

На правах рукописи

М.А. Аринжан

Аринжанова Мария Сергеевна

Влияние обеспеченности кремнием на продуктивность и обмен веществ у карпа

4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени
кандидата биологических наук

Оренбург - 2023

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» и ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»

Научный руководитель: **Лебедев Святослав Валерьевич,**
доктор биологических наук, член-корреспондент РАН

Официальные оппоненты: **Дмитрий Александрович Ранделин,**
доктор биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», кафедра «Водные биоресурсы и аквакультура», заведующий

Гусева Юлия Анатольевна,
доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К. И. Скрябина», кафедра «Кормление и кормопроизводство», профессор

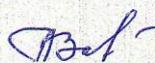
Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)»

Защита диссертации состоится «26» декабря 2023 г. в 9⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 24.1.252.01 на базе ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» по адресу: 460000, г. Оренбург, ул. 9 января, 29, тел. 8 (3532) 30-81-70.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» и на сайте: <http://www.fncbst.ru>, с авторефератом — на сайтах <http://www.fncbst.ru> и <http://www.vak.minobrnauki.gov.ru>

Автореферат разослан «__» _____ 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Завьялов
Олег Александрович

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность выбранной темы исследования. Аквакультура является одной из самых перспективных и быстрорастущих отраслей мировой индустрии продуктов питания, с ожидаемым двукратным ростом производства в ближайшие два десятилетия (The Food and Agriculture Organization, 2014). Столь высокие темпы роста производства формируют принципиально новые требования к ведению работ в аквакультуре, в первую очередь в промышленных условиях. Это становится возможным через уточнение существующих норм кормления и создания новых комплексных кормовых добавок (Uribe C. et al., 2011; Marengo M. et al., 2018).

В этой связи одним из перспективных направлений развития представляется детальное изучение биологической роли и особенности продуктивного действия кремния. Как известно, кремний является важным эссенциальным химическим элементом и третьим по распространенности микроэлементом в организме человека и животных (Скальный А.В. 2004). В последние годы всё большее число исследований указывает на то, что кремний играет важную роль в минерализации костей, синтезе коллагена и др. (Arthur-Ataam J. et al., 2019).

Известно, что дефицит кремния приводит к деформации костей и суставов, дефектам хрящей, нарушениям минерального баланса в организме (Martin K.R., 2007), а дополнительное включение кремнийсодержащих добавок в рацион сопровождается повышением прочности и плотности костей у рыб (Küçükbay F.Z. et al., 2008). Между тем за всю более чем 60-летнюю историю с момента открытия биологической роли кремния Эдит М. Карлайл (Carlisle E.M., 1972), точный механизм этого действия до сих пор не изучен.

Степень разработанности темы. Накопленные наукой знания о роли кремния в метаболизме рыб в основном включают данные о физиологических аспектах усвоения и его токсичности (Lall S. P. and Kaushik S. J., 2021). Тем не менее на основании исследований о продуктивной роли кремния производству предложен целый ряд новых кормовых кремнийсодержащих добавок. Стало известно, что дополнительное включение кремния в рацион сопровождается оптимизацией обмена кальция и фосфора, сочетанным снижением уровня токсических химических элементов и увеличением интенсивности роста рыбы (Ульянова М.В., 2017; Макарова Г. П., 2019; Макарова Г.П. и др., 2019).

При этом наряду с минеральными и органическими источниками кремния в питании все большее распространение получают различные ультрадисперсные формы кремния. В частности, препарат кремния (E551) с размерами частиц от 5 до 15 нм используется в качестве пищевой добавки более полувека (Panel E. et al., 2018). Причем этот и другие аналогичные препараты классифицированы «Управлением по контролю за продуктами и лекарствами (FDA)» как биологически инертные или обладающие низкой острой токсичностью, так же получают все большее распространение (Van der Zande M. et al., 2014; U.F.a.D., 2018). Препараты ультрадисперсного кремния

апробированы и рекомендованы для применения для производства мяса птицы (Мустафина А.С., 2020); тилапии (Alandiyjany M.N. et al., 2022) и др.

В связи с этим определенным интерес представляют исследования направленные на изучения действия препарата ультрадисперсного диоксида кремния на продуктивность и обмен веществ карпа в условиях индустриального рыбоводства.

Цель и задачи исследования. Целью исследований в соответствии с государственной бюджетной (ГБ) НИР на 2017-2022 годы (госрегистрация: № 01201252687) и тематическим планом НИР на 2021-2023 гг. (№ 0761-2019-0005) (госрегистрация: № АААА-А19-119040290046-2) являлось изучение влияния ультрадисперсных частиц (УДЧ) диоксида кремния (SiO_2) на обмен веществ и продуктивность карпа.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Дать оценку продуктивности сеголетков карпа по характеристикам роста и составу продукции при включении в рацион различных дозировок УДЧ SiO_2 ;

2. Изучить влияние УДЧ SiO_2 , комплекса аминокислот (КА), микроэлементов (Zn, Se, I) и пробиотика Бифидобиом в различных комбинациях на гематологические показатели, конверсию корма и продуктивность карпа;

3. Изучить влияние биоминерального комплекса на особенности элементного состава и микробиома содержимого кишечника карпа;

4. Определить экономическую эффективность использования биоминерального комплекса при производстве карпа в условиях садкового тепловодного индустриального предприятия.

Научная новизна. Впервые на основании комплексного подхода произведена оценка стимуляторов роста карпа на основе УДЧ SiO_2 , КА, микроэлементов (Zn, Se, I) и пробиотических штаммов *Bifidobacterium* в составе препарата «Бифидобиом». Получены новые данные о влиянии биоминерального комплекса на обмен веществ и содержания 25 химических элементов в мышечной ткани рыб.

Получены новые данные о чувствительности микробиома на введение в рацион штаммов *Bifidobacterium* и различных вариаций УДЧ SiO_2 , КА и микроэлементов (Zn, Se, I). Установлено влияние комплекса УДЧ SiO_2 и штаммов *Bifidobacterium* на соотношение микроорганизмов в микробиоме кишечника карпа, связанных с увеличением доли потенциально полезных бактерий и снижением относительной численности условно-патогенных микроорганизмов. Новизна исследований подтверждена двумя патентами РФ на изобретения.

Теоретическая значимость работы заключается в фактическом обосновании продуктивных эффектов связанных с применением альтернативных источников микроэлементов в симбиозе с аминокислотами и органическими солями минеральных веществ.

