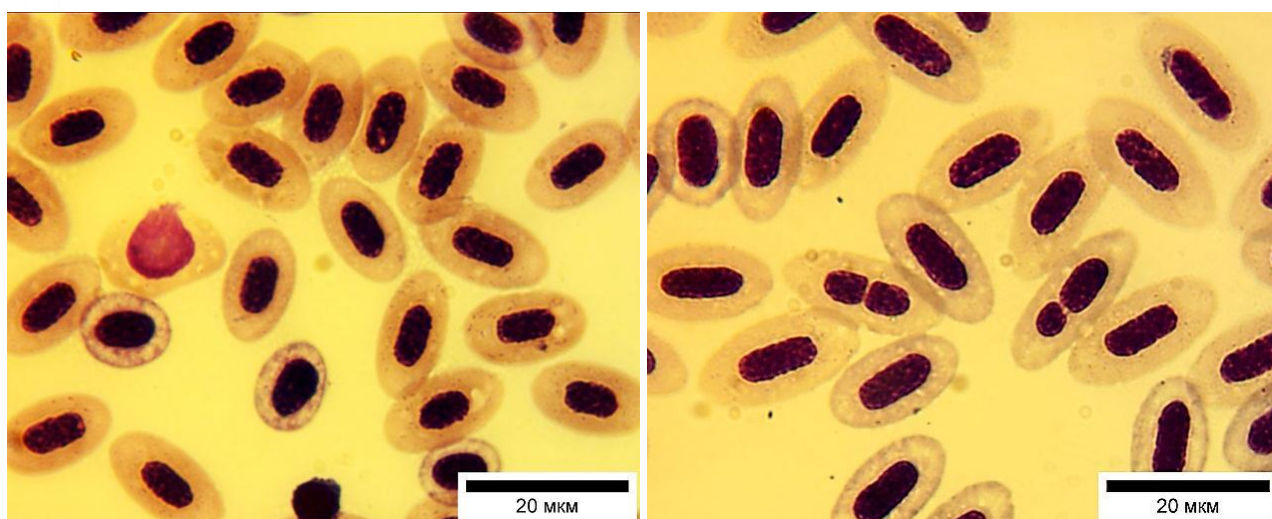


Рисунок 1 - Слева – клетки крови сеголеток диплоидной нельмы (контроль), справа – клетки триплоидов нельмы. Стрелками указаны сегментоядерные эритроциты.

Кровь триплоидов характеризуется наличием относительно большого количества сегментоядерных эритроцитов (рисунок), встречаемость которых у сеголеток нельмы определена на уровне 3,6%, у диплоидов – 0,4% (табл. 3). В целом, сегментация ядер эритроцитов свойственна триплоидам лососевых рыб (Benfey, 1999). В структуре белой крови нельмы значительные отличия выявлены в содержании лейкоцитов, которых в 3,5 раза меньше у триплоидных особей – 4,6 против 16,2 тыс. шт./мкл у диплоидов (табл. 3), при норме – 15-30 тыс. шт./мкл (Серпунин и др., 2010). В остальном все показатели крови у исследуемой нельмы находятся в пределах нормы, установленной для сиговых рыб. Признаков анемии у сеголеток не обнаружено.

Заключение. Результаты настоящих исследований указывают на принципиальную возможность триплоидизации сиговых рыб с использованием гидростатического шока. Установлен наиболее эффективный протокол создания триплоидов нельмы, при котором воздействие на икру осуществляется давлением 650 бар в течение 5 мин спустя 340 градусо-минут после осеменения. Соблюдение данных параметров позволило получить 100% триплоидизацию и лучшую выживаемость среди подопытной икры нельмы – 34,6%, однако это существенно меньше, чем в контроле – 61,0%.

Рост триплоидной и диплоидной молоди нельмы был сопоставим, однако частота встречаемости рыб со скелетными деформациями значительно выше у триплоидов (в 6 раз), при более низкой выживаемости, чем у диплоидов – 44,5 против 55,6%. Как правило, нарушения в развитии скелета выражаются в искривлении хвостового отдела позвоночника и деформации челюстного аппарата.

Применение методов оценки триплоидизации с использованием проточной цитометрии позволило достоверно определить наличие триплоидов в экспериментальных группах в количестве от 35 до 100%, что показывает эффективность данного метода на сиговых рыбах, особенно на ранних этапах эмбрионального развития. Исследование гематологических параметров сеголеток нельмы также дает представление о результатах триплоидизации – у триплоидов достоверно крупнее клетки и ядра, а также выше частота встречаемости сегментоядерных эритроцитов.

Список использованных источников

1. Natural and artificial polyploids in aquaculture/L. Zhou, J. Gui// Aquaculture and Fisheries. – 2017. – Vol. 2. – P. 103–111.
2. Optimisation of triploidy in brown trout (*Salmo trutta* L.)/A.C. Preston [et al.]// Aquaculture. – 2013. – Vol. 414–415. – P. 160–166.
3. Use of erythrocyte measurements to identify triploid salmonids/T.J. Benfey [et al.]// Can J Fish Aquat Sci. – 1984. – Vol. 41. – Iss. 6. – P. 980–984.
4. The physiology and behavior of triploid fishes/T.J. Benfey// Rev. Fish. Sci. – 1999. – Vol. 7. – P. 39–67.
5. Морфофизиологические и гематологические показатели молоди сига, выращиваемой на различных кормах/Г.Г. Серпунин [и др.]// Известия КГТУ. 2010. № 19. С. 196–203.

Исследование поддержано грантом РФФ номер 23-26-00257.

МИКРОВОДОРОСЛИ КАК ИСТОЧНИК БЕЛКОВ И КАРОТИНОИДОВ ДЛЯ АКВАКУЛЬТУРЫ

¹Мальцева И.А., ²Мальцев Е.И., ¹Черкашина С.В., ¹Яковийчук А.В., ¹Кочубей А.В.

¹Мелитопольский государственный университет, г. Мелитополь, Российская Федерация
²Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Приведен анализ биопродукционных характеристик штаммов *Nostoc* sp. MI-C84-a и *Chlorococcum oleofaciens* MZ-Ch4. Проанализированы показатели продуктивности биомассы, белка и каротиноидов для использования в качестве кормовых добавок в аквакультуре.

Ключевые слова. *Nostoc*, *Chlorococcum*, белок, каротиноиды, хлорофилл, аквакультура.

MICROALGAE AS A SOURCE OF PROTEINS AND CAROTENOIDS FOR AQUACULTURE

¹Maltseva I.A., ²Maltsev Y.I., ¹Cherkashyna S.V., ¹Yakoviichuk A.V., ¹Kochubey A.V.

¹Melitopol State University, Melitopol, Russian Federation
²K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russian Federation

Abstract. The bioproduction characteristics analysis of the *Nostoc* sp. MI-C84-a and *Chlorococcum oleofaciens* MZ-Ch4 strains was demonstrated. The productivity indicators of biomass, protein and carotenoids were analyzed for use as feed additives in aquaculture.

Keywords. *Nostoc*, *Chlorococcum*, proteins, carotenoids, chlorophyll, aquaculture.

Развитие аквакультуры – один из ведущих мировых трендов. Сообщается, что на сегодняшний день продукция, произведенная от аквакультуры, уже приближается к половине объема всей рыбной продукции с ежегодными темпами увеличения на 7–10% (Никифоров-Никишин и др., 2018). В связи с этим растет потребность на корма для аквакультуры и улучшение их качества. Как свидетельствуют последние исследования, биомасса микроводорослей может быть успешно использована в качестве кормовой добавки в рацион питания рыб для повышения питательной ценности кормов (Sathasivam et al., 2019). Большое значение для питания рыб имеет количество белка и каротиноидов в биомассе микроводорослей, что важно не только роста рыб, но и их пигментации и антиоксидантной активности (Cerri et al., 2021). Значительный интерес в этом отношении представляют цианобактерии и зеленые микроводоросли. Зеленые микроводоросли способны накапливать в большом количестве белок и каротиноиды, а цианобактерии благодаря особому составу и структуре клеточной стенки имеют преимущества по доступности внутриклеточных питательных веществ в компонентах аквакормов (Sajjadi et al., 2018; Cerri et al., 2021). Большим количеством белка, а также биологически активных соединений с антиоксидантными функциями известны виды и штаммы *Nostoc* Vaucher ex Bornet et Flahault и *Chlorococcum* Meneghini (Sathasivam et al., 2019). При изучении видового разнообразия почв лесных экосистем Приднепровья и фитопланктона Азовского моря были выделены штаммы *Nostoc* sp. MI-C84-a и *Chlorococcum oleofaciens* MZ-Ch4 Trainor et H.C. Bold (Maltsev, Konovalenko, 2017). Целью настоящего исследования стал первичный скрининг содержания и продуктивности белка и общих каротиноидов в биомассе штаммов *Nostoc* sp. MI-C84-a и *Chlorococcum oleofaciens* MZ-Ch4 для дальнейшей оценки возможности ее использования в качестве кормовых добавок в аквакультуре.

Для оценки ростовых и биохимических характеристик штаммы *Nostoc* sp. MI-C84-a и *Chlorococcum oleofaciens* MZ-Ch4 выращивали в колбах Эрленмейера объемом 250 мл с 150 мл среды Z8 (без азота) и BBM в автотрофных условиях при 23 ± 2 °C. Интенсивность света составляла 5000 лк (70 мкмоль фотонов/(с·м²)), режим освещения 16:8 ч (свет/темнота). Изучение биохимических показателей проводили во время стационарной фазы (на 20-й день культивирования). Перед определением биохимических характеристик клетки микроводорослей в каждом варианте отмывали от среды дистиллированной водой, осаждали центрифугированием (4000 об./мин, 10 мин), жидкость над осадком удаляли, осадок использовали для анализа. Содержание белка определяли бицинхониновым

методом по инструкции Olson (2016). Экстракцию проводили 0,1М фосфатным буфером (pH7,5) с добавлением детергента додецилсульфата натрия (0,5 %), предварительно удалив липофильные компоненты этанолом. Содержание суммы каротиноидов (Car) и хлорофиллов *a*, *b* (Chl *a*, *b*) определяли экстрактнофотометрически. В обоих случаях использовали 5 мг отделенной от среды биомассы, которую гомогенизировали в 4 мл ацетона. Для экстракции каротиноидов использовали 100 % ацетон (Dere et al., 1998), хлорофиллов 90% ацетон (Jeffrey, Humphrey, 1975). Поглощение экстракта каротиноидов измеряли при 470 нм, хлорофиллов – 664 и 647 нм что соответствует максимуму поглощения для Car, Chl *a*, *b*. Полученные оптические плотности конвертировали в количественные показатели используя уравнения, описанные в методиках (Dere et al., 1998; Jeffrey, Humphrey, 1975). Все измерения проводились в трех повторностях. Для выявления закономерностей изменения содержания белка и пигментов у микроводорослей и цианобактерий был применен анализ главных компонент (Principal components analyses – PCA) (Statistica 7.0).

Исследованные штаммы отличаются по продуктивности биомассы, содержанию белка, хлорофиллов и каротиноидов (таблица 1).

Таблица 1 – Продуктивность биомассы, содержание белка, хлорофиллов, каротиноидов и их продуктивность у *Chlorococcum oleofaciens* MZ–Ch4 и *Nostoc* sp. MI-C84-a

| Показатель | Культура | |
|---|--|----------------------------|
| | <i>Chlorococcum oleofaciens</i> MZ–Ch4 | <i>Nostoc</i> sp. MI-C84-a |
| Продуктивность биомассы, мг/л×день | 386,67±12,56 | 252,14±9,21 |
| Содержание белка, % сухой биомассы | 41,40±2,26 | 13,53±1,08 |
| Продуктивность белка, мг/л×день | 56,26±4,21 | 34,11±2,01 |
| Содержание Chl <i>a</i> , мг/г | 1,75±0,09 | 6,15±0,21 |
| Содержание Chl <i>b</i> , мг/г | 0,48±0,01 | – |
| Содержание Car, мг/г | 87,04±5,10 | 25,3±2,17 |
| Продуктивность Chl <i>a</i> , мг/л×день | 0,68±0,07 | 1,55 ±0,12 |
| Продуктивность Chl <i>b</i> , мг/л×день | 0,19±0,03 | – |
| Продуктивность Car, мг/л×день | 33,65±2,14 | 6,37±0,87 |

Концентрация белка у *Chlorococcum oleofaciens* MZ–Ch4 практически втрое больше, чем у *Nostoc* sp. MI-C84-a. Предыдущие работы подтверждают, что биомасса различных видов и штаммов микроводорослей и цианобактерий отличается по содержанию белка (Loaiza et al., 2016; Sathasivam et al., 2019). Указывается, что различия могут быть обусловлены генетическими и экологическими особенностями, а также условиями культивирования (Del Río et al., 2017; Sassi et al., 2019; Le´on-Vaz et al., 2023). По количеству накапливаемого белка штамм *Chlorococcum oleofaciens* MZ–Ch4 превосходит такие виды как *Monoraphidium contortum* (Thuret) Komárková-Legnerová, *Desmodesmus communis* (E.Hegewald) E.Hegewald, которые известны высокой продуктивностью многих ценных метаболитов (Vanags et al., 2015; Karthika et al., 2018), но накапливающие только 2,8% и 4,7% белка соответственно (Кирпенко, Курейшевич, 2010). Однако исследованный штамм уступает штаммам *Chlorella vulgaris* Beijerinck, *Graesiella emersonii* (Shihira et R.W.Krauss)

H.Nozaki et al., *Ettlia oleobundans* (S.Chantanachat & Bold) J.Komárek, содержащих до 58%, 63% и 65% белка в биомассе соответственно (Sajjadi et al., 2018). Сравнительный анализ с другими видами и штаммами *Chlorococcum* показал, что исследуемый штамм производит больше белка, чем *Chlorococcum oleofaciens* SAG 213-11, *Chlorococcum* sp. USMAC 4, *Chlorococcum* sp. cf. *hypnosporum* D28Z, D37Z, D65Z, D76Z, содержащих 13-35% белка, однако уступает *Chlorococcum amblystomatis* (F.D.Lambert ex N.Wille) N.Correia, J.Varela et Leonel Pereira, который накапливает белка 56,67-73,45 % (Del Río et al., 2017; Sassi et al., 2019; Fatini et al., 2021; Correia et al., 2023). На примере *Chlorococcum oleofaciens* SAG 213-11 показано, что увеличение концентрации азота с 1мМ до 10мМ в среде культивирования приводило к увеличению содержания белка с 13% до 35% (Del Río et al., 2017). Следует отметить, что при одинаковой концентрации азота в среде культивирования, соответствующей 3мМ, штамм *Chlorococcum oleofaciens* MZ–Ch4

накапливает 41,4% белка, а *Chlorococcum oleofaciens* SAG 213-11 – только 18%. Это свидетельствует о высокой эффективности нового штамма в качестве продуцента белка.

Видам *Nostoc* также присуща большая вариабельность содержания белка. Исследуемый штамм содержал больше белка чем *Nostoc sphaeroides* Kützing ex Bornet et Flahault (Ma, 2015), но уступал *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet et Flahault, *Nostoc* sp. LS04, *N. linckia* Bornet ex Bornet et Flahault, синтезирующих до 20,3–43,0%, 31,06–41,33% и 36,8–55,5 % белка соответственно (Sajjadi et al., 2018; Silambarasan et al., 2021; Touloupakis et al., 2022). При этом продуктивность биомассы *Nostoc* sp. MI-C84-а выше чем у *Desmonostoc muscorum* (Bornet et Flahault) Hrouzek et Ventura, *Nostoc calcicola* Brébisson ex Bornet et Flahault, *Nostoc* sp. LS04, накапливающих 88,4 мг/л×день, 91,03 мг/л×день и 131,33 мг/л×день, соответственно (Nagarppan et al., 2020; Silambarasan et al., 2021), и немного уступает *N. linckia* с продуктивностью до 317 мг/л×день (Touloupakis et al., 2022). Накопление белка у *Nostoc* sp. MI-C84-а близко к аналогичным показателям *Nostoc* sp. LS04, который культивировался в среде, содержащей 25–50% городских сточных вод (Silambarasan et al., 2021).

Пигменты микроводорослей и цианобактерий благодаря биоактивным свойствам нашли широкое применение в производстве кормов (Pagels et al., 2021). Штамм *Chlorococcum oleofaciens* MZ–Ch4 характеризовался низким содержанием хлорофиллов (*a* и *b*) по сравнению с *Nostoc* sp. MI-C84-а, но высокой концентрацией и продуктивностью каротиноидов (Табл. 1). Многие исследования подтверждают, что каротиноиды обладают высокой антиоксидантной способностью, действуют как гасители свободных радикалов и могут предотвращать образование свободных радикалов за счет прерывания реакций окисления (Sirohi et al., 2022; Baracho, Lambardi, 2023; Le'on-Vaz et al., 2023). Концентрация каротиноидов в микроводорослях и цианобактериях обычно низкая, но некоторые виды могут накапливать их в значительных количествах (Sathasivam et al., 2019). Среди зеленых микроводорослей хорошими источниками каротиноидов считаются *Dunaliella salina* (Dunal) Teodoresco, *Haematococcus lacustris* (Girod-Chantrons) Rostafinski (Han et al., 2013). В последнее время сообщается, что каротиноидами богата биомасса и других видов зеленых микроводорослей. Среди них указываются *Chromochloris zofingiensis* (Dönz) Fucíková et L.A.Lewis, *Coelastrella striolata* Chodat, виды *Scenedesmus* Meyen, а также некоторые *Chlorococcum* (Sathasivam et al., 2019; Sirohi et al., 2022). Полученные результаты превышают известные для некоторых других видов и штаммов *Chlorococcum*, а также сопоставимы с продуктивностью каротиноидов других известных продуцентов каротиноидов: *Scenedesmus* sp. CICALA 1074 и *Haematococcus lacustris*, накапливающих лютеин и астаксантин в количестве до 19,7 и 17,0 мг/л×день соответственно (Han et al., 2013; Sirohi et al., 2022).

Есть данные, что цианобактерии также могут синтезировать в больших количествах каротиноиды. Например, *Cyanobium* sp. и *Arthrospira platensis* Gomont накапливают каротиноидов до 32,0 и 23,2 мг/г сухой биомассы (Pagels et al., 2021). Исследованный штамм *Nostoc* sp. MI-C84-а синтезировал каротиноидов до 25,3 мг/г, что значительно выше, чем у видов *Nostoc sphaeroides*, *N. verrucosum*, *N. commune*, в биомассе которых было только 0,5-1,69 мг/г каротиноидов (Deng et al., 2008; Sakamoto, 2011). При этом такая продуктивность каротиноидов достигнута без добавления в питательную среду соединений азота. Это уменьшает затраты на получение биомассы для промышленных целей и может стать привлекательной стратегией для получения биомассы цианобактерий.

Для выявления возможных закономерностей между условиями культивирования и накоплением белка, хлорофилла и каротиноидов в биомассе штаммов *Chlorococcum oleofaciens* MZ–Ch4 и *Nostoc* sp. MI-C84-а, а также определения из них наиболее важных для дальнейшего изучения был использован метод главных компонент (PCA). В анализ также были вовлечены данные по другим видам *Chlorococcum* и *Nostoc* представленные в проанализированных публикациях (Del Río et al., 2017; Sassi et al., 2019; Babadi, 2020; Silambarasan et al., 2021; Touloupakis et al., 2022; Correia et al., 2023). В результате проведенного анализа было выделено два основных компонента (PC), которые составляют 96,17% общей дисперсии (Рис. 1).

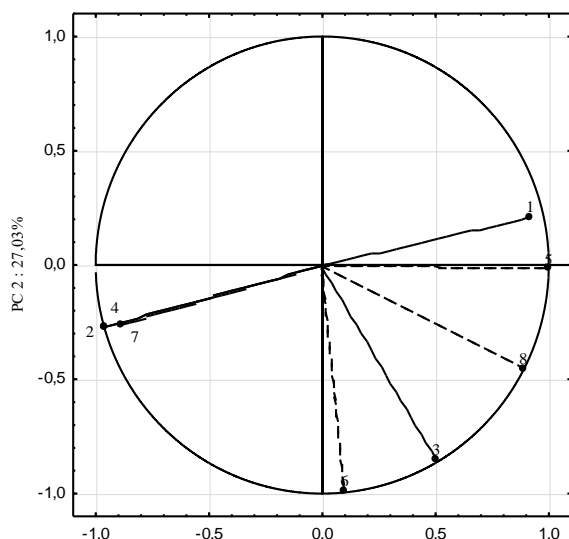


Рисунок 1 - Проекция исходных переменных на плоскость PC1 и PC2: 1 – продолжительность культивирования (дни); 2 – объем культур (л); 3 – общий азот (г/л); 4 – интенсивность света (мкмоль фотонов/(с×м²)); 5 – продуктивность биомассы (мг/л×день); 6 – содержание белка (% сухой биомассы); 7 – содержание хлорофиллов (мг/г сухой биомассы); 8 – содержание каротиноидов (мг/г сухой биомассы)

PC1 охватывает 69,14% общей дисперсии и связан положительными коэффициентами корреляции с такими переменными как продолжительность культивирования, продуктивность биомассы, содержание каротиноидов и в меньшей степени – с концентрацией общего азота в среде культивирования. Такие переменные, как объем культуры, интенсивность света и содержание хлорофилла связаны отрицательными коэффициентами корреляции с PC1. PC2 охватывает 27,03% общей дисперсии и связан с такими переменными как содержание общего азота в среде культивирования и содержание белка в биомассе микроводорослей и цианобактерий, причем отрицательной связью. Интересные закономерности были выявлены при анализе отдельных коэффициентов корреляции между содержанием белка и пигментов и условиями культивирования в пространстве новых переменных PC1 и PC2. Содержание белка положительно коррелирует с концентрацией общего азота в среде культивирования (0,87), содержание хлорофилла – положительно с интенсивностью света (0,91) и объемом культуры (0,91), а отрицательно – с продолжительностью культивирования (-0,78). Содержание каротиноидов демонстрирует положительную корреляцию с концентрацией общего азота в среде культивирования (0,83) и продолжительностью культивирования (0,74).

В результате первичного скрининга оценена способность *Chlorococcum oleofaciens* MZ-Ch4 и *Nostoc* sp. MI-C84-а продуцировать белок и каротиноиды. Штамм *Chlorococcum oleofaciens* MZ-Ch4 характеризовался большей продуктивностью белка и каротиноидов в сравнении с рядом видов зеленых микроводорослей, а также штаммов *Chlorococcum* биотехнологическая ценность которых уже хорошо описана. Штамм *Nostoc* sp. MI-C84-а продемонстрировал высокую перспективность как источник каротиноидов. Содержание каротиноидов в его биомассе превышало известное для других видов *Nostoc* практически в 15 раз. Это подтверждает перспективность использования данных штаммов в составе аквакормов и целесообразность дальнейшего комплексного изучения биохимического состава *Chlorococcum oleofaciens* MZ-Ch4 и *Nostoc* sp. MI-C84-а а поиска условий культивирования, способствующих дополнительному повышению их продукционных характеристик.

Список использованных источников

1. Baracho D.H., Lambardi A.T. Study of the growth and biochemical composition of 20 species of cyanobacteria cultured in cylindrical photobioreactors // Microbial Cell Factories. 2023. Vol. 22(36). doi:10.1186/s12934-023-02035-z.
2. Chemical composition and apparent digestibility of a panel of dried microalgae and cyanobacteria biomasses in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)/ Cerri R., Nicolai A., Cardinaletti G, Tulli F.,

Mina F., Daniso E., Bongiorno T., Chini Zittelli G., Biondi N., Tredici M.R., Tibaldi E. // *Aquaculture*. 2021. Vol. 544. 737075. doi:10.1016/j.aquaculture.2021.737075.

3. Colony development and physiological characterization of the edible blue-green alga, *Nostoc sphaeroides* (Nostocaceae, Cyanophyta) / Deng Z., Hu Q., Lu F., Liu G., Hu Z. // *Progress in Natural Science*. 2008. Vol. 18(12). P. 1475-1483. doi:10.1016/j.pnsc.2008.03.031.

4. Cultivation of *Nostoc* sp. LS04 in municipal wastewater for biodiesel production and their deoiled biomass cellular extracts as biostimulants for *Lactuca sativa* growth improvement / Silambarasan S., Logeswari P., Sivaramakrishnan R., Kamaraj B., Lan Chi N. T., Cornejo P. // *Chemosphere*. 2021. Vol. 280(7). 130644. doi:10.1016/j.chemosphere.2021.130644.

5. Dere Ş., Güneş T., Sivaci R. Spectrophotometric determination of chlorophyll - A, B and total carotenoid contents of some algae species using different solvents // *Turkish Journal of Botany*. 1998. №22. P. 13–16.

6. Effects of light intensity and quality on phycobiliprotein accumulation in the cyanobacterium *Nostoc sphaeroides* Kützinger / Ma R., Lu F., Bi Y., Hu Z. // *Biotechnol Letters*. 2015. Vol. 37(8). P. 1663-1669. doi:10.1007/s10529-015-1831-3.

7. Exploring Nordic microalgae as a potential novel source of antioxidant and bioactive compounds / León-Vaz A., León R., Vigarra J., Funk C. // *New Biotechnology*. 2023. Vol. 73. P. 1-8. doi:10.1016/j.nbt.2022.12.001.

8. Fatini M.A., Basri E.M., Wan Maznah W.O. Effect of different nitrogen sources on cell growth and biochemical compositions of *Chlorococcum* sp. cultivated under laboratory conditions // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 711(1), 012010. doi:10.1088/1755-1315/711/1/012010.

9. Growth and photosynthetic performance of *Nostoc linckia* (formerly *N. calcicola*) cells grown in BG11 and BG11₀ media / Touloupakis E., Zittelli G.C., Benavides A.M.S., Torzillo G. // *Photochemical and Photobiological Sciences*. 2023. Vol. 22(4). P. 795-807. doi:10.1007/s43630-022-00353-6.

10. Han D., Li Y., Hu Q. Astaxanthin in microalgae: pathways, functions and biotechnological implications // *Algae*. 2013. Vol. 28(2). P. 131-147. doi:10.4490/algae.2013.28.2.131.

11. Heterotrophic and Photoautotrophic Media Optimization Using Response Surface Methodology for the Novel Microalga *Chlorococcum amblyostomatis* / Correia N., Pereira H., Schulze P.S.C., Costa M.M., Santo, G.E., Guerra I., Trovão M., Barros A., Cardoso H., Silva J.L. (Ed.) // *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13(4). 2089. doi:10.3390/app13042089.

12. Identification of carotenoids and chlorophylls from green algae *Chlorococcum humicola* and extraction by liquefied dimethyl ether / Babadi F. E., Boonnoun P., Nootong K., Powtongsook S., Goto M., Shotipruk A. // *Food and Bioprocess Technology*. 2020. Vol. 123 P. 296-303. doi:10.1016/j.fbp.2020.07.008.

13. Influence of Light Intensity and Temperature on Cultivation of Microalgae *Desmodesmus Communis* in Flasks and Laboratory-Scale Stirred Tank Photobioreactor / Vanags J., Kunga L., Dubencovs K., Galvanuskas V., Grīgs O. // *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*. 2015. N 2. P. 59-70. doi: 10.1515/LPTS-2015-0012.

14. Jeffrey S.W. Humphrey G.F. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton // *Biochimie Und Physiologie Der Pflanzen*. 1975. №167(2). P. 191-194. doi:10.1016/s0015-3796(17)30778-3.

15. Karthika S. M., Thasnim P.M., Harilal C.C. Growth standardization studies on *Monoraphidium contortum* cultured under pH specific conditions in Bolds Basal medium // *Journal of Algal Biomass Utilization*. 2018. Vol. 9(1). P. 19-25. doi:10.1155/2023/6626962.

16. Maltsev Y. I., Konovalenko T. V. New finding of green algae with potential for algal biotechnology, *Chlorococcum oleofaciens* and its molecular investigation // *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2017. Vol. 8(4). P. 532-539. doi:10.15421/021782 2017.

17. Metabolites of interest for food technology produced by microalgae from the Northeast Brazil 1 / Sassi K.K.B., Silva J. A., Calixto C.D., Sassi R., Sassi C.F.C. // *Revista Ciência Agronômica*. 2019. Vol. 50(1). P. 54-65. doi:10.5935/1806-6690.20190007.

18. Microalgae for oil. Assessment of fatty acid productivity in continuous culture by two high-yield strains, *Chlorococcum oleofaciens* and *Pseudokirchneriella subcapitata* / Del Río E., García-Gómez E., Moreno J., Guerrero M. G., García-González M. // *Algal Research*. 2017. Vol. 23(2). P. 37-42. doi:10.1016/j.algal.2017.01.003.

19. Microalgae lipid and biomass for biofuel production: A comprehensive review on lipid enhancement strategies and their effects on fatty acid composition / Sajjadi B., Chena W.Y., Raman A.A., Ibrahim S. // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 97. P. 200–232. doi:10.1016/j.rser.2018.07.050.

20. Microalgae metabolites: a rich source for food and medicine / Sathasivam R, Radhakrishnan R, Hashem A, Abd Allah EF. // Saudi Journal of Biological Sciences. 2019. Vol. 26. P. 709-722. doi:10.1016/j.sjbs.2017.11.003.
21. Microalgal Carotenoids: Therapeutic Application and Latest Approaches to Enhance the Production / Sirohi P., Verma H., Singh S.K., Singh V.K., Pandey J., Khusharia S., Kumar D., Kaushalendram, Teotia, P., Kumar A. // Current Issues in Molecular Biology. 2022. Vol. 44(12). P. 6257-6279. doi.:10.3390/cimb44120427.
22. Nitrogen-fixing cyanobacteria as a potential resource for efficient biodiesel Production / Nagappana S., Bhosaleb R., Nguyenc D. D., Pugazhendhie A., Tsaif P.C., Changd S. W., Ponnusamyf V. K., Kumari G. // Fuel. 2020. Vol. 279. 118440. doi:10.1016/j.fuel.2020.118440.
23. Nutritional quality of biomass from four strains of Nostoc and Anabaena grown in batch cultures / Rosales-Loaiza N., Aiello-Mazzarri C., Gómez L., Arredondo B., Morales E. // International Food Research Journal. 2017. Vol. 24(5). P. 2212-2219.
24. Olson B.J.S.C. Assays for Determination of Protein Concentration // Current protocols in pharmacology. 2016. Vol. 73(1). P. A.3A.1-A.3A.32. doi:10.1002/cpph.3
25. Pagels F., Vasconcelos V., Guedes A.C. Carotenoids from Cyanobacteria: Biotechnological Potential and Optimization Strategies // Biomolecules. 2021. Vol. 11(5). P. 735. doi:10.3390/biom11050735
26. The extracellular-matrix-retaining cyanobacterium Nostoc verrucosum accumulates trehalose, but is sensitive to desiccation / Sakamoto T., Kumihashi K., Kunita S., Masaura T., Inoue-Sakamoto K., Yamaguchi M. // FEMS Microbiology Ecology. 2011. Vol. 77(2). P. 385-394. doi:10.1111/j.1574-6941.2011.01114.x.
27. Кирпенко Н.И., Курейшевич А.В. Содержание белка в биомассе монокультур и смешанных культур водорослей // Альгология. 2010. Т. 20, N 2 С. 167-175.
28. Никифоров-Никишин А.Л., Глебова И.А., Шатохин М.В. Аквакультура: состояние и значение отрасли для экономики России // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. N 9. С. 267-273.
29. Исследование осуществлено в рамках выполнения государственного задания 1023031000064-6-1.6.2;1.6.3.

ПРИМЕНЕНИЕ ПЬЕЗОАКТУАТОРОВ В ТЕХНОЛОГИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО КОНСЕРВИРОВАНИЯ РЕПРОДУКТИВНЫХ КЛЕТОК РЫБ

¹Матросов А.А., ¹Соловьев А.Н., ¹Нижник Д.А., ^{1,2}Пономарева Е.Н., ^{1,3}Рудой Д.В., ¹Мальцева Т.А.

¹Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

²Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук,
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

³Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация

Аннотация. Работа посвящена дальнейшей разработке жизнеспособной технологии интеллектуального управления процессом замораживания при низкотемпературном консервировании репродуктивных клеток рыб, в частности осетровых. С этой целью выполнено математическое моделирование акустическо-механического воздействия на биологические объекты. В рамках механики сплошной среды сформулированы основные краевые задачи.

Ключевые слова. Криоконсервирование, криопротектор, пьезоактуатор, репродуктивная клетка, осетровые рыбы.

APPLICATION OF PIEZOACTUATORS IN THE TECHNOLOGY OF LOW-TEMPERATURE PRESERVATION OF FISH REPRODUCTIVE CELLS

¹Matrosov A.A., ¹Soloviev A.N., ¹Nizhnik D.A., ^{1,2}Ponomareva E.N., ^{1,3}Rudoy D.V., ¹Maltseva T.A.

¹Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

²Federal Research Center Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences,
Rostov-on-Don, Russian Federation

³Agrarian Research Center "Donskoy", Zernograd, Russian Federation

Abstract. The work is devoted to the further development of a viable technology for intelligent control of the freezing process during low-temperature preservation of fish reproductive cells, in particular sturgeon. For this purpose, mathematical modeling of acoustic-mechanical impact on biological objects has been performed. Within the framework of continuum mechanics the main boundary problems have been formulated.

Keywords. Cryopreservation, cryoprotectant, piezoactuator, reproductive cell, sturgeon fish.

В настоящее время серьёзным вызовом человечеству является борьба с голодом. Нехватка продовольственных ресурсов, искусственное заводское увеличение маточного стада промысловых рыб – это важнейшая задача, стоящая на повестке уже сегодняшнего дня. Кроме того, важной современной задачей является задача сохранения биологического и генетического разнообразия ценных видов рыб.

В работе решается задача разработки новой интеллектуальной технологии низкотемпературного консервирования репродуктивных клеток рыб, в частности осетровых [1]. Проводится исследование применения акустических полей, создаваемых пьезоактуатором, в технологии низкотемпературного консервирования репродуктивных клеток рыб с интеллектуальным управлением процесса замораживания.

Схематично процесс замораживания при низкотемпературном консервировании может быть представлен следующим образом. Сосуд с суспензией (репродуктивные клетки, помещённые в криопротектор) при температуре +4 °С помещается в жидкий азот (–195.75 °С). Такое практически мгновенное замораживание приводит к резкому температурному скачку и образованию внутриклеточного льда, что является важнейшим криповреждающим фактором.

Основным способом предохранения репродуктивных клеток от повреждения является помещение спермы в криопротектор, призванный защитить клетку на этапе эквilibрации. Кроме того,

уменьшение внутриклеточного льда будет значительно способствовать последующей успешной дефростации.

В связи с этим в работе выполнено математическое моделирование акустического воздействия на биологические объекты. Именно, на этапе эквilibрации пьезоактуатором со специально подобранной мощностью и частотой создается акустическое поле в суспензии. Математическая модель такого воздействия строится в рамках механики сплошной среды [2, 3].

Для описания упругих элементов используются уравнения линейной теории упругости:

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \underline{\underline{\sigma}} + \underline{\underline{f}} &= \rho \underline{\underline{\ddot{u}}} \\ \underline{\underline{\sigma}} &= \underline{\underline{c}} \odot \underline{\underline{\varepsilon}} \\ \underline{\underline{\varepsilon}} &= \frac{1}{2}(\nabla \underline{\underline{u}} + (\nabla \underline{\underline{u}})^T) \end{aligned} \quad (1)$$

здесь $\underline{\underline{\sigma}}$, $\underline{\underline{\varepsilon}}$, $\underline{\underline{c}}$ – соответственно тензор напряжений, тензор деформаций, тензор четвертого ранга упругих модулей; $\underline{\underline{u}}$, $\underline{\underline{f}}$ – соответственно вектор перемещений и вектор плотности объемных сил; ∇ – набла-оператор; \odot – операция полного скалярного умножения. Верхним индексом T в формулах обозначена операция транспонирования.

Для описания электроупругих элементов используются уравнения линейной теории электроупругости:

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \underline{\underline{\sigma}} + \underline{\underline{f}} &= \rho \underline{\underline{\ddot{u}}} \\ \nabla \cdot \underline{\underline{D}} &= 0 \\ \underline{\underline{E}} &= -\nabla \varphi \\ \underline{\underline{\sigma}} &= \underline{\underline{c}} \odot \underline{\underline{\varepsilon}} - \underline{\underline{e}}^T \cdot \underline{\underline{E}} \\ \underline{\underline{D}} &= \underline{\underline{e}} \odot \underline{\underline{\varepsilon}} + \underline{\underline{\varepsilon}}^S \cdot \underline{\underline{E}} \\ \underline{\underline{\varepsilon}} &= \frac{1}{2}(\nabla \underline{\underline{u}} + \nabla \underline{\underline{u}}^T) \end{aligned} \quad (2)$$

здесь $\underline{\underline{D}}$, $\underline{\underline{E}}$ – соответственно вектор электрической индукции и вектор напряженности электрического поля, φ – электрический потенциал, $\underline{\underline{e}}$, $\underline{\underline{\varepsilon}}^S$ – соответственно тензор пьезомодулей (тензор третьего ранга) и тензор диэлектрических проницаемостей, измеренных при постоянной нулевой деформации (тензор второго ранга).

Для описания суспензии используются уравнения движения жидких и газообразных сред в акустическом приближении:

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \underline{\underline{\sigma}} &= \rho \underline{\underline{\dot{v}}} \\ \nabla \cdot \underline{\underline{v}} + \frac{1}{\rho c^2} \dot{p} &= 0 \\ \underline{\underline{\sigma}} &= -p \underline{\underline{E}} + b \nabla \underline{\underline{v}} \\ \underline{\underline{v}} &= \nabla \psi \end{aligned} \quad (3)$$

здесь ρ – плотность акустической среды, c – скорость звука в акустической среде, p – звуковое давление, $\underline{\underline{v}}$ – вектор скорости, b – диссипативный коэффициент акустической среды, ψ – потенциал скоростей, $\underline{\underline{E}}$ – единичный тензор.

При проведении численных экспериментов принято, что суспензия находится в стандартном стеклянном лабораторном низком градуированном стакане и моделируется однородной жидкой средой с некоторыми усредненными параметрами. Акустические волны возбуждаются пьезоактуатором, прикрепленном ко дну стакана. В качестве пьезоактуатора использована круглая пластина из пьезокерамики, предварительно поляризованной той же толщине. На её лицевые поверхности нанесены электроды пренебрежимо малой толщины.