Подтверждена рабочая гипотеза, описывающая антагонистическое воздействие препарата УДЧ SiO₂ по отношению к величине концентрации токсических элементов. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено стимулирующее действие препарата УДЧ SiO₂ на организм годовиков карпа с соответствующим повышением сохранности рыбы в условиях теплового садкового хозяйства.

Практическая значимость работы состоит в разработке новых решений по использованию альтернативных источников микроэлементов в качестве модуляторов обмена веществ, формирования продуктивных качеств у рыб. Введение в рацион годовиков карпа с содержанием сырого протеина 23%, препарата УДЧ SiO₂ в дозировке 200 мг/кг корма, пробиотика Бифидобиом и органических солей микроэлементов (Zn, Se, I) в условиях тепловодного садкового хозяйства способствует: активизации метаболизма, реорганизации метагенома, увеличению производства карпа на 10-12 % и повышению рентабельности на 2-3%.

Методология и методы исследования. В ходе планирования и выполнения исследования по теме диссертации были использованы стандартизированные методы зоотехнического, биохимического, физиологического и технического анализа с применением современных методов на сертифицированном оборудовании Центра коллективного пользования ФНЦ БСТ РАН. Цифровые данные обработаны с использованием программного пакета «Statistica 10.0».

Основные положения, выносимые на защиту. В зависимости от поставленных задач и выводов сформулированы основные положения:

- обмен веществ и продуктивность карпа зависят от дозировки УДЧ SiO₂ в рационе;
- включение в рацион карпа УДЧ SiO₂, КА и пробиотических штаммов *Bifidobacterium* оказывает ростостимулирующее влияние и модулирующее влияние на содержание химических элементов в организме карпа;
- включение пробиотических штаммов *Bifidobacterium* в рацион сопровождается изменениями таксономического состава микробиома кишечника карпа.

Степень достоверности и апробация работы. Научные положения, достоверность выводов соответствуют результатам собственных исследований. Основные положения работы доложены и обсуждены на заседании кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» и отдела кормления сельскохозяйственных животных им. профессора С.Г. Леушина ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН».

Результаты научной работы доложены на научно-практических конференциях: III Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Водные биоресурсы и аквакультура юга России» (г. Краснодар, 2022); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы прикладной биотехнологии и

инженерии» (г. Оренбург, 2022); Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Наука будущего — наука молодых» (г. Оренбург, 2022); VIII Национальной научно-практической конференции «Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации» (г. Керчь, 2023).

Публикация материалов исследований. Основные результаты, выводы и рекомендации диссертационного исследования представлены в 13 научных работах, из них 7 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ и 2 патента РФ на изобретение.

Реализация результатов исследований. Результаты исследований внедрены в карповое производство садкового хозяйства ООО «Ирикля-рыба».

Объем и структура работы. Диссертация изложена на 142 страницах машинописного текста, состоит из введения, обзора литературы, главы с описанием материалов и методов исследований, глав собственных исследований, обсуждения полученных результатов, выводов, предложений производству. Содержит 31 рисунок, 34 таблицы. Список использованной литературы включает 245, в том числе зарубежных авторов 200.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в период с 2020 по 2023 гг. на базе отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. профессора С.Г. Леушина ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН» (ФНЦ БСТ РАН). Лабораторные исследования осуществлялись с использованием материально-технической базы ЦКП ФНЦ БСТ РАН (<https://ckp-rf.ru/ckp/77384/>) и кафедры «Биотехнология животного сырья и аквакультуры» Оренбургского государственного университета.

На первом этапе на базе центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве» проводилась физико-химическая экспертиза УДЧ SiO₂ (производства ИП Хисамутдинов Р.А., г. Москва, полученные методом плазмохимического синтеза), с использованием лазерного анализатора Microtrac NANOTRAC WAVE II (ООО «Микротрак», Россия). Биологическая экспертиза препаратов УДЧ SiO₂ осуществлялась с использованием биосенсора *Escherichia coli* K12 TG1, несущего гибридную плазмиду *pUC19* с клонированными *luxCDABE* генами *Photobacterium leiognathi* 54D10 (НВО ИММУНОТЕХ, Россия) на многофункциональном микропланшетном ридере TECAN Infinite F200 (Tecan Austria GmbH, Австрия).

На втором этапе проводились исследования в условиях аквариумного стенда (шесть аквариумов по 300 литров каждый) оборудованного системой автономного жизнеобеспечения. Для проведения каждого из экспериментов методом пар-аналогов производилось формирование контрольной и опытных групп из числа сеголетков карпов ($n=30$) (*Cyprinus carpio*) выращенных в условиях садкового хозяйства ООО «Ирикля-рыба» (Оренбургская область).

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с протоколами Женевской конвенции и принципами

надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009) и «Guide for the Carre and Use of Laboratory Animals» (National Academy Press, Washington, D.C., 1996).

В исследованиях в качестве источника кремния был использован монопрепарат ультрадисперсных частиц (УДЧ) SiO₂. УДЧ напыляли на поверхность корма после 30 мин диспергирования препарата в физиологическом растворе с помощью УЗДН-2Т (f-35 кГц, N-300 Вт, A-10 мкА).

На протяжении всего эксперимента рыбы контрольной и опытных групп находились в одинаковых условиях содержания и кормления. Исследования проводились в 3 этапа. Продолжительность каждого эксперимента составляла 63 суток: подготовительный период – 7 суток и учетный – 56 суток.

Кормление подопытной рыбы осуществлялось 6 раз в сутки полнорационными комбикормами КРК-110 в соответствии с существующими нормами М.А. Щербина и Е.А. Гамыгина (2006) и ГОСТом Р 52346-2005.

Контроль над интенсивностью роста подопытной рыбы осуществлялся путем еженедельного индивидуального взвешивания утром, до кормления (± 1 г) и определения линейно-массовых показателей.

В ходе первого эксперимента дозировки УДЧ SiO₂ выбраны на основе данных (Мустафин Р.З. и Мустафина А.С., 2021; Alandiyjany M.N., 2022) (таблице 1).

Таблица 1 – Схема I эксперимента

Группа	Период опыта	
	подготовительный (7 сут)	учетный (56 сут)
характер кормления		
Контрольная	Основной рацион (ОР)	ОР
I опытная		ОР + УДЧ SiO ₂ (100 мг/кг)
II опытная		ОР + УДЧ SiO ₂ (200 мг/кг)
III опытная		ОР + УДЧ SiO ₂ (300 мг/кг)

С целью изучения влияния совместного действия УДЧ SiO₂ и комплекса аминокислот (аргинин, метионин, лизин) на продуктивность и обмен веществ в организме карпа проведено второе экспериментальное исследование (таблица 2).