Для решения сформулированной краевой задачи использован программный комплекс свободно распространяемого программного обеспечения (free software) конечно-элементного анализа ACELAN.

Проведенный модальный анализ [4] позволяет определить радиус пьезоэлемента и частоту резонанса на первой изгибной моде колебаний. На этой частоте наиболее эффективно возбуждаются акустические волны в суспензии. Проведенный анализ поля скоростей и давлений в акустической среде показывает, что при этом на резонансной частоте также наблюдается явление перемешивания суспензии внутри занимаемого объема. Данное явление способствует интенсивному проникновению эндоцеллюлярного криопротектора внутрь репродуктивных клеток и способствует их защите от повреждения при последующей витрификации.

На втором этапе рассматривается диффузия криопротектора через мембрану клетки. Данный процесс в общем виде описывается системой дифференциальных уравнений, основанных на законах Фика и уравнением состояния среды:

$$\begin{aligned} \rho \left[\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \nabla \mathbf{u}) \right] &= -\nabla p + \eta \nabla^2 \mathbf{u} + \left(\frac{\eta}{3} + \xi \right) \nabla \operatorname{div} \mathbf{u} + \rho \mathbf{g} \\ \frac{\partial n}{\partial t} + \operatorname{div} (n \mathbf{v}) &= 0 \\ \frac{\partial c_i}{\partial t} + \mathbf{v} \nabla c_i &= -\operatorname{div} \mathbf{j}_i \\ j_1 &= -(D_{11}^* \nabla c_1 + D_{12}^* \nabla c_2) \\ j_2 &= -(D_{21}^* \nabla c_1 + D_{22}^* \nabla c_2) \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь использованы следующие обозначения: \mathbf{u} – вектор среднemasсовой скорости; \mathbf{v} – вектор среднечисловой скорости; ρ – плотность; p – давление; η и ξ – коэффициенты сдвиговой и объемной вязкости; \mathbf{g} – вектор ускорения свободного падения; n – числовая плотность; t – время; T – температура; c_i – концентрация i -го компонента; \mathbf{j}_i – вектор плотности диффузионного потока i -го компонента; D_{ij}^* – практические коэффициенты диффузии, которые определяются через коэффициенты взаимной диффузии.

Выписанная выше система уравнений (4) должна быть дополнена уравнением состояния среды:

$$\rho = \rho(c_1, c_2, p), \quad T = \text{const} \quad (5)$$

Учитывая современное разнообразие моделей внутриклеточного переноса веществ, в рамках рассматриваемой в данной работе механической модели принято, что коэффициенты диффузии предварительно определены из соответствующих биологических экспериментов.

Для проведения численного эксперимента использовалась программа сценарных моделей решения дифференциальных уравнений методом конечных элементов FlexPDE.

В результате проведенных численных экспериментов установлено, что диффузия криопротектора внутрь клетки зависит от амплитуды скорости и времени воздействия, но слабо зависит от частоты колебаний. Таким образом, для эффективной защиты репродуктивных клеток криопротектором на суспензию следует воздействовать пьезоактуатором вблизи резонансной частоты.

Следующим этапом является собственно сам процесс витрификации.

При этом в суспензии происходит процесс кристаллизации, сопровождаемый температурным скачком на границе твердой и жидкой фаз. Эта модель строится на основе решения задачи Стефана. В работе принято, что теплоемкость на фронте свободной границы (границе фазового перехода) изменяется по закону, учитывающему размытость этой границы. Кроме этого учтено изменение теплопроводности и теплоемкости в твердой и жидкой фазах.

Математическая модель кристаллизации строится на основе нестационарного уравнения теплопроводности для однородной среды, которая имеет два состояния – жидкая и твердая фаза:

$$\nabla \cdot (-L \nabla T) + c_p \frac{\partial T}{\partial t} - S = 0 \quad (6)$$

где

$$c_p = \begin{cases} c_1, & T > T_c \\ c_2, & T \leq T_c \end{cases} \\ L = \begin{cases} L_1, & T > T_c \\ L_2, & T \leq T_c \end{cases}$$

$$S = Qw \delta(T - T_c)$$

В формулах (6) использованы следующие обозначения: T – температура; T_c – температура кристаллизации; C_1, C_2 – теплоемкости жидкой и твердой фаз; L_1, L_2 – теплопроводности жидкой и твердой фаз; S – внутренний источник тепла, связанный с процессом кристаллизации в окрестности поверхности с температурой T_c , $\delta()$ – дельта-функция Дирака.

Проведённые численные эксперименты выполнены в программе сценарных моделей решения дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных элементов FlexPDE. Анализ результатов показывает, что учет температурного скачка на фронте границы кристаллообразования в рассматриваемой задаче приводит к замедлению процесса кристаллизации.

Выписанные выше уравнения (1)-(6) должны быть дополнены соответствующими краевыми и начальными условиями.

Численное решение сформулированных начально-краевых задач позволяет определить эффективные параметры акустическо-механического воздействия пьезоактуатора на репродуктивные клетки, включая геометрические параметры пьезоактуатора и эффективную рабочую частоту. Это позволяет существенно продвинуться вперед в разработке жизнеспособной технологии интеллектуального управления процессом замораживания при низкотемпературном консервировании репродуктивных клеток рыб. Проведённые натурные эксперименты [5] показали хорошую адекватность построенной математической модели реальному процессу замораживания репродуктивных клеток осетровых рыб.

Список использованных источников

1. Тищенко Н.Н., Ткачева И.В. Пищевая ценность осетровых рыб // Проблемы и тенденции инновационного развития агропромышленного комплекса и аграрного образования России, Т. I. – Персиановский: Донской ГАУ, 2012. – С. 226-228.
2. Matrosov Andrey, Nizhnik Daria, Soloviev Arkady. Simulation of Impact of Acoustic Field Produced by Piezoactuator on Biological Fluid With Cryoprotector // International Conference «Mathematical Modeling, Inverse Problems and Big Data». – Yakutsk: North-Eastern Federal University, 2021. – Pp. 21.
3. Matrosov A.A., Nizhnik D.A., Ponomareva E.N., Soloviev A.N., Chebanenko V.A. Modeling of Impact of Acoustic Field on Biological Fluid with Cryoprotector // Modern Problems in Modeling Materials for Mechanical, Medical, and Biological Applications (MPMM&A-2021). – Rostov-on-Don: DSTU, 2021. – Pp. 9.
4. Матросов А.А., Нижник Д.А., Соловьев А.Н. Математическое моделирование акустического воздействия при проведении эквивибрации // Материалы III национальной научно-практической конференции с международным участием «Актуальные проблемы техники, технологии и образования». – Керчь: КГМТУ, 2022. – С. 184-186.
5. E.N. Ponomareva, A.N. Soloviev, A.A. Matrosov, V.A. Chebanenko, D.A. Nizhnik, A.A. Egorova & A.A. Krasilnikova. Mathematical Simulation of the Acoustic Effect on a Cryoprotectant with Fish Sperm at Equilibration // Biophysics. Vol. 67, No. 4, 2022. – Pp. 549-558. DOI: 10.1134/S0006350922040170.
6. Matrosov A.A., Nizhnik D.A., Pakhomov V.I., Soloviev A.N. Diffusion of Cryoprotectant Through the Membrane of Reproductive Cells During Equilibration // Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications. – Springer Proceedings in Materials, Vol. 20, 2023. – Pp. 508-514. DOI: 10.1007/978-3-031-21572-8_44.

Работа поддержана Грантом РФФ 21-16-00118 «Исследование применения пьезоактуаторов в технологии низкотемпературного консервирования репродуктивных клеток рыб с интеллектуальным управлением процесса замораживания».

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ РЫБЫ ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ МЕТОДОМ ЭПР-СПЕКТРОМЕТРИИ

¹Меджидов И.М., ¹Полякова И.В., ¹Санжарова Н.И., ¹Павлов А.Н., ¹Васильева Н.А.

¹НИЦ «Курчатовский институт» - Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии, г. Обнинск, Российская Федерация

Аннотация. Описаны методы, применяемые для идентификации факта облучения пищевой продукции. В качестве примера приведены экспериментальные данные применения спектрометрии на основе электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) для оценки факта облучения рыбы. Объектом исследования являлась горбуша, которая была облучена в дозе 3 и 6 кГр. Наблюдается увеличение интенсивности ЭПР-сигнала с увеличением дозы облучения. Для оценки кинетики затухания сигнала была проведена повторная спектрометрия образцов спустя 10 дней и 1 месяц. Наблюдается понижение интенсивности ЭПР-сигнала в первое время после облучения, связанное с распадом короткоживущих радикалов. Спустя 1 месяц угасание сигнала не столь значимое. Полученные результаты показали, что ЭПР-спектрометрия является чувствительным и достоверным методом для оценки факта облучения рыбы.

Ключевые слова. Облучение продуктов, ЭПР-спектрометрия, свободные радикалы, рыба, кинетика затухания

IDENTIFICATION OF THE APPLICATION OF IONIZING RADIATION FISH PROCESSING TECHNOLOGY BY EPR SPECTROMETRY

¹Medzhidov I.M., Polyakova I.V., Sanzharova N.I., Pavlov A.N., Vasilyeva N.A.

¹NSC «Kurchatov institute» - Russian institute of radiology and agroecology, Obninsk, Russian Federation

Abstract. The methods used for identifying the fact of food product irradiation are described. As an example, experimental data on the use of electron paramagnetic resonance (EPR) spectrometry to assess the fact of fish irradiation are presented. Pink salmon was chosen as the object of study and was irradiated at doses of 3 and 6 kGy. An increase in the intensity of the EPR signal is observed with an increase in the irradiation dose. To analyze signal decay kinetics, repeat spectrometry was performed on samples after 10 days and 1 month. A decrease in EPR signal intensity was initially observed post-irradiation due to the decay of short-lived radicals. However, the signal decay became less significant after 1 month. The obtained results demonstrate that EPR spectrometry is a sensitive and reliable method for evaluating fish irradiation.

Keywords. Irradiation of products, EPR spectrometry, free radicals, fish, decay kinetics

Введение

Одной из важнейших проблем продовольственной безопасности является обеспечение населения Российской Федерации качественными и безопасными продуктами питания, в том числе путем разработки ресурсосберегающих технологий производства и хранения продовольственного сырья и пищевой продукции, а также снижения потерь в технологической цепочке «от поля до прилавка» («План мероприятий по реализации Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года»). Распоряжение Правительства РФ от 19 апреля 2017 г. № 738-р). Продовольственное сырье и пищевые продукты могут представлять микробиологическую опасность для человека при нарушении технологий производства и санитарно-гигиенических правил, температурных режимов во время транспортировки и хранения и т.п. Острота проблемы связана также с ростом риска появления нехарактерного для Российской Федерации микробиологического, фитосанитарного и других видов заражения (биогенные угрозы), обусловленного глобализацией рынка продовольствия.

Наибольшую проблему создают продукты животного происхождения, в том числе рыбная продукция, вследствие длинных логистических цепочек транспортировки, особенностей текстуры мышечной ткани и технологий переработки, способствующих распространению микроорганизмов в объеме продукта (засолка, копчение). Так, при контроле качества ввозимой в РФ рыбной продукции

регистрируется несоответствие микробиологическим показателям безопасности (КМАФАнМ, БГКП, листерии) у 3,2-5,6 % поставщиков, в частности из Вьетнама, Аргентина, Перу, Беларуси, Чили, Китая, Турция, Фарерских островов.

Роль рыбной продукции в рационе населения постоянно возрастает, так как она способна обеспечить полноценный баланс белков, витаминов и минералов (таких как кальций, фосфор и железо). Добыча рыбы и водных ресурсов распределена неравномерно: на Атлантический океан приходится 24,4% от всей добычи, а на Тихий океан – 71,1 % (по данным Федерального агентства по рыболовству, 2020-2021 гг.). Следствием этой неравномерности являются длинные логистические цепочки при транспортировке внутри страны и высокие затраты на поддержание соответствующих условий хранения и транспортировки. По данным ФАО потери рыбного сырья и готовой продукции достигают 25-35 %, главным образом, за счет микробиологической порчи, а также возможного присутствия микроорганизмов, способных вызывать пищевые токсикоинфекции.

Объем добычи водных биологических ресурсов в 2021 году российскими пользователями составил 5053,4 тыс. тонн, а уровень самообеспечения рыбой и рыбопродуктами составил 153,2 %. (итоги деятельности Федерального агентства по рыболовству в 2021 году). Импорт в 2021 году составил 2 593 млн. долл., экспорт рыбной продукции в 2021 году составил 6 629,7 млн. долл.

Рыбохозяйственная отрасль играет важную роль в поддержании продовольственной безопасности Российской Федерации, сохранении водных биоресурсов и улучшении качества жизни населения. Целями развития рыбоперерабатывающей промышленности являются расширение производства и реализация конкурентоспособной российской рыбо- и морепродукции с высокой долей добавленной стоимости, обеспечение на этой основе интенсивного замещения импортной продукции на внутреннем рынке продукцией российского производства.

Свежая рыба относится к скоропортящейся продукции, основной причиной порчи которой является бактериальная активность [1]. Для предотвращения порчи активно используются различные методы инактивации микроорганизмов. Помимо традиционных методов, используемых для продления срока годности и уничтожения микробиологической активности рыбы и рыбопродуктов, облучение ионизирующим излучением широко признано в качестве эффективной меры контроля для инактивации патогенных бактерий и паразитов в пищевых продуктах, что открывает потенциал для повышения микробиологической безопасности и качества пищевых продуктов [2-7].

Технология облучения рыбы регулируется межгосударственным стандартом (ГОСТ ISO 14470-2014 «Радиационная обработка пищевых продуктов. Требования к разработке, валидации и повседневному контролю процесса облучения пищевых продуктов ионизирующим излучением») и национальным нормативным документом ГОСТ 34154-2017 «Руководство по облучению рыбы и морепродуктов с целью подавления патогенных и вызывающих порчу микроорганизмов». Применение технологии облучения показало высокую эффективность инактивации микроорганизмов, таких как: *Staphylococcus spp*, *Listeria spp*, *Enterobacteriales spp*, *Vibrio spp*, *Salmonella spp* и др. [8-12]. Помимо стерилизационного эффекта, обработка ионизирующим излучением также продлевает срок годности продуктов. Так, при облучении рыбы дозой 2 и 3 кГр и хранении при температуре 1–2 °С наблюдается увеличение срока хранения на 11 дней по сравнению с контрольным образцом [13].

При облучении необходимо строго соблюдать правила и стандарты процесса радиационной обработки. Превышение разрешенных пределов дозовой нагрузки приводит к нарушению качества продукции, а при значениях поглощенной дозы ниже необходимых значений может быть не достигнута заявленная цель процесса облучения. В соответствии с кодексом Алиментариус при радиационной обработке пищевых продуктов могут использоваться только три типа ионизирующего излучения:

1. Гамма-лучи (фотоны высокой энергии), испускаемые радиоактивными элементами кобальт-60 (^{60}Co) или цезий-137 (^{137}Cs) с высокой проникающей способностью.
2. Электронные пучки высоких энергий с ограниченной глубиной проникновения, генерируемые электронными ускорителями, работающими на уровне энергии 10 МэВ или ниже.
3. Рентгеновское излучение, генерируемое при бомбардировке металлической мишени электронами на уровне энергии 5 МэВ или ниже.

Кодексом Алиментариус также запрещено повторное облучение, т.к. это приводит к деградации и порче пищевой продукции. Поэтому немаловажным является контроль качества продукции и идентификация факта облучения для обеспечения пищевой безопасности при употреблении продукции потребителем.

Для идентификации облученной продукции используются различные методы, среди которых можно выделить три основных:

Термолюминесцентная спектрометрия (TL) – метод измерения светового излучения, которое выделяется при нагревании облучаемого материала. Принцип метода основан на том факте, что при облучении продукции электроны вещества возбуждаются и переходят на более высокие энергетические уровни, а при последующем нагревании, возбужденные электроны высвобождают свою энергию в виде световых вспышек и переходят в стабильное состояние. Прибор регистрирует интенсивность световых

вспышек и на основании этих данных возможна идентификация факта облучения пищевой продукции, т. к. интенсивность световых вспышек пропорциональна количеству энергии, которая была поглощена веществом в результате облучения. Преимуществом данного метода является высокая надежность, чувствительность и возможность регистрировать малые дозы (ниже 1 кГр). Однако, главным недостатком метода является необходимость выделения из пищевых продуктов адекватных количеств силикатных минералов при пробоподготовке, что занимает довольно много времени (72 часа). Данная методика регламентируется Европейским стандартом EN 1788:2002.

Фотолюминесцентная спектрометрия (PSL) – этот метод аналогичен предыдущему, за исключением того, что для высвобождения энергии возбужденных электронов используется не нагрев, а оптическая стимуляция. PSL метод может быть применен для обнаружения любых пищевых продуктов, содержащих минералы. Методика проведения исследования очень проста и не требует дополнительных затрат на анализы, реактивы и т. д. Продолжительность анализа составляет от 60 секунд до нескольких минут. Метод регламентируется Европейским стандартом EN 13751:2009. Преимуществом данного метода является простота в использовании, минимальные затраты в пробоподготовке и хорошая чувствительность в анализе.

Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР) – это метод исследования материалов с неспаренными электронами. Под действием ионизирующего излучения в биологических субстратах образуются свободные радикалы, которые выступают парамагнитными центрами. Идентификация происходит путем поглощения магнитного поля объектом исследования и продуцированием квантовых переходов между энергетическими уровнями. Это и есть основной феномен ЭПР-спектрометрии и носит название Зеемановского взаимодействия [14]. Интенсивность ЭПР-сигнала, как правило, сохраняется до нескольких месяцев, что позволяет установить факт радиационной обработки во время хранения продуктов питания и продовольственного сырья. Кроме того, метод ЭПР отличается высокой степенью достоверности.

Применение данного метода регламентируется множеством национальных (ГОСТ Р 52529-2006, ГОСТ 31652-2012, ГОСТ 31672-2012 и т. д.) и Европейских (European Standard EN 1787:2000, European Standard EN 13708:2001 и т. д.) нормативных документов. Стандарты определяют требования к подготовке образцов, условиям проведения измерений и однозначной идентификации облученных пищевых продуктов с применением ЭПР-анализа, а также порядок контроля облученных пищевых продуктов.

Целью данной работы является исследование возможности применения ЭПР-спектрометрии для идентификации факта облучения рыбы, а также изучение кинетики затухания сигнала с течением времени.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования была выбрана горбуша семейства лососевых. Рыба была выловлена в Тихом океане Дальневосточного региона России. После обработки рыба хранилась при температуре не выше -18 °С. Спустя 8 месяцев после вылова была приобретена у поставщика и доставлена для проведения исследования. При перевозке не были нарушены температурные условия хранения в соответствии с ГОСТ 32366–2013.

Цельная рыба была разделена на несколько частей, из каждой части бралось небольшое количество костной ткани. Костную ткань очищали от мышечной ткани, сухожилий, пленок и костного мозга при помощи медицинского скальпеля в соответствии с ГОСТ Р 52529–2006. Затем образцы помещали в изотермический контейнер в присутствии хладагентов и отправляли на облучение. Обработка ионизирующим излучением проводилась на гамма-установке ГУР-120 (Обнинск, ВНИИРАЭ) источником ^{60}Co в дозах 3 и 6 кГр при температуре не выше -18 °С. В качестве контроля брали исходную, необлученную рыбу. Мощность дозы составляла 1,5 кГр/ч. Требования по дозиметрии, необходимой при проведении исследований по влиянию радиации на пищевые и сельскохозяйственные продукты выполнялись по ГОСТ 34155-2017 и ГОСТ 8.664-2019. В качестве рабочего средства измерения использовали дозиметрические пленки СО ПД(Э) – 1/10 и спектрофотометр СФ-2000. Расчет поглощенной дозы в зависимости от значений оптической плотности пленки проводили в соответствии с паспортом на стандартный образец поглощенной дозы СО ПД(Э) – 1/10.

ЭПР-спектры регистрировались с помощью спектрометра ESR70-03 XD/2 (Минск, Беларусь) при комнатной температуре (≈ 23 °С) на микроволновой полосе X, что эквивалентно частоте СВЧ 9,4 ГГц. Все образцы помещались в спектрометр на одном уровне. Высота и масса вещества в пробирке была одинаковой для каждого образца. Повторность была 3-кратная. Процедура регистрации была выполнена в соответствии с ГОСТ Р 52529–2006. Спектрометрию образцов проводили спустя 22 часа, 10 дней и 1 месяц после облучения. Кинетику затухания сигнала свободных радикалов определяли путем изменения интенсивности сигнала в различные промежутки времени.

Параметры ЭПР-спектрометра во время регистрации были следующими:

- середина поля – 3350 Э;
- диапазон поля – 1000 Э;
- частота модуляции – 100 кГц;
- модуляция – 4 Э;
- мощность СВЧ – 50 мВт;
- коэффициент усиления – 50;
- время снятия спектра – 700 сек;

G-фактор – это безразмерная величина, которая описывает магнитный момент частицы или молекулы в присутствии внешнего магнитного поля [15]. В ЭПР-спектроскопии g-фактор является критическим параметром, который используется для определения спина электрона и характера изучаемого парамагнитного центра.

G-фактор можно определить по следующей формуле [15]:

$$h\nu = g\mu_B B, \quad (1)$$

где h – постоянная Планка; ν – СВЧ-частота X-диапазона; μ_B – магнетон Бора; B – выбранная точка магнитного поля (Тл).

Результаты и их обсуждение

Полученные результаты по ЭПР-спектроскопии образцов костной ткани горбуши спустя 22 часа после облучения представлены на рисунке 1. Наблюдается увеличение интенсивности сигнала с увеличением дозы облучения. Интенсивность сигнала определялась путем измерения амплитуды первой производной пика поглощения.

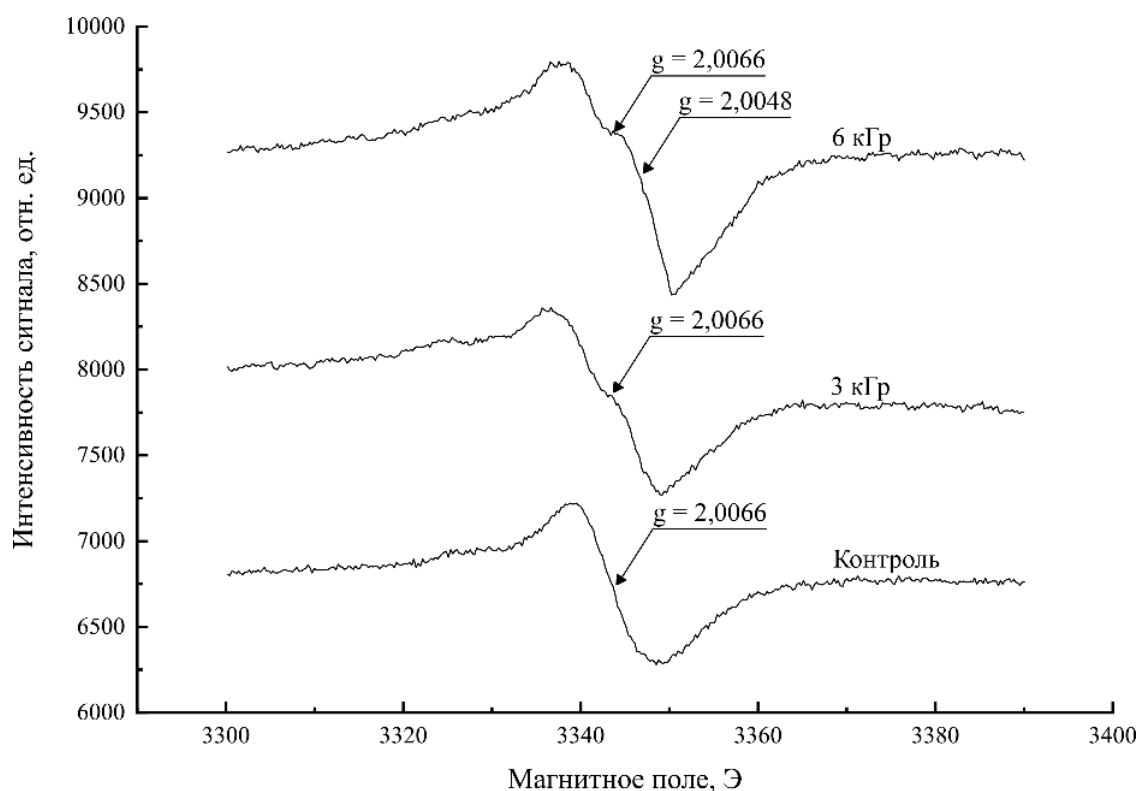


Рисунок 1 - ЭПР-спектры костной ткани горбуши, облученной в дозе 3 и 6 кГр в сравнении с контрольным образцом

Интенсивность сигнала образца с дозой облучения 6 кГр составляет 1350 отн. ед., для 3 кГр – 1060 отн. ед., необлученный образец – 930 отн. ед. У облученных образцов наблюдается образование дополнительных парамагнитных центров с g-фактором равным 2,0066. Полученные данные свидетельствуют о возможности применения ЭПР-спектроскопии для идентификации факта облучения.

Но немаловажным является проведение исследования кинетики затухания ЭПР-сигнала с течением времени, т.к. свободные радикалы имеют свойство распадаться и это, в свою очередь, приводит к затуханию ЭПР-сигнала. Как правило, уменьшение интенсивности сигнала с течением времени происходит за счет рекомбинации частиц с другими парамагнитными частицами и

превращением в другую парамагнитную молекулу. Это является основным барьером, который не позволяет проводить спектрометрию спустя длительное количество времени после облучения. Но стоит отметить, что процесс затухания сигнала индивидуален для каждого вещества. Некоторые материалы способны индуцировать стабильные радикалы, которые позволяют идентифицировать факт облучения даже спустя несколько лет, например – сахар [16].

Для проведения данного исследования образцы с костной тканью измеряли на спектрометре спустя 22 часа 10 дней и 1 месяц. Результаты представлены на таблице 1.

Таблица 1 – Значения интенсивности ЭПР-сигнала с течением времени

| Доза облучения, кГр | Интенсивность сигнала, отн. ед. | | | Значение g-фактора |
|---------------------|---------------------------------|--------------|-------------|--------------------|
| | 22 часа | 10 дней | 1 месяц | |
| Контроль | 925 ± 3,18 | 744 ± 2,33 | 606 ± 1,73 | 2,0066 |
| 3 | 1052 ± 19,22 | 984 ± 4,70 | 911 ± 7,00 | 2,0066 |
| 6 | 1357 ± 12,01 | 1243 ± 12,16 | 1041 ± 4,58 | 2,0066; 2,0048 |

Наблюдается понижение сигнала с течением времени для облученных образцов. Также наблюдается спад контрольного образца. Предполагается, что рыба ранее уже была облучена поставщиком, что в свою очередь вызвало образование свободных радикалов и затухание сигнала с течением времени. Помимо этого, возможным фактором для затухания сигнала могут быть условия хранения, т.к. в нашем эксперименте образцы после облучения хранились в высушенном виде. В дальнейшем планируется провести исследования с учетом вышесказанных факторов.

Как видно из таблицы, Максимальное затухание сигнала наблюдается в первое время после облучения, т. к. после облучения образуется большое количество короткоживущих радикалов. Так, спустя месяц после облучения интенсивность сигнала понизилась на 35 % для контрольного образца, 14 % – для 3 кГр и 23 % – для 6 кГр. Тем не менее, хоть и наблюдается затухание ЭПР-сигнала, по полученным данным есть возможность идентифицировать факт облучения рыбы спустя 1 месяц после процесса радиационного воздействия.

Заключение

Представлены результаты исследования применения ЭПР-спектрометрии для оценки факта облучения рыбы, а также возможности зарегистрировать сигнал спустя различные периоды времени после облучения. Было зарегистрировано закономерное увеличение интенсивности сигнала с увеличением дозы облучения. Значение g-фактора варьировалось от 2,0048 до 2,0066. Для исследования кинетики затухания ЭПР-сигнала образцы были повторно зарегистрированы спустя 22 часа 10 дней и 1 месяц. Наблюдается понижение интенсивности сигнала в первое время после облучения. Полученные данные показывают, ЭПР-спектрометрия является эффективным и перспективным физическим методом, позволяющим оценить влияние как факта облучения, так и дозы облучения и времени после его проведения. Полученные данные подтверждают обоснованность применения ЭПР-спектрометрии для решения задач по обеспечению безопасности применения технологии облучения.

Список использованных источников

1. Huss H.H. Quality and quality changes in fresh fish // Fisheries Technical Paper. 1995. Rome: FAO. P. 195.
2. Mahapatra A.K, Muthukumarappan K., Julson J.L. Applications of ozone, bacteriocins and irradiation in food processing: a review // Critical reviews in food science and nutrition. 2005. Vol. 45(6). P. 447-61. doi: 10.1080/10408390591034454.
3. O'Bryan C.A, Crandall P.G, Ricke S.C, Olson D. G. Impact of irradiation on the safety and quality of poultry and meat products: a review // Critical reviews in food science and nutrition. 2008 Vol. 48(5). P. 442-57. doi: 10.1080/10408390701425698.
4. Arvanitoyannis I.S, Stratakos A., Mente E. Impact of Irradiation on Fish and Seafood Shelf Life: A Comprehensive Review of Applications and Irradiation Detection // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2008. Vol. 49(1). P. 68-112. DOI: 10.1080/10408390701764278.

5. Fan X., Niemira B.A. Gamma Ray, Electron Beam, and X-ray Irradiation // In: Demirci A., Feng H., Krishnamurthy K. (eds) Food Safety Engineering. Food Engineering Series. Springer, Cham. 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42660-6_18
6. Oduke, O.B., Farag, K.W., Baines, R.N. et al. Irradiation Applications in Dairy Products: a Review // Food Bioprocess Technol. 2016. Vol. 9. P. 751–767. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1709-y>
7. Prakash A. Particular applications of food irradiation fresh produce // Radiation Physics and Chemistry. 2016 Vol. 129. P. 50-52. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2016.07.017>.
8. Hesham M. B. Control of the potential health hazards of smoked fish by gamma irradiation // International Journal of Food Microbiology. 2012. Vol. 154(3). P. 177-186. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.12.037>.
9. Nei D., Kawasaki S., Inatsu Y., et al. Effectiveness of gamma irradiation in the inactivation of histamine-producing bacteria // Food Control. 2012. Vol. 28(1). P. 143-146 <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.05.006>.
10. Sommers C.H., Rajkowski K.T. Radiation Inactivation of Foodborne Pathogens on Frozen Seafood Products // Journal of Food Protection. 2011. Vol. 74(4). P. 641-644. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-10-419>.
11. Jakabi M., Gelli D.S., Jussara C.M.D. Torre et al. Inactivation by Ionizing Radiation of Salmonella Enteritidis, Salmonella Infantis, and Vibrio parahaemolyticus in Oysters (*Crassostrea brasiliana*) // Journal of Food Protection. 2003. Vol. 66(6). P. 1025-1029. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-66.6.1025>.
12. Oraei M., Motalebi AA., Hoseini E. and Javan S. Effect of Gamma irradiation and frozen storage on microbial quality of Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet // Iranian Journal of Fisheries Sciences. 2011. Vol. 10 P. 75-84.
13. Ahmed I.O., Alur M.D., Kamat A.S. et al. Influence of processing on the extension of shelf-life of Nagli-fish (*Sillago sihama*) by gamma radiation // International Journal of Food Science & Technology. 1997. Vol.32. P. 325-332. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.1997.00409.x>
14. Karunakaran C., Balamurugan M. Electron Paramagnetic Resonance Spectroscopy // Spin Resonance Spectroscopy. 2018. Elsevier. P. 169–228.
15. Eaton G.R., Eaton S.S., and Berliner L.J. Electron Paramagnetic Resonance: A Practitioner's Toolkit, Wiley, New York, NY, USA, 2010.
16. Yordanka K., Yordanov N. Time dependence of the EPR and optical spectra of irradiated crystal sugar // Radiation Physics and Chemistry. 2020. Vol. 168. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.108569>.

ПЕРСПЕКТИВЫ БИОРЕМЕДИАЦИИ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ С ПОМОЩЬЮ СОЗДАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ

¹Нейдорф А.Р., ¹Бабичев-Ганага А.Д., ¹Божко В.А.

¹Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматриваются принципы и перспективы создания искусственных фитоценозов для биоремедиации малых водоемов в степной климатической зоне. Загрязнение водоемов приводит к увеличению содержания биогенных веществ в воде, что приводит к ухудшению гидрохимических и микробиологических качеств воды. Применение растений, аккумулирующих биологические загрязнения и токсичные вещества может стать для малых водоемов альтернативой применению механической очистки или использования химических детергентов, подавляющих накопление биогенных веществ

Ключевые слова. фитоаккумуляция, биоремедиация, эйхорния, санитарная гидробиология.

PROSPECTS FOR BIOREMEDIATION OF SMALL RESERVOIRS BY CREATING ARTIFICIAL PHYTOCENOSES

¹Neydorf A.R., ¹Babichev-Ganaga A.D., ¹Bozhko V.A.

¹Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Annotation. The article discusses the principles and prospects of creating artificial phytocenoses for bioremediation of small reservoirs in the steppe climatic zone. Pollution of water bodies leads to an increase in the content of nutrients in the water, which leads to a deterioration of the hydrochemical and microbiological qualities of water. The use of plants accumulating biological pollutants and toxic substances can become an alternative for small reservoirs to the use of mechanical cleaning or the use of chemical detergents that suppress the accumulation of biogenic substances.

Keywords. bioaccumulation, bioremediation, eichornia, sanitary hydrobiology.

Малые водоемы играют важную роль в экосистемах и являются частью функционирования не только природных, но и хозяйственных процессов. Процесс старения водоёма, который также тесно связан с процессами эвтрофирования, является естественным, и связан, прежде всего, с увеличением биопродуктивности вследствие накопления вещества. В естественных водоемах этот процесс измеряется веками, но высокая антропогенная нагрузка на большинство водоемов, имеющих хозяйственное значение приводит к резкому возрастанию скорости этого процесса, приводя к потере хозяйственного значения. Загрязнение водоемов приводит к увеличению содержания биогенных веществ в воде, что приводит к интенсивному увеличению продуктивности, ухудшению гидрохимических и микробиологических качеств воды. Несмотря на повышение биологической продуктивности водоема, хозяйственная ценность его уменьшается [1]. Этот процесс может быть замедлен, остановлен или направлен в обратную сторону с помощью соответствующих методов, качество воды может быть восстановлено, но это требует применения достаточно затратных методик очистки.

Кроме естественных процессов старения водоема, немалую роль в изменении гидрохимического режима играют загрязнения, производимые промышленными предприятиями, сельскохозяйственной деятельностью, жилищно-коммунальными стоками. При низких промышленных нагрузках гидробиоценозы сами справлялись с поступающими в водоемы загрязнениями; происходило, самоочищение водоема. Так как удаление какого-либо загрязняющего вещества требует в каждом конкретном случае индивидуального подхода, очистка загрязненных вод представляет трудную и затратную задачу, необходимы эффективные способы регенерации. Если восстановления отработанных производственных и хозяйственно-бытовых стоков предполагает циркуляцию больших объемов сточных вод, что оправдывает материальные затраты на систему очистки, то применение этих

методик к малым водоемам настолько затратно, что никогда не будет окупаться в результате тех объемов хозяйственной деятельности, которые ведутся на подобных объектах.

В настоящее время для лучшей очистки сточных вод все больше начинают применять биологические объекты. Изучение материала по теме биоочистки водоемов показало, что применение растений, как организмов, аккумулирующих не только биологические загрязнения, но и токсичные вещества, такие как нефтепродукты и тяжелые металлы, может стать для малых водоемов альтернативой применению механической очистки или использования химических детергентов, подающих накопление биогенных веществ.

Исследования показали, что значительное количество известных гидрофитов положительно влияют на гидрохимические показатели, в частности, упоминается ряска, рдест, элодея, стрелолист, роголистник [1, 2]. Однако значительное количество современных исследований посвящено *Eichornia crassipes*, иначе водный гиацинт, относящееся к семейству Pontederiaceae (Понтедериевые). Многолетнее растение, расселившееся в водоемах Азии, Африки, Австралии настолько, что стало считаться инвазивным видом, с которым необходимо вести активную борьбу, происходит из тропических районов Южной Америки.

Этот вид является теплолюбивым гелиофитом, при благоприятных условиях и достаточном количестве питательных веществ растение быстро размножается вегетативно, в тропиках одно растение может меньше чем за два месяца дать более тысячи новых растений. Эйхорния относится к группе полупогруженных растений, встречаются как свободноплавающие, так и обитающие в прикрепленном состоянии представители. Листовая розетка имеет характерное строение, обеспечивающее плавучесть довольно значительной листовой массы за счет вздутий, содержащих воздухоносную ткань [1]. При невысокой плотности популяции, когда зеркало воды покрыто одиночными растениями, вздутия достаточно велики и не дают растению опрокидываться, в случае плотного покрытия вздутия имеют меньшие размеры.

Розетка взрослого растения содержит до 10 листьев, к концу вегетационного периода растение дает колосовидное соцветие с характерно окрашенными цветками, поэтому является популярным обитателем декоративных прудов [3]. Будучи эндемиком тропической зоны, эйхорния в условиях умеренного климата размножается вегетативно, розетка образует боковые горизонтальные побеги, несущие отпрыски. Интенсивный обмен веществ, позволяющие растению активно расти и размножаться за счет удаления биогенных веществ из воды, осуществляет система длинных, нитевидных корней. Согласно ранним исследованиям, благодаря активному поглощению в зоне корневого всасывания, растению удается удалять из загрязненных вод значительные количества соединений азота и фосфора, активно поглощаются марганец и сера. Из антропогенных загрязнений доказана способность эйхорнии удалять фенольные соединения, нефтепродукты, синтетические моющие средства и другие ПАВ. В водах, где выращивается эйхорния, существенно снижаются показатели ХПК и БПК.