Таблица 2 – Схема II эксперимента

Группа	Период опыта	
	подготовительный (7 сут)	учетный (56 сут)
характер кормления		
Контрольная	Основной рацион (ОР)	ОР
I опытная		ОР + УДЧ SiO ₂ (200 мг/кг)
II опытная		ОР + аминокислоты (аргинин (25 г/кг) + лизин (21 г/кг) + метионин (10 г/кг))
III опытная		ОР + УДЧ SiO ₂ (200 мг/кг) + аминокислоты (аргинин (25 г/кг) + лизин (21 г/кг) + метионин (10 г/кг))

В ходе третьего эксперимента изучена эффективность совместного применения УДЧ SiO₂, солей микроэлементов и пробиотических штаммов *Bifidobacterium* в питании рыб (таблица 3).

Таблица 3 – Схема III эксперимента

Группа	Период опыта	
	подготовительный (7 сут)	учетный (56 сут)
	характер кормления	
Контрольная	Основной рацион (ОР)	ОР
I опытная		ОР + микроэлементы (I (0,1 мг/кг) + Se (0,2 мг/кг) + Zn (1,36 мг/кг))
II опытная		ОР + УДЧ SiO ₂ (200 мг/кг) + пробиотик Бифидобиом (0,7 мг/кг)
III опытная		ОР + УДЧ SiO ₂ (200 мг/кг) + пробиотик Бифидобиом (0,7 мг/кг) + микроэлементы (I (0,1 мг/кг) + Se (0,2 мг/кг) + Zn (1,36 мг/кг))

На заключительном этапе на базе ООО «Ирикла-рыба» (п. Энергетик, Оренбургская область) на годовиках карпа (*Cyprinus carpio*) был проведен научно-хозяйственный эксперимент.

В качестве основного рациона использовали комбикорм КРК-110 производства ОАО «Оренбургский комбикормовый завод» (г. Оренбург), содержащий сырого протеина 23%.

Характеристика вводимых препаратов:

Препарат УДЧ SiO₂ - белый аморфный рассыпчатый порошок без специфического запаха с гидродинамическим диаметром частиц 126,5±9,7 нм, Z-потенциал --29±0,1 мВ.

Дозировки аминокислот: метионин кормовой (10 г/кг корма) производство (ГК «Мегамикс», г. Волгоград), моногидрохлорид лизина (21 г/кг корма) производство (ГК «Мегамикс», г. Волгоград), гидрохлорид аргинина (25 г/кг корма) производство (ГК «Мегамикс», г. Волгоград) выбраны с учетом рекомендаций для карповых рыб (Пономарев С.В., Грозеску Ю.Н., Бахарева А.А., 2013). Пробиотический препарат «Бифидобиом», с содержанием не менее 1 x 10¹⁰ КОЕ/г *Bifidobacterium longum*, *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium adolescentis*, производства ООО «Компонент-Лактис», вводился в дозировке на основе проведенных исследований, в которых отражен положительный эффект влияния пробиотического штамма рода *Bifidobacterium* в кормлении карпа (Аринжанов А.Е. и др., 2022). Комплекс микроэлементов в органической форме, калия йодат (ООО «ВТФ» Владимирская область, пос. Вольгинский), селенометионин (ООО «Квадрат-С», г. Москва) и цинка цитрат (ООО «Квадрат-С», г. Москва) вводились в рацион подопытной рыбы в дозировках рекомендуемых Simakov G. et al., (2020).

Суточную норму кормления рыб определяли на основе массы тела и температуры воды по С.В. Пономареву и др., (2013). Зоотехнические исследования кормов на содержание сухого вещества, сырого протеина (ГОСТ 13496.4-93), массовой доли сырого жира (ГОСТ 13496.15-97), массовой доли сырой клетчатки (ГОСТ 12396.2-91), массовой доли сырой золы (ГОСТ 26226-95), кальция (ГОСТ 26570-95), фосфора (ГОСТ 26657-97) проводились в Испытательном центре ФНЦ БСТ РАН.

Кровь отбиралась из хвостовой артерии рыб в вакуумные пробирки с ЭДТА-К3, для биохимических - в вакуумные пробирки с активатором свертывания с последующей оценкой на автоматическом биохимическом анализаторе CS-T240 («Dirui Industrial Co., Ltd.», Китай) с использованием коммерческих биохимических наборов для ветеринарии («ДИАКОН-ДС», Россия; «Randox Laboratories Ltd», Великобритания). Морфологические показатели крови оценивались на автоматическом гематологическом анализаторе URIT-2900 VetPlus («URIT Medical Electronic Co., Ltd», Китай).

Оценка элементного состава мышечной ткани рыб (Ca, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Ni, As, Cr, K, Na, P, Zn, I, V, Co, Se, Ti, Al, Be, Cd, Pb, Hg, Sn, Sr) производилась в лаборатории АНО «Центр биотической медицины», г. Москва (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.22ПЯ05) методом атомно-эмиссионной и масс-спектрометрией с индуктивно связанной плазмой (Optima 2000 V, Elan 9000, «PerkinElmer» США). Аминокислотный состав печени определяли с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель-105 М».

Исследование метагенома кишечника проводилось с помощью метода секвенирования 16S рРНК в ЦКП «Персистенция микроорганизмов» Института клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН (г. Оренбург).

Конверсию сырого протеина и энергии корма в продукцию изучали по Левахину В.И. и др. (1999).

Результаты, полученные в исследованиях, были обработаны с применением общепринятых методик при помощи приложения «Excel 2010» и «Statistica 10.0», включая определение средней арифметической величины (M), стандартной ошибки средней (m).

2. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Результаты физико-химической и биологической экспертизы препарата ультрадисперсных частиц

В ходе биологической экспертизы препарата УДЧ SiO₂ на модели биосенсора *Escherichia coli* K12 TG1 не выявлено токсического действия на всем интервале оцениваемых дозировок от $1,5 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-1}$ г/л. При этом относительные значения биолюминесценции колебались диапазоне допустимых нетоксичных показателей – в пределах от 82,4 до 104,8 %.

3.2 Результаты лабораторных исследований

3.2.1 Результаты I эксперимента

Рост и развитие подопытной рыбы. Включение в рацион карпа УДЧ SiO₂ сопровождалось с пятой недели эксперимента увеличением массы тела в I, II и III опытных группах на 10,2 % (P≤0,05), 10,4 % (P≤0,05) и 5,6 %, соответственно. Ростостимулирующий эффект зафиксирован до конца исследования. Так на восьмой неделе эксперимента зарегистрирована максимальная разница по живой массе в I опытной группе – на 10,2 % (P≤0,05), II – 14,1 % (P≤0,05) и в III группе – 11 % (P≤0,05), относительно контроля.

Морфологический и биохимический состав крови. В ходе исследований, на фоне включения в рацион УДЧ SiO₂ зафиксировано достоверное повышение уровня гемоглобина, эритроцитов и гематокрита. В наших исследованиях зафиксировано повышение глюкозы в I опытной группе в 2 раза (P≤0,001), во II на 67,2% (P≤0,01) и в III на 41 % (P≤0,05), относительно контроля. Установлено повышение количества общего белка в сыворотке крови в опытных группах. В частности, в I группе содержание общего белка при достоверных значениях было выше контроля на 24,6 %, во II - на 19,4 % и в III - на 14,8 % (P≤0,05). Установлено повышение углеводного, белкового и жирового обменов при достоверном превосходстве отложения фосфора на 31,8 % и 23,5 % в I и II опытных группах соответственно, что подтверждено ростовыми и показателями аминокислотного состава.

Аминокислотный состав печени рыб. В печени карпа I опытной группы установлено повышение уровня аланина на 0,18 % (P≤0,05), валина на 0,21 % (P≤0,05), глицина на 0,16 % (P≤0,05), гистидина на 0,10 % (P≤0,05), лейцина + изолейцина на 0,60 % (P≤0,05), серина на 0,14 % (P≤0,05), метионина на 0,16 % (P≤0,01), пролина на 0,13 % (P≤0,05), тирозина на 0,16 % (P≤0,001) и фенилаланина на 0,19 % (P≤0,01) относительно контрольных значений.

Во II опытной группе, зафиксировано повышение уровня аланина на 0,28 % (P≤0,01), валина на 0,27 % (P≤0,01), гистидина на 0,07 % (P≤0,05), глицина на 0,20 % (P≤0,05), лейцина + изолейцина на 0,65 % (P≤0,05), серина на 0,14 % (P≤0,05), метионина на 0,15 % (P≤0,01), пролина на 0,11 % (P≤0,05), треонина на 0,15 % (P≤0,05), тирозина на 0,19 % (P≤0,001) и фенилаланина на 0,22 % (P≤0,01), относительно контрольных значений.

Подобная картина аминокислотного состава печени свидетельствует о повышении обмена веществ в организме рыб. В частности, метионин способствует участию в окислительно-восстановительных метаболических процессах, стимулирует рост и размножение клеток, повышает синтез эритроцитов и гемоглобина. Лейцин и изолейцин, способствуют гормональной активности эндокринных желез, участвуют в синтезе белков и образовании каротиноидов. Фенилаланин и тирозин участвуют в образовании гормонов щитовидной железы, повышают активность ферментов в пищеварительном тракте. Аланин является основным предшественником глюкогена и важным энергетическим субстратом для рыб. Глицин, серин и пролин участвуют в глюконеогенезе, метаболизме и переваривании жира, а также стимулируют

потребление корма. Глицин может регулирует экспрессию генов у рыб, тем самым повышая эффективность усвоения питательных веществ. Гистидин влияет на синтез ДНК и белка (Николаев С.И. и др., 2023).

При максимальной дозе введения УДЧ SiO₂ в рацион рыб достоверное повышение уровня аминокислот отмечено для метионина и пролина - на 0,09 % (P≤0,05), по сравнению с контролем.

Особенности элементного состава мышечной ткани рыб. Анализ содержания макроэлементов в мышечной ткани выявил достоверные различия между группами по величине концентраций кальция, фосфора и натрия. В частности введение УДЧ диоксида кремния в минимальной дозе стимулирует накопление кальция при выраженном дозозависимом эффекте в 2 раза (P≤0,001) при максимальной нагрузке, на фоне закономерного снижения фосфора в I опытной группе на 22,4 % (P≤0,05) и Na на 33 % (P≤0,05) в III опытной группе за счет конкуренции с этими элементами. Примечательно, отложение кремния соответствовало вводимой дозе и выразалось в повышении концентрации кремния во II группе на 15,9 % (P≤0,05) и в III на 17,4 % (P≤0,05).

В I опытной группе установлено достоверное увеличение содержания железа на 32,1 % (P≤0,05), марганца на 40,9 % (P≤0,05) и уменьшение йода на 28,6 % (P≤0,01).

Снижение уровня йода может быть связано с антагонизмом кальция, который снижает его всасывание.

Во II опытной группе также наблюдалось снижение I на 28,6 % (P≤0,01). В III опытной группе зафиксировано увеличение величины относительно контроля таких элементов как: Cr на 75 % (P≤0,05), Mn на 77,3 % (P≤0,01), Ni в 2 раза (P≤0,01) и V на 66,7 % (P≤0,05).

Конверсия корма в продукцию подопытной рыбы. Введение в рацион подопытной рыбы препарата УДЧ SiO₂ сопровождалось увеличением эффективности трансформации корма в продукцию. Во II опытной группе коэффициент конверсии протеина составлял 29,22 % и обменной энергии 15,06 %. В двух других опытных группах показатели эффективности оказались сходными. Конверсия протеина корма в контрольной группе была на 1,22-1,65% меньше, чем в опытных группах.

2.2 Результаты II эксперимента

Рост и развитие подопытной рыбы. Наличие УДЧ диоксида кремния и ростостимулирующий эффект характерен для I и III опытных групп с выраженным эффектом к пятой неделе эксперимента. В этот период живая масса карпов в I группе достигла 50,2 г, что на 8,4% (P≤0,05) превышало уровень контроля.

Ростостимулирующий эффект зафиксирован при совместном использовании комплекса аминокислот и УДЧ диоксида кремния, выраженный в повышении интенсивности роста на 6,6 % (P≤0,05), а самый высокий прирост массы рыб на 13,7 % (P≤0,05) установлен при скармливании УДЧ SiO₂ в моноварианте.