Большинство современных исследований явления фитоаккумуляции показывают, что этот процесс связан не только с поглощением поллютантов корнями растений, но и адсорбции на корнях, осаждения в корневой зоне и накопления в побегах и листьях. Важным фактором, обеспечивающим корневым структурам водяного гиацинта и других водных растений оптимальную среду для роста, являются колонии аэробных бактерий, в условиях тепловодных экосистем и насыщенного состава минеральных компонентов обильно разрастающиеся и покрывающие зону корневых волосков. Аэробные бактерии с помощью разнообразных ферментативных систем расщепляют различные группы органических веществ, обогащают спектр неорганических соединений, и стимулируют рост растений. Было исследовано, что растения накапливают как органические, так и неорганические загрязняющие вещества в сточных водах.

Данные, полученные при изучении механизмов удаления высоких концентраций металлов водяным гиацинтом показали высокую эффективность фиторемедиации в 47% в сточных водах, содержащих до 9,27 мг/л, при вегетации в течение 6 недель. Также, исследовании Куларатне и др. (2009) подтвердили эффективность удаления марганца. Исследования воздействия стрессорных факторов, влияющих на эффективность фотосинтеза у водяного гиацинта показали, что после прекращения действия стрессорных факторов растение восстанавливает биомассу значительно быстрее, чем другие гидрофиты, используемые для создания санитарных фитоценозов. Сравнительные показатели фитоаккумуляции неорганических загрязнителей водяным гиацинтом Мишрой и Трипати (2008) по тяжелым металлам (Fe, Cu, Zn, Cr и Cd) также показали его более высокую эффективность [4].

Несмотря на высокую эффективность водяного гиацинта как средства очистки загрязненных водоемов, его использование в умеренном климате вызывает ряд вопросов. В тропической и субтропической зонах его относят к сорной растительности, фактически агентам биологического загрязнения, затрудняющих работу водного транспорта, вызывающих засорение водозаборов гидроэлектростанций, ирригационных линий и систем водоснабжения. Бесконтрольный рост водяного

гиацинта может спровоцировать эвтрофикацию водоема [5]. Кроме того, ряд токсичных загрязнителей, таких как дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ), хлорорганические соединения и радиоактивные ионы могут накапливаться в биомассе растения. Заращение водоемов приводит к повышенной испаряемости, и, как следствие, к большой потере воды - скорость испарения в 1,8 раза превышает скорость испарения из поверхностных вод без растений [4]. При сборе биомассы растений в очищаемых водоемах, при разложении растительная биомасса выделяет значительное количество парниковых газов, что также является нежелательным эффектом.

Но главная проблема использования водяного гиацинта для очистки малых водоемах умеренных широт – это его экологические потребности. Наиболее благоприятным для протекания открытого биотехнологического процесса очистки загрязненной воды эйхорнией является необходимость роста растения в стабильно теплом климате, когда температура воздуха составляет не менее +18°C, при температуре воды не менее +22°C. При температурах менее +8°C водный гиацинт практически прекращает вегетацию, вследствие чего прекращаются обменные процессы, обеспечивающие аккумуляцию вредных веществ, затем идет отмирание.

Для стабильно эффективного процесса вегетации эйхорнии необходимо создание полноценного водного фитоценоза, с обязательным поддержанием нормального состояния корневой ризосферы. Данные по бактериальным компонентам прикорневой зоны у эйхорнии для умеренной климатической зоны неизвестны, но, можно предположить, что для комфортного состояния среды необходимо, что состояние бактериальных колоний было стабильным.

Обязательным условием стабильного состояния фитоценоза является удаление зеленой массы после периода вегетации. Многочисленные опыты показали, что фитомасса, образуемая эйхорнией может быть использована при производстве бумаги невысокого качества, стеновых плит, веревок, и других видов производства, использующих значительные объемы целлюлозы [4, 5]. При подтверждении экологической безопасности сырья возможно использование эйхорнии как кормового растения для скота и птицы. Таким образом, создание искусственного фитоценоза эйхорнии для очистки малых загрязненных водоемов может быть не только эффективной санитарно-гидробиологической методикой, но и способом получения дополнительных доходов.

Список использованных источников

1. Флюрик Е. А., Абрамович О. В., Змитрович А. А. Использование *Eichornia crassipes* для очистки сточных вод и получения кормовой добавки // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология - 2014 – С. 157-160.
2. Гарин В. М., Кленова И. А., Сокуп В. А. О возможности применения высшей водности растительности для очистки загрязненных вод // Безопасность жизнедеятельности. - № 2. - 2005. С. 32–35.
3. Высшие водные растения для очистки сточных вод / Ю. А. Тарушкина [и др.] // Экология и промышленность России. - № 5. – 2006. - С. 36-39.
4. Mishra S., Abhijit M. The efficiency of *Eichhornia crassipes* in the removal of organic and inorganic pollutants from wastewater: a review // Environmental Science and Pollution Research, 24(9), 7921–7937. doi:10.1007/s11356-016-8357-7.
5. Gunnarsson C, Petersen CM (2007) Water hyacinths as a resource in agriculture and energy production: a literature review. // Waste Manag 2007, V. 27, No. 222, P. 117–129.

ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОДЫ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ОСЕТРОВЫХ В УЗВ

¹Нейдорф А.Р., ¹Морозова М.А., ¹Оганисян М.М.

¹Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматриваются результаты анализа микробиологических показателей качества воды в бассейнах УЗВ. Анализ воды бассейнов проводился по 8 показателям (ОМЧ, кишечная палочка, обобщенные колиформные бактерии, споры сульфитредуцирующих клостридий, энтерококки, синегнойная палочка, аэромонады, псевдомонады). Определялись факторы патогенности и антибиотикорезистентность выделенных штаммов патогенных аэромонад и псевдомонад;

Ключевые слова. Установка замкнутого водоснабжения, микробиологический анализ, аэромонады, аквакультура.

THE PROBLEM OF ASSESSING WATER QUALITY IN THE CULTIVATION OF STURGEON IN THE USV

¹Neidorf A.R., ¹Morozova M.A., ¹Oganisyan M.M.

¹Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Annotation. The article discusses the results of the analysis of microbiological indicators of water quality in the basins of the UZV. The analysis of pool water was carried out according to 8 indicators (HPV, E. coli, generalized coliform bacteria, spores of sulfite-reducing clostridium, enterococci, Pseudomonas aeromonas, Pseudomonas). Pathogenicity and antibiotic resistance factors of isolated strains of pathogenic aeromonads and pseudomonads were determined;

Keywords. Installation of closed water supply, microbiological analysis, aeromonads, aquaculture.

При выращивании рыб промышленными методами в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) одним из основных требований является качество воды, соответствующее для выращивания гидробионтов. При товарном выращивании осетровых в системе замкнутого водоснабжения качество воды, поступающей в рыбоводные ёмкости определяется, в первую очередь – её исходными свойствами, во вторую – эффективностью работы биологического фильтра, а также от применяемой технологии выращивания. Водоисточником могут служить родники, артезианские скважины, чистые ручьи или река. Кроме того, вода, прошедшая все этапы очистки, позволяет повысить плотность посадки и более эффективно использовать производственные площади. Причем расход воды в УЗВ в сотни раз ниже, чем в бассейновых хозяйствах с прямоточным водоснабжением [1,2].

Однако значительные преимущества искусственного воспроизводства рыб, сопровождаются проблемами, связанными увеличением стрессорных факторов, вызываемых переуплотненной посадкой и высокой нагрузкой на систему очистки воды. Значительное количество бактерий, вызывающих заболевания рыб, являются условно-патогенными, и поражают рыб в условиях, способствующих снижению иммунитета [3]. У осетровых рыб выявлены заболевания, вызываемые патогенными аэромонадами и псевдомонадами. Поэтому исследование микробиологических показателей воды бассейнов УЗВ для определения наличия патогенных псевдомонад и аэромонад имеет важное значение для поддержания надлежащего товарного качества рыбной продукции [4].

В данном исследовании проводился анализ воды из бассейнов аквариального комплекса научной экспедиционной базы «Кагальник». Анализ воды бассейнов №31 и № 32 проводился по микробиологическим показателям, включающим санитарно-показательные микроорганизмы (СПМ) – обобщенные колиформные бактерии (ОКБ), кишечные палочки, энтерококки, условно-патогенные микроорганизмы (УПМ) – синегнойные палочки, патогенные для рыб псевдомонады и аэромонады, споры сульфитредуцирующих клостридий (споры СПК), а также общую микробную численность микробиологических показателей

Отбор проб проводился 25.01.23, пробы отбирались по стандартным методикам.

Микробиологический анализ показал наличие 7 штаммов *Aeromonas sobria*, отличающихся

по чувствительности к антибактериальным препаратам, а также характеризующихся различными биохимическими свойствами.

Для аэромонад характерен широкий спектр патогенности, это позволяет им при изменении условий среды переходить от сапрофитного типа питания к паразитизму. Аэромонады часто встречаются в микрофлоре гидробионтов, обитающих как в пресных, так и в соленых водоемах. Для рыбоводства проблемным бактериальным патогеном, как правило, становится *A. hydrophila*, который является частью микрофлоры кишечника здоровых особей, но резкое изменение условий обитания может стать причиной эпизоотии [5].

Бактерии, выделенные из бассейна № 31, показали чувствительность к левомицетину и гентамицину, но оказались устойчивы к тетрациклину. Для аэромонад штамма № 8 из бассейна № 31 характерна промежуточная устойчивость к фуразолидону, в то время как штамм № 9 чувствителен к этому препарату. Остальные штаммы показали резистентность к фуразолидону. Штаммы, найденные в пробах из бассейна № 31, показали чувствительность к ципрофлоксацину.

Для выделенных штаммов аэромонад (№1 и №8) показана промежуточная устойчивость к ампициллину, а также для них выявлена резистентность к бензилпенициллину. Патогенные свойства этих бактерий определяются с экзоферментами, такими как лецитиназа и липаза. Штамм аэромонад, выделенный как №5, из бассейна №32, показывает промежуточную устойчивость к левомицетину, тогда как остальные штаммы из этого бассейна чувствительны к нему. Штамм № 2 проявляет высокую чувствительность к тетрациклину, в то время как штаммы №3, №5, №6 и №7 к нему устойчивы. Все штаммы чувствительны к гентамицину. Штамм № 2 чувствителен к фуразолидону, штамм № 5 проявляет промежуточную устойчивость, а остальные штаммы резистентны.

Штаммы из бассейна № 32 проявляют чувствительность к ципрофлоксацину, резистентность к ампициллину и бензилпенициллину. Для штамма №5 характерно отсутствие фактора патогенности, тогда как для остальных штаммов характерно наличие лецитиназы и липазы как факторов патогенности. Для штамма №10, полученного из бассейна № 1, показана чувствительность к широкой группе антибиотиков: левомицетину, тетрациклину, гентамицину, фуразолидону и ципрофлоксацину. Резистентность для этого штамма проявляется только к бензилпенициллину, а к ампициллину выявлена промежуточная устойчивость.

Опасность возникновения эпидемий аэромонадоза, тем более актуальная в условиях высокой плотности посадки в УЗВ, заставляет говорить о необходимости соблюдения профилактических мер санитарии и рыбоводно-мелиоративных мероприятий, которые способствуют созданию оптимальных условий в окружающей среде для жизнедеятельности гидробионтов. В рыбоводстве для лечения аэромонадоза используются препараты хлорамфеникол (левомицетин) и хлортетрациклин (биомицин). Кроме того, для более эффективного контроля над аэромонадами применяются препараты, такие как фуразолидон, метиленовая синь и сульфаниламиды.

При лечении бактериальных инфекций у гидробионтов, препараты гентамицина, левомицетина и ципрофлоксацина проявляют повышенную эффективность. Однако в отечественном рыбоводстве более распространены применение фуразолидона и тетрациклина.

Применение гентамицина обычно ограничивается случаями осложненного инфекционного заболевания, вызванного смешанной микрофлорой, до проведения антибиотикограммы для определения чувствительности возбудителей.

Аэромонады, в частности, обычно проявляют высокую чувствительность к антибиотикам, эффективным против грамотрицательных бактерий, за исключением некоторых β -лактамных препаратов, из-за развития мультииндуктивных хромосомных β -лактамаз. Аэромонады вызывают заболевания у гидробионтов из-за своей вирулентности, способности образовывать токсины и наличия факторов агрессии. Патогенность этих бактерий обычно связывают с наличием дезоксирибонуклеаз.

Использование антибиотиков в аквакультуре давно привлекает внимание как производителей, так и потребителей. Производителей беспокоит невысокая эффективность применения антибиотиков, трудность и длительность диагностики, отсутствие в ряде регионов специализированных лабораторий, из-за чего назначение препарата часто осуществляется наугад. Для потребителей значимым является запрос на экологически чистую продукцию, так как антибиотики обладают кумулятивными свойствами и высокое содержание их в пищевых продуктах формирует резистентность к аналогичным лекарствам у потребителей.

Тенденции развития мировой аквакультуры связаны со снижением применения антибиотиков. В середине 2023 года Чилийская национальная служба рыболовства и аквакультуры сообщила о снижении использования антибиотиков в 2022-м году - на 26,3% в сравнении с годом ранее (в абсолютном выражении - до 341,5 тонн).

Анализ масштабов применения противомикробных препаратов на лососевых фермах в 2021-м году показал, что в среднем они используются в количестве 470 г на тонну рыбы, а уже в 2022-м объем

использования снизился до 320 грамм на тонну. К сожалению, из-за неполной информации по выращиванию осетровых в УЗВ, привести новые данные невозможно. Несмотря на то, что масштабы гибели товарной рыбы в аквакультуре могут быть значительными (23,2% гибели атлантического лосося в 2022-м году произошло по инфекционным причинам), применение антибиотиков в аквакультуре продолжает снижаться. В этом случае все большее значение приобретает поддержание высокого качества воды в рыбоводных бассейнах и постоянный контроль микробиологических показателей. Поэтому исследования технологий водоочистки и методов стимуляции иммунитета гидробионтов, таких, например как технологии биофлок (BioFloc Technology - BFT) могут стать перспективным направлением для значительного снижения или полного отказа от применения антибиотиков в аквакультуре.

Список использованных источников

1. Васильев, Д.А., Викторов, Д.А., Насибуллин, И.Р., Золотухин, С.Н., Нафеев, А.А., Горшков, И.Г., Куклина, Н.Г., Барт, Н.Г. Детекция *Aeromonas hydrophila* в пищевой продукции из гидробионтов с применением биосенсоров на основе гомологичных бактериофагов //Фундаментальные исследования. – 2014. – № 5-1. – С. 50-54.
2. Канаева Т.И. Разработка методов выделения и идентификации бактерий *Aeromonas hydrophila*: автореф. дисс. ... к.б.н. Саратов, 2009.
3. Басанкина, В.М. Условно-патогенная микрофлора как возбудители заболевания у рыб // Теория и практика современной аграрной науки. Сборник национальной (всероссийской) научной конференции.- Новосибирск.- 2018 г. - С. 392-396.
4. Конев, Н.В. Нормальная микрофлора рыб и ее роль в возникновении бактериальных заболеваний, вызванных стрессом // Научные тетради. Вып. № 4. - Санкт - Петербург, 1997. -С. 7.
5. Arora S, Agarwal R K, Bist B. Comparison of ELISA and PCR vis-à-vis cultural methods for detecting *Aeromonas* spp. in foods of animal origin. 2006 Feb 1;106(2):177-83.

ВЫРАЩИВАНИЕ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОБИОТИКОВ «ВЕТОМ 2» И «ЛИКВАФИД»

¹Назаров В. А., ²Нечаева Т. А., ²Ильина Л. А., ¹Ковальчук М. И.

¹ ИП Романов, Ленинградская область, Ломоносовский район, п. Лопухинка, Российская Федерация

² Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, г. Пушкин, Российская Федерация

Аннотация. В статье приведен сравнительный анализ влияния пробиотических препаратов «Ветом 2» и «ЛикваФид». В корм годовикам радужной форели вводили пробиотики «Ветом 2» в дозировке 5 г/кг корма и «ЛикваФид» в дозировке 2 г/кг корма. Было проведено два курса профилактического кормления длительностью 10 дней каждый.

Анализ результатов экспериментальной работы показал значительное увеличение массы тела и скорости роста в подопытных группах. Абсолютный прирост в опыте в 1,4 – 1,7 раза выше, чем в контроле. При этом максимальные показатели практически по всем значимым морфо-биологическим показателям выявлены у рыб, получавших пробиотик «ЛикваФид». Относительная скорость роста в этой группе выше, чем контроле в 1,2 раза.

Ключевые слова. Пробиотики, радужная форель, морфо-биологические показатели, кишечная микрофлора, иммунитет.

ANALYSIS OF THE PROCESS OF GRAIN MATERIAL SEPARATION NOT SOLVED MILL

¹Nazarov A.V., ²Nechaeva T. A., ²Irina L. A., ¹Kovalchuk K. I.

¹IP Romanov, Leningrad region, Lomonosovsky district, Ropsha village, Russian Federation

²St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Pushkin, Russian Federation

Abstract. The article presents a comparative analysis of the effect of probiotic preparations "Vetom 2" and "LiquaFeed". Rainbow trout yearlings were fed probiotics Vetom 2 at a dosage of 5 g/kg of feed and LiquaFeed at a dosage of 2 g/kg of feed. Two courses of preventive feeding lasting 10 days each were conducted.

Analysis of the results of experimental work showed a significant increase in body weight and growth rate in the experimental groups. The absolute increase in the experiment is 1.4 - 1.7 times higher than in the control. At the same time, the maximum indicators for almost all significant morpho-biological indicators were found in fish treated with the LiquaFeed probiotic. The relative growth rate in this group is 1.2 times higher than in the control.

Keywords. Probiotic, rainbow trout, morphological parameters, intestinal microflora, immunity.

В современной аквакультуре активно используются различные пробиотики. Особенно популярны препараты на основе *Bacillus subtilis*, которые применяют при выращивании карпов, осетровых и лососевых рыб [1, 2, 3, 4].

К группе пробиотиков относятся и препараты серии Ветом, созданные на основе спорообразующих бактерий *Bacillus subtilis* и *Bacillus licheniformis* в НПФ «Исследовательский центр» (Новосибирск). За последнее время нами накоплен большой положительный опыт использования в рыбоводстве препарата «Ветом 1.1» [4, 5].

В тоже время рыбоводные хозяйства наравне с препаратом «Ветом 1.1» активно применяют «Ветом 2». Это пробиотик, в основе которого содержится высушенная споровая биомасса бактерий *Bacillus subtilis* и *Bacillus licheniformis*. «Ветом 2» способствует улучшению обмена веществ, оказывает противовоспалительное действие. Однако его воздействие при выращивании объектов аквакультуры еще не было изучено. Второй препарат, который были задействован в экспериментальной работе – это «ЛикваФид», комплекс дополнительного питания для нормализации микробиоценоза желудочно-кишечного тракта, содержащий в качестве действующих веществ живые культуры бактерий *Bacillus megaterium* и *Bacillus subtilis* (производства ООО «БИОТРОФ», Санкт-Петербург). Исследование

воздействия препаратов «ЛикваФид» и «Ветом 2» представляет большой интерес с точки зрения практического применения, а также научного обоснования воздействия пробиотиков на организм рыб.

Экспериментальные работы были проведены на рыбноводном предприятии ИП «Романов» (Ленинградская область, п. Лопухинка). Это бассейновое холодноводное хозяйство, условия выращивания в котором соответствует требованиям лососевых рыб.

В качестве объекта исследований была выбрана радужная форель в возрасте годовика. По происхождению данная группа представляет собой гибрид форели породы Росталь (самцы) и датской форели (самки). Росталь – порода радужной форели отечественной селекции, выведенная в Федеральном селекционно-генетическом центре рыбоводства (Ленинградская область, п. Ропша). Порода отличается высоким темпом роста и предназначена преимущественно для культивирования в условиях холодноводных хозяйств с ключевым водоснабжением. Самки датской форели происходят из однополой популяции, посадочный материал изначально был завезен для товарного выращивания.

Бонитировка форели проведена по стандартной методике, принятой для лососевых рыб. Рыб содержали в бассейнах выростного цеха. В двух подопытных и контрольной группе было задействовано по 150 экз. рыб средней массой 44 г.

Препарат «Ветом 2» вводили перорально с кормом путем орошения в дозировке 5 г/кг корма курсом 10 дней. Препарат «ЛикваФид» также вводили перорально с кормом путем орошения в дозировке 2 г/кг корма курсом 10 дней. Было проведено последовательно 2 курса профилактического кормления, перерыв между курсами составлял 40 дней.

Морфо-биологическая характеристика форели подопытных и контрольной групп по окончании эксперимента представлена в таблицах 1, 2 и 3.

Таблица 1 – Морфо-биологические показатели годовиков радужной форели контрольной группы в конце эксперимента, 25 экз.

| Показатели | max | min | $\bar{x} \pm m_{cp}$ | σ | $Cv, \%$ |
|--|-------|------|----------------------|----------|----------|
| Масса P, г | 136,0 | 50,0 | 86,6±2,80 | 14,00 | 16,1 |
| Длина туловища L, см | 22,0 | 16,0 | 18,8±0,20 | 1,00 | 5,3 |
| Длина по Смигу L _s , см | 23,0 | 17,0 | 20,8±0,22 | 1,10 | 5,2 |
| Высота в области спинного плавника H, см | 8,5 | 6,0 | 7,0±0,12 | 0,60 | 8,5 |
| Обхват тела O, см | 14,0 | 10,0 | 11,8±0,13 | 0,68 | 5,7 |
| Коэффициент упитанности по Фультону | 1,2 | 1,3 | 1,3±0,01 | 0,02 | 1,5 |
| Индекс прогонистости | 2,7 | 2,6 | 2,6±0,01 | 0,02 | 0,8 |
| Индекс обхвата | 63,6 | 62,5 | 63,0±0,04 | 0,19 | 0,3 |

Таблица 2 - Морфо-биологические показатели годовиков радужной форели подопытной группы в конце эксперимента (Ветом 2), 25 экз.

| Показатели | max | min | $\bar{x} \pm m_{cp}$ | σ | $Cv, \%$ |
|--|-------|------|----------------------|----------|----------|
| Масса, г | 162,0 | 51,0 | 103,8±3,70 | 18,50 | 17,8 |
| Длина туловища L, см | 22,5 | 15,0 | 19,7±0,25 | 1,25 | 6,3 |
| Длина по Смигу L _s , см | 24,0 | 16,0 | 21,0±0,28 | 1,40 | 6,6 |
| Высота в области спинного плавника H, см | 8,5 | 5,5 | 7,1±0,12 | 0,60 | 8,4 |
| Обхват тела O, см | 14,5 | 9,5 | 12,5±0,17 | 0,85 | 6,8 |
| Коэффициент упитанности по Фультону | 1,5 | 1,4 | 1,4±0,01 | 0,02 | 1,4 |
| Индекс прогонистости | 2,7 | 2,6 | 2,7±0,01 | 0,02 | 0,7 |
| Индекс обхвата | 64,4 | 63,3 | 63,4±0,04 | 0,20 | 0,3 |

Таблица 3 – Морфо-биологические показатели годовиков радужной форели подопытной группы в конце эксперимента (ЛикВафид), 25 экз.

| Показатели | max | min | $\bar{x} \pm m_{cp}$ | σ | $C_v, \%$ |
|--|-------|------|----------------------|----------|-----------|
| Масса, г | 187,0 | 65,0 | 117,2±3,80 | 19,00 | 16,2 |
| Длина туловища L, см | 24,5 | 14,0 | 20,4±0,36 | 1,80 | 8,8 |
| Длина по Смиуту L _s , см | 25,5 | 15,0 | 21,4±0,36 | 1,80 | 8,4 |
| Высота в области спинного плавника H, см | 9,0 | 5,0 | 7,5±0,16 | 0,80 | 6,7 |
| Обхват тела O, см | 16,0 | 9,5 | 13,2±0,22 | 1,10 | 8,3 |
| Коэффициент упитанности по Фультону | 2,3 | 1,3 | 1,4±0,04 | 0,20 | 14,2 |
| Индекс прогонистости | 2,8 | 2,7 | 2,7±0,01 | 0,02 | 0,7 |
| Индекс обхвата | 67,8 | 65,3 | 66,5±0,08 | 0,40 | 0,6 |

Абсолютный прирост в контрольной группе за время эксперимента составил 39,8 г. В экспериментальной группе, получавшей «Ветом 2» абсолютный прирост составил 57,3 г, что в 1,4 раза выше, чем в контроле. Максимальный абсолютный прирост наблюдали экспериментальной группе, получавшей «ЛикВафид» - 70,4 г, что в 1,7 раза выше, чем в контроле.

Коэффициент вариаций по всем показателям в контрольной и экспериментальных группах ниже 25, что свидетельствует о равномерном росте радужной форели в период выращивания. В тоже время обращает на себя сравнительно высокий показатель C_v по коэффициенту упитанности у форели, получавшей «Ликвафид» - 14,2. Это может быть связано с наиболее активным ростом в данной группе.

У контрольной и экспериментальных групп были выявлены достоверные отличия морфо-биологических признаков. Сравнение показателей массы тела по критерию Стьюдента свидетельствует о том, что различия между опытом и контролем достоверны при $p \leq 0,001$. Масса тела форели в контрольной группе, получавшей «ЛикваФид» достоверно выше, чем в группе, получавшей «Ветом 2» при $p \leq 0,05$.

Длина туловища в подопытных группах достоверно выше при $p \leq 0,01$ по сравнению с контролем. При этом достоверной разницы по длине туловища между группами, получавшими «Ветом 2» и «ЛикваФид» не выявлено. Контрольная и подопытные группы по длине тела по Смиуту достоверных отличий не имеют.

Высота в области спинного плавника в группе, получавшей «ЛикваФид», достоверно выше, чем в контроле при $p \leq 0,05$. Достоверных отличий между контролем и группой, получавшей «Ветом 2» по данному показателю не выявлено.

Обхват тела в подопытных группах достоверно выше при $p \leq 0,01$ по сравнению с контролем. Обхват тела в контрольной группе, получавшей «ЛикваФид» достоверно выше, чем в группе, получавшей «Ветом 2» при $p \leq 0,05$.

Коэффициент упитанности по Фультону и индекс прогонистости в экспериментальных группах достоверно выше, чем в контроле при $p \leq 0,01$. Индекс обхвата в экспериментальной группе, получавшей «ЛикваФид» достоверно отличается от показателя контрольной группы и группы, получавшей «Ветом 2», при $p \leq 0,001$. Достоверных отличий по индексу обхвату в контроле и в экспериментальной группе, получавшей «Ветом 2», не выявлено.

Относительная скорость роста в контрольной группе составила 71%. При этом в экспериментальной группе, получавшей «Ветом 2», относительная скорость роста – 76 %, а в экспериментальной группе, получавшей «ЛикваФид» – 85 %.

Анализ результатов экспериментальной работы показал значительное увеличение массы тела и скорости роста в подопытных группах. Абсолютный прирост в опыте в 1,4 – 1,7 раза выше, чем в контроле. При этом максимальные показатели практически по всем значимым морфо-биологическим показателям выявлены у рыб, получавших пробиотик «ЛикваФид». Относительная скорость роста в этой группе выше, чем контроле в 1,2 раза. Исследовательская работа подтверждает благоприятное воздействие данных препаратов на процессы пищеварения рыб. Штаммы *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis* и *Bacillus megaterium* за счет своей пробиотической активности стимулируют рост нормальной кишечной микрофлоры. Улучшение всасываемости питательных веществ в желудочно-

кишечном тракте, угнетение развития патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, стимуляция иммунной системы способствуют более активному росту радужной форели.

Список использованных источников

1. Сравнительная оценка морфофункционального состояния рыбопосадочного материала и товарной радужной форели при использовании кормов с добавлением препарата пробиотического действия /А.А. Айткалиева [и др.]// Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. — 2020. — № 1. — С. 131–137.
2. Испытание в аквакультуре биологически активных препаратов, повышающих иммунофизиологический статус рыб /П. П. Головин [и др.]// Рыбное хозяйство. – 2008. – № 4. – С. 63–66.
3. Использование пробиотических препаратов с иммуномодулирующим действием для осетровых рыб при садковом выращивании /А. Д. Жандалгарова [и др.]// Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2018. — Т. 20, № 2 (82). — С. 107–111.
4. Применение пробиотика Ветом 1.1 при выращивании молоди в установках с замкнутым циклом водоснабжения (УЗВ) /Т.А. Нечаева // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. – 2014. – №1. – С. 65-69.
5. Нечаева, Т.А. Пробиотики в рыбоводстве – новые перспективы / Т.А. Нечаева С.В. Щепеткина // Материалы международного конгресса «Сельское хозяйство – драйвер российской экономики» – 2016. – С. 235-236.

ПРИМЕНЕНИЕ КАРДИОПРОТЕКТОРНЫХ КОМПОНЕНТОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В КОМБИКОРМАХ ДЛЯ ОСЕТРОВЫХ РЫБ

¹Нгуен Т.Х.В., ¹Лагуткина Л.Ю., ¹Хамад А.А.

¹Астраханский государственный технический университет

Аннотация. В статье приведены результаты экспериментального исследования по применению кардиопротекторных компонентов в комбикормах для годовиков стерляди (*Acipenser ruthenus*). Было установлено, что при кормлении исследуемых рыб рационом с добавлением 3% обыкновенного барбариса повышались абсолютный и среднесуточный прирост массы рыб. Также было отмечено достоверное снижение показателя кардиосоматического индекса.

Ключевые слова. Стерлядь, комбикорма, кардиопротектор, барбарис, осетровые рыбы.

USE OF PLANT-DERIVED CARDIOPROTECTIVE COMPONENTS IN COMPOUND FEED FOR STURGEON FISH

¹Nguyen T.H.V., ¹Lagutkina L.Yu., ¹Abbas H.H.

¹Astrakhan State Technical University

Annotation. The article presents the results of an experimental study on the use of cardioprotective components in compound feed for yearling sterlet (*Acipenser ruthenus*). It was found that feeding fish with a diet containing 3% common barberry increased the absolute and average daily weight gain of the fish. The cardiosomatic index in fish also significantly decreased.

Keywords. Sterlet, compound feeds, cardioprotector, barberry, sturgeon.

В последнее десятилетие наблюдались большие потери на рыболовных фермах из-за заболеваний сердечно-сосудистой системы у рыб. На лососевых товарных хозяйствах была зарегистрирована высокая смертность рыб, связана с сердечными патологическими изменениями (Garseth et al., 2018, Brijis et al., 2020). Нередко наблюдались физиологические и морфологические нарушения сердца у рыб: увеличение массы сердца (кардиосоматического индекса), рубцы на сердце, неровный край сердца, расширение камеры сердца, геморрагические включения на сердце. Зарубежные ученые установили, что при интенсивном выращивании и повышенной скорости роста сердце рыб подвергается большим биологическим и стрессовым нагрузкам, из-за чего может повреждаться сосудистый эндотелий сердца (Farrell, 2002; Gamperl and Farrell, 2004; Seierstad et al., 2008). Такие повреждения сердца ограничивают способность рыб справляться с обеспечением метаболических потребностей, связанных с физической нагрузкой, повышенными температурами и гипоксией (Ekström et al., 2019). Увеличение кардиосоматического индекса также было наблюденно на осетровых рыболовных предприятиях, что непосредственно снизило эффективность технологического процесса выращивания осетровых (Евграфова, 2019; 2022). Также считается, что сердечная недостаточность у рыб возникает в результате стрессовых ситуаций, которые могут присутствовать практически во всех процессах производства: резкие колебания температуры воды, транспортировка, хендлинг, сортировка и обработка от болезней и паразитов (Mercier et al., 2000; Poppe et al., 2003; Poppe et al., 2007). Все перечисленные факторы приводят к ухудшению состояния сердечно-сосудистой системы и повышению риска инфаркта, возникновения ишемической болезни как состояние на фоне гипоксии, симптома тахикардии. В поиске решений данной проблемы стала актуальной разработка сбалансированных комбикормов, способствующих стабилизации физиологического статуса у рыб и повышению их резистентности к воздействию неблагоприятных факторов при интенсивном выращивании.

Цель данного исследования заключалась в разработке новых рецептур стартовых и продукционных комбикормов с компонентами-кардиопротекторами растительного происхождения. В качестве растительных кардиопротекторов использовались вид растений местной флоры, обладающий защитным действием на сердечно-сосудистую систему: барбарис обыкновенный (*Berberis vulgaris* L.). Согласно литературным данным, барбарис является источником витаминов (А, С, Е, группы В),

каротинов и алкалоидов. Более того, в растении содержит достаточно большое количество пектинов, танинов, органических кислот и эфирных масел. Барбарис известен как полезное средство для кровеносной системы: понижает артериальное давление; нормализует сердечный ритм; повышает свертываемость крови; укрепляет стенки капилляров и останавливает кровотечения; растворяет холестериновые бляшки (Yang et al, 2020); предотвращает возникновение сердечно-сосудистых заболеваний.

Объектом исследования служили годовики стерляди (*Acipenser ruthenus*), завезенные с осетрового садкового предприятия Астраханской области. Рыб содержали в аквариумах объемом 400л и оставляли на две недели для адаптации, затем их разделили методом случайного отбора на контрольную и две опытные группы.

Эксперимент проводили в течение 30 суток. Рыб кормили 3 раза в день. На протяжении всего периода содержания проводили мониторинг параметров среды общепринятыми гидрохимическими методами. Рыбоводно-биологические и физиологические показатели подопытных рыб были определены в начале и в конце эксперимента, согласно методам, разработанным И.Ф. Правдин (1966) и Н.Т. Ивановой (1982).

Кардиосоматический индекс рыб (I, ‰) рассчитывали по формуле:

$$I = m / M * 1000, \quad (1)$$

где m – масса сердца, M – масса рыбы.

Рецептуры для комбикормов включили следующие компоненты: рыбная мука, жмых тыквенный, соевая мука, дрожжи кормовые, овсяная мука, кукуруза, пшеница, премикс, рыбий жир. Для опытных вариантов 1 и 2 в состав комбикормов добавили барбарис в массовой доле 1 и 3%, соответственно.

Исследуемые комбикорма изготовляли известным способом влажного прессования. Все ингредиенты рецептуре измельчили, смешивались и высушивались в сушильной камере. Для получения гранул необходим размером применяли дроблению и сито. Полученные данные эксперимента обработали статистическим методом с помощью программы «Microsoft Excel 2016». Проводили оценку достоверности различий между подопытными вариантами с применением t-критерия по Стьюденту, достоверными считались различия показателей при $p < 0,05$.

Результаты исследования показали, что наиболее высокое значение абсолютного прироста было отмечено у рыб во второй опытной группе 9,5 г, против контрольной – 4,99 г и опытной 1 – 5,72г (табл.1)

Таблица 1 - Рыбоводно-биологические показатели выращивания стерляди

| Показатели | контроль | опыт 1 | опыт 2 |
|----------------------------------|-------------|-------------|--------------|
| Масса начальная | 85,51±6,54 | 87,58±1,94 | 78,00±4,59 |
| Масса конечная, г | 90,5±7,9 | 93,3±4,7 | 87,5±5,3 |
| Длина тела, начальная см | 29,93±0,73 | 30,39±0,15 | 29,21±0,55 |
| Длина тела, конечная см | 31,10±0,73 | 31,00±0,19 | 29,53±0,61* |
| Абсолютный прирост, г | 4,99 | 5,72 | 9,5 |
| Абсолютный прирост, см | 1,17 | 0,61 | 1,59 |
| Среднесуточный прирост, г | 0,17 | 0,19 | 0,32 |
| Среднесуточная скорость роста, % | 0,19 | 0,21 | 0,38 |
| Коэффициент упитанности, по Q | 0,3 | 0,31 | 0,3 |
| Масса сердца, мг | 0,170±0,026 | 0,137±0,024 | 0,115±0,024* |
| Кардиосоматический индекс, ‰ | 1,88±0,11* | 1,47±0,08* | 1,31±0,09* |
| Выживаемость, % | 100 | 100 | 100 |
| Продолжительность опыта, сут. | 30 | 30 | 30 |

Примечание: * - различия достоверны при: $p < 0,05$

Величина кардиосоматического индекса различалась между группами: наиболее низкая отмечена у второй опытной группы стерляди и составила 1,31±0,09, у контрольной и первой опытной групп данный показатель составлял 1,88±0,11 и 1,47±0,08 соответственно, достоверные различия наблюдались между контрольной и опытными группами ($p < 0,05$). Можно предлагать, что применение барбариса в данный комбикорм оказало благоприятное воздействие на состояния сердечной мышцы

рыб. Морфологические оценки поверхности сердца рыб показали, что у более 50% рыб контрольной группы были зарегистрированы геморрагические включения. Подобные признаки наблюдались действительно реже у рыб опытных групп, как по встречаемости, так по интенсивности (рис.1 и рис.2). Тем не менее, требуется более детальное исследование для проверки и выяснения такого действия.

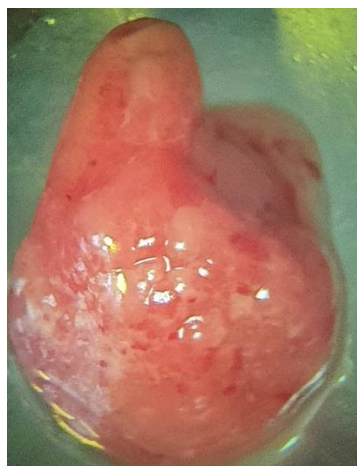


Рисунок 1 – Геморрагические включения на поверхности сердца рыбы контрольной группы

Рисунок 2 – Поверхность сердца рыбы контрольной группы без геморрагических включений

Аспартатаминотрансфераза (АСТ) и аланинаминотрансфераза (АЛТ) могут показать стрессовый уровень у рыб и служат индикаторами клеточного некроза во внутренних органах, особенно в печени, сердце и почках (Thara, Walia, 2007). Как правило, концентрация аспартатаминотрансферазы (АСТ) в крови невелика, ее увеличение в кровотоке свидетельствует о наличии заболеваний или повреждений тканей сердца или печени (Dasgupta, 2015; Hastuti, Sri Dwi, Subandiyono Subandiyono, 2020). В данном эксперименте уровень АСТ остался невысоким во всех группах, наиболее низкое значение АСТ было отмечено у рыб второй опытной группы (табл.2).

Таблица 2 - физиолого-биохимические показатели выращивания стерляди

| Показатели | контроль | опыт 1 | опыт 2 |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Гемоглобин, г/л, в начале | 53,70±4,39 | 53,70±4,39 | 53,70±4,39 |
| Гемоглобин, г/л, в конце | 59,75±11,88 | 58,40±11,72 | 59,64±9,76 |
| Общий белок, г/л, в начале | 22,90±2,16 | 22,90±2,16 | 22,90±2,16 |
| Общий белок, г/л, в конце | 18,35±3,8* | 19,43±1,58 | 26,80±1,98* |
| СОЭ, мм/ч, в начале | 1,18±0,12 | 1,18±0,12 | 1,18±0,12 |
| СОЭ, мм/ч, в конце | 2,25±0,48* | 1,88±0,43 | 1,63±0,31 |
| Холестерин, ммоль/л, в начале | 3,20±0,12 | 3,20±0,12 | 3,20±0,12 |
| Холестерин, ммоль/л, в конце | 1,33±0,13* | 1,55±0,13 | 1,68±0,18 |
| АЛТ, мкмоль/(с×л) | 0,11±0,08 | 0,08±0,06 | 0,14±0,2 |
| АСТ, мкмоль/(с×л) | 0,10±0,01 | 0,06±0,01 | 0,11±0,1 |

Примечание: * - различия достоверны при: $p < 0,05$

Согласно данным литературы, величина СОЭ составляет в среднем 2,5 мм/час, а гемоглобин колеблется от 50 до 80 г/л в зависимости от возрастов рыб (Гершанович, Пегасов, Шатуновский, 1987). В данном эксперименте не наблюдалось достоверное различие показателя гемоглобина между группами рыб. В целом данные показали колебались в пределах нижней границы нормы. Референтное значение концентрации общего сывороточного белка, гемоглобина оказалось достоверно выше в сравнении с группой контрольных особей стерляди ($p < 0,05$), что подтверждает высокий уровень резистентности на этом ответственном этапе развития организма. Уровень холестерина является одним из важнейших показателей в данном эксперименте. Установлено, что в первой опытной группе отмечено снижение данного показателя до 1,65 моль/л.

Таким образом, применение барбариса как кардиопротективного компонента комбикормов для стерляди оказало благополучное действие на рост и физиологическое состояние рыб. Более того, состояние сердца у рыб, кормившихся рационом с барбариса, также было несколько лучше, чем у контрольной группы по оценке кардиосоматического индекса и морфологической картины поверхности данного органа. Предлагаемый рацион с кардиопротективным компонентом позволяет обеспечить организм биологически активными веществами, антиоксидантами и минеральными элементами, которые в том числе улучшают статус сердечной деятельности выращиваемых рыб.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гершанович А.Д., Пегасов В.А., Шатуновский М.И. Экология и физиология молоди осетровых. – М.: Агропромиздад, 1987. – 215 с.
2. Евграфова, Е.М. Перспектива использования линя и австралийского рака в суперэффективных системах - аквапонике / Е.М. Евграфова, Л.Ю. Лагуткина, Е.Г. Кузьмина. // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2019. – № 9 (164). – С. 62-70
3. Евграфова Е.М., Лагуткина Л.Ю., Ахмеджанова А.Б., Исякаева Р.Р., Мартьянов А.С. производственный комбикорм для осетровых рыб. Патент на изобретение 2769986 С1, 12.04.2022. Заявка № 2021127903 от 22.09.2021.
4. Иванова Н.Т. Атлас клеток крови рыб (сравнительная морфология и классификация форменных элементов крови рыб).-М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1982.-184 с.
5. Правдин, И.Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных) / И.Ф. Правдин. – М.: Пищевая промышленность, 1966. – 376 с
6. Brijis, J. Prevalence and severity of cardiac abnormalities and arteriosclerosis in farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) / J. Brijis; P. Hjelmstedt, C. Berg, I. Johansen; H. Sundh; J.A.C Roques, A. Ekstrom, E. Sandblom, K. Sundell, C. Olsson, M. Axelsson, A. GrÅns // *Aquaculture*, 526(), 735417–. doi:10.1016/j.aquaculture.2020.735417
7. Dasgupta A., 2015 Liver enzymes as alcohol biomarkers. In: *Alcohol and its biomarkers: clinical aspects and laboratory determination*. Elsevier Inc, pp. 21-137.
8. Ekström, A. Can't beat the heat? Importance of cardiac control and coronary perfusion for heat tolerance in rainbow trout / A. Ekström, A. GrÅns, E. Sandblom// *J. Comp. Physiol. B.* – 2019. 189, 757–769
9. Farrell A.P. Coronary arteriosclerosis in salmon: growing old or growing fast? *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol.* - 2002 Aug;132(4):723-35. doi: 10.1016/s1095-6433(02)00126-5. PMID: 12095858.
10. Gamperl, A.K., and Farrell, A.P. 2004. Cardiac plasticity in fishes: environmental influences and intraspecific differences. *J. Exp. Biol.* 207(15): 2539–2550.
11. Garseth Å.H. Cardiomyopathy syndrome in Atlantic salmon *Salmo salar* L.: a review of the current state of knowledge / Å.H. Garseth, C. Fritsvold, J.C. Svendsen, B. Bang Jensen, A.B. Mikalsen // *J. Fish Dis.*, 41 (2018), pp. 11-26
12. Hastuti, Sri Dwi, Subandiyono Subandiyono. "Aminotransferase, hematological indices and growth of *Tilapia* (*Oreochromis niloticus*) reared in various stocking densities in aquaponic systems." (2020).
13. Mercier C. Cardiac disorders in farmed adult brown trout, *Salmo trutta* L / C. Mercier, J. Aubin , C. Lefrancois, G. Claireaux, G. // *J. Fish Dis.* -2000. 23, 243–249.
14. Poppe, T.T. Heart morphology in wild and farmed Atlantic salmon *Salmo salar* and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) / T.T. Poppe, R. Johansen, G. Gunnes, B. Tørud // *Dis. Aquat. Org.* -2003. 57, 103–108.
15. Poppe, T.T. Suspected myocardial necrosis in farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L.: a field case/ T.T. Poppe, T. Taksdal, P.H. Bergtun // *J. Fish Dis.* -2007. 30, 615–620
16. Seierstad, S.L. Development of intimal thickening of coronary arteries over the lifetime of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., fed different lipid sources / S. L. Seierstad, A. Svindland, A., S. Larsen, G. Rosenlund, B.E. Torstensen, Ø Evensen// *J. Fish Dis.* - 2008. 31, 401–413.
17. Thapa BR, Walia A. Liver function tests and their interpretation. *Indian J Pediatr.* 2007;74:663–671. doi: 10.1007/s12098-007-0118-7.
18. Yang, X. J., Liu, F., Feng, N., Ding, X. S., Chen, Y., Zhu, S. X., ... & Feng, X. F. Berberine Attenuates Cholesterol Accumulation in Macrophage Foam Cells by Suppressing AP-1 Activity and Activation of the Nrf2/HO-1 Pathway // *Journal of Cardiovascular Pharmacology*, 2020, 75(1), 45-53.

О ПРОБЛЕМЕ КАЧЕСТВА РЫБЬЕГО ЖИРА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОРМОВ И ПОЛУЧЕНИИ ВЫСОКОСОРТНОЙ РЫБНОЙ ПРОДУКЦИИ В АКВАКУЛЬТУРЕ

¹Остроумова И.Н., ¹Лютиков А. А., ¹Шумилина А. К.

¹Санкт-Петербургский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ГосНИОРХ им. Л. С. Берга), 199053, г. Санкт-Петербург Российская Федерация

Аннотация. В статье приведены результаты определения степени окисленности ветеринарного рыбьего жира и липидов кормов с его включением. Отмечен большой диапазон колебаний перекисных чисел от нормы до резко повышенных. Уровень кислотных чисел рыбьего жира и липидов кормов не превышал нормы. Снижение качества рыбьего жира вызывало ухудшение выживаемости и физиолого-биологических показателей рыб. При сравнении жирнокислотного состава липидов у диких и выращиваемых сиговых рыб установлено значительное снижение полезных для человека жирных кислот типа омега-3 в филе рыб из аквакультуры.

Ключевые слова. Рыбий жир, корма, окисление липидов, перекисные числа, кислотные числа, сиговые рыбы, омега-3 жирные кислоты, аквакультура, естественный водоем.

ON THE PROBLEM OF THE QUALITY OF FISH OIL IN THE PRODUCTION OF FEED AND OBTAINING HIGH-GRADE FISH PRODUCTS IN AQUACULTURE

¹Ostroumova I.N., ¹Lyutikov A.A., ¹Shumilina A.K.

¹St. Petersburg branch of the All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (GosNIORKh named after L. S. Berg), 199053, St. Petersburg Russian Federation

Abstract. The article presents the results of determining the degree of oxidation of veterinary fish oil and feed lipids with its inclusion. A wide range of fluctuations in peroxide numbers from normal to sharply increased was noted. The level of acid numbers of fish oil and feed lipids did not exceed the norm. A decrease in the quality of fish oil caused a deterioration in the survival rate and physiological and biological parameters of fish. When comparing the fatty acid composition of lipids in wild and farmed whitefish, a significant decrease in omega-3 fatty acids beneficial for humans was found in fish fillets from aquaculture.

Keywords. Fish oil, feed, lipid oxidation, peroxide values, acid values, whitefish, omega-3 fatty acids, aquaculture, natural reservoir.

Рыба является основным источником незаменимых жирных кислот (ЖК) типа омега-3 в питании человека. В липидах рыб, выращиваемых в садках и бассейнах на искусственных кормах, часто содержится недостаточно длинноцепочных омега-3 ЖК - эйкозапентаеновой (ЭПК) и докозагексаеновой (ДГК), что связано нередко с низким качеством жиросодержащих компонентов, вводимых в корма, в том числе с ветеринарным рыбьим жиром, который обычно включается в состав кормов рыб.

В статье рассматриваются результаты, получаемые в течение ряда лет в опытах по разработке эффективных отечественных кормов для сиговых рыб. Работу проводили на базе рыбхоза ООО «Форват» Ленинградской обл. Рыба выращивались в садках, установленных в оз. Суходольское (Вуоксинская озерно-речная система). До экспериментов сиговые находилась в производственных условиях в бассейнах и садках на импортных кормах. В экспериментах в разные годы использовали пелядь *Coregonus peled*, чира *C. nasus* и муксуна *Coregonus muksun*

Уход и кормление в опытах осуществляли по рекомендациям ГосНИОРХ (Сборник методических рекомендаций ...,2012).

Анализ кормов и обработку физиологического материала осуществляли в лаборатории аквакультуры ГосНИОРХ общепринятыми методами. Содержание жира определяли методом Фольча с двумя растворителями. Анализ качества липидов компонентов и кормов (перекисные и кислотные числа) проводили в соответствии с Временной инструкцией по определению степени и окисления...

1987. Содержание витамина С в теле рыб – методом титрования экстракта витамина в соляной кислоте при помощи реактива Тильманса (Князева, 1979). Содержание гемоглобина определяли по Сали.

Анализ фракционного и жирнокислотного состава липидов выполнялся по заказу ГосНИОРХ в ООО «АМТ» (Аналитика, материалы, технология), где фракционный состав классов липидов определялся методом тонкослойной хроматографии, жирнокислотный состав липидов - методом газожидкостной хроматографии.

В состав экспериментальных кормов в течение ряда лет на комбикормовых предприятиях вводился по нашим рецептам рыбий жир в количестве 14-20%. Как показали анализы качества липидов, перекисные числа сильно колебались (0,04 – 0,97 %J₂), колебания кислотных чисел было значительно меньше (3,5 – 4,3 мг КОН/г). К сожалению, в ГОСТе 9393-82 (с изменениями 1997 г) для «Ветеринарного жира из рыбы и морских млекопитающих» приводится норма только кислотного числа (не выше 10 мг КОН/г) и, таким образом, используемый в наших кормах рыбий жир, составляющий основу липидов кормов, соответствовал предельно допустимому по уровню этого показателя. Между тем, в практике животноводства и рыбоводства принято оценивать степень окисленности жира по перекисному числу, выраженному в % йода или в ммоль ½О/кг. Именно перекисное число свидетельствует о начале и глубине окисления. За допустимый предел окисленности животного жира в животноводстве принимается 0,1 %J₂. (Алиев, 1980). По данным Н.Е. Картавцевой с соавторами (1987) такая же величина считается предельно допустимой для липидов рыбной муки в составе рыбных кормов. Следовательно, по перекисным числам среди используемых партий рыбьего жира присутствовали образцы с резко повышенной степенью окисленности (до 0,97 %J₂), что отразилось на перекисных числах липидов кормов (таблица 1), но не превысило уровень для кислотных чисел.

Таблица 1 - Показатели окисления липидов экспериментальных кормов

| Годы изготовления и применения кормов | Перекисное число | | Кислотное число, мгКОН/г |
|---------------------------------------|------------------|-------------|--------------------------|
| | %J ₂ | ммоль ½О/кг | |
| 2018 | 0,29 – 0,31 | 22,8 – 24,4 | 8,2 – 8,7 |
| 2019 | 0,21 – 0,37 | 16,5 -29,1 | 7,9 – 13 |
| 2022 | 0,32 – 0,53 | 25,2 – 41,7 | 5,6 – 7,3 |
| Норма для рыбных кормов * | 0,2 | - | 50 |

Примечание: * нормы приведены по: Картавцева и др., 1987

Снижение качества рыбьего жира повышало процент гибели рыб и вызывало существенные отклонения физиолого-биохимических показателей выращиваемых сиговых. Значительно снижалось содержание экзогенного антиоксиданта - витамина С в печени и в мышцах. В 1,2 – 2,0 раза увеличивалось содержание жира в печени. Индекс печени колебался в пределах от 1,0 до 2,1 при норме 1,0-1,5. При этом в 2,0-3,5 раза уменьшалось количество фосфолипидов в печени, которые известны своей липотропной функцией, заметно повышалось содержание резервных липидов – триацилглицеринов. Приведенные изменения свидетельствовали о начавшихся явлениях жировой дегенерации органа. При определении уровня гемоглобина крови отмечалось появление, пока единичных рыб, с низким содержанием гемоглобина 20-50г/л при норме 70 – 110 г/л.

Существенные изменения происходили в жирнокислотном составе. В таблице 2 дается сравнение жирнокислотного состава печени сиговых рыб из естественных условно чистых водоемов по данным Ю.Н. Лукиной (2014) и печени сиговых рыб, выращенных на экспериментальных кормах. Общее содержание полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), и содержание особенно ценных омега-3 кислот значительно ниже у рыб в индустриальных условиях, выращиваемых в садках на искусственных кормах. Преобладающими у диких и аквакультурных рыб были эйкозапентаеновая (ЭПК) и, особенно, докозагексаеновая (ДГК) кислоты, но абсолютное их количество было всегда меньше на искусственных кормах. Это отражалось и на коэффициенте n3/n6, который был у рыб из аквакультуры меньше, чем у диких, но при этом оставался в пределах, указанных для пресноводных рыб в литературе- 1-4 (Coweу, 1988).

Характерной особенностью для рыб, получавших корма с окисленными липидами, является повышенный уровень мононенасыщенной олеиновой кислоты. В нашем случае (см. табл.2) она

увеличивалась в 2-3 раза по сравнению с ее содержанием у диких сиговых. Рыбы обладают способностью образовывать мононенасыщенную олеиновую кислоту из насыщенных для компенсации потери незаменимых полиеновых жирных кислот (Watanabe, 1982). Таким образом, поддерживается проницаемость клеточных мембран. Современные исследования подтверждают увеличение мононенасыщенной олеиновой жирной кислоты при снижении ПНЖК у рыб (Лукина, 2014; Биндюков и др., 2022; Остроумова и др., 2022).

Таблица 2 - Содержание полиненасыщенных жирных кислот в печени сиговых из естественных водоемов и при выращивании в аквакультуре в промышленных условиях на искусственных кормах, % от суммы

| | Естественный водоем | Садки, 2018 | Садки, 2019 | Садки, 2022 |
|-------------------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|
| 16:0 пальмитиновая | 19,1 | 11,2 – 14,0 | 13,0 -16,7 | 11,8 – 16,2 |
| 16:1n7 пальмитолеиновая | 3,9 | 0,5 – 4,6 | 1,9 -7,0 | 2,7 – 4,0 |
| 18:1n9 олеиновая | 15,3 | 36,1 – 42,8 | 22,7 – 44,9 | 29,4 -40,7 |
| ПНЖК полиненасыщенные | 55,8 | 29,8-34,6 | 23,9 – 48,3 | 28,8-40,2 |
| ЭПК эйкозапентаеновая | 9,3 | 2,7-3,1 | 1,9 – 5,6 | 3,0-4,5 |
| ДГК докозагексаеновая | 29,4 | 10,1 -12.6 | 13,1 – 29,5 | 8,0- 14,6 |
| АРК арахидоновая | 7,9 | 0,58 -0,66 | 0,66-1,0 | 0,60-0, 62 |
| Сумма Омега-3 | 44,2 | 15,6 – 22,6 | 17,2-38,1 | 15,0-23,9 |
| Сумма Омега -6 | 11,3 | 8,8 – 10,8 | 6,7 – 10,8 | 13,8 – 16,3 |
| Коэффициент n3 /n6 | 3,9 | 1,8 – 2,1 | 2,6 -3,5 | 1,1 – 1,5 |

Если количество ЭПК и ДГК у выращиваемых рыб иногда приближалось к их содержанию у природных рыб, то уровень арахидоновой кислоты (АРК) во всех случаях был значительно ниже у выращиваемых рыб, что является проблемой для аквакультуры.

По современным представлениям (данные Всемирной организации здравоохранения) суточная потребность человека в длинноцепочных омега-3 кислотах (сумма ЭПК и ДГК) составляет 0,5 – 1,0 г (Гладышев, 2021). В наших опытах 2022 г при плохом качестве рыбьего жира, когда перекисные числа липидов кормов колебались в пределах 0,32 – 0,53 %J₂, т.е. превышали норму, составляющую – 0,2 %J₂, содержание ЭПК и ДГК в 100 г филе рыбы колебалась в пределах 0,12 - 0,34г. Ранее в 2020 г при высоком качестве рыбьего жира (перекисное число 0,12%J₂) содержание ЭПК и ДГК в 100 г филе рыб было во много раз (в 7-20) выше, составляя 2,4г.

Таким образом, использование в составе кормов для аквакультуры некачественного рыбьего жира с повышенным уровнем перекисных чисел приводит не только к снижению объема выращенной рыбы и физиологическим отклонениям, но и снижает качество рыбной продукции, так как происходит потеря важных для здоровья человека омега-3 кислот.

Для получения рыбы в условиях аквакультуры с повышенным содержанием ЭПК и ДГК жирных кислот следует повысить внимание к качеству липидов, используемых для производства рыбных кормов. Необходимо вернуться к рассмотрению возможности включения в ГОСТ на ветеринарный рыбий жир нормы перекисного числа. Норма только для кислотного числа не достаточна для характеристики его качества. Это особенно необходимо для аквакультуры, так как в состав рыбных

кормов вводится во много раз больше рыбьего жира, чем в корма сельскохозяйственных животных и птиц.

Список использованных источников

1. Алиев А.А. Липидный обмен и продуктивность жвачных животных/ М.«Колос», 1980, 381 с.
2. Биндюков С. В., Бурлаченко И. В., Баскакова Ю. А., Артемов Р. В., Арнаутов М. В., Новоселова Ю. А., Гершунская В. В. Опыт замены рыбьего жира растительными маслами в комбикормах для радужной форели// Труды ВНИРО. 2022. Т. 187. С. 138–148. Doi.org/10.36038/2307-3497-2022-187-138-148.
3. Временная инструкция по определению степени окисления липидов в кормах и оценке влияния качества кормов на рыб. Н.Е. Картавцева [и др.] /Л.Промрыбвод, 1987, 28с.
4. Гладышев М.И. Наземные источники полиненасыщенных жирных кислот для аквакультуры// Вопросы ихтиологии. 2021.Т.61. № 4. С. 471–485. Doi: 10.31857/S0042875221030048.
5. Князева Л.М. Рекомендации по увеличению сроков хранения гранулированного корма для молоди форели путем опрыскивания его водным раствором витамина С. - Л.: ГосНИОРХ, 1979. - 12 с.
6. Лукина Ю.Н. Проблемы здоровья рыб в водных экосистемах Европейско-Сибирской области Палеарктики. Автореф. дис... докт. биол. наук. Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН, 2014. 37 с.
7. Остроумова И.Н., Лютиков А.А., Шумилина А.К., Вылка М.М. Влияние модифицированного гидролизного лигнина на перекисное окисление липидов в рыбных кормах и на выращиваемых на них рыб// Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2022. №8. С. 560–572. DOI 10.33920/sel-09-2208-06.
8. Сборник методических рекомендаций по индустриальному выращиванию сиговых рыб для целей воспроизводства и товарной аквакультуры. Под ред. А.К. Шумилиной. СПб.: ГосНИОРХ, 2012. 289 с.
9. Cowey C.B. The nutrition of fish: The developing scene // Nutrition Res. Rev. – 1988. – Vol. 1. – P. 255– 280.
10. Watanabe T. Lipid Nutrition in Fish.//Comp. Biochem. Physiol. 1982. V.73B. .№1. P. 3–15.

ВЛИЯНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ ФЕНОЛА НА РЫБОВОДНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОПЛОДОТВОРЕННОЙ ИКРЫ СТЕРЛЯДИ

¹Половинкина М.А., ¹Осипова В.П., ^{1,4}Пономарева Е.Н., ²К.В. Кудрявцев, ³Великородов А.В.

¹Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук,
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

²Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова,
г. Москва, Российская Федерация

³Астраханский государственный университет, г. Астрахань, Российская Федерация
⁴

Аннотация. В работе изучено влияние экранированных производных фенола в сравнении с водорастворимым аналогом витамина Е – тролоксом на показатели активности спермы стерляди и на рыболовные показатели оплодотворенной икры стерляди до процесса криоконсервации. Установлено положительное действие (L)-1-(2-((1-гидроксифенил)тио)ацетин)пирролидин-2-карбоновой кислоты на показатели активности спермы, выражающееся в увеличении доли живых клеток и времени их жизни. Оценка рыболовных показателей репродуктивной икры стерляди указывает на большую выживаемость клеток на стадии гастрюляции в присутствии L-производного фенола. Протекторное действие данного вещества превышает активность реперного соединения – тролокса на всех этапах исследования. Повышение выживаемости потомства на ранних стадиях развития при добавлении производного L-пролина позволяет рассматривать его в качестве генетически активного вещества, усиливающего репарационные процессы.

Ключевые слова. Стерлядь, репродуктивные клетки, антиоксидант, гастрюляция, оплодотворение, фертильность.

INFLUENCE OF NEW PHENOLIC DERIVATIVES ON FISH-BREEDING PARAMETERS OF FERTILIZED STERLET CAVIAR

¹Polovinkina M.A., ¹Osipova V.P., ¹Ponomareva E.N., ²Kudryavtsev K.V., ³Velikorodov A.V.

¹Federal Research Center Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences,
Rostov-on-Don, Russian Federation

²Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russian Federation

³Astrakhan State University, Astrakhan, Russian Federation

Abstract. The effect of shielded phenol derivatives in comparison with the water-soluble analog of vitamin E – Trolox, on the activity of sterlet sperm and on the fish-breeding indicators of fertilized sterlet eggs before the cryopreservation process was studied in this work. A positive effect of (L)-1-(2-((1-hydroxyphenyl)thio)acetin)pyrrolidine-2-carboxylic acid on sperm activity indicators has been established, which is expressed in an increase in the proportion of living cells and their lifetime. Evaluation of fish-breeding indicators of sterlet reproductive caviar indicates a greater survival rate of cells at the stage of gastrulation in the presence of L-derivative of phenol. The protective effect of this substance exceeds the activity of the reference compound - Trolox at all stages of the study. An increase in the survival of offspring in the early stages of development with the addition of an L-proline derivative makes it possible to consider it as a genetically active substance that enhances repair processes.

Keywords. Sterlet, reproductive cells, antioxidant, gastrulation, fertilization, fertility.

Глобальное сокращение объемов естественного нереста популяций осетровых ведёт к тому, что основным источником сохранения численности и промысловых запасов данного ценного вида рыб является выращивание их молоди на рыболовных заводах [1]. К сожалению, статистика нескольких лет показывает, что выпуск молоди осетровых в естественную среду не дает удовлетворительных результатов и численность всех видов осетровых продолжает стремительно сокращаться [2]. В связи с этим, в задачи аквакультуры входит не только выращивание товарной продукции, но и воспроизводство водных биологических ресурсов [3]. Для разведения рыб в неволе и поддержания высококачественного

маточного стада, решающее значение имеет технология криоконсервации репродуктивных клеток [4], которая до сих не получила широкого применения, ввиду снижения подвижности и выживаемости сперматозоидов в процессе замораживания-оттаивания. Важным технологическим элементом является краткосрочное гипотермическое хранение половых клеток, так как в производстве необходимо учитывать такие случаи, как несвоевременное созревание самок, селекционная работа, вынужденная транспортировка в другие хозяйства по разведению рыб [5]. Улучшения качества нативной спермы можно достигать изменением протоколов гипотермического хранения, а также добавлением природных или синтетических соединений с протекторным действием, способных предотвратить гибель репродуктивных клеток на различных этапах, включая стадии криоконсервации и последующей дефростации [6].

Известно, что во время процедуры получения спермы и последующих с ней операций могут образовываться активные кислородные метаболиты, которые способствуют развитию окислительного стресса, что впоследствии приводит к снижению качества нативной спермы и ухудшению таких параметров, как подвижность и жизнеспособность, целостность мембраны и функциональность акросом, антиоксидантный статус и/или фертильность спермы [7]. Таким образом, применение в качестве протекторных добавок эффективных и безопасных соединений-антиоксидантов является вполне оправданным и современным направлением в процессе сохранения репродуктивных клеток рыб, в частности осетровых [8].

В данной работе проведена оценка влияния новых производных 2,6-ди-*трет*-бутил-4-метилфенола (ионола) – (L)-1-(2-((1-гидроксифенил)тио)ацетин)пирролидин-2-карбоновой кислоты **1** и N-(4-{(E)-3-[3,5-ди(трет-бутил)-4-гидроксифенил]-2-пропеноил}фенил)карбамата **2** в сравнении с водорастворимым аналогом витамина E – тролоксом **3** на рыбоводные показатели оплодотворенной икры стерляди. Икра стерляди получена прижизненно по методике Подушки С.Б. [9]. Для каждого опыта отобрано по 4.6 г икры от одной самки (количество икринок в 1 г – 106 шт.), для оплодотворения использовано по 0.20 мл спермы стерляди (*Acipenser ruthenus*), полученной методом отцеживания в период нерестовой кампании 2022 г. после гипофизарных инъекций при помощи катетера. Оценка качества нативной спермы проведена под микроскопом по 5-ти балльной шкале Г.М. Персова [10]. Оплодотворение икры спермой проведено полусухим методом [11]. Непосредственно перед оплодотворением в сперму опытных вариантов добавлены исследуемые соединения **1-3** в концентрации 0.1 мМ, контроль – нативная сперма без добавок. При проведении инкубации термический режим выдержан на уровне 15-16 °С, продолжительность эмбриогенеза – 7 суток.

Добавление всех исследуемых соединений способствует повышению качества спермы стерляди (табл. 1). Наибольшее благоприятное действие оказывает соединение **1**, в присутствии которого в 2 раза выше доля живых клеток (80%) по сравнению с контрольным вариантом (40%). Продолжительность жизни спермиев при добавлении соединений **1** и **3** увеличивается на 60 с относительно контроля, а в присутствии соединения **2** время жизни не отличается от контроля.

Таблица 1 - Влияние соединений **1-3** на показатели активности спермы стерляди

| Соединение | контроль | 1 | 2 | 3 |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|
| Доля живых клеток, % | 40 ± 2 | 80 ± 5 | 60 ± 2 | 50 ± 3 |
| Время жизни, с | 120 ± 9 | 180 ± 6 | 120 ± 8 | 180 ± 11 |

Приведены средние значения опыта, отличия от контрольной группы (p<0.05); Значения выражены как среднее значение ± стандартное отклонение.

Далее в работе проведена оценка выживаемости репродуктивной икры в процессе инкубации и установлено, что на этапе дробления наибольшее значение показателя выживаемости составляет в контрольном опыте (36%), наименьшее при добавлении соединения **2** (27%) (рис. 1). На этапе гастрюляции наблюдается значительное снижение выживаемости в контрольном варианте до 21%, как и в случае добавления тролокса и соединения **2** до 23%. Наибольшая выживаемость на стадии гастрюляции отмечена в варианте с добавкой соединения **1**, которая сохраняется в тех же значениях, что и на этапе дробления (31%). Исходя из полученных показателей, можно сделать вывод, что эмбриогенез проходит более стабильно в варианте соединения **1** и на этапе гастрюляции даже превышает значения в контрольном варианте. Практика рыбоводного хозяйства показывает, что у рыб стадии гастрюляции и вылупления зародышей являются наиболее критическими стадиями развития, так как в виде гибели эмбрионов проявляются отрицательные черты генотипа у рыб. В связи с этим и принимая во внимание способность производного L-пролина **1** повышать выживаемость потомства на ранних стадиях развития, данный энантиомер можно рассматривать как генетически активное вещество, усиливающее репарационные процессы.

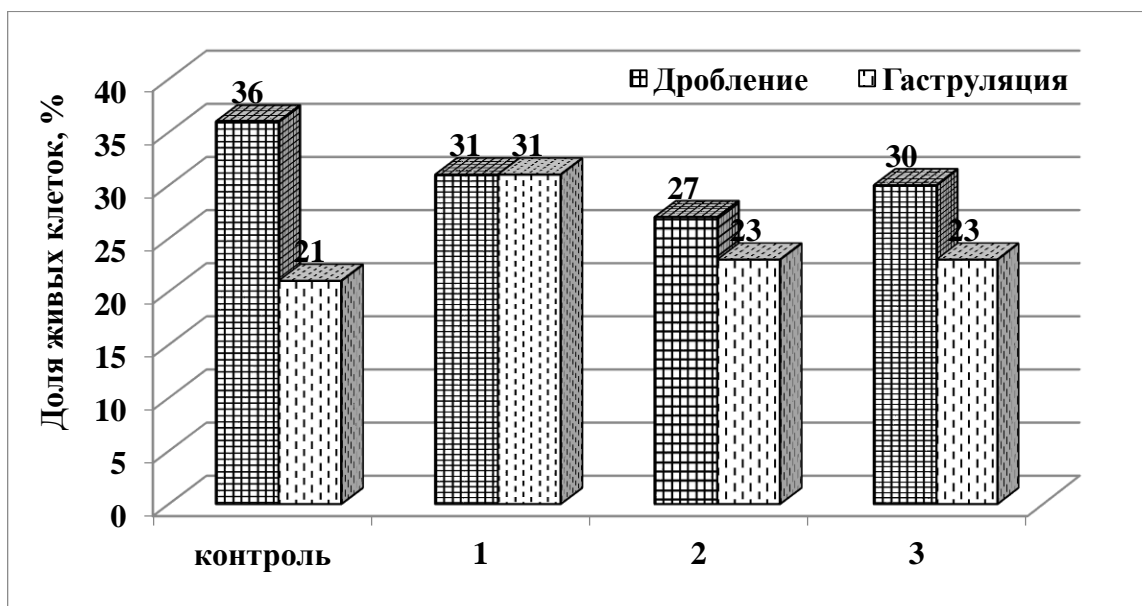


Рисунок 1 - Выживаемость эмбрионов стерляди на различных стадиях развития

Таким образом, установлено положительное влияние (L)-1-(2-((1-гидроксифенил)тио)ацетин)пирролидин-2-карбоновой кислоты на показатели активности спермы стерляди и на рыбоводные показатели оплодотворенной икры стерляди, превышающее действие тролокса, что позволяет рассматривать данное соединение в качестве эффективного антиоксиданта-протектора как в условиях гипотермического хранения, так и в процессе криоконсервации репродуктивных клеток осетровых. Для подтверждения данных выводов будут проведены дополнительные экспериментальные исследования. Полученные результаты могут найти практическое применение при искусственном воспроизводстве осетровых рыб в условиях неравномерного созревания производителей, а также при транспортировке генетического материала.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №22-16-00095.

Список использованных источников

1. Ходоревская Р.П., Некрасова С.О. Современное состояние и перспективы воспроизводства водных биологических ресурсов для промышленной аквакультуры в Астраханской области // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство, 2019. – № 3. – С. 107–116. DOI: 10.24143/2073-5529-2019-3-107-116.
2. Ходоревская Р.П. Значение естественного нереста и искусственного осетроводства в формировании запасов осетровых Каспийского моря // Астраханский вестник экологического образования, 2015. – №2 (32).– С. 74-89.
3. Barulin, Nikolai & V.G., Kostousov. (2013). Development of industrial fish culture in Belarus. 10.13140/RG.2.1.4626.8885.
4. Alavi S.M.H., Rodina M., Gela D. Sperm biology and control of reproduction in sturgeon: (I) testicular development, sperm maturation and seminal plasma characteristics // Rev Fish Biol Fisheries, 2012. – 22. – P. 695–717. DOI: 10.1007/s11160-012-9268-4.
5. Шумский К.Л., Барулин Н.В. Влияние винной кислоты на качественные и количественные показатели сперматозоидов сибирского осетра в течение краткосрочного хранения // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства, 2019. – №22 (1).
6. Исаев Д.А., Шафеи Р.А. Криоконсервация спермы осетровых рыб: текущее состояние и перспективы // Рыбоводство и рыбное хозяйство, 2016. – №5. – С. 65-73.
7. Bansa, A.K., Bilaspuri G.S. Impacts of oxidative stress and antioxidants on semen functions // Vet. Med. Inter., 2011. – 7. – 686137. DOI: 10.4061/2011/686137.
8. Kolyada M.N., Osipova V.P., Berberova N.T. Use of cryoprotectors and antioxidants in sturgeon semen cryopreservation // Cryobiology, 2023. – V. 111. – P. 30-39. DOI: 10.1016/j.cryobiol.2023.02.003.
9. Подушка С.Б. Проблема сохранения генофонда осетровых в водоемах СССР // Вестник Ленинградского университета, 1986. – Сер.3. – Вып.4. – С.15-22.

10. Персов Г.М. Дозирование спермиев как способ управления оплодотворением яйцеклеток осетровых // Доклады АН СССР, 1953. – Т. 90, № 6. – С. 1183-1185.
11. Чебанов М.С., Галич Е.В. Руководство по искусственному воспроизводству осетровых рыб // Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН: Анкара, 2013. – 367 с.

РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ КОРМОВ НОВОГО ТИПА ДЛЯ ТОВАРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ АВСТРАЛИЙСКОГО КРАСНОКЛЕШНЕВОГО РАКА *CHERAX* *QUADRICARINATUS* В УСТАНОВКЕ ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

^{1,2} Пономарева Е.Н., ¹Оганисян М.М., ¹Румянцева Е.В.

¹Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

²Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. В статье представлены результаты по разработке рецептуры корма для товарного выращивания австралийского красноклещевого рака (*Cherax Quadricarinatus*) в установках замкнутого водоснабжения. Для увеличения водостойкости к корму был введен альгинат натрия и лактат кальция. Выявлено, что введение таких компонентов увеличивает водостойкость до 8 часов.

Ключевые слова. Корма и кормление, австралийский красноклещевой рак, альгинат натрия, аквакультура, личинка мучного червя.

DEVELOPMENT OF SPECIALIZED FEED OF A NEW TYPE FOR THE COMMERCIAL GROWING OF AUSTRALIAN RED CLASS *CHERAX QUADRICARINATUS* IN A CIRCULATED WATER SUPPLY UNIT

^{1,2} Ponomareva E.N., ¹Oganisyan M.M., ¹Rumyantseva E.V.

¹Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

²The Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation

Annotation. The article presents the results on the development of a feed formulation for commercial cultivation of Australian red-clawed crayfish (*Cherax Quadricarinatus*) in closed water supply installations. To increase water resistance to the feed, sodium alginate and calcium lactate were introduced. It was found that the introduction of such components increases the water resistance up to 8 hours.

Keywords. Feed and nutrition, Australian red claw crayfish, sodium alginate, aquaculture, mealworm larvae.

Введение. За последнее десятилетие мировая аквакультура перешла на новый уровень в масштабах производства гидробионтов. А за последние 15-20 лет широкое распространение получило культивирование ракообразных, в частности раков. [1]

По данным Всероссийской ассоциации рыбохозяйственных предприятий, предпринимателей и экспортеров в первой половины 2023 года производство ракообразных выросло на 29%.

Относительно новым видом пресноводной аквакультуры является австралийский красноклещевой рак (*Cherax quadricarinatus*), которому характерен быстрый темп роста, высокие вкусовые качества и содержание мяса до 20-30%. Однако раководы сталкиваются с рядом проблем при выращивании ракообразных. Основными проблемами является отсутствие специализированных кормов и большой отход во время содержания данного объекта, причиной которого являются случаи каннибализма в процессе линьки.

На российском и мировом рынке корма для ракообразных представлены фирменными марками Tetra (содержание белка – 43 %, жира – 8 %, клетчатки – 2–4 %, обогащены витаминами и минеральными веществами) и Sera crabs natural (содержание белка – 25 %, жира – 5 %, клетчатки – 2 %. Универсальный корм, пригодный в том числе и для выращивания эвригаллиных ракообразных). Корма для ракообразных известной зарубежной компании по производству кормов фирма Crawfish Feed, показали хорошие результаты при выращивании красноклещевого рака. Изученные корма разных фирм для австралийского рака выпускаются в виде гранул, а в качестве связующего вещества используют лигносульфонат. Наличие данного компонента в составе кормов позволяет гранулам не размываться и не разбухать в воде около 4 часов.

В России корма для ракообразных производятся компанией ООО «Фабрика Белковых Кормов», в составе которого нет никакого связующего вещества. [2]

Материалы и методы. На основе изучения литературных источников было выбрано направление исследований, которое включало изучение биологических особенностей красноклешневого рака, особенности питания, состав природной пищи. Изучение кормов зарубежного и российского производства, а также изучения питательной ценности компонентов кормов и связующих веществ, препятствующих размыванию кормовых смесей.

Раки ведут донный образ жизни поедают корм медленно и постепенно, а одним из важных недостатков современных кормов для ракообразных является их невысокая водостойкость, что приводит к быстрому размыванию и разбуханию гранул в бассейне, что в свою очередь способствует загрязнению воды.