Морфологический и биохимический состав крови. Ответная реакция организма на введение УДЧ диоксида кремния сопровождалась увеличением гемоглобина на 76,6 % ($P \leq 0,001$), с аналогичным эффектом при включении комплекса аминокислот отдельно и с УДЧ диоксида кремния. По гематокриту превышение зафиксировано в I и II группе – 52,5 % ($P \leq 0,05$) и в 2,1 раз ($P \leq 0,01$) соответственно, относительно контроля. Установленное повышение уровня гемоглобина и гематокрита подтверждает данные гематостимулирующего эффекта кремния (Selvarajan V et al., 2020; Mahboub NH et al., 2022).

Установлено повышение содержания общего белка в I опытной группе на 19,4 % ($P \leq 0,05$) и фосфора на 21,6 % ($P \leq 0,05$).

Аминокислотный состав печени рыб. Включение в рацион карпа комплекса аминокислот (аргинин, метионин, лизин) ожидаемо привело к достоверному повышению уровня аргинина на 0,01 % ($P \leq 0,001$), метионина на 0,19 % ($P \leq 0,01$) и лизина на 0,11 % ($P \leq 0,001$) в печени опытной рыбы, относительно контрольных значений.

В I опытной группе, при дозе УДЧ SiO_2 200 мг/кг корма, нами зафиксирована сходная картина роста концентраций аминокислот в печени, как и в первом исследовании.

В III опытной группе динамика повышения уровня аминокислот относительно контрольных значений подтверждает синергизм действия УДЧ SiO_2 и комплекса аминокислот, что выразилось в динамичном росте заменимых и незаменимых аминокислот.

Химический состав мышечной ткани рыб. Анализ химического состава мышечной ткани рыб установил снижение количества протеина во II опытной группе на 0,56 % и в III на 3,42 % относительно контроля. Было отмечено повышение содержания жира в I и II опытных группах на 0,92 и 1,4 %, соответственно.

Особенности элементного состава мышечной ткани рыб. Анализ содержания макроэлементов в мышечной ткани рыб показал неоднозначные результаты: увеличение содержания Ca на 42,2 % ($P \leq 0,01$) зафиксировано лишь во II опытной группе, относительно контроля. В III опытной группе (УДЧ SiO_2 + комплекс аминокислот) выявлено снижение содержания Na на 25,3 % ($P \leq 0,05$) относительно контрольных показателей.

Анализируя изменения концентрации химических элементов относительно контрольных значений, сформирован микроэлементный профиль (МП) для опытных групп:

$$\text{МП I гр (УДЧ SiO}_2) = \frac{\uparrow \text{Ca, Si, Al}}{\downarrow \text{I, Se, Zn, Sr, Pb}} \quad \text{МП II гр (КА)} = \frac{\uparrow \text{Ca, Mn, Ni, Sr}}{\downarrow \text{Fe, Cu, I, Se, Zn}}$$

$$\text{МП III гр (УДЧ SiO}_2 + \text{КА)} = \frac{\uparrow \text{Si, Cr, Al}}{\downarrow \text{Na, I, Se, Zn}}$$

Таксономический состав микробиома кишечника рыб. Описание таксономического состава микробиома кишечника карпа в норме выявило широкое разнообразие микробиоты, основными филумами являлись *Bacteroidetes*, *Fusobacteria*, *Proteobacteria*. На уровне родов доминировали *Aeromonas* (0,77-48,71%), *Brevinema* (32,78-65,49%), и *Cetobacterium* (2,32-15,05%).

Статистически значимые изменения были выявлены только при добавлении в рацион аминокислот. Отмечалось уменьшение доли бактерий рода *Vibrio* и увеличение доли микроорганизмов рода *Aeromonas*.

Конверсия корма в продукцию подопытной рыбы. В I опытной группе зафиксирована самая высокая эффективность превращения протеина и энергии корма в продукцию подопытной рыбы, где коэффициент конверсии протеина составлял 29,17 % и обменной энергии 14,99 % относительно контроля.

3.2.3 Результаты III эксперимента

Рост и развитие подопытной рыбы. В ходе исследований установлено, что включение в рацион рыб микроэлементов (йод, селен и цинк) не отразилось на интенсивности роста карпа (рисунок 1). Превосходством в динамике обладала группа с биоминеральным комплексом (УДЧ SiO₂+Бифидобиом+(йод, селен и цинк)).

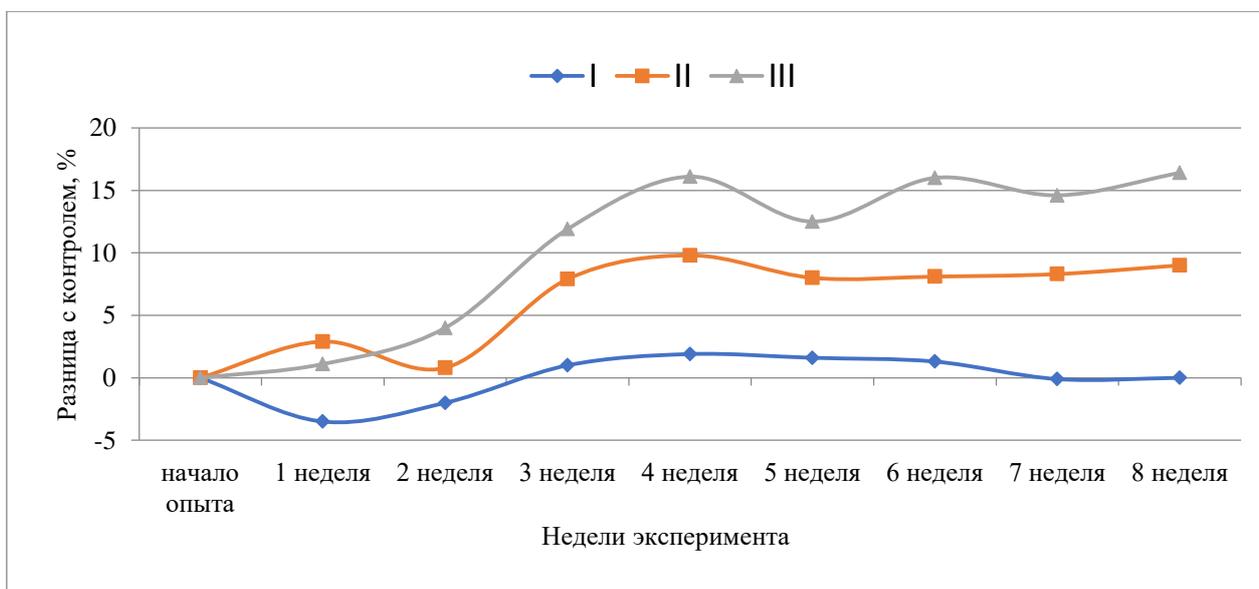


Рисунок 1 - Разница в живой массе рыб между опытными и контрольной группами, %

Это выражалось в достоверной разнице: на третьей неделе – на 11,9 % ($P \leq 0,05$), на четвертой – на 16,1 % ($P \leq 0,01$), на пятой - на 12,5 % ($P \leq 0,01$), на шестой – на 16,0 % ($P \leq 0,01$), на седьмой - на 14,6 % ($P \leq 0,01$) и на восьмой – на 16,4 % ($P \leq 0,01$).