На протяжении многих лет исследования ученых разных стран показало, что растительные полисахариды являются полифункциональными пищевыми добавками и способствуют повышению технологических характеристик продуктов.

Полисахариды представляют собой природные биополимеры, образованные высокомолекулярными углеводами. Их особенностью является физико-химические и экологически устойчивые свойства. Благодаря наличию нескольких полярных групп в структуре, полисахарид удерживает в себе большое количество воды или любой биологической жидкости и тем самым образует гидрогелии, которые в свою очередь являются водостойкими. Особую значимость приобретают те продукты, в которых наличие биополимера играет модифицирующую роль и при это повышают биологическую ценность, а не меняет общую структуру продукта. Этим требованиям отвечают полисахариды, которые были получены из морских водорослей, производство которых хорошо развито в России. [3]

Важным преимуществом морских полисахаридов является наличие разнообразной биологической активности - антиопухоловой, противовоспалительной, антивирусной. Эти вещества обогащают рацион питания любого организма пищевыми волокнами и активно участвуют в метаболических процессах желудочно-кишечного тракта и обмена веществ. Такими полисахаридами являются: альгинат, агар-агар, желатиновые вещества, крахмал, гликоген, хитин и др. [4]

Результаты и обсуждения. При разработке новой рецептуры корма с целью увеличения водостойки были введены природный полисахарид - альгинат натрия и кальциевая соль молочной кислоты - лактат кальция. В состав данного рецепта лактат кальция водили как эффективную йодсвязывающую минеральную добавку и как связующее вещество, придающее твердость гранулам, и усиливающая антиоксидантные свойства предлагаемого корма [4].

При ведении в состав корма альгинта натрия и лактата кальция водостойкость гранул повышается. В течение 8 часов комбикорм не размываются в воде и ракообразные могут поесть корм в течение долгого времени.

В состав рецептуры корма также входят пшеничный глютен, отруби пшеницы, кровяная мука, кукурузная мука, овсяная мука, шрот соевый, травяная мука из люцерны, мука гороховая, мука из сушеного гамарусса, спирулина, листья дуба, меласса свекловичная, гуаровая камедь, карофил розовый, карбоксиметилцеллюлоза, лецитин соевый, льняное масло, сафлоровое масло. Также в состав входит рыбная мука, которую мы частично заменяли на муку из личинки мучного червя, для повышения питательности корма. Мучные черви, необычайно питательны (Рисунок 1). В 100 г личинок содержится 206 калорий и от 14 до 25 г белка. По количеству калия, меди, натрия, селена, железа и цинка они не уступают говядине, а по витаминам - превосходят ее. По данным агентства по безопасности пищевых продуктов ЕС, желтый мучной червь безвреден для употребления в пищу [5].

В качестве жировых добавок введены следующие компоненты: рыбий жир, льняное масло и сафловое масло.



Рисунок 1 - личинки мучного червя

Изучив все особенности каждого компонента и потребности красноклещевого рака технический результат был достигнут и разработан новый комбикорм (Таблица 1).

Таблица 1 - Рецепт экспериментального корма

| Компоненты | Содержание, % |
|-------------------------------|---------------|
| Кормовые дрожжи | 7,8 |
| Рыбная мука | 3,9 |
| Мясокостная мука | 3,9 |
| Мука кровяная | 3,9 |
| Пшеничный глютен | 2,34 |
| Кукурузная мука | 3,12 |
| Отруби пшеницы | 6,24 |
| Мука овсяная | 6,24 |
| Шрот соевый | 7,8 |
| Травяная мука из люцерны | 3,12 |
| Мука гороховая | 6,24 |
| Альгинат натрия | 2,49 |
| Лактат кальция | 1,24 |
| Мука из сушеного гаммаруса | 3,12 |
| Спирулина | 0,93 |
| Листья дуба | 3,12 |
| Меласса свекловичная | 2,34 |
| Гуаровая камедь | 0,41 |
| Карофил розовый | 0,07 |
| Карбоксиметилцеллюлоза | 0,46 |
| Лецитин соевый | 0,78 |
| Рыбий жир | 0,78 |
| Льняное масло | 0,78 |
| Сафлоровое масло | 0,78 |
| Мука из личинки мучного червя | 28,1 |

Выращивание раков проводили в бассейнах установки замкнутого водоснабжения размером 1,5м x 0,75м x 0,2м, объемом 170 л (рисунок 2).

Температура воды в бассейнах поддерживалась в пределах 260С.

Содержание кислорода – 8,5 мг/л, рН -7,5.

Длительность эксперимента составила 21 сутки.



Рисунок 2 - установка замкнутого водоснабжения для выращивания ракообразных

За период исследований наблюдался прирост массы австралийских раков по сравнению с кормом от компании ООО «Фабрика Белковых Кормов». Результаты представлены в таблице 2

Таблица 2 – Результаты эксперимента

| Показатели | Корма от компании ООО «Фабрика Белковых Кормов» | Экспериментальный комбикорм |
|---------------------------|---|-----------------------------|
| Начальная. масса, г | 0,79±0,07 | 0,81±0,07 |
| Конечная масса, г | 6,0±0,21 | 9,1±0,21 |
| Общий прирост, г | 5,21 | 8,29 |
| Среднесуточный прирост, г | 0,25 | 0,39 |
| Выращивание, сутки | 21 | 21 |
| Выживаемость, % | 90 | 95 |
| Кормовой коэффициент, ед. | 1,1 | 1,1 |

Вывод. По сравнению с кормом от компании ООО «Фабрика Белковых Кормов» экспериментальный корм является более водостойким и питательным. Прирост ракообразных при кормлении разрабатываемым кормом был выше в 1,5 раза в сравнении с аналогом. А также благодаря ведению альгината натрия и лактата кальция гранулы держали начальную форму в воде более 8 часов, в то время как прототип размывался и разбухал в бассейне в течение 3 часов.

Следует отметить, что новый комбикорм для австралийского красноклешневого рака отличается сбалансированностью состава, хорошими питательными качествами, водостойкостью и может быть предложен к широкому использованию в рыбоводных хозяйствах.

Список использованных источников

1. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры, ФАО, 2022г. <https://www.fao.org/3/cc0463ru/cc0463ru.pdf>.
2. http://www.fbk34.ru/index.php?route=product/product&path=59_69_79&product_id=74.
3. Prospects for using mineral resources of southern Russia in aquaculture / N. Abrosimova, E. Abrosimova, Y. Kokhanov [et al.] // E3S Web of Conferences : 8, Rostovon-Don, 19–30 августа 2020 года. – Rostovon-Don, 2020. – P. 09001. – DOI 10.1051/e3sconf/202021009001. – EDN NRPPSG.
4. Коханов, Ю. Б. Разработка установки исследования кормления гидробионтов / Ю. Б. Коханов, А. Д. Лукьянов, Н. А. Абросимова // Актуальные проблемы науки и техники. 2020 : Материалы национальной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 25–27 марта 2020 года / Отв. редактор Н.А. Шевченко. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2020. – С. 347-348. – EDN MZSXJL.
5. Жирно-кислотный состав мучных червей *Zophobas morio* и личинок черной львинки *hermetia illucens* и их влияние на живую массу молодняка белых крыс/ Р.М. Папаев, Г.Г. Шаламова, Т.Ю.

Мотина, М.С. Талан/ Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. - 2021. - № 1. - Т.245, 2021. - С. 150-153.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям в рамках научного проекта (**№ договора 123ГССС15-L/78533 от 22.08.2022 г.**)

НЕЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В АКВАКУЛЬТУРЕ: ПРОБЛЕМЫ И СТРАТЕГИИ

¹Пузанов Д.С.

¹Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. Аквакультура - быстрорастущая отрасль, которая играет значительную роль в удовлетворении растущего мирового спроса на продукты питания и животный белок. Однако неэффективные методы управления создают проблемы для устойчивого роста отрасли и использования ресурсов. В этой статье исследуются факторы, способствующие не эффективному управлению в аквакультуре, и предлагаются стратегии повышения общей эффективности.

Ключевые слова. Аквакультура, проблемы, решения, управление, развитие.

INEFFICIENT MANAGEMENT IN AQUACULTURE: PROBLEMS AND STRATEGIES

¹Puzanov D.S.

¹Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Annotation. Aquaculture is a fast-growing industry that plays a significant role in meeting the growing global demand for food and animal protein. However, inefficient management methods create problems for the sustainable growth of the industry and the use of resources. This article explores the factors contributing to inefficient management in aquaculture and suggests strategies to improve overall efficiency.

Keywords. Aquaculture, problems, solutions, management, development.

Аквакультура - это выращивание водных организмов, включая рыбу, ракообразных, моллюсков и водные растения, в контролируемых условиях. Неэффективные методы управления могут привести к не оптимальному использованию ресурсов и негативно сказаться на окружающей среде и экономической жизнеспособности отрасли. Цель данной работы - определить ключевые области неэффективного управления в аквакультуре и предложить решения для улучшения.

Причины отсутствия стратегического планирования и мониторинга. *Недостаток осведомленности.* В некоторых регионах аквакультура может быть недостаточно развита, и люди могут не понимать ее потенциал и важность. Это приводит к недостатку финансирования и ресурсов, которые могли бы быть направлены на развитие и налаживание стратегического планирования и мониторинга. *Отсутствие государственной поддержки.* Стратегическое планирование и мониторинг требуют значительных ресурсов и экспертизы. В некоторых случаях государства не могут или не хотят выделять средства на развитие аквакультуры, что ведет к отсутствию стратегического планирования и мониторинга.

Последствия отсутствия стратегического планирования и мониторинга. *Экологические последствия.* Отсутствие стратегического планирования и мониторинга может привести к нестабильности экосистемы водных акваторий, в которых осуществляется аквакультура. Неправильное использование ресурсов, повышение загрязнения воды и утечка питательных веществ из аквакультурной промышленности могут иметь серьезные негативные последствия для окружающей среды. *Экономические последствия.* Отсутствие стратегического планирования и мониторинга может привести к неэффективному использованию ресурсов и значительным экономическим потерям. Нерегулируемый рост отрасли может привести к перепроизводству или нехватке продукции, что отрицательно сказывается на экономике региона.

Пути решения проблемы. *Повышение осведомленности и образование.* Распространение информации о потенциале аквакультуры и важности стратегического планирования и мониторинга является первым шагом к решению проблемы. Государственные и негосударственные организации могут участвовать в проведении кампаний и разработке программ образования. *Государственная поддержка.* Правительства и международные организации могут выделить финансирование и ресурсы на развитие аквакультуры и налаживание стратегического планирования и мониторинга. Создание регуляторных органов и создание стандартов будет способствовать развитию этой отрасли.

Международное сотрудничество. Обмен опытом и технической поддержкой между странами и регионами также может сыграть важную роль в развитии аквакультуры. Это позволяет изучать лучшие практики и принимать их во внимание при разработке стратегий и мониторинга.

Недостаточное развитие знаний и навыков. Причины недостаточного развития и знаний в аквакультуре: *Ограниченный доступ к образованию и обучению:* В некоторых регионах мира аквакультура не получает должного признания или финансирования, что ограничивает возможности получить профессиональные знания и навыки в этой области. *Недостаточное научное исследование:* Отсутствие современных научных исследований и разработок может привести к ограничению знаний о новейших методах и технологиях в аквакультуре. *Недостаточное продвижение:* Отсутствие медийного внимания и информирования о преимуществах и актуальности аквакультуры может снизить интерес общества к этой отрасли и, как следствие, ухудшить развитие знаний и навыков.

Решение проблемы недостаточного развития знаний и навыков в аквакультуре:

Образовательные программы: Разработка специализированных образовательных программ и курсов по аквакультуре на разных уровнях - от школьного до профессионального. Это позволит повысить качество и доступность образования в данной области.

Техническая поддержка: Предоставление финансовой и технической поддержки малым и средним предприятиям, занимающимся аквакультурой. Это поможет им приобрести необходимое оборудование и внедрить современные методы в своей деятельности.

Научные исследования: Проведение научно-исследовательских работ в области аквакультуры, направленных на разработку и внедрение новых технологий, методов и инноваций, способных повысить эффективность и устойчивость данной отрасли.

Продвижение и информирование: Проведение информационных кампаний и мероприятий для привлечения большего внимания к аквакультуре и ее потенциалу. Это поможет повысить осведомленность и заинтересованность общества в данной отрасли.

Проблемы и трудности связанные с плохим управлением качеством

воды: *Загрязнение воды:* Недостаточный контроль за выбросами отходов из аквакультурных установок может привести к загрязнению воды различными веществами, такими как пищевые отходы, лекарственные препараты, антибиотики, пестициды, нитраты и фосфаты. Это может оказывать негативное влияние на биологическое разнообразие и здоровье водных экосистем. *Изменение химического состава воды:* Неправильное введение химических веществ, таких как кислоты, основания, соли или другие добавки, может нарушить химический баланс воды и создать неблагоприятные условия для жизни рыб и других водных организмов. *Изменение температуры воды:* Недостаточный контроль за температурой воды в аквакультурных установках может создавать стрессовые условия для рыб и других водных организмов. Повышенная или пониженная температура воды может вызывать заболевания и снижение роста и размножения животных. *Болезни рыб:* Недостаточный контроль за заболеваниями рыб и недостаточное применение профилактических мер могут привести к распространению инфекций и эпидемий в аквакультурных установках. *Перенаселение:* Чрезмерное разведение рыб и других водных организмов в ограниченном пространстве может привести к снижению качества воды из-за накопления отходов и увеличению бактериального загрязнения, а также привести к конкуренции за пищу и ресурсы, что может негативно сказаться на росте и здоровье животных. *Инвазии и розыски вредителей:* Недостаточный контроль за внешними вредителями и инвазивными видами, такими как раки, водоросли или бактерии, может привести к разрушительным последствиям для аквакультурных установок.

Для решения проблемы плохого управления качеством воды необходимо принимать следующие меры. *Регулярно контролировать качество воды.* Компании должны проводить регулярные анализы качества воды, чтобы выявлять возможные проблемы и принимать меры для их устранения. *Использовать экологически чистые методы производства.* Компании должны использовать методы производства, которые не загрязняют окружающую среду и не влияют на качество воды. *Применять инновационные технологии.* Компании должны следить за новыми технологиями и инновациями, которые могут помочь улучшить качество воды и повысить производительность. *Обеспечивать правильное питание рыб и моллюсков.* Компании должны обеспечивать правильное питание рыб и моллюсков, чтобы они были здоровыми и устойчивыми к различным заболеваниям.

Некоторые проблемы профилактики заболеваний: *Недостаточной обработкой и контролем качества воды.* Некачественная вода может стать источником инфекционных заболеваний и болезней для животных. Проблемы включают недостаточное удаление аммиака, нитратов и других вредных веществ из воды, а также отсутствие адекватной фильтрации и очистки. Для решения этой проблемы необходимо внедрение современных систем очистки и контроля качества воды, регулярное

тестирование и мониторинг параметров воды, а также осведомленность о правильных методах обработки и управления водными ресурсами.

Отсутствие или недостаточное обучение персонала в области профилактики и борьбы с заболеваниями в аквакультуре. Недостаточное знание о правилах гигиены, методах профилактики и лечения заболеваний может привести к неправильному применению мер безопасности и неэффективным практикам. Здесь важно инвестировать временные и финансовые ресурсы в обучение персонала, оказывать им поддержку и обеспечивать доступ к актуальной информации и навыкам в области здоровья и гигиены животных.

Неэффективное расселение рыб или других животных в аквакультуре может способствовать распространению болезней. Плотное размещение может увеличить риск заражения заболеваниями и ослабить иммунитет животных. Неправильное планирование и контроль плотности заселения могут привести к быстрому распространению заболеваний. Более эффективные практики включают правильное планирование заселения, учет оптимальной плотности по видам, а также использование методов мониторинга и контроля, чтобы предотвратить перенаселение и регулярно проверять состояние животных.

Отсутствие доступа к современным методам диагностики и исследования заболеваний в аквакультуре. Правильная диагностика и идентификация заболеваний являются ключевыми в профилактике и контроле заболеваний. Отсутствие современных методов диагностики может привести к пропуску важных заболеваний и неправильному выбору методов лечения. Необходимо улучшить доступ и инвестировать в современные лаборатории и технологии, чтобы обеспечить максимально точную и своевременную диагностику заболеваний.

Решения проблемы неэффективных мер профилактики заболеваний и борьбы с ними в аквакультуре. Улучшение системы мониторинга здоровья рыб. Это может включать в себя регулярные проверки наличия заболеваний и отслеживание изменений в поведении и состоянии рыб. Такая система позволит вовремя выявлять потенциальные проблемы и принимать необходимые меры.

Запрет использования антибиотиков и других химических препаратов в аквакультуре. Использование антибиотиков может приводить к развитию резистентности к ним у бактерий, а также негативно сказываться на окружающей среде. Вместо этого, следует сосредоточиться на разработке и применении естественных методов борьбы с заболеваниями, таких как использование пробиотиков или медицинских растений.

Развитие систем аквакультуры с закрытым циклом. Это подразумевает использование систем, где вода в аквариумах регенерируется и перерабатывается, что снижает риск заражения рыб заболеваниями из внешней среды. Такие системы также могут быть более эффективными в контроле условий содержания рыб.

Внедрение эффективных систем биологического контроля заболеваний. Это может включать в себя использование хищных рыб или морских птиц для контроля популяции вредных организмов, а также использование бактерий-конкурентов для предотвращения развития патогенных микроорганизмов.

Укрепление регуляторных мер и стандартов в сфере аквакультуры. Государственные органы должны разработать и внедрить строгие правила и нормы в отношении профилактики и борьбы с заболеваниями. Такие меры помогут обеспечить единые стандарты для всех аквакультур и снизить риск распространения инфекций и заболеваний.

Неэффективное кормление и методы рационального питания. *Основные проблемы неэффективного кормления.*

Неправильные рационы кормления: Недостаточное знание о пищевых потребностях различных видов рыб и других животных может привести к неправильному составлению рационов кормления. Несбалансированные рационы могут привести к дефициту важных питательных веществ или, наоборот, к их избытку, что может негативно влиять на здоровье и рост животных. *Недостаточная усвояемость корма:* Некачественный корм или неправильные способы его приготовления могут привести к пониженной усвояемости питательных веществ. Это может привести к избыточным выбросам фекалий, загрязнению окружающей среды и незначительному поглощению питательных веществ животными.

Потери корма: Частичная или полная потеря корма в аквариумах или прудах может быть причиной неэффективного кормления. Неправильное питание животных может привести к накоплению корма на дне или его распылению, что является потерями и ведет к высокому расходу кормовых ресурсов.

Методы рационального питания в аквакультуре.

Использование сбалансированных рационов: Для обеспечения оптимального питания рыб и других животных в аквакультуре необходимо использование сбалансированных рационов. Учет питательных потребностей каждого вида, включая основные макро- и микроэлементы, аминокислоты,

витамины и минералы, поможет обеспечить необходимые пищевые компоненты и достичь оптимального роста и развития. *Контроль качества корма*: Правильное качество корма играет важную роль в эффективности кормления. Регулярный контроль качества корма на содержание питательных веществ, включая белки, жиры, целлюлозу и витамины, помогает обеспечить оптимальное питание животных. *Рациональное питание по времени*: Установление регулярных и точных временных интервалов кормления помогает предотвратить избыточное или недостаточное питание животных. Планирование кормления с учетом биологических потребностей каждого вида и его физиологического состояния помогает оптимизировать потребление кормовых ресурсов и обеспечить максимальную усвояемость питательных веществ.

Эффективные методы управления имеют решающее значение для устойчивого развития отрасли аквакультуры. Решение проблем, связанных с неэффективным управлением, требует стратегического планирования, постоянного профессионального развития, внедрения передовых технологий и надежных стратегий борьбы с заболеваниями. Внедряя эффективные методы управления, отрасль аквакультуры может повысить эффективность использования ресурсов, снизить воздействие на окружающую среду и внести устойчивый вклад в глобальную продовольственную безопасность.

Список использованных источников

1. Богерук А.К., Маслова Н.И. Рыбоводно-биологическая оценка продуктивных качеств племенных рыб. - М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2002. - 185 с.
2. Гепецкий Н.Е., Скляр В.Я., Студенцова Н.А. Актуальные аспекты рыборазведения в современных условиях // Сб. на -уч.-технолог. документации. - СПб.: ГосНИОРХ, 1999. – 173.
3. Скляр В.Я. Комбикорма для рыб // Рыбоводство. -2006. - № 1. - С. 24-25.
4. Скляр В.Я., Студенцова Н.А. Биологические основы рационального использования кормов в аквакультуре. - М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2001. - 55 с.
5. Студенцова Н.А., Скляр В.Я. Рекомендации по кормлению карпа с использованием нетрадиционного сырья. - Крас нодар, 2003. - 22 с.
6. Студенцова Н.А., Сергеева Н.Р. Токсические соединения в нетрадиционных кормовых компонентах, кормах и накопление их в рыбе // Изв. вузов. Пищевая технология. - 1998. - № 5-6. -С. 25-28.
7. Студенцова Н.А., Селиванова В.А., Гаврилов А.К. Физические методы обеззараживания зерновых компонентов рыбных комбикормов от токсических микромицетов // Там же. -С. 61-63.
8. Студенцова Н.А., Скляр В.Я., Иванова Е.Е. Техно -логия рыбоводства углеводно-белкового концентрата и перспективы его использования // Там же. - 1998. - № 2-3. - С. 53-54.
9. Аксенова Г.И., Макаров Э.В. Индустриальное культивирование стартовых живых кормов для рыб. - Ростов н/Д: АЗНИ-ИРХ, 2001. - 198 с.

К ВОПРОСУ О ДЕФИНИЦИИ ТЕРМИНА «ОБОБЩЕННЫЕ КОЛИФОРМНЫЕ БАКТЕРИИ» В ВОДЕ

¹Решетникова О.В., ¹Сбойчаков В.Б., ¹Осипова Т.С.

¹Лужский институт (филиал) ГАОУ ВО ЛО «Ленинградский государственный университет им. А.С. Пушкина», г. Луга, Российская Федерация

Аннотация. В статье показана роль воды в аквакультуре. Подробно раскрыто обоснование введения и содержание нового термина «обобщённые колиформные бактерии» в воде. Рассмотрены микроорганизмы, входящие в это сообщество. Выявлены разногласия в чтении некоторых нормативных документов.

Ключевые слова. Вода, аквакультура, рыбы, обобщенные колиформные бактерии, общие колиформные бактерии, ОКБ.

ON THE QUESTION OF THE DEFINITION OF THE TERM "GENERALIZED COLIFORM BACTERIA" IN WATER

¹Reshetnikova O.V., ¹Sboichakov V.B., ¹Osipova T.S.

¹Head Department, Luga Institute (branch) State Autonomous Educational Institution of Higher Education of the Leningrad Region «Pushkin Leningrad State University», Luga, Russian Federation, 188230 Volodarsky Street, 52, lit. A

Abstract. The article shows the role of water in aquaculture. The rationale for the introduction and content of the new term "generalized coliform bacteria" in water is disclosed in detail. The microorganisms included in this community are considered. Differences in the reading of some regulatory documents have been identified.

Keywords. Water, aquaculture, fish, generalized coliform bacteria, common coliform bacteria, ОКБ.

Вода абсолютно необходима для нормального функционирования всех живых организмов, в том числе и рыб, поскольку составляет основу внутренней среды живой материи. Тем не менее, именно через воду могут передаваться самые различные инфекционные заболевания. Согласно Федеральному закону от 03.03.1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» вода должна быть безопасной в эпидемиологическом и радиационном отношении, безвредной по химическому составу и должна иметь благоприятные органолептические свойства [1]. Чтобы вода была безопасной в эпидемиологическом плане необходимо тщательно контролировать ее качество с помощью микробиологических методов, оценивающих концентрацию так называемых «санитарно-показательных микроорганизмов». Это микроорганизмы, которые постоянно обитают в естественных полостях тела человека или животных и постоянно выделяются во внешнюю среду.

Для признания таких микробов в качестве санитарно-показательных необходимо соблюдение ряда требований:

- постоянное обитание в естественных полостях человека и животных, и постоянное выделение во внешнюю среду;
- отсутствие размножения во внешней среде;
- длительность выживания и устойчивость во внешней среде не меньше или даже выше, чем у патогенных микроорганизмов;
- отсутствие «двойников», с которыми санитарно-показательные микробы легко перепутать;
- относительно низкая изменчивость во внешней среде;
- наличие простых в исполнении и вместе с тем надежных методов индикации.

Чем выше концентрация санитарно-показательных микроорганизмов, тем больше вероятность присутствия в воде патогенных микроорганизмов.

Роль воды в аквакультуре нельзя недооценивать. Вода не только среда обитания гидробионтов, но и важный источник питательных веществ, влияющих на рост и развитие рыб. Без ясного понимания роли качества воды нельзя получить высоких производственных показателей. Успех создания предприятия также во многом зависит от правильной оценки качества воды в источнике [2-5].

В настоящее время большинство объектов аквакультуры конструируются с замкнутым оборотом воды, ее фильтрацией и санацией. Здесь могут формироваться специфические биоценозы, включающих как автотрофных, так и гетеротрофных бактерий, способных повлиять на здоровье объектов аквакультуры и обслуживающего персонала [2]. Поэтому предприятия аквакультуры являются объектами не только ветеринарного, но и санитарно-микробиологического надзора. При оценке безопасности воды используются микробиологические показатели и нормативы для воды поверхностных водоемов рекреационного типа (СанПиН 1.2.3685-21). В соответствии с требованиями данного документа содержание колиформных бактерий в воде не должно превышать 500 КОЕ на 100 см³ воды. Это требование является трудно выполнимым и, возможно, необоснованно завышенным для замкнутых водных систем с постоянным высоким уровнем фекального заражения.

Поскольку вода – среда обитания рыб, от ее качества и количества будет зависеть эффективность хозяйства. Предприятия аквакультуры являются объектами государственного гигиенического контроля [3]. Подобные водные объекты имеют ряд особенностей:

- замкнутая система оборота воды и непрерывный режим ее очистки и обеззараживания;
- периодическое поступление в замкнутую систему преимущественно специфических фекальных колиформных бактерий, присутствующих в желудочно-кишечном тракте холоднокровных гидробионтов;
- формирование в замкнутой системе специфических микробиоценозов (биопленок, обрастаний, в том числе в составе биофильтров);
- введение лечебных препаратов (антибиотиков, красителей) при необходимости лечения гидробионтов;
- ограниченные масштабы инфицирования объектов колиформными бактериями людей через руки персонала, инструменты, инвентарь, корма.

Колиформные бактерии (колиформы) – это искусственная, не имеющая отношения к систематике группа санитарно-показательных бактерий. Это понятие утилитарное (санитарно-бактериологическое и экологическое), но не таксономическое. Это собирательное название гетерогенной группы санитарно-показательных микроорганизмов, обладающих общими чертами. Традиционно в эту группу входили представители родов: *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Serratia* и *Klebsiella*, экологические особенности которых определяли их индикаторную значимость.

Принято считать, что присутствие этих бактерий свыше установленной нормы, указывает на высокий недопустимый риск заражения объекта аквакультуры биосубстратами, потенциально содержащими возбудителей желудочно-кишечных инфекций [6-16, 17, 18].

Большой интерес у санитарных микробиологов встретила опубликованная в 2020 году работа А.В. Загайновой и соавторов «Обоснование введения индикаторных показателей «Обобщенные колиформные бактерии» и «*Escherichia coli*» в систему санитарно-эпидемиологического контроля безопасности питьевой воды» [19]. Здесь впервые упоминается термин «обобщенные колиформные бактерии». Эти бактерии объединяют как лактозоположительные, так и лактозоотрицательные бактерии. Их определяют по признаку ферментации глюкозы, отрицательному оксидазному тесту и отрицательной окраске по Граму. Термин не имеет аналогов в международной практике при оценке безопасности водных объектов.

Методически на среде Эндо выявляют колонии с металлическим блеском и без него, что предполагает наличие лактозоположительных колиформных бактерий. При росте розовых или бесцветных колоний предполагают наличие лактозоотрицательных колиформных бактерий. Для подтверждения колоний к колиформным бактериям обязателен оксидазный тест. Лактозоположительные колонии оксидазоотрицательных бактерий ранее учитывали, как общие колиформные бактерии (ОКБ). В настоящее время они входят в новый показатель «обобщенные колиформные бактерии». При росте лактозоотрицательных колоний оксидазоотрицательных бактерий их учитывают, как обобщенные колиформные бактерии. При этом необходимо подтвердить их принадлежность к обобщенным колиформным бактериям по ферментации глюкозы.

Если на среде Эндо не обнаружен рост колоний вообще, или отмечен рост нехарактерных для колиформных бактерий колоний (губчатые, плёнчатые и др.), при их положительной оксидазной активности, то это говорит об отсутствии обобщенных колиформных бактерий в пробе воды.

Согласно Методическим указаниям 4.2.1018-01 «Санитарно-микробиологический анализ питьевой воды» с изменениями от 23 декабря 2010 г. и 1 марта 2021 г., общими (обобщенными) колиформными бактериями следует считать грамтрицательные, оксидазоотрицательные, не образующие спор палочки [11, 14, 15]. Они должны быть способны расти на дифференциальных лактозных средах и ферментировать лактозу до кислоты, альдегида и газа при температуре 37±1 °С в течение 24 - 48 часов. Однако, здесь ничего не говорится о лактозоотрицательных бактериях.

В настоящее время, в связи с введением СанПиНа 2.1.3684-21, определение качества воды необходимо проводить по показателю «обобщённые колиформные бактерии», оставив общепринятую аббревиатуру – ОКБ [8]. Методически надо выявлять выросшие на чашке граммотрицательные, оксидазоотрицательные колонии, способные ферментировать глюкозу до кислоты и газа и принадлежность к этой группе всех фекальных колиформ, включая патогенные бактерии. Однако «пионеры» введения нового показателя оставляют «за бортом» оксидазоположительные холерные вибрионы, которые не всегда определяются при микроскопии в виде изогнутых палочек.

Методические указания 4.2.3691-21 «Изменения N 2 в МУК 4.2.1884-04 «Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов» дают следующие определения:

- в пункте 1.4 слова «общие и термотолерантные колиформные бактерии» заменить словами «общие (обобщенные) и термотолерантные колиформные бактерии».
- в главах 2.7, 2.8 слова «общих и термотолерантных колиформных бактерий» заменить словами «общих (обобщенных) и термотолерантных колиформных бактерий».
- в первом абзаце пункта 2.7.1 слова «Общие колиформные бактерии» заменить словами «Общие (обобщенные) колиформные бактерии».
- во втором абзаце пункта 2.7.1, в пункте 2.7.3.1, в четвертом абзаце пункта 2.8.2, в пункте 2.8.3.1, в абзаце первом главы 5.2 слова «общих колиформных бактерий» заменить словами «общих (обобщенных) колиформных бактерий».

Более четкое определение дает ГОСТ 34786-2021. Он введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 3 ноября 2021 г. № 1422-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 34786-2021 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 января 2022 года [7].

Согласно этому нормативному документу к общим колиформным бактериям относят оксидазоотрицательные, не образующие спор палочки, способные расти на дифференциальных лактозных средах, ферментирующие лактозу (глюкозу) до кислоты и газа при температуре 36 ± 2 °C в течение 24 ± 3 ч и до 48 ч при отсутствии газа. Обобщенные колиформные бактерии также относятся к индикаторной группе бактерий, указывающей на фекальное загрязнение воды и возможность присутствия возбудителей водоассоциированных бактериальных кишечных инфекций.

На среде Эндо подсчитывают типичные колонии: красные, темно-красные с металлическим блеском и без него (лактозоположительные), розовые разных оттенков (лактозоотрицательные). По три-четыре колонии каждого типа пересевают в пробирки с полужидкой средой Гисса с глюкозой для подтверждения их принадлежности к колиформным, обобщенным или общим колиформным бактериям. Посевы инкубируют при температуре 36 °C в течение 24 ± 3 ч. Первичный учет на подтверждающих полужидких средах возможен через 4-6 ч.

При обнаружении кислоты и газа дают положительный ответ. При отсутствии кислоты и газа или при наличии только кислоты для окончательного учета пробирки с посевами оставляют в термостате до 48 ч.

На среде с тергитолом 7 подсчитывают типичные колонии с желто-оранжевой, кирпично-красной окраской, иногда с ржаво-окрашенным центром, образующим желтую окраску в среде, а также темно-красные колонии. Обязателен отрицательный оксидазный тест. На данной среде разрушение лактозы до кислоты регистрируется индикатором бромтимоловым синим. Он изменяет цвет среды на желтый. Селективность среды обеспечивается гептадецилсульфатом натрия (Тергитол-7) и 2,3,5-трифенилтетразолиум хлоридом (ТТХ), подавляющими большинство грамположительных бактерий. Восстановленный лактозоотрицательными бактериями ТТХ окрашивает их колонии в темно-красный цвет. Лактозоположительные *E. coli* и колиформные бактерии восстанавливают ТТХ слабо, поэтому их колонии окрашены в желто-оранжевый цвет.

В протоколе анализа указывают количество колиформных и общих колиформных бактерий, выросших в 100 см³ воды. Такие колонии пересевают в полужидкую среду с глюкозой и инкубируют посевы при 36 ± 2 °C. Учет образования кислоты и газа проводят через 4-6 ч, при отсутствии газа пробирки оставляют в термостате до 24 ч для окончательного учета. Число бактерий, ферментирующих глюкозу до кислоты и газа, суммируют с числом лактозоположительных колоний, сумму делят на профильтрованный объем. В протоколе анализа указывают число обобщенных колиформных бактерий, выросших в исследуемом объеме воды.

В последние годы в связи с нарастанием антропогенной нагрузки на водоемы, потеплением микроклимата, изменением пищевого поведения людей, ввозом импортных пищевых продуктов из различных, в том числе экзотических, стран мира и бесконтрольным применением антибиотиков широкого спектра действия начали утрачиваться некоторые фенотипические свойства бактерий. В

посевах из проб воды стали все чаще обнаруживаться кишечные палочки с потерей лактозного признака и металлического блеска [16, 20, 21, 22].

В этой ситуации подтверждением родовой принадлежности таких атипичных колоний могло быть введение такого общего признака характерного для семейства *Enterobacteriaceae*, как ферментация D-глюкозы до кислоты и образования газа [18, 23]. Введение дополнительного теста для подтверждения фекального загрязнения воды позволит также не пропустить в посевах лактозоотрицательные патогенные бактерии (*Salmonella*, *Shigella*) и условно-патогенные бактерии других родов.

Поэтому термин «общие колиформные бактерии» стал не правомерен и заменен на показатель «обобщенные колиформные бактерии». Определение по двум биохимическим признакам дает возможность выявления как лактозоположительных, так и лактозоотрицательных бактерий семейства *Enterobacteriaceae*, гарантируя отсутствие в воде патогенных бактерий. Определение нового показателя «обобщенные колиформные бактерии» не представляет методической сложности для санитарных микробиологов и потребует минимальных экономических затрат. Ответ результатов анализа может быть получен через 24–48 часов.

Показатель «Обобщенные колиформные бактерии» принят для всех видов вод. Унификация терминологии индикаторных показателей для всех видов вод обеспечит возможность логически выстраивать эпидемиологическую цепь о значимости конкретного водного объекта в передаче возбудителей кишечных инфекций и прогнозировать развитие эпидемической ситуации.

Адекватность обнаруживаемых индикаторных микроорганизмов безопасности воды является инструментом к определению вероятности и масштаба неблагоприятных последствий для здоровья населения и принятию управленческих решений по разработке оперативных, краткосрочных и долгосрочных профилактических мероприятий с целью снижения риска развития кишечных и оппортунистических заболеваний, обусловленных водным фактором, среди населения страны [24-27, 28-30].

В состав обобщенных колиформных бактерий входят следующие представители порядка Enterobacteriales (*Salmonella*, *Shigella*, *Aeromonas* (лактозонегативные и лактозопозитивные), *Biostraticola*, *Buttiauxella* (лактозонегативные и лактозопозитивные), *Cedecea*, *Citrobacter* (лактозонегативные и лактозопозитивные), *Cronobacter*, *Enterobacillus*, *Enterobacter* (лактозонегативные и лактозопозитивные), *Escherichia* (лактозонегативные и лактозопозитивные), *Franconibacter*, *Gibbsiella*, *Izhakiella*, *Klebsiella* (лактозонегативные и лактозопозитивные), *Kluyvera*, *Kosakonia*, *Leclercia* (лактозонегативные и лактозопозитивные), *Lelliottia*, *Mangrovibacter*, *Pluralibacter*, *Pseudocitrobacter*, *Raoultella*, *Rosenbergiella*, *Shimwellia*, *Siccibacter*, *Trabulsiella*, *Yokenella*, *Moellerella*, *Kalamiella*, *Morganella*, *Pantoea*, *Proteus*, *Providencia*, *Ewingella*, *Rahnella*, *Serratia*, *Yersinia*, *Erwinia*, *Hafnia*, *Tatumella*, *Wigglesworthia* *Cosenzaea*, *Chania*).

Таким образом, к обобщенным колиформным бактериям необходимо относить оксидазоотрицательные, неспорообразующие палочки. Они должны быть способны к росту на дифференциальных лактозных средах. Учитывать необходимо не только лактозоположительные (темно-красные с металлическим блеском) колонии, ферментирующие глюкозу до кислоты и газа при температуре 36 ± 2 °C в течение 24 ± 3 ч и до 48 ч при отсутствии газа, но и лактозоотрицательные колонии (бесцветные или розовые).

Применение данного показателя в практике санитарно-микробиологического контроля даёт возможность своевременно выявить фекальное загрязнение воды, представляющее эпидемическую опасность.

Показатель «обобщенные колиформные бактерии» является экономически выгодным в плане финансовой стоимости проведения исследований и более надёжным в предупреждении возникновения инфекций, связанных с водным путём распространения [31, 19].

Увеличение числа колиформ за счет лактозоотрицательных вариантов делает требования к воде еще более жесткими. Поэтому рекомендуемый пересмотр гигиенических требований к аквариумистике должен затронуть и нормативы выбранных индикаторных групп. Для этого необходимы масштабные микробиологические исследования воды всех аквариумов одновременно по новым показателям [30, 31]. Анализы необходимо провести до и после кормления рыбы (после дефекации), когда уровень колиформ вероятнее всего будет в воде максимальным.

Список использованных источников

1. Федеральный закон от 03.03.1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».
2. Аламмар В.А. Разнообразие колиформных бактерий в непрерывно санируемой аквариумной воде // Выпускная квалификационная работа магистра. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет. – 2017. – 50 с.
3. Интересова Е.А. Пресноводная аквакультура: учеб. пособие. – Томск: ТГУ, 2021. – 128 с.
4. Goralach-Lira K., Pacheco C., Carvalho L.C.T. et al. The influence of fish culture in floating net cages on microbial indicators of water quality. // Braz. J. Biol. - 2013. - V. 73, N. 3. - P. 457-463, 457.
5. Martinsa C.I.M., Edinga E.H., Verdegema M.C.J. et al. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability // Aquacultural Engineering. - 2010. - V. 43, № 3. - P. 83-93.
6. Указ Президента РФ от 19.04.2017 № 176 «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года».
7. ГОСТ 34786—2021. Вода питьевая. Методы определения общего числа микроорганизмов, колиформных бактерий, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* и энтерококков.
8. СанПин 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий».
9. СанПин 2.1.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 года № 2.
10. Методические указания 4.2.2959–11 «Методы санитарно-микробиологического, санитарно-паразитологического контроля прибрежных вод морей в местах водопользования населения». М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. - 114 с.
11. Методические указания 4.2.1.1018–01. Санитарно-микробиологический анализ питьевой воды. М.; 2001.
12. Методические указания 4.2.1884–04. Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов. М.; 2004.
13. Методические указания 4.2.3689-21. Методы санитарно-микробиологического и санитарно-паразитологического анализа прибрежных вод морей в местах водопользования населения».
14. Методические указания 4.2.3691-21. Изменения №1 в МУК 4.2.1884-04 "Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов".
15. Методические указания 4.2.3690-21. Изменения №2 в МУК 4.2.1018-01 "Санитарно-микробиологический анализ питьевой воды".
16. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2021 году». М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2022. - 340 с.
17. Алешня В.В., Журавлев П.В., Панасовец О.П. и др. Роль санитарно-гигиенических факторов в распространении бактериальных кишечных инфекций водным путем //Здоровье населения и среда обитания. - 2017. - № 10(295). - С. 20-23.
18. Журавлёв П.В., Алешня В.В., Ковалев Е.В, Швагер М.М. Комплексное изучение микробного риска возникновения острых кишечных инфекций при оценке эпидемической безопасности питьевого водопользования // Инфекционные болезни: новости, мнения, обучение. - 2018. - Т. 7, № 3(26). - С. 7-14.
19. Загайнова А.В., Трухина Г.М., Рахманин Ю.А., Артемова Т.З., Сухина М.А. Обоснование введения индикаторных показателей «Обобщённые колиформные бактерии» и «*Escherichia coli*» в систему санитарно-эпидемиологического контроля безопасности питьевой воды // Гигиена и санитария. – 2020. - № 99 (12). – С. 1353-1359.
20. Бузолева Л.С., Ким А.В., Компанец Г.Г., Богатыренко Е.А. Проявление патогенных свойств у морских бактерий под влиянием антропогенного загрязнения //Экология человека. - 2016. - № 3. - С. 30-36.
21. Журавлёв П.В., Панасовец О.П. Алешня В.В. и др. Антибиотикорезистентность бактерий, выделенных из воды открытых водоемов // Здоровье населения и среда обитания. - 2015. - № 5(266). - С. 24-26.

22. Alonso A., Sánchez P., Martínez J.L. Environmental selection of antibiotic resistance genes // *Environ Microbiol.* – 2001. – V. 3, № 1. – P. 1-9.
23. Рахманин Ю.А., Иванова Л.В., Артемова Т.З. и др. Сравнительная оценка санитарно-эпидемиологической значимости индикаторных колиформных показателей качества питьевой воды // *Гигиена и санитария.* - 2019. - Т. 98, № 3. - С. 237-49.
24. Лаврик Е.П., Трухина Г.М., Кравченко А.Г. и др. Санитарно-эпидемиологические особенности рекреационного водопользования Туапсинского района Краснодарского края // *Гигиена и санитария.* - 2021. - Т. 100, № 9. - С. 910-916.
25. Механтьев И.И., Клепиков О.В., Куролап С.А., Масайлова Л.А. Оценка связи заболеваемости населения Воронежской области с водным фактором // *Вестник новых медицинских технологий.* - 2021. - Т. 15, № 3. - С. 40-46.
26. Оказова З.П., Автаева Т.А. Использование микроорганизмов в качестве индикаторов загрязнения окружающей среды // *Современные проблемы науки и образования.* -2015. - № 5. - С. 636.
27. Попова А.Ю., Гурвич В.Б., Кузьмин С.В. и др. Научная концепция развития нормативно-методической основы обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения // *Гигиена и санитария.* - 2017. - Т. 96, № 12. - С. 1226-1230.
28. Савков А.С. Сравнительный анализ заболеваемости острыми кишечными инфекциями взрослого населения // *International Scientific Review.* - 2015. - № 5 (6). - С. 30-32.
29. Трухина Г.М., Ярославцева М.А., Дмитриева Н.А. Современные тенденции санитарной микробиологии в реализации санитарно-эпидемиологического надзора за безопасностью водных объектов // *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО.* – 2022. № 10. – С. 16-24.
30. Трухина Г.М. Оценка микробиологического риска среды обитания для здоровья населения в системе социально-гигиенического мониторинга // *Здравоохранение Российской Федерации.* - 2008. - № 1. - С. 43.
31. Загайнова А.В., Артемова Т.З., Трухина Г.М., Сухина М.А. Гигиеническое нормирование качества и безопасности воды систем централизованного питьевого водоснабжения с учетом современной таксономии микроорганизмов // *Здоровье и окружающая среда: Сборник материалов международной научно-практической конференции, Минск, 19-20 ноября 2020 года.* - Минск: Белорусский государственный университет. - 2021. - С. 55-56.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРАЗИКВАНТЕЛА ПРИ ВАЛИПОРОЗЕ КАРПОВ

¹Сорокин П.А., ¹Енгашев С.В., ²Гончарова М.Н.

¹ ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина», г. Москва, Российская Федерация

² ООО «Научно-внедренческий центр Агроветзащита», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Проведены исследования по определению эффективности празиквантела при валипорозе карпов.

При паразитологическом исследовании группы карпов на наличие валипор в желчных пузырях до обработки экстенсивность инвазии (ЭИ) паразитами составила 100%.

Результаты исследования показали, что лечебные ванны с концентрацией празиквантела в дозах 2 мг/л и 10 мг/л и экспозицией 60 минут оказывают воздействие на 100% личинок, вызывая у них изменение формы, подавление двигательной активности и повреждение наружной оболочки.

Ключевые слова. Рыбы, карпы, валипороз, эффективность, празиквантел, лечение

EFFICACY OF PRAZIQUANTEL AT VALIPOROSIS OF CARP

¹Sorokin P.A., ¹Engashev S.V., ²Goncharova M.N.

¹Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Scriabin, Moscow, Russian Federation

²LLC AVZ Animal Health, Moscow, Russian Federation

Abstract. Studies have been carried out to determine the effectiveness of praziquantel at valiporosis of carp.

In a parasitological study of a group of carps for the presence of valipores in the gallbladders before treatment, the extensiveness of invasion by parasites was at 100%.

The results of the study showed that therapeutic baths with a concentration of praziquantel at doses of 2 mg/l and 10 mg/l and an exposure of 60 minutes affect 100% of the larvae, causing them to change shape, suppress motor activity and damage the outer shell.

Keywords. fish, carp, valiporosis, efficacy, praziquantel, treatment

Введение. Здоровье рыб и эпизоотическое благополучие хозяйства в настоящее время, в основном, обеспечиваются профилактикой и лечением заболеваний лекарственными препаратами. Поиск и разработка новых и действенных лекарственных препаратов широкого спектра действия является первоочередной задачей для снижения экономических потерь от паразитарных заболеваний в рыбоводных хозяйствах.

Валипороз, вызываемый личинками цестоды *Valipora* sp., достаточно широко распространен в прудовых и пресноводных садковых хозяйствах на территории России и приводит к экономическому ущербу, связанному со снижением массы больной рыбы и отставанием в росте. Больные сеголетки плохо переносят зимовку и нередко погибают [1,2].

Валипороз регистрируют у многих видов пресноводных рыб, преимущественно из семейства карповых [3]. Личинки, паразитирующие в желчном протоке и желчном пузыре, реже в печени и кишечнике карповых, при высокой интенсивности инвазии могут вызывать гибель до 60% молоди карпа [1].

Паразитирование личинок в желчном пузыре рыб препятствует нормальному выделению желчи, нарушая пищеварение. Патологические изменения зависят от степени инвазии и могут характеризоваться утолщением и воспалением стенок желчного пузыря и изменением от светло-желтого до мутно-зеленого цвета желчи с дополнительным наличием примесей студенистых телец и осадка, содержащего слизь и эпителиальные клетки [1,3].

Рыбоядные птицы беспрепятственно распространяют возбудителей валипороза из очагов заболевания в благополучные пруды, поэтому необходимо более тщательно, особенно в угрожаемых

зонах, исследовать рыбу на наличие валипороза и проводить своевременную профилактику и лечение данного заболевания.

В настоящее время разрешенные для борьбы с валипорозом лекарственные средства отсутствуют.

Целью данной работы явилось изучение терапевтической эффективности празиквантела и установление оптимального режима обработки препаратом карпов при валипорозе.

Празиквантел – антигельминтик широкого спектра действия, активный в отношении половозрелых и личиночных форм цестод и некоторых трематод. Механизм действия основан на его способности повышать проницаемость тегумента для ионов кальция, что приводит к параличу паразита. Кроме того, нарушение целостности тегумента увеличивает воздействие пищеварительных ферментов организма хозяина, что приводит к гибели паразитических червей.

Материалы и методы исследований. Исследования проводились в аквариальной научно-внедренческого центра "Агрорезистентность" на сеголетках карпа обыкновенного средней массой 50 г. Температура воды в течение опыта составляла 11 °С, количество кислорода 6,9-8,0 мг/л.

Перед началом опыта случайным образом было отобрано и подвергнуто неполному паразитологическому вскрытию 10 особей карпа. По результатам исследования желчных пузырей обнаружены личинки валипоры, интенсивность инвазии (ИИ) составила 3,6 экз., экстенсивность инвазии (ЭИ) – 100%.

Рыбы были разделены на 3 группы (две подопытные и одна контрольная) по 10 особей и помещены в аквариумы, объемом 100 литров. Рыбы контрольной группы лекарственными средствами не обрабатывались. В аквариумы с опытными группами был внесен раствор празиквантела и создана соответствующая концентрация: 2 мг/л (первая опытная группа) и 10 мг/л (вторая опытная группа). Время обработки лечебным раствором в обеих группах составило 60 минут, после чего карпы были пересажены в аквариумы с чистой водой. Рыбы из контрольной группы через 60 минут также были пересажены в другой аквариум с чистой водой. Условия содержания рыб во всех группах во время проведения эксперимента были одинаковыми.

Вскрытие по 5 рыб из каждой группы проводили через 1 и 3-е суток после обработки опытных групп. Эффективность лечебных обработок определяли по внешним изменениям в организме личинок и снижении их двигательной активности.

Результаты исследований. Через сутки после обработки рыб обеих подопытных групп наблюдали практически полное отсутствие двигательной активности личинок валипор, которые вместо вытянутой приобретали округлую форму. Также у этих рыб личинки валипор имели съёженные присоски и втянутый сколекс, все известковые тельца были сосредоточены в переднем конце, а внешний покров начинал отделяться от тела валипор и складываться в форме гармошки.

У вскрытых рыб из контрольной группы наблюдали активных личинок вытянутой формы с равномерно распределенными по всему телу темными известковыми тельцами.

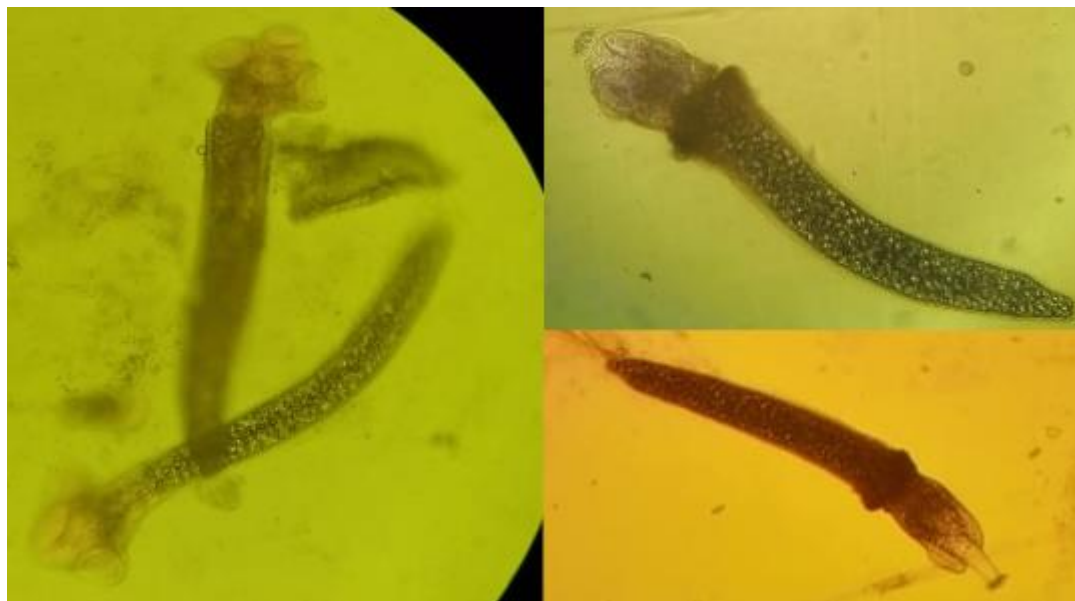


Рисунок 1 – Внешний вид личинок валипор до обработки Празиквантелом

Через 3-е суток после начала эксперимента провели вскрытие оставшихся рыб (по пять из каждой группы).

У рыб из первой группы наблюдалась гибель 58% личинок валипор с разрушением внешнего покрова. Однако также имелись особи, имеющие измененную форму, но все еще совершающие малозаметные движения хоботком.

При исследовании рыб из второй группы наблюдалось разрушение 80% личинок, которые в большинстве своем не имели признаков жизни, с отделенными от них зерновыми включениями. Однако встречались особи, имеющие съёженный вид, с отделившимися покровными оболочками, но все еще совершающие легкие движения хоботком и присосками.

У рыб из контрольной группы обнаруженные личинки валипор не имели видимых повреждений и были подвижны.

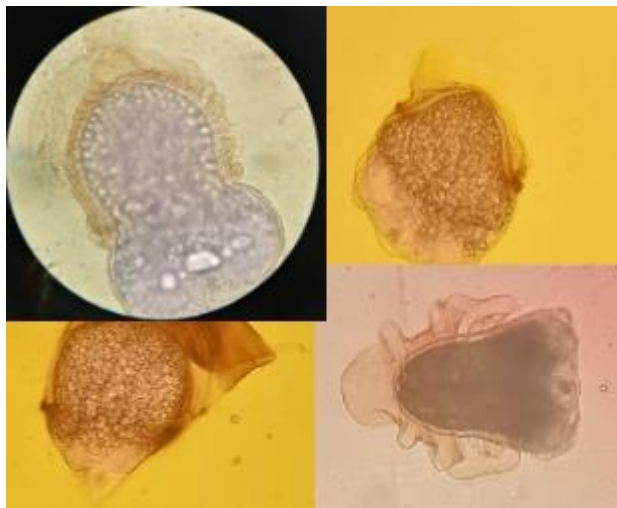


Рисунок 2 - Внешний вид личинок валипор после обработки рыб лечебным раствором празиквантела через сутки после применения не зависимо от концентрации празиквантела в растворе

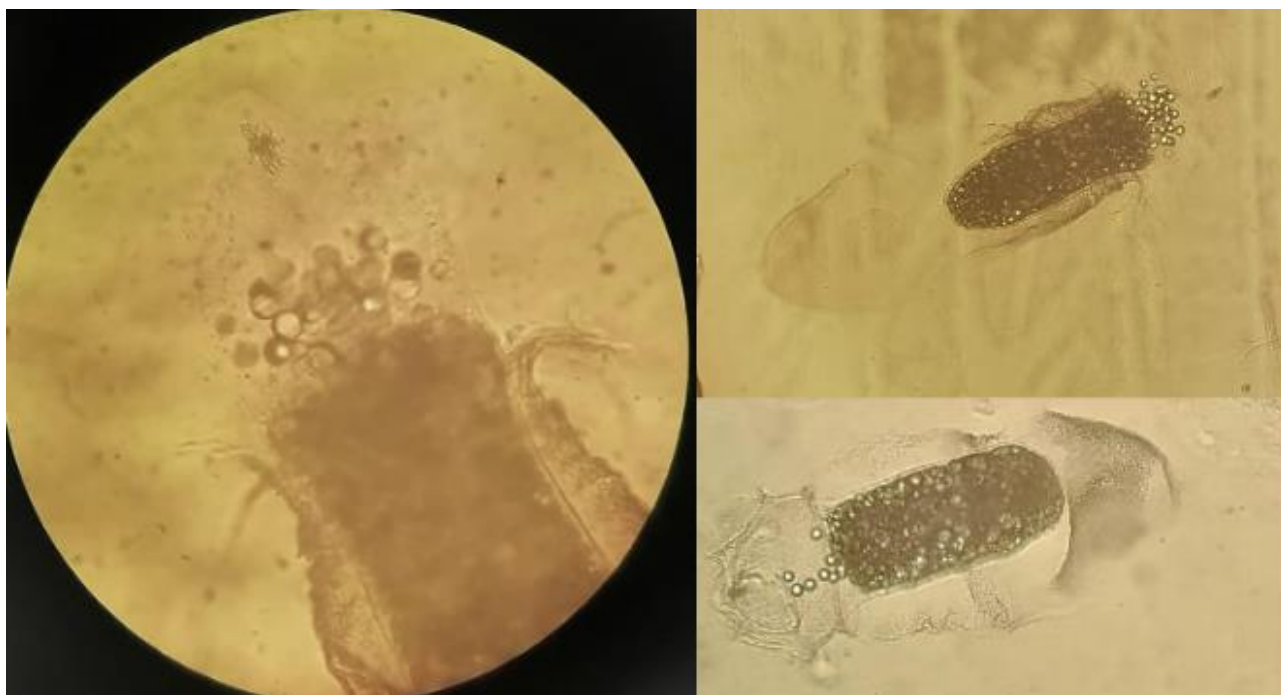


Рисунок 3 - Внешний вид личинок валипор после обработки рыб лечебным раствором празиквантела через 3 суток после применения празиквантела в концентрации 10 мг/л

Заключение. Празиквантел в концентрациях 2 и 10 мг/л при экспозиции 60 минут оказывает 100% губительное действие на личинок цестоды *Valipora* sp., вызывая у них изменение формы, концентрацию известковых телец в передней части тела, подавление двигательной активности и повреждение наружной оболочки.

Раствор празиквантела в концентрации 2 мг/л может быть рекомендован для дальнейшего изучения в качестве перспективного лекарственного средства для лечения рыб семейства карповые при валипорозе.

Список использованных источников

1. Головина Н.А, Стрелков Ю.А., Воронин В.Н., Головин П.П., Евдокимова Е.Б., Юхименко Л.Н.//Ихтиопатология. Под ред. Головиной Н.А., Бауера О.Н. – М.:Мир, 2003. – 448 с.
2. Ермоленко А.В. Некоторые аспекты проявления валипороза разводимых рыб // Паразитология. 2000 – Вып.2. – С.147-149
3. Рекомендации по диагностике и профилактике валипороза карпов в прудовых хозяйствах, утвержденные Министерством сельского хозяйства СССР 27 ноября 1978 г. (Ветеринарное законодательство. Том III. М., Колос, 1981).

ОПЫТ ВЫРАЩИВАНИЯ ПИЛЕНГАСА НА РЫБОРАЗВОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ ООО «ПРИБОЙ»

¹Старцев А.В., ¹Корчунов А.А., ²Дубов В.Е.

¹Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

² Кубанский государственный аграрный университет, г. Краснодар, Российская Федерация

Аннотация. В статье приведены результаты адаптации молоди дальневосточной кефали пиленгаса к условиям пресноводных прудов при комплексном выращивании нагульного карпа и растительноядных рыб – белого амура и белого толстолобика. Выявили, что пиленгас хорошо адаптируется к содержанию в прудах, имеет хорошие темпы линейного роста и набора массы. Питается детритом, планктонными водорослями и остатками корма. Наряду с растительноядными рыбами, является естественным мелиоратором.

Ключевые слова. Пиленгас, нагульные пруды, посадочный материал, средняя навеска, прирост массы, мелиоратор.

Experience in growing pilengas at the fish breeding farm of Priboy LLC

¹Statsev A.V., ¹Korchunov A.A., ²Dubov V.E.

¹Federal State Budgetary Institution of Science "Federal Research Centre The Southern Scientific Centre of the Russian Academy of The Sciences", Rostov-on-Don, Russian Federation

² Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation

Annotation. The article presents the results of adaptation of juveniles of the Far Eastern mullet pilengas to the conditions of freshwater ponds in the complex cultivation of feeding carp and herbivorous fish - grass carp and silver carp. It was found that pilengas adapts well to the content in ponds, has good rates of linear growth and weight gain. It feeds on detritus, planktonic algae and food residues. Along with herbivorous fish, it is a natural meliorator.

Keywords. Pilengas, feeding ponds, planting material, average weight, weight gain, natural ameliorator.

Пиленгас, как объект аквакультуры, в российской, да и в мировой практике, явление довольно новое. Ареал его нативной популяции локализуется в Японском море, распространяясь вдоль морского побережья от Южной Кореи до Амурского лимана. Реже встречается в Желтом море.

В таксономическом ранге он относится к семейству Кефалиевые (Mugilidae) отряда кефалеобразных (Mugiliformes). Как и большинство кефалиевых имеет промысловое значение и обладает хорошими вкусовыми качествами. Пиленгас хорошо приспособлен к изменчивости среды обитания и обладает высокой эврибионтностью. Переносит высокие колебания температуры воды от 0,4°C, во время зимовки и 35°C летом. Способен жить как в пресной, так и морской воде с высокой, до 35‰ и более соленостью, не требователен к уровню растворенного в воде кислорода.

В конце прошлого столетия была предпринята попытка акклиматизации пиленгаса в Азово-Черноморском бассейне, которая завершилась удачно, и новый вселенец занял свою экологическую нишу.

Как, достаточно хорошо приспособившийся новым условиям, вид оказался перспективным для товарного производства в широком спектре технологических условий. Так, пиленгас оказался пригодным для выращивания в охладительных водоемах электростанций различного типа [1]. Есть рекомендации выращивания пиленгаса в прудах с пониженной минерализацией в поликультуре с сазаном и растительноядными рыбами [2, 3]. Учёными Южного научного центра был разработан метод адаптации пиленгаса к условиям выращивания в системах замкнутого водоснабжения и переводом питания на кормосмеси [4, 5].

Рыбхоз «Прибой» расположен в Волгоградской области на территории Быковского района. Хозяйство располагает 175 га ежегодно заливаемых и около 180 га резервных (используемых под

распашку) прудов. Кроме этого, имеются выростные, мальковые, маточные, зимовальные и карантинные пруды. Более подробные сведения о масштабах и состоянии хозяйства, приведены в ранних публикациях [6, 7].

Посадочный материал пиленгаса, возрастом 1 год, в количестве 500 кг. был приобретен в феврале 2021 г., в хозяйстве, расположенном на берегу Ахтарского лимана Азовского моря на территории Приморско-Ахтарского района Краснодарского края. Рыба была размещена в две живорыбные емкости объемом 2,4 м³ по 250 кг, при температуре воды равной 5° С. Подача кислорода осуществлялась на протяжении всего пути, от пункта загрузки до пункта назначения, с содержанием не менее 7 мг/л. Время пути составило около 17 часов. Несмотря на столь длительный переезд без промежуточной проливки, отход молоди пиленгаса составил менее 1 % от общей массы. По прибытию, температура воды в емкостях была выравнена до температуры содержания – 2° С. Для дальнейшей передержки, перед зарыблением в пруды, рыба поровну была помещена в 2 рыбоводных сетчатых садка (5х4х3 м), находящихся в открытом водоеме – заливе Сухая балка Волгоградского водохранилища.

Пересадка в нагульные пруды (около 6300 особей) была осуществлена в начале апреля 2021 г., с плотностью посадки 55 шт./га, совместно с молодью карпа (800 шт./га), белым толстолобиком (240 шт./га) и белым амуром (120 шт./га).

В течении нагульного периода кормление рыб проводили по нормам содержания карпа, без учета остальных рыб.

Результаты промеров длины и массы посадочного материала представлены на рис. 1.

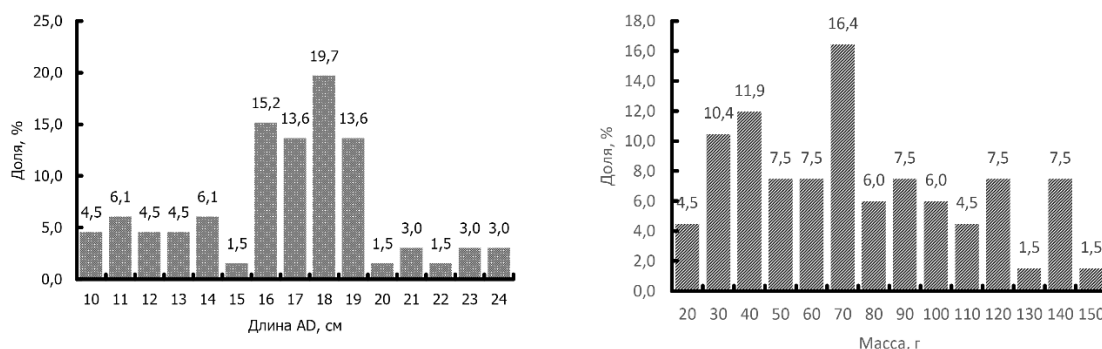


Рисунок 1 - Распределение длины и массы пиленгаса при зарыблении в нагульные пруды

Визуально, небольшие стайки нагульного пиленгаса начали наблюдаться в середине мая у сооружений для кормления и водоподачи. Рыбы активно двигались, хорошо реагировали на внешние раздражители и их поведение соответствовало физиологическому состоянию нагульных рыб.



Рисунок 2 - Пиленгас во время нагула

Пиленгас является активной рыбой и поэтому провести промежуточный контрольный улов было довольно сложно. В период вегетации контролю были подвержены либо погибшие или единичные отловленные особи. Результаты контроля представлены в таблице. В целом средняя длина и масса рыб к концу нагула составила 33,7 см и 581 г, соответственно. По длине прирост составил, 17,3 см, а по массе 511 г. (табл.).

При промежуточном контроле в питании пиленгаса были обнаружены утрамбованные массы детрита, планктонных водорослей, фрагменты ракообразных, бентоса и остатков комбикормов в виде полупереваренных фрагментов дробленой пшеницы и кукурузы.

Таблица – Биологические показатели пиленгаса во время нагула.

| Период | Длина АД, см | | Масса, г | | Кол-во, шт |
|-----------------|--------------|---------|----------|---------|------------|
| | пределы | средняя | пределы | средняя | |
| Март (посадка) | 10-24 | 16,4 | 20-142 | 70 | 67 |
| Май (нагул) | 15-28 | 21,3 | 50-222 | 194 | 8 |
| Август (нагул) | 22-36 | 32,5 | 180-882 | 343 | 12 |
| Октябрь (облов) | 26-39,6 | 33,7 | 260-1100 | 581 | 127 |

По окончании рыбоводного сезона было выловлено 3226 кг пиленгаса, что в количественном пересчете составило около 5500 шт., учетом посадки 6300 шт., объем потерь составил 12,7 %.

На рис. 3 представлены результаты промеров длины и массы двухлетнего пиленгаса по окончании рыбоводного сезона.

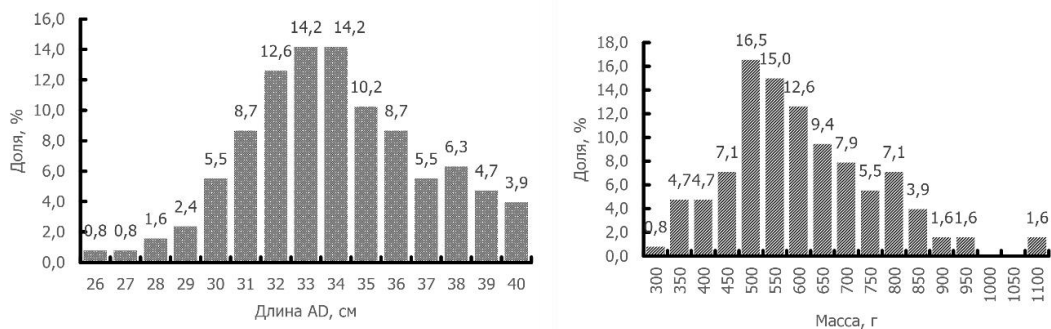


Рисунок 3 - Распределение длины и массы пиленгаса при вылове

Большая часть выловленного пиленгаса была реализована в торговой сети. Следует отметить, что при перемещении из нагульных прудов в места зимнего содержания и предтоварной передержки, рыба сильно травмируется, теряет чешую и становится подверженной различного рода заболеваниям. Сроки содержания такой рыбы сильно сокращаются. Стоит отметить, что чем ниже температура воды при вылове, тем ниже активность рыбы, что снижает степень травмирования. Оптимальной для вылова является температура ниже 10° С.

Результаты проведенных исследований показали:

1. Молодь пиленгаса, при соблюдении необходимых условий, хорошо переносит длительные перевозки.
2. Пиленгас подходит для выращивания в прудах с пониженной минерализацией в поликультуре с карпом и растительноядными рыбами.
3. Наряду с растительноядными рыбами, пиленгас является естественным мелиоратором, потребляя детрит, планктонные водоросли и остатки не использованного карпом корма
4. Оптимальными условиями для облова пиленгаса и его содержания в осенне-зимний период, являются низкие температуры окружающей среды, когда активность рыбы минимальна.

Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН «Анализ современного состояния, процессов формирования ихтиофауны южных морей России в условиях антропогенного стресса,

глобальных изменений климата и разработка научных основ технологий сохранения и восстановления популяций хозяйственно-ценных видов рыб», № госрегистрации 122020100328-1.

Список использованных источников

1. Смирнов Б.П. Биологические обоснования на вселение дальневосточного акклиматизанта – пиленгаса в водоемы охладители электростанций различного типа, расположенных в средней полосе Европейской России / Б.П. Смирнов, В.А. Новолоцкий, Н.Г. Сторожук // Труды ВНИРО. – 2002. – Т. 141. – С. 114–122.
2. Поляруш В.П. Пиленгас в прудовой аквакультуре // В.П. Поляруш [и др.] // Рыбное хозяйство. – 2004. – № 5. – С. 60–62.
3. Горбенко Е.В. Опыт выращивания сеголетков пиленгаса *Planiliza haematocheila* в поликультуре с сазаном *Cyprinus carpio* в пресноводных прудах / Горбенко Е.В. [и др.] // Водные биоресурсы и среда обитания. – 2022. – Т. 5. – № 2. – С. 99–116. DOI: 10.47921/2619-1024_2022_5_2_99.
4. Матишов Г.Г. Опыт выращивания пиленгаса Азовского моря в условиях аквакомплекса / Матишов Г.Г. [и др.]. – Ростов н/Д. : Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. – 44 с.
5. Тажбаева Д.С. Особенности выращивания кефали пиленгас в установке с замкнутым водоснабжением / Д.С. Тажбаева [и др.] // Наука юга России. – 2020. – Т. 16. – № 2. – С. 76-85. DOI: 10.7868/S25000640200208.
6. Корчунов А.А. Использование природосберегающих технологий в обеспечении рыбопродуктивности ООО «Прибой» / А.А. Корчунов, А.В. Старцев, А.Ю. Топоров // В сборнике : Взаимодействие предприятий и вузов – наука, кадры, новые технологии. Сборник докладов XVII межрегиональной научно–практической конференции. Отв. за выпуск Г.М. Бутов. – Волжский, 2022. – С. 12–15.
7. Старцев А.В., Инновации и перспективы развития рыбноводного хозяйства ООО «Прибой» / [и др.] // В сборнике: Развитие и современные проблемы аквакультуры (Конференция "Аквакультура 2022"). Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону, 2022. – С. 143–147.

**ИНВАЗИЯ СЕРЕБРЯНОГО КАРАСЯ *CARASSIUS GIBELIO* (BLOCH, 1782)
LERNAEA CYPRINACEA (COPEPODA; LERNAEIDAE) В ДЕЛЬТЕ РЕКИ ДОН И ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ
ТАГАНРОГСКОГО ЗАЛИВА**

^{1,2,3} Степанова Ю.В., ¹Казарникова А.В.

¹Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

²Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

³Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань, Российская Федерация

Аннотация. Представлены результаты исследований по зараженности лернеями серебряного карася в дельте реки Дон и восточной части Таганрогского залива. Проанализированы факторы, способствующие развитию рачков, их влияние на здоровье рыб, а также препараты, используемые для борьбы с заболеванием.

Ключевые слова. Лернеи, серебряный карась, Таганрогский залив, дельта реки Дон.

**INVASION OF THE PRUSSIAN CARP *CARASSIUS GIBELIO* (BLOKH, 1782) BY *LERNAEA
CYPRINACEA* (COPEPODA; LERNAEIDAE) IN THE DON RIVER DELTA AND THE EASTERN PART
OF THE TAGANROG BAY**

^{1,2,3}Stepanova Y.V., ¹Kazarnikova A.V.

¹The Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation

²Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

³Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russian Federation

Abstract. The data on the infestation of Crucian carp with *Lernaea* in the Don River delta and the eastern part of the Taganrog Bay are presented. The factors contributing to the development of crayfish, their impact on the health of fish, as well as drugs used to combat the disease are analyzed.

Keywords. *Lernaea*, Prussian carp, the Taganrog Bay, the Don River delta.

Устойчивость экосистемы Азовского моря напрямую связана с уровнем солености воды, формирующейся за счет изменчивости соотношения объема вод черноморского происхождения и речного стока [Балыкин, 2019]. Так, за более чем десятилетний период (2009-2021 гг.) средний показатель солености воды увеличился с 11 до 13,9 ‰ [Экологический вестник дона, 2022]. Речной сток Дона не способен создавать фронт пресных вод в Таганрогском заливе на постоянной основе в силу нарушения естественного режима речного стока и его уменьшения, вследствие зарегулирования долины Дона Цимлянской плотиной в 1952 г и последующих климатических изменений.

Увеличение солености воды относится к признакам аридизации и дефицита влаги в водосборном бассейне Дона [Матишов, 2016]. В совокупности это влияет на изменение структуры как икhtiоценозов Азовского бассейна, так и фауны паразитов рыб.

В настоящее время в Азово-Донском бассейне промысловое значение имеют 31 вид карповых рыб. При этом серебряный карась входит в основу промысловых уловов совместно с пиленгасом, тюлькой, хамсой и бычками [Балыкин, 2019]. Кроме того, вид широко распространен в прудовых хозяйствах Азовского бассейна.

Lernaea cyprinacea Linnaeus, 1758 является паразитической копеподой, самки которой способны вызывать заболевание рыб в аквакультуре. В настоящее время этот вид считается синонимом для *L. elegans* Leigh-Sharpe, 1925 [World Register of Marine Species (WoRMS), <http://www.marinespecies.org/>].

Лернеи развиваются без участия промежуточного хозяина. Свободноплавающие личинки временно живут на коже или жабрах различных видов рыб, не проявляя специфичности. Размножение ракообразных начинается весной. Развитие происходит с метаморфозом. Число генераций паразита зависит от температуры.

Оптимальной является температура 22-30 °С. Паразиты прикрепляются к хозяину при помощи хитиновых ветвистых выростов на головной части тела, разрушая чешуйчатый покров с образованием

кровоизлияний и язв [Marcogliese & Cone, 1991; Головина и др., 2010]. Локализация эктопаразита варьируется. Так, некоторые авторы предполагают, что плавники представляют собой наиболее частые зоны инвазии, но его также можно обнаружить в жабрах, рту и носовых ямках рыб [Gutiérrez-Galindo & Lacasa-Millán, 2005; Acosta et al. 2013; Guagliardo & Tanzola, 2016; Idoumou et al. 2019].

Повреждения, вызванные лернеями, часто сопровождалась вторичной бактериальной и грибковой инфекциями, что приводило к массовой гибели рыб в аквакультуре [Valladão et al., 2014].

До последнего времени *Lernaea cyprinacea* относили к пресноводным видам, однако данные, представленные в WORMS (2023) относят его к морским. Взрослые особи выдерживают соленость до 13‰ [Shields et al., 1974]. Однако науплиусы развиваются при солености не выше 3 ‰. В естественных водоемах наряду с высокой частотой встречаемости, зараженность паразитами обычно не была невысокой [Eisen, 1983].

Цель данного исследования – изучить распространение паразита среди серебряного карася в восточной части Таганрогского залива и дельте р. Дон в условиях осолонения Азовского моря.

Материалы и методы. В качестве материала были использованы исследования серебряного карася в дельте реки Дон и восточной части Таганрогского залива проведенные в 2023 г.

Для клинического осмотра и патологоанатомического вскрытия весной и летом были отобраны 94 экз. серебряного карася.

Паразитологический анализ и дальнейшую идентификацию паразитов проводили по общепринятым методикам [Быховская-Павловская, 1985; Определитель..., 1984, 1985, 1987]. Номенклатура таксонов приведена согласно Всемирному реестру морских видов [WoRMS, <http://www.marinespecies.org/>]. Для анализа материалов, полученных в ходе данного исследования, были рассчитаны экстенсивность (ЭИ), средняя интенсивность инвазии (ИИср.) и индекс обилия (ИО) [Аниканова и др., 2007]. Данные обрабатывались статистически с помощью компьютерной программы Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение.