Морфологический и биохимический состав крови. В ходе анализа морфологических показателей крови рыб установлено повышение содержания гемоглобина во всех опытных группах относительно контроля на 6,9-16,2 %

($P \leq 0,05$). При этом уровень эритроцитов был выше контроля лишь во II опытной группе на 43,9 % ($P \leq 0,01$). В опытных группах зафиксировано повышение содержания глюкозы на 24,4-56,5 % ($P \leq 0,001$) относительно контроля. При этом повышение содержания общего белка отмечалось только в III опытной группе – на 27,6 % ($P \leq 0,05$). Повышение мочевой кислоты установлено только во II опытной группе на 49 % ($P \leq 0,05$) относительно контроля. Концентрация фосфора в I опытной группе была ниже контроля на 15,3 % ($P \leq 0,01$), а во II опытной группе – выше на 12,9 % ($P \leq 0,01$).

Особенности элементного состава мышечной ткани рыб. Включение в рацион рыб УДЧ SiO_2 , пробиотика Бифидобиом и микроэлементов (Zn, Se, I) существенно отразилось на концентрации химических элементов в мышечной ткани рыб.

Если обобщить изменения концентрации химических элементов, то МП для опытных групп будет выглядеть следующим образом:

$$\text{МП I гр (микроэлементы)} = \frac{\uparrow Zn, B, Co, I, Se, Ca, Mn, Fe}{\downarrow Ni, Al}$$

$$\text{МП II гр (УДЧ } SiO_2 \text{ + пробиотик)} = \uparrow Ca, Zn, Fe, I, Cu, B, Mn, Se, Cr, Ni, Li, Co, Al$$

$$\text{МП III гр (УДЧ } SiO_2 \text{ + пробиотик + микроэлементы)} = \frac{\uparrow Ca, Se, Cr, Co, Ni, Fe, Mn, I, Zn}{\downarrow Al}$$

Таксономический состав микробиома кишечника рыб. Добавление в рацион карпа йода, селена и цинка (I опытная группа) существенно не влияло на соотношение бактериальных таксонов в микробиоте кишечника карпа на уровне филума и класса (рисунок 4).

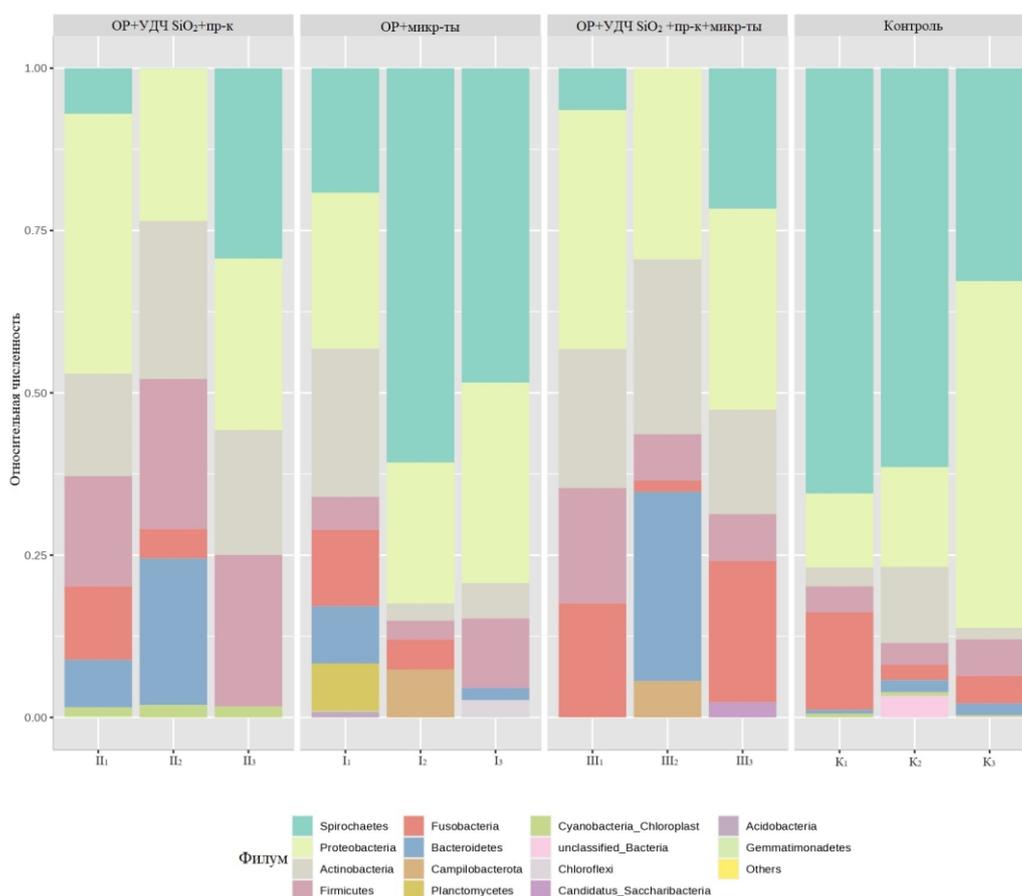


Рисунок 4 - Микробиом кишечника подопытных рыб на уровне филума

Сочетанное введение ультрадисперсных частиц оксида кремния и пробиотика Бифидобиом приводило к увеличению доли *Actinobacteria* до 15,80-23,65 % (по сравнению с 1,78-11,76% в контроле), *Bacilli* от 3,01-20,64% (по сравнению с 0,37-3,36% в контроле); существенно снижалась доля облигатно анаэробных бактерий классов *Fusobacteria* до 0-11,32 % (по сравнению с 2,32-15,05% в контроле) и *Spirochaetia* до 0,06-29,30% (по сравнению с 32,78-65,49% в контроле), что свидетельствует о более активном размножении бактерий участвующих в секреции различных ферментов (протеаз, липаз и целлюлаз) расщепляющих белки, жиры и полисахариды на более простые соединения.