На поверхности тела и плавниках серебряного карася (массой от 30 до 1138 г, длиной зоологической – 12,5-39 см) были обнаружены копеподы *L. cyprinacea*. Кроме этого, были зарегистрированы характерные следы от паразитирования рачков на теле хозяев. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Показатели инвазии *L. cyprinacea* в восточной части Таганрогского залива и дельте р. Дон в 2023 г.

| Паразит/Зараженность | ЭИ, % | ИИср, экз. | ИО, экз. |
|--|-------|------------|-----------|
| Весна (20 экз.) | | | |
| Рыбы со следами паразитирования лерней | 5 | 1±0,22 | 0,05±0,05 |
| Лето (74 экз.) | | | |
| Рыбы, зараженные <i>L. cyprinacea</i> | 6,8 | 1,2±0,14 | 0,1±0,04 |
| Рыбы со следами паразитирования лерней | 52,7 | 3,5±0,44 | 1,8±0,32 |

Полученные данные показывают, что зараженность рыб лернеями в летний период была выше, чем весной. На это указывает частота встречаемости паразитов (6,8%) и следов их паразитирования (52,7%) на поверхности тела обследованных рыб. Летом, несмотря на низкую встречаемость рыб с паразитирующими ракообразными, доля карасей со следами от лерней была выше в 7,5 раз (табл. 1).

ИИср. в период наблюдений колебалась в пределах 1±0,22-3,5±0,44 экз., а ИО - 0,05±0,05-1,8±0,32 экз. как зарегистрированных на поверхности тела рыб, так и следов паразитирования. ИИср. и ИО летом превышали в 2 – 4,7 раза зараженность весной (табл. 1). Были отмечены разрушение чешуи, плавников и раны на теле рыб. У отдельных экземпляров образовывались язвы за счет развития вторичной бактериальной инфекции.

Полученные материалы согласуются с данными гистологических исследований М. Рахнама и др. [2016], который на месте локализации паразита у сазана выявил патологические изменения кожных покровов и мускулатуры. А инвазия карпа *L. cyprinacea* сопровождалась увеличением уровня лейкоцитов при снижении гемоглобина и эритроцитов [Panjvini et al., 2016].

Лернеи широко распространены в рыбоводных хозяйствах Азовского бассейна и нередко вызывают высокую зараженность рыб. Кроме этого, развитие вторичной бактериальной инфекции в местах прикрепления паразита нередко приводит к эпизоотиям, особенно в летний период. Для борьбы с лернеозом в качестве лечебного препарата используют «Крустацид» (действующее вещество дифлубензурон) и «Эмикон» (действующее вещество – эмабектина бензоат). К побочным эффектам препарата относят потемнение окраски и сниженную реакцию на внешние раздражители. Помимо

этого, на рыбоводных предприятиях применяют растворы хлорофоса как в виде ванн, так и непосредственно в прудах [Головина и др., 2010].

В зарубежной литературе есть данные о борьбе с личиночными стадиями лерней путем обработки рыб 3-5%-ным солевым раствором [Velasquez, 1979].

Также существуют сообщения о потенциальной возможности применения препаратов на основе отдельных фракций смолы *Pinus elliottii* против лернеоза [Furtado et al. 2021].

Выводы.

Ихтиопатологический мониторинг в дельте реки Дон и восточной части Таганрогского залива проводится с 2004 г. Ранее такой уровень зараженности карася *L. cyprinacea* не отмечался. Высокая частота встречаемости паразита может быть связана с пищевым поведением карася, уровнем воды, температурой и другими биотическими и абиотическими факторами. Кроме того, продолжающееся осолонение Азовского моря и, следовательно, Таганрогского залива и дельты р. Дон, может оказать влияние на биологию как паразита, так и хозяина.

Принимая во внимание то, что карась является сорной рыбой, попадающей в пруды из водоисточника при их наполнении, и учитывая простой жизненный цикл и экологическую пластичность лерней, в рыбоводных хозяйствах Нижнего Дона необходимо особое внимание уделить мониторингу эпизоотической ситуации.

Список использованных источников

1. Аниканова В.С. Методы сбора и изучения гельминтов мелких млекопитающих. Учебное пособие Карельского научного центра / В.С. Аниканова, С.В. Бугмырин, Е.П. Иешко. – Петрозаводск: КНЦ РАН, Институт биологии, 2007. – 145 с.
2. Балыкин П.А. Изменения солености и видового состава ихтиофауны в Азовском море / П.А. Балыкин, Д.Н. Куцын, А.М. Орлов // Океанология. – 2019. – Т. 59. – № 3. – С. 396-404.
3. Быховская-Павловская И.Е. Паразитологическое исследование рыб / И.Е. Быховская-Павловская. – Ленинград: Наука, 1985. – 109 с.
4. Головина Н.А. Ихтиопатология: учеб. / Н.А. Головина, Ю.А. Стрелков, В.Н. Воронин. – 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: КОЛОС, 2010. – 511 с.
5. Матишов Г.Г. Климат, водные ресурсы и реконструкция гидротехнических сооружений с учетом интересов населения, рыболовства и сельского хозяйства, судоходства и энергетики. Доклад на расширенном заседании Президиума Южного научного центра РАН (г. Ростов-на-Дону, 25 мая 2016 г.). – Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. – 64 с.
6. Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. Т. 1. Паразитические простейшие. – Л.: Наука, 1984. – 428 с.
7. Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. Т. 2. Паразитические многоклеточные (первая часть). – Л.: Наука, 1985. – 425 с.
8. Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. Т. 3. Паразитические многоклеточные (вторая часть). – Л.: Наука, 1987. – 583 с.
9. Экологический вестник Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2021 году» [Электронный ресурс] / Министерство природных ресурсов и экологии Ростовской области. – 2022. – 396 с. – URL: <http://ecodon.dspl.ru/docs/%D0%AD%D0%BA%D0%BE%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%94%D0%BE%D0%BD%D0%B0.pdf>
10. Acosta A.A. First record of *Lernaea cyprinacea* (Copepoda) in a native fish species from a Brazilian river / A.A. Acosta, E.D. Carvalho, R.J. Silva // Neotrop Helminthol. – 2013. – V. 7. – № 1. – P. 7–12.
11. Eisen S. An alternative model based on random distributions for density-dependent regulation in host-parasitic systems // American Midland Naturalist. – 1983. – V. 109. – P. 230–239.
12. Furtado W.E. Antiparasitic potential of alternative treatments against larval stages of *Lernaea cyprinacea* / W.E. Furtado, L. Cardoso, P.B. de Medeiros, N.B. Lehmann, E.B. de Aguiar, N.M. da Costa, F.C. Bertoldi, M.L. Martins // J. Parasit. Dis. – 2021; V. 45. – № 4. – P. 1096–1105.
13. Guagliardo S. *Lernaeosis* in *Cnesterodon decemmaculatus* (Cyprinodontiformes, Poeciliidae) and observations on the lethal effect in small sized species of hosts / S. Guagliardo, R. Tanzola // Neotropical Helminthology. – 2016. – V. 10. – № 2. – P. 275–280.
14. Gutiérrez-Galindo J.F. Population dynamics of *Lernaea cyprinacea* (Crustacea: Copepoda) on four cyprinid species. / Gutiérrez-Galindo J.F., Lacasa-Millán M.I. // Dis Aquat Organ. – 2005. – V. 67. – № 1-2. – P. 111–114.
15. Idoumou M. Population dynamics of copepods (*Lernaea cyprinacea* Linnaeus, 1758) *Tilapia* parasites from the Senegal River-Mauritania / M. Idoumou, S. Nizar, A. Mustapha, Y. Sanaa, E. Khadija, L.

Abdechahid & D. Belghyti // *Examines in Marine Biology and Oceanography*. – 2019. – V. 3. – № 1. P. 273–276.

16. Marcogliese D.J. Importance of lake characteristics in structuring parasite communities of salmonids from insular Newfoundland / D.J. Marcogliese, D.K. Cone // *Canadian Journal of Zoology*. – 1991. – V. 69. – № 12. – P. 2962–2967.

17. Panjvini F. Parasitic infection alters haematology and immunity parameters of common carp, *Cyprinus carpio*, Linnaeus, 1758 / F. Panjvini, S. Abarghuei, H. Khara, H.M. Parashkoh // *Journal of parasitic diseases*. – 2016. – V. 40. – № 4. P. 1540–1543.

18. Rahnama M. Prevalence and histopathologic study of *Lernaea* spp. (Maxillopoda: Lernaeidae) in *Cyprinus carpio* fish in Sistan and Baluchestan, Southeast Iran / M. Rahnama, J. Khedri and M.S. Mokhtari // *Revista Scientia Parasitologica*. – 2016. V. 17. – № 1–2. – P. 43–48.

19. Shields R.J. Osmotic regulation of *Lernaea cyprinacea* L. (Copepoda) / R.J. Shields, R.G. Sperber // *Crustacean*. – 1974. – V. 26. – № 2. – P. 157–172.

20. Valladão G.M.R. Trichodina heterodontata (Ciliophora) infestation on *Prochilodus lineatus* larvae: a host-parasite relationship study / G.M.R. Valladão, S.U. Gallani, S.B. Pádua, M.L. Martins, F. Pilarski // *Parasitology*. – 2014. – V. 141. – P. 662–669.

21. Velasquez C.C. Pest/parasites and diseases of milkfish in the Philippines // In *Technical Consultation on Available Aquaculture Technology in the Philippines, February 8-11, 1979*. – Tigbauan, Iloilo, Philippines: Aquaculture Department, Southeast Asian Fisheries Development Center, 1979. – P. 64-67.

1. Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН № госрегистрации 122020100328-

ОПТИМАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ БОРЬБЫ С КАННИБАЛИЗМОМ РАКООБРАЗНЫХ

¹Ткачева И.В., ¹Румянцева Е.В., ¹Оганисян М.М.

¹Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье представлен обзор понятия каннибализм, а именно его наличие у ракообразных. Рассмотрены некоторые преимущественные методы, которые позволят смягчить эту проблему и поспособствуют здоровью популяций ракообразных.

Ключевые слова. Ракообразные, каннибализм, линька, методы борьбы, агрессивное поведение, десятиногие раки.

OPTIMAL WAYS TO COMBAT CRUSTACEAN CANNIBALISM

¹Tkacheva I.V., ¹Rumyantseva E.V., ¹Oganisyan M.M.

¹Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract. This article provides an overview of the concept of cannibalism, namely its presence in crustaceans. Some preferential methods that will mitigate this problem and contribute to the health of crustacean populations are considered.

Keywords. Crustaceans, cannibalism, molting, methods of struggle, aggressive behavior, Decapoda.

Введение. Каннибализм – распространенное явление в природе, и ракообразные – не исключение. Каннибализм, например, среди отряда *Decapoda* (десятиногие раки) является серьезной проблемой, особенно при интенсивном выращивании (рисунок 1). Такое поведение может нанести ущерб аквакультуре, рыболовству и экосистемам. Помимо этого, он может возникать на разных стадиях жизненного цикла гидробионтов, включая личинок, молодь и взрослых особей (рисунок 2) [1].



а

б

Рисунок 1 – Представители отряда *Decapoda*: а – Травяная креветка (*Pandalus latirostris*); б – австралийский красноклешневый рак (*Cherax quadricarinatus*)



Рисунок 2 – Проявление каннибализма у ракообразных

В настоящее время, каннибализм у ракообразных может быть вызван различными факторами, в том числе:

- конкуренция за ресурсы. Ограниченная доступность пищи может привести к каннибалистическому поведению, поскольку особи охотятся на более слабых или меньших особей своего вида, чтобы удовлетворить свои потребности в пище;
- плотность посадки. При создании высоких плотностей посадки, которые превышают естественные условия, ракообразные часто проявляют агрессивное поведение и становятся склонными к каннибализму. Данная причина вызвана несколькими факторами, включая наличие сильных клешней, территориальность, хищнический образ жизни и недостаточное питание [2].

Одним из ключевых моментов, влияющих на уровень каннибализма, является близкий контакт между гидробионтами с разными степенями защиты. Например, линяющие особи или те, у которых панцирь еще не полностью окреп, становятся особенно уязвимыми и подверженными травмам при столкновении с более крупными особями или объектами меньшего размера. Для решения данной проблемы нужно содержать отдельных ракообразных в отдельных резервуарах или отсеках, чтобы предотвратить прямой контакт и снизить вероятность каннибализма. Такими отсеками могут служить куски труб и различные подручные материалы (рисунок 3).



Рисунок 3 – Аквариум с укрытиями для ракообразных

Кроме того, важно обеспечить сбалансированное питание для ракообразных. Анализ рациона и введение пищевых добавок могут помочь удовлетворить пищевые потребности каждой отдельной особи, уменьшая конкуренцию за пищу. Параметры автоматических кормушек также следует настроить таким образом, чтобы корм равномерно распределялся по бассейну, предоставляя каждой особи достаточное количество пищи в соответствии с ее возрастом и суточными потребностями [3].

Кроме проблемы каннибализма, температура воды также может влиять на поведение ракообразных. При повышении температуры в пределах их толерантности, общая активность ракообразных увеличивается, что может способствовать конфликтам между ними. Поэтому важно поддерживать стабильные условия в аквариуме или бассейне, чтобы минимизировать возможные стрессы и агрессивное поведение.

В целом, для решения проблемы каннибализма среди десятиногих раков необходимо принять комплексный подход: создание оптимальной среды, которое имеет решающее значение для снижения данного фактора; калибровка ракообразных по их размеру, которая не позволяет более крупным особям охотиться на мелких, а для этого нужен регулярный мониторинг; обеспечение ракообразным хорошо сбалансированным и полноценным рационом, который отвечает их специфическим потребностям. Немаловажную роль играет планирование аквакультуры ракообразных или зарыбление естественных мест обитания, поскольку некоторые виды гидробионтов демонстрируют более низкое каннибалистическое поведение из-за естественных особенностей или генетического отбора.

Для снижения рисков каннибализма, например, в аквариумах может послужить добавление субстратов, различных природных элементов, которые создадут более стимулирующую среду. Помимо этого обогащение также способствует естественному поведению и улучшает жизнедеятельность ракообразных [4, 5].

Выводы. Борьба с каннибализмом ракообразных требует комплексного подхода, который включает в себя проектирование среды обитания, классификацию размеров, методы кормления, выбор видов, обогащение окружающей среды и регулярный мониторинг. Реализуя эти стратегии, объекты аквакультуры, рыболовства и природные экосистемы могут смягчить негативное воздействие каннибализма, способствуя более здоровым популяциям ракообразных и обеспечивая долгосрочную устойчивость.

Список использованных источников

1. Мельников И.В., Ханников А.А. Разведение и выращивание раков [Электронный ресурс]: Электронная книга, 2012. – 49 с.: http://www.universalinternetlibrary.ru/book/54473/chitat_knigu.shtml.
2. Борисов Р.Р. Морфология и поведение десятиногих ракообразных (Crustacea: Decapoda) в постэмбриональном онтогенезе: дис. ... д-ра. биолог. наук: 03.02.10.: «Гидробиология»: диссертация

на соискание ученой степени д-ра. биолог. наук / Борисов Ростислав Русланович. – Москва. – 2020. – 48 с.

3. Борисов Р.Р., Эпельбаум А.Б., Кряхова Н.В., Тертицкая А.Г., Ковачева Н.П. Каннибализм у камчатского краба при выращивании в искусственных условиях // Биология моря. – 2007. – Т. 33, № 4. – С. 267-271.

4. Ковачева Н. П., Жигин А.В., Борисов Р.Р. Аквакультура ракообразных: современное состояние и тенденции развития // Рыбное хозяйство. – 2018. – №2. – С. 78-82.

5. Байдук Е.А., Яронтовский В.Е., Барсегова А.В., Ткачева И.В., Яковлев Д.А. Особенности культивирования гидробионтов отряда Decapoda австралийского красноклешнёвого рака (*Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) на базе ООО "Донской рыбец" // Водные биоресурсы и аквакультура Юга России : Материалы III Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Краснодар, 17 мая 2022 года. – Краснодар: Кубанский государственный университет, 2022. – С. 17-19.

ОЦЕНКА СЕДАТИВНОГО ЭФФЕКТА РАЗЛИЧНЫХ АНЕСТЕТИКОВ У ПЕЛЯДИ *COREGONUS PELED* (GMELIN, 1789) В АКВАКУЛЬТУРЕ

**¹Толмачева Ю.П., ²Борисова Е.И., ³Дзюба Е.В., ³Суханова Л.В., ¹Небесных И.А.,
¹Демьянович И.А., ²Демьянович К.А.**

¹ ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, п. Молодежный, Иркутский р-н., Иркутская обл., Россия,

²Шелеховский ветеринарный диагностический центр, г. Шелехов, Иркутская обл., Россия

³ФГБУН Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Иркутская обл., Россия

Аннотация. Исследован седативный эффект четырех анестезиологических агентов у сиговых рыб. Показано, что действие анестетиков вызывает ряд последовательных поведенческих и физиологических реакций у рыб, отражающих изменение состояния их организма. Для большинства технологических рыбоводных процессов необходимо пребывание рыб в состоянии миорелаксации с сохранением дыхательной ритмики. Данным требованиям отвечает стадия седации, которая наблюдается при всех видах анестезии у пеляди. Установлено, что применение некоторых тестируемых препаратов некорректно в анестезии в целом у сиговых рыб и у пеляди в частности. Так, применение тиопентала натрия неприемлемо, в связи с неконтролируемым угнетением дыхательной функции рыб под действием данного агента. Использование лидокаина характеризуется длительной индукцией, что не соответствует временным нормам анестезии рыб. Среди тестируемых препаратов достаточной анестезиологической эффективностью обладает пропофол, что подтверждается временными показателями индукции/восстановления, глубиной и управляемостью наркоза, низкими показателями угнетения респираторной нормы. Альтернативой пропофолу может служить эвгенол, который экономически эффективен при работе с массовым материалом, требующим больших финансовых затрат. В целом, выбор анестетика и корректировка его доз зависят от конкретной задачи, которая стоит перед рыбоводом-ихтиопатологом.

Ключевые слова. Пелядь, аквакультура, анестезия, пропофол, тиопентал миорелаксанты, лидокаин, индукция, гипнотик.

ASSESSMENT OF THE SEDATIVE EFFECT OF VARIOUS ANESTHETICS IN *COREGONUS PELED* (GMELIN, 1789) IN AQUACULTURE

**¹Tolmacheva Yu.P., ²Borisova E.I., ³Dzyuba E.V., ³Sukhanova L.V., ¹Nebesnykh I.A.,
¹Demyanovich I.A., ²Demyanovich K.A.**

¹Irkutsk GAU, Molodezhny settlement, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia,

²Shelekhovsky Veterinary Diagnostic Center, Shelekhov, Irkutsk region, Russia

³FGBUN Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Irkutsk region, Russia

Annotation. The sedative effect of four anesthetic agents in whitefish has been studied. It is shown that the action of anesthetics causes a number of consistent behavioral and physiological reactions in fish, reflecting the change in the state of their body. For most technological fish-breeding processes, it is necessary for fish to stay in a state of muscle relaxation while maintaining respiratory rhythm. These requirements are met by the sedation stage, which is observed with all types of anesthesia in peled. It has been established that the use of some of the tested drugs is incorrect in anesthesia in general in whitefish and in pelage in particular. Thus, the use of sodium thiopental is unacceptable, due to the uncontrolled suppression of the respiratory function of fish under the action of this agent. The use of lidocaine is characterized by prolonged induction, which does not correspond to the temporary norms of fish anesthesia. Among the tested drugs, propofol has sufficient anesthetic efficacy, which is confirmed by the temporary indicators of induction/recovery, the depth and manageability of anesthesia, and low indicators of respiratory depression. Eugenol can serve as an alternative to propofol, which is cost-effective when working with mass material that requires large financial costs. In general, the choice of anesthetic and the adjustment of its doses depend on the specific task facing the fish breeder-ichthyopathologist.

Keywords. Peled, aquaculture, anesthesia, propofol, thiopental muscle relaxants, lidocaine, induction, hypnotic.

Введение

Прижизненный мониторинг состояния рыб – производителей ремонтно-маточных стад, включающий профилактические и лечебно-диагностические манипуляции, является одной из современных задач искусственного воспроизводства и получения устойчивой аквакультуры. В тоже время стоит учитывать, повреждающее действие манипуляционного стресса на биохимические и физиологические процессы, тканевые структуры рыб (Soldatov, 2021). В качестве стратегии для предотвращения стресса, применяют анестезирование рыб, что позволяет предотвратить или существенно уменьшить повреждения. При этом немаловажное значение имеет тип применяемого наркотического агента и физиологические аспекты его действия. В настоящее время исследователями обобщены данные о функциональных аспектах действия на организм рыб более 50 видов химических средств и физических факторов, применяемых в целях анестезии у рыб (Zahl et al., 2012; Readman et al., 2017; Martins et al., 2019; Soldatov, 2021; Anaesthesia ..., 2021). Показано, что многие из них вызывают функциональный отклик на уровне отдельных физиологических систем и изменяют характер течения метаболических процессов в организме животных.

Существенная разница морфо-физиологических особенностей между различными экологическими и таксономическими группами рыб приводят к тому, что подходы, которые работают для одних видов рыб, могут быть неэффективными для других. В связи с этим, в каждом конкретном случае необходима корректировка комбинации препаратов, режима анестезии, регистрации основных физиологических показателей и других составляющих для успешного осуществления, профилактических, диагностических и лечебных манипуляций.

В связи с этим, целью настоящей работы является скрининг некоторых анестезирующих веществ и оценка их седативного эффективности, на примере пеляди *Coregonus peled* (Gmelin, 1789).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования: Объектом исследования послужило 43 экз. пеляди, инкубированных в искусственных условиях Пресноводного аквариального комплекса Лимнологического института СО РАН весной 2020 года.

Исследуемых особей содержали в резервуарах объемом 1.5 м² в системе рециркуляции воды с механической и биологической фильтрацией. Обновление воды на 50% объема системы проводили два раза в неделю. Температуру воды в бассейне поддерживали в пределах 12-16°C. Рыбы получали корм ADVANCE (0.8-1.2 mm) для особей возрастом до года и SUPREME - 22 (3.0 mm) - после года.

Методология проведения анестезиологического эксперимента. Проводили серию экспериментов с четырьмя препаратами для анестезии, используя их различные рабочие дозы (табл. 1).

Таблица 1 - Характеристика анестезирующих веществ

| Препарат | Фармакологический эффект | Используемые в эксперименте дозы |
|-----------------------|--|----------------------------------|
| Эвгенол (Eugenol) | Местное антисептическое, анальгезирующее и седативное средство. Миорелаксант. Как анестетик используется только в аквакультуре. | 400 мг/л 500 мг/л 600 мг/л |
| Лидокаин (Lidocainum) | Местное анальгезирующее и анестезирующее средство. Угнетает ионные потоки, участвующие в образовании раздражителя, за счет чего и достигается обезболивающий эффект. Обратимо блокирует проводимость импульсов в периферической нервной системе. При передозировке кардио- и нейротоксичен. Вызывает судороги, остановку дыхания, сердечно-сосудистый коллапс. | 80 мг/л 120 мг/л 160 мг/л |
| Пропофол (Propofol) | Гипнотик, не имеет анальгетической активности. Быстро проникает в головной мозг, за счет липофильности, снижает мозговой кровоток и потребление кислорода мозгом, угнетает рефлексы В | 10 мг/л 20 мг/л 40 мг/л |

| | | |
|--|---|-----------------------------|
| | зависимости от дозы вызывает седацию, амнезию, сон, апноэ. Вызывает вазодилацию и депрессию миокарда, снижение частоты сердечных сокращений. | |
| Тиопентал натрия (Thiopentalum Natrium) | Гипнотик, противосудорожное средство. Липофилен, быстро проникает через гематоэнцефалотический барьер. Угнетает активность коры головного мозга. Снижает кровоток головного мозга, вызывает клинически значимое угнетение дыхательного и сосудодвигательного центров. Вызывает депрессию миокарда, вазодилатацию, компенсаторную тахикардию. Даже при глубоком наркозе могут сохраняться реакции на внешние раздражители. | 4 мг/л 6 мг/д 10 мг/л |

Для каждого эксперимента рыбы были распределяли рандомизированно по группам ($n = 15$). Анестезирующие средства применяли в виде ванн, каждую особь однократно помещали в стеклянные резервуары с растворенным препаратом. Объем экспериментальных резервуаров составлял 10 литров, дозу препаратов рассчитывали относительно используемого объема воды. После эксперимента рыб помещали в резервуар для постоянного обитания и наблюдали за их состоянием в течение 72 часов.

При оценке анестезиологической эффективности учитывали следующие критерии:

- 1) Наркотическая активность – рабочая концентрация вещества;
- 2) Глубина анестезии – достижение определенной стадии анестезии;
- 3) Дыхательная активность – частота дыхания, степень снижения респираторной нормы, наступление апноэ.

- 4) Управляемость наркозом – индукция и восстановление после седации, регулируемость глубины анестезии при изменении концентрации анестетика;

Время индукции регистрировали от начала эксперимента до достижения стадии 2, время восстановления – от момента погружения в чистую воду до нормализации респираторной функции и двигательной активности. Частоту дыхания рыб регистрировали, путем подсчета движений жаберной крышки в минуту (Alvarenga and Volpato, 1995). Респираторной нормой у пеляди считается 120-140 дыхательных движений в минуту (в состоянии покоя).

При оценке глубины наркоза учитывали следующие параметры: мышечный тонус, изменения характера дыхания и двигательные реакции. Стадии анестезии определяли, согласно, модифицированной ранее шкале для сиговых рыб (Толмачева, Демьянович, 2023):

Стадия I. Успокоение. Общая активность рыб и частота дыхательных движений немного снижены. Реакция на большинство внешних раздражителей, кроме тактильных отсутствует (потеря страха).

Стадия II. Седация. Потеря равновесия и мышечного тонуса, снижена частота дыхательных движений. Рыбы продолжают реагировать на сильные тактильные и вибрационные раздражители.

Стадия III. Глубокий наркоз. Скорость дыхательных движений снижена. Реакция на внешние раздражители и рефлекторная реактивность отсутствуют.

Стадия IV. Коллапс. Реакция на внешние раздражители и рефлекторная реактивность отсутствуют. Частота дыхания снижается вплоть до апноэ. Требуются реанимационные мероприятия (усиленная аэрация в чистой воде).

Цифровую и графическую обработку данных осуществляли с использованием программы Microsoft Excel 2010.

Результаты исследования

В результате проведенного эксперимента оценена эффективность различных препаратов для анестезии пеляди, как распространённого представителя сиговых рыб используемого в индустриальной аквакультуре.

Эвгенол обладает седативным эффектом у пеляди при использовании рабочих дозировок от 400-600 мг/л. Первая плоскость анестезии наступает быстро, ей предшествует кратковременная стадия возбуждения (5-10 с), что вероятно связано с раздражающим действием эфирных масел на слизистые покровы. Седация (стадия II) достигается, в среднем через 5-7 мин, отмечен умеренный дозозависимый эффект (табл. 2). У рыб наблюдается выраженная миорелаксация, но сохраняется слабая реакция на

сильные тактильные и вибрационные раздражители. Респираторная норма снижена на 26-30% (рис. 1); прекращения дыхательной деятельности (апноэ) зарегистрировано не было. Переход в состояние глубокого наркоза (стадия III) при использовании эвгенола отсутствует, независимо от концентрации препарата и времени пребывания рыб в растворе анестетика.

Увеличение дозы (> 600 мг/л) или периода экспозиции в растворе анестетика (> 10 мин) является нецелесообразным, в связи с возможным развитием побочных реакций. Период восстановления респираторной нормы и двигательной активности после анестезии эвгенолом составляло 5-7 мин. Смертности рыб во время анестезии и спустя 72 часа не наблюдалось.

Лидокаин обладает умеренным седативным эффектом у пеляди при использовании рабочих дозировок от 120 мг/л. Концентрации менее 100 мг/л вызывают легкую заторможенность двигательных реакций (стадия I), но прогрессии в более глубокие стадии анестезии не наблюдается. При применении лидокаина в дозе 120-200 мг/л седация (стадия II) наступает в среднем через 12 мин; выраженного дозозависимого эффекта не отмечалось (табл. 2). У рыб отмечается эффект миорелаксации, который выражается в потере равновесия и мышечного тонуса. Реакция на сильные тактильные и вибрационные раздражители сохранена. Снижение респираторной нормы составляет 25-30% (рис.1), прекращение дыхательной деятельности зарегистрировано не было. Переход в состояние глубокого наркоза (стадия III) при использовании данного препарата отсутствует.

Дальнейшее увеличение дозы анестетика (до 200мг/л) не оказывает существенного влияния на сокращение времени наступления седативного эффекта, но чревато возможным усилением токсического эффекта и развитием побочных реакции организма. Увеличение времени экспозиции, возможно, при низких дозах до 80-100 мг/л. Время восстановления после анестезии, в среднем составляло около 5 мин. Смертности рыб во время анестезии и спустя 72 часа не наблюдалось.

Таблица 2 – Временные показатели анестезиологического сопровождения пеляди для разных препаратов

| Доза препарата (мг/л) | Время (сек) | | | |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| | Анестезия, стадии | | | Восстановление |
| | I | II | III | |
| Эвгенол | | | | |
| 400 | <u>102</u> 91-110 | <u>437</u> 412-445 | Отсутствует | <u>394</u> 381-408 |
| 500 | <u>70</u> 62-81 | <u>320</u> 309-351 | | <u>340</u> 280-381 |
| 600 | <u>50</u> 42-56 | <u>280</u> 271-304 | | <u>301</u> 240-338 |
| Лидокаин | | | | |
| 100 | <u>470</u> 458-495 | Отсутствует | Отсутствует | Отсутствует |
| 120 | <u>390</u> 377-402 | <u>721</u> 749-781 | | <u>274</u> 258-288 |
| 160 | <u>350</u> 337-361 | <u>708</u> 696-715 | | <u>311</u> 300-321 |
| Тиопентал натрия | | | | |
| 4 | <u>280</u> 271-288 | <u>360</u> 349-368 | Отсутствует | <u>40</u> 33-55 |
| 6 | <u>158</u> 147-166 | <u>281</u> 270-298 | | <u>70</u> 57-83 |
| 10 | <u>113</u> 104-118 | <u>207</u> 195-218 | | <u>130</u> 118-141 |
| Пропофол | | | | |
| 5 | <u>10</u> 7-18 | <u>40</u> 31-50 | <u>110</u> 99-118 | <u>220</u> 175-241 |
| 10 | ~5 | <u>30</u> 25-33 | <u>75</u> 64-81 | <u>283</u> 195-320 |
| 20 | Отсутствует | ~5 | <u>28</u> 22-33 | <u>389</u> 372-496 |
| 40 | | ~2 | <u>21</u> 17-24 | <u>400</u> 389-411 |

Тиопентал натрия гипнотик с выраженным дозозависимым седативным эффектом. При погружении в раствор анестетика 4-10 мг/л у рыб отмечается слабое торможение двигательной активности (стадия I), которое прогрессирует в стадию седации (стадия II), имеющую отличительные черты развития анестезиологического эффекта. Фармакологической особенностью данного препарата является угнетение дыхательного центра, которое выражается у рыб в резком снижении респираторной нормы (до 58-70%) (рис. 1). При прекращении дыхательной деятельности тестируемые особи продолжают реагировать на тактильные раздражения, но перехода в более глубокие стадии анестезии не отмечается. Тиопентал натрия относится к гипнотическим агентам ультракороткого действия и вызывает состояние медикаментозного сна (стадия III) путем угнетения функций коры больших полушарий. Вероятно, что полноценное обеспечение глубокого наркоза у рыб не может быть реализовано, в связи с примитивным строением головного мозга у данной группы животных. Увеличение рабочей дозы (> 10 мг/л) или продолжительности пребывания в растворе анестетика (> 3 мин) приводит у усилению токсического эффекта, асфиксии и гибели рыб. После извлечения из раствора анестетика восстановление происходит практически сразу и составляет в среднем 1-2 мин. Смертности рыб во время анестезии при своевременных реанимационных мероприятиях, а также спустя 72 часа не наблюдалось.

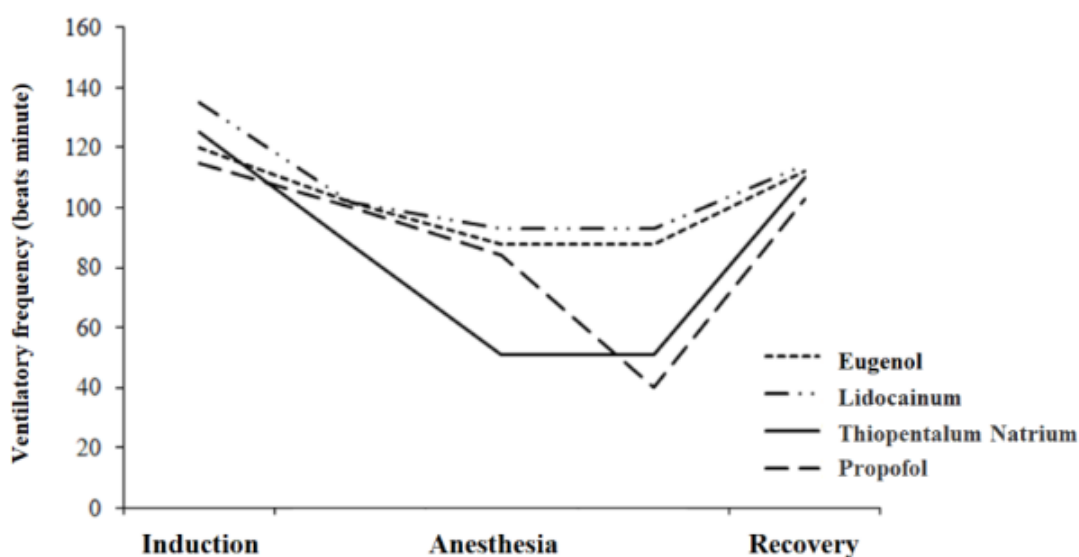


Рисунок 1 – Динамика дыхательной активности рыб на разных стадиях анестезии при использовании различных анестетиков

Пропофол относится к группе гипнотиков ультракороткого действия. Обладает выраженным дозозависимым седативным и наркотическим эффектом при использовании в анестезиологической практике у сиговых рыб в целом и у пеляди в частности (Толмачева, Демьянович, 2023). При погружении в раствор анестетика с дозировкой 5-10 мг/л, отмечается кратковременная стадия «успокоения» (стадия I), которая быстро переходит в более глубокие стадии анестезии. При использовании более высоких концентрации 20-40 мг/л, наступление стадии II происходит сразу после погружения в раствор (5-10 сек), после чего рыбы переходят в стадию III. При достижении состояния глубокого наркоза, у рыб отмечается снижение мышечного тонуса и полное отсутствие реакции на внешние раздражители. В отличие от тиопентала натрия, для пропофола характерно плавное угнетение дыхательной активности; на стадии седации респираторная норма снижается до 25-33%, при переходе в глубокий наркоз до 55-71%. В данном случае, тенденция постепенного снижения респираторной нормы обусловлена замедлением физиологических реакций в состоянии наркотического сна, а не угнетением дыхательного центра. При увеличении периода пребывания в растворе пропофола более 5-7 минут наступала стадия IV, требующая неотложных реанимационных мероприятий. Очевидно, что повышение дозы (> 40 мг/л) и времени экспозиции (> 3-5 мин) нецелесообразно, в связи с возможным усилением токсического эффекта, угнетением дыхания и летальным исходом. Время восстановления после анестезии в среднем составляло около 5-7 мин. Смертности рыб во время анестезии и спустя 72 часа не наблюдалось.

Обсуждение результатов

Современная анестезия стремится к минимизации времени воздействия наркотического агента и повышению его эффективности. Согласно, литературным данным, при эффективном анестезиологическом сопровождении развитие седации должно происходить не более чем за 180 секунд, а восстановление респираторной и двигательной функций не должно превышать 300 сек. (Keene et al., 1998; Ross, Ross, 2008).

Сравнительный анализ полученных данных, показал, что «оптимальным» временным параметрам соответствует пропофол, показатели индукции и восстановления которого практически не выходят за рекомендуемые рамки (рис. 2). Более того данный препарат, относясь к анестетикам центрального действия, характеризуется выраженной дозозависимостью, что позволяет управлять глубиной наркоза меняя концентрацию раствора и время экспозиции. Респираторная норма, при анестезиологическом сопровождении пропофолом, имеет тенденцию плавного снижения, что дает возможность контролировать риски наступления апноэ. Многочисленные исследования данного препарата на других видах подтверждают оптимальность выбора пропофола в качестве ведущего анестетика в анестезии взрослых рыб (Gholipour et al., 2013; Gholipour Kanani H., Ahadzadeh S., Gomułka et al., 2015; Balko et al., 2017; Martins et al., 2019; Obirikorang et al., 2020, Owen, Kelsh, 2021; Davis et al., 2022)

Длительность индукции и восстановления при применении тиопентала натрия также соответствует временным нормам «оптимального анестетика», так как он относится к анестетикам центрального действия. Однако, использование данного препарата для рыб нежелательно по ряду причин, основной из которых является неконтролируемое прогрессирующее угнетение дыхательной функции, ведущее к асфиксии. Исследования по применению данного препарата у рыб единичны (Стребкова, 1970), и в настоящее время препараты группы барбитуратов не используются в ихтиопатологической практике.

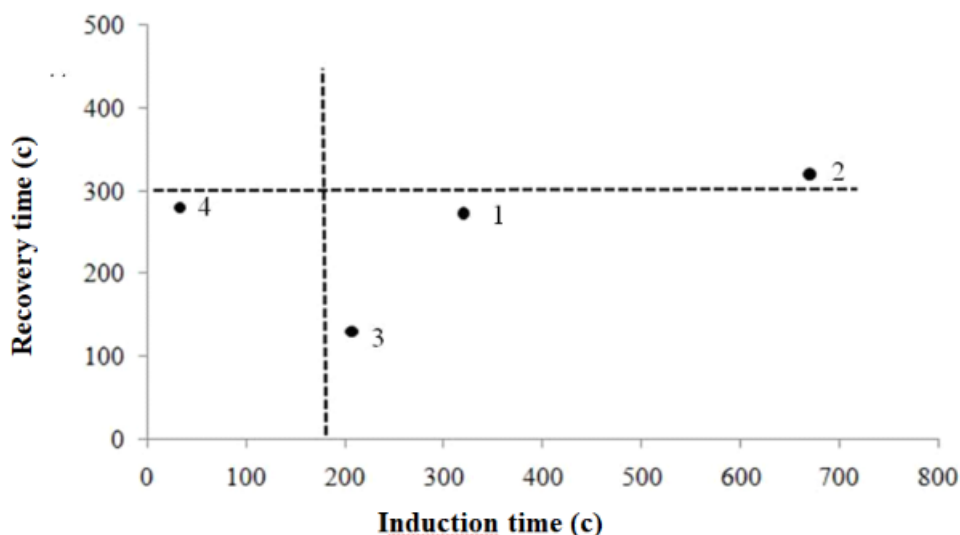


Рисунок 2 - Временные анестезиологические параметры различных препаратов при анестезии пеляди: 1) Эвгенол 600 мг/л; 2) Лидокаин 160 мг/л; 3)Тиопентал натрия 10 мг/л; Пропофол 10 мг/л.