Добавление в рацион карпа биоминерального комплекса (III опытная группа), приводило к существенным изменениям соотношений бактериальных таксонов в микробиоте кишечника карпа на всех таксономических уровнях (рисунок 5) при определенном аналогизме качественных показателей со II опытной группой.



Рисунок 5 - Микробиом кишечника подопытных рыб на уровне рода

В частности, наблюдалось существенное увеличение доли филума *Actinobacteria* до 16,08-26,92% (по сравнению с 1,78-11,76% в контроле) и значительное снижение доли филума *Spirochaetes* до 0-21,63% (по сравнению с 32,78-65,49% в контроле). На уровне классов значительно возростала доля *Actinobacteria* до 16,08-26,92% (по сравнению с 1,78-11,76% в контроле), *Betaproteobacteria* до 3,01-20,64% (по сравнению с 0,25-6,32% в контроле); существенно снижалась доля облигатно анаэробных бактерий класса *Spirochaetia* до 0-21,63% (по сравнению с 32,78-65,49% в контроле). На уровне семейств существенно снижалась доля *Brevinemataceae* до 0-21,63% (по сравнению с 32,78-65,49% в контроле); существенно возросли доли представителей семейств *Corynebacteriaceae* до 0,78-9,26% (по сравнению с 0-4,88% в контроле), *Microbacteriaceae* до 5,28-22,60% (по сравнению с 0,57-1,38% в контроле), *Propionibacteriaceae* до 0,63-4,89% (по сравнению с 0,03-2,07% в контроле). На уровне родов значительно снижалась доля *Brevinema* до 0-21,63% (по сравнению с 32,78-65,49% в контроле); возросли доли родов *Aurantimicrobium* до 5,28-20,52% (по сравнению с 0,57-1,38% в контроле),

При включении в рацион испытуемых добавок сохранность рыбы повышалась до 96,4 %, расход корма на 1 кг прироста снижался на 0,23 кг и себестоимость 1 кг товарного карпа на 3 рубля при рентабельности производства на 2,65 %.

4 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Введение в рацион годовиков карпа, при содержании сырого протеина 23 %, препарата УДЧ диоксида кремния, в условиях тепловодного садкового хозяйства сопровождается повышением интенсивности роста рыбы на 10-12%, при оптимальной дозировке 200 мг/кг корма. Данный показатель может быть увеличен через совместное скармливание УДЧ SiO₂, пробиотика Бифидобиом и органических солей микроэлементов (Zn, Se, I) до 16-17 %. При этом эффективность трансформации протеина корма в продукцию повышается на 4,4%, энергии на 0,65%.

2. Дополнительное включение в рацион сеголетков карпа, содержащий УДЧ диоксида кремния, комплекса аминокислот, в составе лизина, метионина и аргинина, не сопровождается увеличением продуктивности рыбы. При этом отмечается повышение конверсии протеина корма на 1%, но снижается эффективность трансформации энергии в продукцию на 2,1%.

3. Испытуемые кормовые добавки оказывают влияние на состав продукции карпа. В частности, скармливание комплекса аминокислот (лизин, метионин, аргинин) сопровождается повышением содержания жира в мышечной ткани карпа на 1,4%, что имеет место на фоне снижения уровня протеина на 3,4%. Скармливания препарата УДЧ диоксида кремния сопровождается увеличением доли жира в мышечной ткани карпа на 0,62-0,92%. Вместе с тем совместное скармливание УДЧ диоксида кремния, пробиотика Бифидобиом и минеральных веществ (Zn, Se, I) не приводит к изменению химического состава мышечной ткани карпа.

4. В ходе исследований, на фоне совместного и отдельного включения в рацион УДЧ SiO₂ и комплекса аминокислот, зафиксировано достоверное повышение уровня гемоглобина, гематокрита, глюкозы. Включение в рацион УДЧ SiO₂, пробиотика Бифидобиом с органическими солями (Zn, Se, I) сопровождается повышением содержания гемоглобина и глюкозы в сыворотке крови, при повышении содержания общего белка до 27,6 %.

5. Включение в рацион УДЧ SiO₂ сопровождалось повышением Si, Al и снижением содержания Sr на 32 % и Pb на 66,7 %. Добавление в состав основного рациона только аминокислот способствует повышению содержания Ca, Mn, Ni, Sr с понижением Fe на 24,3 % и Cu на 27,4 %, в свою очередь совместное использование УДЧ SiO₂ и комплекса аминокислот сопровождается увеличением в мышечной ткани содержания Si, Al, Cr, с понижением содержания Na на 25,3 %. Следует отметить, что во всех опытных группах было отмечено достоверное снижение Zn, Se и I. Дополнительное включение органических солей (Zn, Se, I) в состав рациона сопровождается повышением величин концентраций Fe, Zn, I, Mn, Se, Co с одновременным снижением Ni и

Al на 33,3 и 29,7 %, соответственно. Скармливание УДЧ SiO₂ и пробиотика Бифидобиом приводит к увеличению содержания Fe, Zn, Cu, B, Cr, I, Mn, Ni, Se, Co, Li и Al. В свою очередь сочетанное применение УДЧ SiO₂, пробиотика Бифидобиом и минеральных веществ (Zn, Se, I) сопровождалось увеличением содержания Fe, Zn, B, Cr, I, Mn, Ni, Se, Cd при понижении содержания Al на 43,1 %.

6. Применение УДЧ оксида кремния совместно с пробиотиком «Бифидобиом» приводило к изменениям в метагеноме кишечника карпов. Отмечалось существенное увеличение доли филумов *Actinobacteria*, *Firmicutes* и значительное снижение доли филума *Spirochaetes*. На уровне рода это выражалось в снижении доли бактерий таксонов *Aeromonas*, *Brevinema* и увеличении доли родов *Micrococcus* и *Pseudomonas*. Снижения значений продуктивности рыбы на фоне изменений в микробиоме кишечника не отмечалось.

7. Включение комплекса УДЧ SiO₂, пробиотика Бифидобиом и минеральных веществ (Zn, Se, I) в рацион карпа, с содержанием 23 % сырого протеина, в условиях тепловодного садкового хозяйства позволяет увеличить интенсивность роста и сохранность рыбы, что при снижении расхода корма на 1 кг прироста обеспечивает снижение себестоимости и способствует увеличению рентабельности производства товарного карпа на 2-3 %.

5 ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

В целях повышения эффективности производства продукции рыбоводства с условием соблюдения биобезопасности и высокими показателями сохранности молоди рекомендуем в рацион годовиков с содержанием сырого протеина 23% карпа в условиях тепловодного садкового хозяйства вводить биоминеральный комплекс состоящий из ультрадисперсных частиц SiO₂ (200 мг/кг), пробиотика Бифидобиом (0,7 мг/кг) + микроэлементов (I (0,1 мг/кг) + Se (0,2 мг/кг) + Zn (1,36 мг/кг), что обеспечит увеличение товарной массы на 10-12%, при росте рентабельности производства на 2-3 %.

6 ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ

Тема диссертационного исследования перспективна к дальнейшей разработке в части:

- формирования новых подходов к управлению метаболизмом в организме объектов рыбоводства России с использованием комплекса биологически активных веществ различной природы;
- исследований по оценке действия комплекса биологически активных веществ различной природы на микробиоту пищеварительного тракта рыбы.

7. СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки

1. **Аринжанова, М.С.** Ультрадисперсные препараты металлов-микроэлементов: опыт использования и перспективы применения в аквакультуре (обзор) / М. С. Аринжанова // Животноводство и кормопроизводство. – 2022. – Т. 105. – № 1. – С. 8-30. – DOI 10.33284/2658-3135-105-1-8.

2. **Аринжанова, М.С.** Влияние ультрадисперсных частиц диоксида кремния на рост и аминокислотный состав печени рыб / М. С. Аринжанова, Е. П. Мирошникова, А. Е. Аринжанов, Ю. В. Килякова // Животноводство и кормопроизводство. – 2022. – Т. 105. – № 2. – С. 8-16. – DOI 10.33284/2658-3135-105-2-8.

3. **Аринжанова, М.С.** Биологическое действие ультрадисперсных частиц диоксида кремния и комплекса аминокислот на организм карпа / М. С. Аринжанова, Е. П. Мирошникова, А. Е. Аринжанов, Ю. В. Килякова // Ветеринария и кормление. – 2022. – № 5. – С. 4-7.

4. **Аринжанова, М.С.** Микроэлементный состав мышечной ткани карпа при включении в рацион ультрадисперсных частиц диоксида кремния и комплекса аминокислот / М. С. Аринжанова, Е. П. Мирошникова, А. Е. Аринжанов, Ю. В. Килякова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 5(97). – С. 217-222. – DOI 10.37670/2073-0853-2022-97-5-217-222.

5. **Аринжанова, М.С.** Биологическое действие ультрадисперсных частиц SiO_2 , пробиотического препарата Бифидобиом и комплекса микроэлементов на организм карпа / М. С. Аринжанова, Е. П. Мирошникова, А. Е. Аринжанов, Ю. В. Килякова // Животноводство и кормопроизводство. – 2023. – Т. 106. – № 1. – С. 48-66. – DOI 10.33284/2658-3135-106-1-48.

6. **Аринжанова, М.С.** Влияние ультрадисперсных частиц SiO_2 и пробиотика Бифидобиом на продуктивность карпа и качество воды в системах замкнутого водоснабжения / М. С. Аринжанова, Е. П. Мирошникова, А. Е. Аринжанов, Ю. В. Килякова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 3(101). – С. 365-370. – DOI 10.37670/2073-0853-2023-101-3-365-370.

7. **Аринжанова, М.С.** Влияние комплекса аминокислот и ультрадисперсных частиц диоксида кремния на рост рыб и аминокислотный состав печени / М. С. Аринжанова, Е. П. Мирошникова, А. Е. Аринжанов, Ю. В. Килякова // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 2. – С. 82-85. – DOI 10.28983/asj.y2022i2pp82-85.

Патенты

8. Патент № 2789437 С1 Российская Федерация, МПК А23К 50/80. Способ повышения продуктивности карповых рыб : № 2022121179 : заявл. 04.08.2022 : опубл. 02.02.2023 / Е. П. Мирошникова, М. С. Аринжанова, А. Е. Аринжанов, Ю. В. Килякова ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Оренбургский государственный университет".

9. Патент № 2792439 С1 Российская Федерация, МПК А23К 50/80. Способ повышения продуктивности и стимуляции иммунного ответа организма рыб : № 2022124045 : заявл. 12.09.2022 : опубл. 22.03.2023 / М. С. Аринжанова, Е. П. Мирошникова, А. Е. Аринжанов, Ю. В. Килякова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Оренбургский государственный университет".

Публикации в других научных изданиях и в материалах научно-практических конференций

10. **Аринжанова, М. С.** Оценка действия ультрадисперсных частиц кремния в кормлении карпа / М. С. Аринжанова // 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. 14-16.

11. **Аринжанова, М. С.** Влияние ультрадисперсных частиц кремния на обмен макроэлементов в мышечной ткани рыб / М. С. Аринжанова, Е. П. Мирошникова, А. Е. Аринжанов, Ю. В. Килякова // Актуальные проблемы прикладной биотехнологии и инженерии : Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Оренбург, 21 июня 2022 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2022. – С. 156-159.

12. **Аринжанова М.С.** Обмен веществ и продуктивность карпа при использовании в кормлении ультрадисперсных частиц диоксида кремния / М.С. Аринжанова // Наука будущего – наука молодых: Материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции, Оренбург, 09–10 ноября 2022 года. – Оренбург: изд-во ФНЦ БСТ РАН, 2022. – С. 88-92.

13. **Аринжанова М.С.** Многокомпонентная кормовая добавка для рыб / М.С. Аринжанова, С.В. Лебедев // Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации : материалы VIII национальной научно-практической конференции, Керчь, 04–06 октября 2023 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное агентство по рыболовству, ФГБОУ ВО Калининградский государственный технический университет, ФГБОУ ВО Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. – Керчь: Амирит, 2023. – С. 3-8.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Аринжанова Мария Сергеевна

Влияние обеспеченности кремнием на продуктивность и обмен веществ у карпа

4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата биологических наук

Подписано в печать 25 октября 2023 г.
Формат 60×90/16. Объем – 1,0 усл. печ. л
Тираж 100 экз. Заказ № 25

Издательский центр ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН.
460000, г. Оренбург, ул. 9 января, 29