Примечание: пунктирной линией обозначены границы рекомендуемых временных анестезиологических параметров

Действие эвгенола на пелядь характеризовалось более продолжительной индукцией. Глубина наркоза была ограничена эффектом миорелаксации без прогрессии в более глубокие стадии анестезии. В отличие от других анестетиков при погружении рыб в раствор эвгенола наблюдалась кратковременная стадия возбуждения, что вероятно связано с раздражающим действием эфирных масел на эпителий жаберных лепестков. Ранее было установлено, что гвоздичное масло покрывает жаберный эпителий, может блокировать диффузию газов (Sladky et al., 2001) и вызывать повреждения жабр (Waristha et al., 2011). Однако, применение эвгенола получило широкое распространение и оправдано его доступностью и экономической эффективностью, особенно при работе с большим объемом материала на рыбоводных предприятиях (Inoue et al., 2005; Mikodina et al., 2010; Balamurugan et al.; 2016, Ferreira et al., 2021; Didorenko et al., 2022). При выборе анестетиков эвгенол можно отнести к альтернативному варианту при осуществлении анестезии у пеляди.

Использование лидокаина, как анестетика в настоящем эксперименте показало свою несостоятельность, хотя в отдельных работах упоминается его использование в рыбоводной практике (Завьялова и др., 2012; Didorenko et al., 2022). Однако анализ собственных и литературных данных позволяет заключить о его низкой анестезиологической и экономической эффективности в связи с большим расходом препарата, длительностью индукции и периода восстановления, слабым седативным эффектом.

Действие анестетиков вызывает ряд последовательных поведенческих и физиологических реакций у рыб, отражающих изменение состояния их организма. Знание закономерностей механизма развития этих реакций позволяет предугадать поведение объекта и планировать определенные профилактические и лечебно-диагностические мероприятия используя те или иные седативные препараты.

При погружении рыб в раствор анестетиков все особи переходили в **стадию «успокоения» (стадия I)**, для которой характерно отсутствие реакции испуга и замедление движений (Soldatov, 2005; Iwama et al., 2011; Jorge et al., 2021). Снижение двигательной активности рыб способствует уменьшению потребления кислорода, что позволяет использовать первую плоскость анестезии для транспортировки рыб при высокой плотности посадки (Завьялова и др., 2012). Для длительного поддержания легкой анестезии без прогрессии в более глубокие стадии нами предлагается использовать низкие дозы анестетиков, преимущественно миорелаксантов, как лидокаин, новокаин и трикаин), которые характеризуются продолжительной индукцией.

Стадия «седации» (стадия II) была отмечена при всех видах анестезии у пеляди и характеризуется потерей равновесия, мышечного тонуса и снижением респираторной нормы. Развитие данной стадии наркоза обычно связывают с блокированием нервно-мышечной передачи (Oswald, 1978), что обеспечивает эффективную миорелаксацию объекта. Дыхательная активность снижалась в среднем на 30% у всех тестируемых анестетиков, за исключением тиопентала натрия. При своевременном извлечении рыб из раствора анестетика не наблюдается переход на более глубокие стадии анестезии или угнетения дыхательной деятельности. В целом, стадия седации обеспечивает частичное обездвиживание рыб и удобна для коротких технологических процессов, не сопровождающихся болевым синдромом. Например, клинический осмотр, бонитировка, вакцинация, чипирование, взятие соскобов с наружных покровов. Оптимальными временными показателями индукции и восстановления, а также контролируемой дыхательной ритмикой для пеляди характеризуется анестезиологическое сопровождение с применением эвгенола (400-600 мг/л) или низких дозировок пропофола (5-7 мг/л).

Для стадии глубокого наркоза характерно потери двигательной активности, отсутствие реакции на болевые раздражители и снижение, но устойчивость дыхательной ритмики (Soldatov, 2005; Iwama et al., 2011; Jorge et al., 2021). В наших экспериментах и рыбоводной практике, данная стадия достигается только при применении пропофола (10-15 мг/л), который обеспечивает глубокую анестезию рыб с сохранением дыхательной деятельности. Стадия глубокого наркоза обеспечивает полное обездвиживание рыб и необходима для сложных технологических процессов, как оперативное вмешательство, УЗИ- и рентгенодиагностика, эндоскопия, биопсия внутренних органов.

За стадией глубокого наркоза следует прогрессивное снижение частоты дыхательных движений, что может привести к развитию асфиксии и гибели особей. Во избежание летального исхода необходимо контролировать стадии анестезии и своевременная пересадка рыб в резервуар с чистой водой и усиленной аэрацией.

Заключение. Анализ полученных результатов и литературные данные показал, что препаратом, обладающим достаточным седативным эффектом как для пеляди, так и для других видов рыб является пропофол, что подтверждается его временными характеристиками индукции/восстановления, глубиной и управляемостью наркоза, низкими показателями угнетения респираторной нормы. При этом его оптимальная доза должна корректироваться в зависимости от вида, возраста и состояния здоровья особи, которую предстоит подвергнуть анестезии. В целом, нельзя отрицать достоинств других препаратов, поскольку выбор анестетика зависит от конкретных задач и должен быть экономически обоснован. При организации простых технологических процессов, не требующих глубокой анестезии (бонитировка рыб, транспортировка, профилактический осмотр) следует использовать более доступные или экономически выгодные препараты, например, эвгенол. При длительных манипуляциях сложного комбинированного характера, сопровождающихся болевым синдромом применяется пропофол по необходимости в сочетании с местным анестетиком.

Учет научной практики позволяет снизить побочные функциональные эффекты, вызванные манипуляционными мероприятиями, а также применением отдельных наркотических агентов. Это предоставляет возможность получать более надежные результаты, особенно при проведении экспериментальных работ.

Работа выполнена на базе НИЛ «Аквакультуры и охраны водных биологических ресурсов» Иркутского ГАУ и УНУ "Экспериментальный пресноводный аквариумный комплекс байкальских гидробионтов (ПАК ЛИН СО РАН)" и Шелеховского ветеринарного диагностического центра при финансовой поддержке в рамках темы Госзадания МСХ РФ № 1220413001259, Госзадания ЛИН СО РАН №121032300224-8, РФФИ и МОКНСМ в рамках научного проекта № 20-54-44017.

Список использованных источников

1. Завьялова, Е. А., Дрошнев, А. Е., Гулюкин, М. И., & Калинина, Н. Р. (2012). Анестезия радужной форели. Российский ветеринарный журнал, (4), 22-24.
2. Микодина Е.В., Седова М.А., Пьянова С.В., Коуржил Я. Экологичный анестетик «гвоздичное масло» в биотехнике искусственный справочник по уходу за пресноводными тропическими рыбами, искусственного воспроизводства рыб// Рыбоводство. 2010: № 3-4. – с.46-47.
3. Стребкова Т.П. 1972. Влияние анестезирующих веществ (тиопентал натрия) на физиологические показатели сеголетков зеркального карпа // Вопр. ихтиологии. Т. 12. № 2. С. 397.
4. Толмачева Ю.П., Демьянович К.А. Применение пропофола для анестезии сиговых рыб в аквакультуре // Материалы национальной научно-практической конференции. «Чтения, посвящённые 100-летию со дня рождения Николая Сергеевича Свиридова» Молодежный, 2023. С 109-114.
5. Anaesthesia of laboratory, aquaculture and ornamental fish: Proceedings of the first LASA-FVS Symposium / Schroeder P. [et al.] // Lab Anim. – 2021. - V. 55. - № 4 – P.
6. Balko JA, Wilson SK, Lewbart GA, Gaines BR, Posner LP. propofol AS AN immersion anesthetic and in a minimum anesthetic concentration (MAC) reduction model in goldfish (*Carassius auratus*). J Zoo Wildl Med. 2017 Mar;48(1):48-54. doi: 10.1638/2016-0079.1.
7. Davis AK, Garner JP, Chu DK, Felt SA. Propofol Immersion As a Euthanasia Method for Adult Zebrafish (*Danio rerio*). Comp Med. 2022 Jun 1;72(3):204-209. doi: 10.30802/AALAS-CM-22-000050.
8. Ferreira JM, Félix L, Jorge S, Monteiro SM, Olsson IAS, Valentim AM. Anesthesia Overdose Versus Rapid Cooling for Euthanasia of Adult Zebrafish. Zebrafish. 2022 Aug;19(4):148-159. doi: 10.1089/zeb.2022.0001.
9. Gholipourkanani H, Ahadzadeh S. Use of propofol as an anesthetic and its efficacy on some hematological values of ornamental fish *Carassius auratus*. Springerplus. 2013 Dec;2(1):76. doi: 10.1186/2193-1801-2-76.
10. Gomułka P, Fornal E, Berecka B, Szmagara A, Ziomek E. Pharmacokinetics of propofol in rainbow trout following bath exposure. Pol J Vet Sci. 2015;18(1):147-52. doi: 10.1515/pjvs-2015-0019.
11. Jorge S, Ferreira JM, Olsson IAS, Valentim AM. Adult Zebrafish Anesthesia: A Study of Efficacy and Behavioral Recovery of Different Anesthetics. Zebrafish. 2021 Oct;18(5):330-337. doi: 10.1089/zeb.2021.0023.
12. Owen JP, Kelsh RN. A suitable anaesthetic protocol for metamorphic zebrafish. PLoS One. 2021 Mar 5;16(3):e0246504. doi: 10.1371/journal.pone.0246504.
13. Readman GD, Owen SF, Knowles TG, Murrell JC. Species specific anaesthetics for fish anaesthesia and euthanasia. Sci Rep. 2017 Aug 2;7(1):7102. doi: 10.1038/s41598-017-06917-2.
14. Ferreira, A.L., Favero, G.C., Boaventura, T.P. et al. Essential oil of *Ocimum gratissimum* (Linnaeus, 1753): efficacy for anesthesia and transport of *Oreochromis niloticus*. *Fish Physiol Biochem* **47**, 135–152 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10695-020-00900-x>.
15. Martins T, Diniz E, Fe'lix LM, Antunes L (2018) Evaluation of anaesthetic protocols for laboratory adult zebra fish (*Danio rerio*). PLoS ONE 13(5): e0197846. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197846>.
16. Soldatov A.A. Functional effects of the use of anesthetics on teleostean fishes (review) // Inland Water Biology. 2021. Т. 14. № 1. С. 67-77. DOI: 10.31857/S0320965220060169.
17. Zahl IH, Samuelsen O, Kiessling A. Anaesthesia of farmed fish: implications for welfare. *Fish Physiol Biochem*. 2012 Feb;38(1):201-18. doi: 10.1007/s10695-011-9565-1.
18. Ross LG, Ross B (2008) Anaesthetic and sedative techniques for aquatic animals, 3rd edn. Blackwell Science, United Kingdom, Oxford.
19. Keene JI, Noakes DIG, Moccia RD, Soto GC (1998) The efficacy of clove oil as an anesthetic for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquac Res* 29:89–101. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.1998.00927.x>.
20. Alvarenga CMD, Volpato GL (1995) Agonistic profile and metabolism in alevins of the Nile tilapia. *Physiol Behav* 57:75– 80. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(94\)00206-K](https://doi.org/10.1016/0031-9384(94)00206-K)
21. Iwama G.K., Mcgeer J.C., Pawluk M.P. 2011. The effects of five fish anaesthetics on acid-base balance, hematocrit, blood gases, cortisol, and adrenaline in rainbow trout // *Can. J. Zool.* V. 67. Iss. 8. P. 2065.
22. Adewale AY, Adeshina I, Yusuf OY (2017) Anaesthetic effect of *Ocimum gratissimum* extract on *Oreochromis niloticus* juveniles. *Eur Exp Biol* 7(2–7):10.21767/2248-9215.100007.

23. Didorenko S.I., Etingova A.A., Fialkov V.A., Kupchinsky A.B., Kondratov I.G., Denikina N.N., Dzyuba E.V. Anaesthesia procedure for two species of Baikal golomyankas (Cottoidei: Comephoridae) // *Limnology and Freshwater Biology*. 2022. – № 1. – C. 1210-1216. DOI: 10.31951/2658-3518-2022-A-1-1210.
24. Sladky K.K., Swanson C.R., Stoskopf M.K. et al. 2001. Comparative efficacy of tricaine methanesulfonate and clove / *Limnology and Freshwater Biology* 2022 (1): 1210-1216 1216 oil for use as anesthetics in red pacu (*Piaractus brachypomus*). *American Journal of Veterinary Research* 62: 337-342. DOI: 10.2460/ajvr.2001.62.337.
25. Waristha A., Kingkaew W., Kumthorn T. 2011. Acute toxicity of clove oil and effects on histopathological changes in gill of Siamese fighting fish *Betta splendens*. *Research Journal of Chemistry and Environment* 15(2): 139-146.

БЛЕСК И НИЩЕТА АКВАКУЛЬТУРЫ

^{1,2}Чистяков В.А., ³Миралимова Ш.М., ^{4,5}Пепоян А.З., ^{1,2}Брень А.Б.

¹ НИЛ «Центр агробιοтехнологии», Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

² Академия биологии и биотехнологии, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

³ Институт микробиологии Академии Наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан

⁴ Отдел безопасности пищевых продуктов и биотехнологий Армянский национальный аграрный университет, Ереван, Армения

⁵ Международная ассоциация улучшения здоровья человека и животных, Ереван, Армения

Аннотация. Считается, что основной целью аквакультуры является обеспечение растущего человечества полноценной пищей. Между тем современные технологии растениеводства, микробиологического синтеза и пищевой биотехнологии позволяют достичь этой цели менее затратными способами. Качество растительного белка из ряда источников не уступает таковому для рыбы моллюсков и членистоногих. Содержащиеся в продуктах аквакультуры ненасыщенные жирные кислоты и наиболее ценные витамины имеют микробиологическое происхождение. Таким образом, реальной целью товарной аквакультуры является удовлетворение потребностей людей в изысканной пище. С экономической точки зрения это означает, что наиболее перспективным является люксовый фрагмент рынка.

Ключевые слова. Аквакультура, пища, гидробионты, белки, жирные кислоты, витамины

SHINE AND POVERTY OF AQUACULTURE

^{1,2}Chistyakov V.A., ³Miralimova Sh.M., ^{4,5}Pepoyan A.Z., ^{1,2}Bren A.B.

¹Center for Agrobiotechnology, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

² Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation

³Institute of Microbiology of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

⁴Department of Food Safety and Biotechnology, Armenian National Agrarian University, Yerevan, Armenia

⁵International Association for Human and Animals Health Improvement, Yerevan, Armenia

Annotation. It is believed that the main goal of aquaculture is to provide the growing humanity with nutritious food. Meanwhile, modern technologies of crop production, microbial synthesis and food biotechnology make it possible to achieve this goal in less costly ways. The quality of plant protein from a number of sources is as good as that of fish, shellfish and arthropods. Unsaturated fatty acids and the most valuable vitamins in aquaculture products are of microbial origin. Thus, the real purpose of commercial aquaculture is to satisfy people's need for gourmet food. From an economic point of view, this means that the luxury fragment of the market is the most promising.

Keywords. Aquaculture, food, hydrobionts, proteins, fatty acids, vitamins

Как показывает «экономико-технологическая» история человечества, развитие производительных сил - это отнюдь не мерное шествие, а весьма турбулентный процесс, для которого характерна резкая смена направлений, быстрое отмирание одних ветвей с усиленным ростом других, появление разного рода «черных лебедей» и др. Для того, чтобы развитие любой крупной технологической отрасли, да и большого предприятия, было гармоничным и не сопровождалось разрушительными кризисами, необходим постоянный анализ того, что происходит как в данной отрасли, так и в смежных отраслях. Необходимым элементом такого анализа должно быть выявление

тенденций развития, для которого, в свою очередь, необходима постоянная коррекция целей. В свою очередь, коррекция целей, которых, как правило, бывает немного, должна вести к коррекции целого облака определяемых этими целями задач. Только так, ориентируясь на верные цели, можно добиться многолетнего плавного развития. Рассмотрим с этих позиций современное состояние и тенденции развития аквакультуры. В данной работе под аквакультурой условимся понимать товарную аквакультуру. В соответствии с Федеральным законом от 2 июля 2013 года № 148-ФЗ «Об аквакультуре (рыбоводстве) и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», товарная аквакультура является видом предпринимательской деятельности, относящейся к сельскохозяйственному производству, и связанной с разведением и (или) выращиванием объектов аквакультуры, водных организмов, в искусственно созданной среде обитания [1]. Подавляющее большинство специалистов, работающих в этой области, молчаливо согласны с тем, что основной целью аквакультуры является обеспечение растущего человечества полноценной пищей. Такая позиция отражена и в документах FAO (Food and agriculture organization of the United Nation) [2]. Мы попытаемся доказать, что очевидность в данном случае кажущаяся, а обозначенная выше цель является ложной.

Для этого рассмотрим, что, собственно, представляет собой полноценная человеческая пища? Определение пищи в подавляющем числе источников от БСЭ (Большая советская энциклопедия) до EB (Encyclopedia Britannica) и wiki-педии тавтологично. Однако опираясь на смежное понятие «питание» можно уяснить, что пища содержит набор веществ, необходимый для поддержания жизнедеятельности, в нашем случае, человека. При этом в отношении ключевых веществ, дефицит которых угрожает сделать питание неполноценным, существует консенсус. Рассмотрим основные группы таких веществ с учетом перспектив получения их как из объектов аквакультуры, так и из альтернативных источников.

Белок

Энтузиасты аквакультуры любят говорить о гидробионтах, как об источнике полноценного белка [3-5]. Однако простое сопоставление данных, давно вошедших в учебники (см. табл. 1) показывает, что объекты аквакультуры не обладают в этом плане никакой уникальностью. Наиболее наглядным и информативным показателем качества белка, имеющий физиологический смысл, и, отражающий долю белка, доступного организму на пластические нужды, является скор аминокислот. Аминокислотный скор – это показатель отношения определенной незаменимой аминокислоты в белке к такой же аминокислоте в идеальном белке - теоретическом белке, идеально сбалансированном по аминокислотному составу [6, 7].

Таблица 1. Пищевое качество белка разного происхождения

| Источник белка | Аминокислотный коэффициент усвояемости белков (<i>Protein digestibility-corrected amino acid score (PDCAAS)</i>) |
|---|--|
| Яйцо | 1 [8,9] |
| Говядина | 1 [8,9] |
| Куриная грудка | 1 [9] |
| Треска | 0,96 [14] |
| Тунец | 0,97 [14] |
| Лосось | 1 [12] |
| Форель | 0,998 [11] |
| Креветка северная | 0,99 [15] |
| Камчатский краб | 0,55 [16] |
| Каракатица японская | 0,7 [18] |
| Устрицы | 0,96 [18] |
| Гребешок приморский искусственного разведения | 0,7 [18] |
| Соя | 1 [13] |

| | |
|----------------|-----------|
| Фасоль | 0,68 [14] |
| Чечевица | 0,52 [14] |
| Горох | 0,78 [10] |
| Семена конопли | 0,97 [17] |

Скор белков рыб и моллюсков действительно очень близок к эталонному скору говядины. Однако подобными же параметрами характеризуются и белки культурных растений, в частности конопли и сои [13, 17]. Более того, современная микробиологическая промышленность способна эффективно решать проблемы обогащения растительных белков добавками незаменимых аминокислот. При этом важно иметь в виду, что как экономические, так и экологические издержки, связанные с получением растительного белка неизмеримо ниже таковых для белка объектов аквакультуры. Это определяется сущностными отличиями между автотрофными и гетеротрофными организмами, которые в свою очередь определяются закономерностями термодинамики. Поэтому разрыв по экономической эффективности между получением белка из гидробионтов и растений вряд ли может быть преодолен за счет технологических инноваций.

Жирные кислоты

Упоминание гидробионтов в качестве источника ненасыщенных жирных кислот стало в последние десятилетия общим местом [19-23]. Действительно, рыба, моллюски и членистоногие богаты этими соединениями, причем содержат омега-3 и омега-6 жирные кислоты в оптимальном для человеческого питания соотношении [24-26].

Однако необходимо учитывать, что ферменты для синтеза ненасыщенных жирных кислот у объектов аквакультуры отсутствуют, а получают они эти соединения по пищевой цепи из микроорганизмов, в частности, - из микроводорослей типа хлореллы [27, 28]. Биология хлореллы интенсивно развивается, этот объект прекрасно технологически освоен [29-31]. Можно утверждать, что препятствия к запуску мощных биосинтетических производств необходимых человеку ненасыщенных жирных кислот отсутствуют. Экономические показатели технологий микробного биосинтеза, особенно с учетом того, что в случае хлореллы используются автотрофные организмы, сопоставимы с таковыми для растениеводства и, опять же, по термодинамическим причинам, недостижимы для аквакультуры. Кроме того, пищевой промышленностью интенсивно осваиваются технологии получения новых для массового потребления растительных масел, например льняного [32], которое, кстати, все шире используется в кормах для гидробионтов [33].

Витамины и витаминоподобные соединения

Гидробионты богаты витаминами. Это также стало общим местом. Однако микробиологическая промышленность давно освоила их (витаминов) производство. Кроме того, содержание витаминов в отдельных объектах аквакультуры не вполне соответствует пищевым потребностям человека. По водорастворимым витаминам гидробионты сильно проигрывают растениям, кроме того, продукты аквакультуры массового потребления, как правило, требуют термообработки, что на содержании ряда ключевых витаминов сказывается негативно. При этом наиболее ценные для потребителя каротиноиды, так же, как и ненасыщенные жирные кислоты, не синтезируются гидробионтами, а поступают по пищевой цепи из ее микробных звеньев. Широко известно, что привлекательный красный цвет мяса лососевых определяется присутствием астаксантина, который синтезируется микроскопическими водорослями и грибами [34, 35].

Недостаток астаксантина в кормах для аквакультурных лососевых привел к внедрению практики подкрашивания лососины синтетическими красителями, что не добавляет ценности соответствующим продуктам. Технологии микробного синтеза как астаксантина, так и других каротиноидов интенсивно развиваются. Это неизбежно приведет как к удешевлению существующих продуктов, так и к появлению принципиально новых. Так, можно уверенно прогнозировать развитие биотехнологии *Deinococcus radiodurans* – бактерии, вырабатывающей каротиноид-антиоксидант деиноксантин, более «мощный», чем астаксантин [36, 37].

Приведенные выше примеры не исчерпывают всего многообразия пищевой химии гидробионтов. Отметим лишь, используя принцип индукции, что современная пищевая химия не знает ни одного класса ценных для питания человека соединений, характерного исключительно для объектов аквакультуры.

Таким образом, можно утверждать, что растениеводство в сочетании с микробным синтезом и передовыми методами пищевой химии в состоянии более эффективно, чем аквакультура, прокормить развивающееся человечество. Однако в этой связи нельзя не коснуться проблематики

органолептической и не поставить вопрос о том, будет ли привлекательной для людей «биотехнологическая пища». Можно, конечно, отделаться знаменитой цитатой Фритьофа Нансена, который сказал своим соратникам, отказавшимся есть собак: «Это питательно, а, следовательно, это вкусно», но опыт пищевой химии позволяет сделать более глубокие обобщения. Современная биологическая наука серьезно продвинулась в понимании сложных и важных для человека вопросов, связанных с органолептикой пищи.

Выдающийся японский химик Kikunae Ikeda, открыл в 1908 году, что химической основой мясного вкуса (umami) является присутствие в пище глутамата натрия. С тех пор «вкусовая химия» серьезно шагнула вперед. Стало ясно, что привлекательность для человека животной пищи определяют, как правило, пептиды, аминокислоты и продукты реакции Майяра. При этом для создания вкуса необязательно вводить в состав продукта синтетические соединения. Правильно организованная ферментация, в случае, например, японского мисо, позволяет «вырезать» из соевого белка пептиды, имитирующие как мясной, так и рыбный вкус [38, 39]. Конечно, изыскательный вкус икорных и устричных сомелье вряд ли получится обмануть продуктами ферментации, но массовый потребитель в условиях перенаселения Земли и общего дефицита продовольствия, по-видимому, будет удовлетворен.

Таким образом, цели обеспечения растущего человечества питанием значительно легче, как в экономическом, так и в экологическом плане, достичь за счет развития растениеводства в сочетании с пищевой биотехнологией и микробным синтезом. Следовательно, соответствующая цель для аквакультуры является ложной, а соревнование с заведомо более сильным противником чревато крахом.

Переходя от критической части нашей работы к позитивной, рассмотрим историю наиболее ярких «морепродуктовых» брендов. Интересна в этом плане история лобстеров. Вот что пишет о них ресурс «Популярная наука»: «Эти ракообразные долгое время были едой бедняков, заключенных и рабочих. А все – из-за их огромного количества и довольно непривлекательного внешнего вида, за что британцы, впервые увидевшие их на северо-восточном побережье Северной Америки, даже прозвали их «морскими тараканами» [40]. Лишь постепенно, по мере исчерпания ресурсов и роста спроса, лобстер стал одним из наиболее востребованных деликатесов. Такой же примерно путь прошли черная и красная икра, устрицы и ряд других морских продуктов. Динамику объема рынка лобстеров со времен еды для бедняков до деликатеса трудно оценить, но представляя себе в общих чертах количество людей, вовлеченных во всем мире в добычу, логистику, приготовление и подачу лобстеров, можно предположить, что это направление отнюдь не стагнирует. Мы полагаем, что в экономическом плане переход от производства больших объемов массовых продуктов аквакультуры к производству продуктов класса «люкс», предназначенных для лишь «праздничного потребления», не будет болезненным в случае его последовательного и планового осуществления. Реальной и достижимой целью аквакультурной отрасли должно стать удовлетворение потребности в изысканной пище, то есть обеспечение людей праздничным настроением, а не набором белков, углеводов и витаминов. Праздник, в том числе и новогодний, в каждый дом должны приносить не коричневая газировка сомнительной полезности, а икра, устрицы, мидии, раки высокого качества с соответствующими этим продуктам натуральными напитками. Стоимость этих продуктов должна соответствовать их люксовому качеству. Снижение объемов производства объектов аквакультуры позволит снизить нагрузку на задействованные в данной технологии экосистемы, отказаться от излишней «химизации», внедрить широкий спектр биопрепаратов, т.е. сделать продукцию аквакультуры действительно органической. Предприятиям же, специализирующимся на переработке продукции аквакультуры, мы бы посоветовали сосредоточить усилия на разработке продуктов, имитирующих морепродукты с добавлением натуральных гидробионтных компонентов в качестве вкусовых добавок.

Работа подготовлена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, договор № 20-516-81004\20.

Acknowledgments

This research was funded by Russian Foundation for Basic Research Project № 20-516-81004\20. This research was funded by the State Committee of Science Armenia (grant number EAPI2020-065). This research was funded by Ministry of Innovative Development of the Republic of Uzbekistan grant №EAPI -2021-51

Список использованных источников

1. Федеральный закон от 2 июля 2013 года № 148-ФЗ «Об аквакультуре (рыбоводстве) и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»
2. URL: <https://www.fao.org/fishery/ru/aquaculture>
3. Высоцкий, В. Г. К оценке потребности человека в белке / В. Г. Высоцкий // Вопросы питания. – 1978. – № 6. – С. 8–17.
4. URL: <https://cgon.rospotrebnadzor.ru/naseleniyu/zdorovoe-pitanie/pishchevye-veshchestva/belki-v-pitanii/>
5. URL: <https://azniirkh.vniro.ru/content/read/archive/novosti/azniirh-ryiba-tsenneyshiy-produkt-dlya-sbalansirovannogo-pitaniya>
6. URL: <https://www.fao.org/food-safety/scientific-advice/jecfa/en/>
7. Boutrif, E., Food Quality and Consumer Protection Group, Food Policy and Nutrition Division, FAO, Rome: «Recent Developments in Protein Quality Evaluation» *Food, Nutrition and Agriculture*, Issue 2/3, 1991. Дата обращения: 6 мая 2017. Архивировано 10 февраля 2019 года.
8. Hoffman JR, Falvo MJ. Protein - Which is Best? *J Sports Sci Med*. 2004 Sep 1;3(3):118-30. PMID: 24482589; PMCID: PMC3905294.
9. Marinangeli CPF, House JD. Potential impact of the digestible indispensable amino acid score as a measure of protein quality on dietary regulations and health. *Nutr Rev*. 2017 Aug 1;75(8):658-667. doi: 10.1093/nutrit/nux025. Erratum in: *Nutr Rev*. 2017 Aug 1;75(8):671. PMID: 28969364; PMCID: PMC5914309.
10. Ertl P., Knaus W., Zollitsch W. An Approach to Including Protein Quality When Assessing the Net Contribution of Livestock to Human Food Supply. *Animal*. 2016;10:1883–1889. doi: 10.1017/S1751731116000902.
11. El S.N., Kavas A. Determination of Protein Quality of Rainbow Trout (*Salmo Irideus*) by in Vitro Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score (PDCAAS) *Food Chem*. 1996;55:221–223. doi: 10.1016/0308-8146(95)00111-5.
12. Usydus Z., Szlinder-Richert J., Adamczyk M. Protein Quality and Amino Acid Profiles of Fish Products Available in Poland. *Food Chem*. 2009;112:139–145. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.05.050.
13. Hughes G.J., Ryan D.J., Mukherjea R., Schasteen C.S. Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Scores (PDCAAS) for Soy Protein Isolates and Concentrate: Criteria for Evaluation. *J. Agric. Food Chem*. 2011;59:12707–12712. doi: 10.1021/jf203220v.
14. Sarwar G., Peace R.W., Botting H.G., Brulé D. Digestibility of Protein and Amino Acids in Selected Foods as Determined by a Rat Balance Method. *Plant Foods Hum. Nutr*. 1989;39:23–32. doi: 10.1007/BF01092398.
15. Строкова, Н. Г. Пищевая и биологическая ценность мяса креветок промысла и аквакультуры: функциональные пищевые продукты / Н. Г. Строкова, Н. В. Семикова, Т. В., Родина, А. В. Подкорытова // Рыбное хозяйство. – 2013. – № 4. – С. 122 – 128.
16. Подкорытова А.В., Строкова Н.Г., Семикова Н.В. Комплексная переработка камчатского краба при производстве пищевой продукции и биологически активных веществ// Труды ВНИРО. - 218. - Т. 172. - С. 198–212.
17. House JD, Neufeld J, Leson G. Evaluating the quality of protein from hemp seed (*Cannabis sativa* L.) products through the use of the protein digestibility-corrected amino acid score method. // *J. Agric. Food Chem*. - 2010 - Nov 24;58(22):11801-7. doi: 10.1021/jf102636b. Epub 2010 Oct 26. PMID: 20977230.
18. Справочник по химическому составу и технологическим свойствам водорослей, беспозвоночных и морских млекопитающих. Под редакцией В.П. Быкова. – Москва, Издательство ВНИРО. – 1999. – 262 с.
19. FAO Joint . *Fats and Fatty Acids in Human Nutrition. Report of an Expert Consultation, 10–14 November 2008, Geneva*. FAO; Rome, Italy: 2010.
20. URL: <https://cgon.rospotrebnadzor.ru/naseleniyu/zdorovoe-pitanie/pishchevye-veshchestva/zhiry-v-pitanii/>
21. Chen J, Jayachandran M, Bai W, Xu B. A critical review on the health benefits of fish consumption and its bioactive constituents. *Food Chem*. 2022 Feb 1;369:130874. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.130874.
22. Meyer B.J., Mann N.J., Lewis J.L., Milligan G.C., Sinclair A.J., Howe P.R. Dietary intakes and food sources of omega-6 and omega-3 polyunsaturated fatty acids. *Lipids*. 2003;38:391–398. doi: 10.1007/s11745-003-1074-0.
23. Vyncke K.E., Libuda L., De Vriendt T., Moreno L.A., Van Winckel M., Manios Y., Gottrand F., Molnar D., Vanaelst B., Sjöström M. Dietary fatty acid intake, its food sources and determinants in European adolescents: The HELENA (Healthy Lifestyle in Europe by Nutrition in Adolescence) Study. *Br. J. Nutr*. 2012;108:2261–2273. doi: 10.1017/S000711451200030X.
24. Tan K, Ma H, Li S, Zheng H. Bivalves as future source of sustainable natural omega-3 polyunsaturated fatty acids. *Food Chem*. 2020 May 1;311:125907. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125907.
25. Abd Aziz N, Azlan A, Ismail A, Mohd Alinafiah S, Razman MR. Quantitative determination of fatty acids in marine fish and shellfish from warm water of Straits of Malacca for nutraceutical purposes. *Biomed Res Int*. 2013;2013:284329. doi: 10.1155/2013/284329.

26. Shao C, Su Y, Meng D, Li Y, Dong Y, Hao H, Ye H. Comprehensive metabolomic profiling of nutrients in fish and shrimp. *Food Chem.* 2023 May 1;407:135037. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.135037.
27. Breuer G., Evers W.A.C., De Vree J.H., Kleinegris D.M.M., Martens D.E., Wijffels R.H., Lamers P.P. Analysis of Fatty Acid Content and Composition in Microalgae. *J. Vis. Exp.* 2013 doi: 10.3791/50628.
28. Sandgruber F, Gielsdorf A, Baur AC, Schenz B, Müller SM, Schwerdtle T, Stangl GI, Griehl C, Lorkowski S, Dawczynski C. Variability in Macro- and Micronutrients of 15 Commercially Available Microalgae Powders. *Mar Drugs.* 2021 May 27;19(6):310. doi: 10.3390/md19060310.
29. Bito T, Okumura E, Fujishima M, Watanabe F. Potential of *Chlorella* as a Dietary Supplement to Promote Human Health. *Nutrients.* 2020 Aug 20;12(9):2524. doi: 10.3390/nu12092524. PMID: 32825362; PMCID: PMC7551956.
30. Je S, Yamaoka Y. Biotechnological Approaches for Biomass and Lipid Production Using Microalgae *Chlorella* and Its Future Perspectives. *J Microbiol Biotechnol.* 2022 Nov 28;32(11):1357-1372. doi: 10.4014/jmb.2209.09012.
31. Barkia I, Saari N, Manning SR. Microalgae for High-Value Products Towards Human Health and Nutrition. *Mar Drugs.* 2019 May 24;17(5):304. doi: 10.3390/md17050304.
32. Singh K. K., Mridula D., Rehal J., Barnwal P. (2011). Flaxseed: a potential source of food, feed and fiber. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 51, 210–222. doi: 10.1080/10408390903537241)
33. Turchini G. M., Torstensen B. E., Ng W. K. (2009). Fish oil replacement in finfish nutrition. *Rev. Aquacult.* 1 10–57. 10.1111/j.1753-5131.2008.01001.x
34. Kumar S, Kumar R; Diksha; Kumari A, Panwar A. Astaxanthin: A super antioxidant from microalgae and its therapeutic potential. *J Basic Microbiol.* 2022 Sep;62(9):1064-1082. doi: 10.1002/jobm.202100391.
35. Langi P, Kiokias S, Varzakas T, Proestos C. Carotenoids: From Plants to Food and Feed Industries. *Methods Mol Biol.* 2018;1852:57-71. doi: 10.1007/978-1-4939-8742-9_3.
36. Лысенко В.С., Чистяков В.А., Зимаков Д.В., Соьер В.Г., Сазыкина М.А.109, Сазыкина М.И., Сазыкин И.С., Краснов В.П. Разделение и масс-спектрометрическая идентификация каротиноидов радиорезистентных бактерий *D. radiodurans* // Масс-спектрометрия. — 2010. — Т. 7, № 4. — С. 278-282.
37. Сазыкин И.С., Сазыкина М.А., Чистяков В.А. Способ получения деиноксантина, каротиноида *Deinococcus radiodurans*. – 2013. – Патент РФ № 2475541.
38. Inoue Y, Kato S, Saikusa M, Suzuki C, Otsubo Y, Tanaka Y, Watanabe H, Hayase F. Analysis of the cooked aroma and odorants that contribute to umami aftertaste of soy miso (Japanese soybean paste). *Food Chem.* 2016 Dec 15;213:521-528. doi: 10.1016/j.foodchem.2016.06.106.
39. Li Q, Zhang L, Lametsch R. Current progress in kokumi-active peptides, evaluation and preparation methods: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2022;62(5):1230-1241. doi: 10.1080/10408398.2020.1837726.
40. URL: https://dzen.ru/a/ZOCLfi_JJR5zGFt4

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

III МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«РАЗВИТИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ АКВАКУЛЬТУРЫ»
(КОНФЕРЕНЦИЯ «АКВАКУЛЬТУРА 2023»)
с применением дистанционных технологий

с. Дивноморское,

04 – 10 сентября 2023 г.

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS

III INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE
«DEVELOPMENT AND MODERN PROBLEMS OF AQUACULTURE»
(«AQUACULTURE 2023» CONFERENCE)
using remote technologies

Divnomorskoye,
September 4 – 10, 2023

Подписано в печать __.__.2023
Объем ____ усл. п. л. Офсет. Формат 60x84x16.
Бумага тип №3. Заказ № _____. Цена свободная.

ООО «ДГТУ-Принт»
Адрес полиграфического предприятия:
344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1.

"AQUACULTURE 2023" CONFERENCE

Don State Technical University

344003, Russia, Rostov-on-Don,
Gagarina sq., 1
reception@donstu.ru
+7(800)100-19-30

Faculty of Agribusiness

344003, Russia, Rostov-on-Don,
Gagarina sq., 1, office 327
agro.conf@donstu.com
+7(989)703-96-43
+7(863)238-15-76

