

**РЕСПУБЛИКАНСКОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ ПО ЖИВОТНОВОДСТВУ»**

УДК 639.3.034:535.21

**ЛИМАН
МУСТАФА СУЛЕЙМАН**

**ВЫРАЩИВАНИЕ РЫБОПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА
РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

по специальности 06.04.01 – рыбное хозяйство и аквакультура

Жодино, 2018

Работа выполнена в Учреждении образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»

Научный

руководитель: **Барулин Николай Валерьевич,**
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой, УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», кафедра ихтиологии и рыбоводства.

**Официальные
оппоненты:**

Козлова Тамара Васильевна,
доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры, УО «Гродненский государственный аграрный университет», кафедра микробиологии и эпизоотологии;
Астренков Андрей Валерьевич,
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, УО «Полесский государственный университет», кафедра промышленного рыбоводства и переработки рыбной продукции.

**Оппонирующая
организация:**

РДУП «Институт рыбного хозяйства» РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству».

Защита состоится «14» декабря 2018 года в 10⁰⁰ часов на заседании совета по защите диссертаций Д 01.49.01 при РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству» по адресу: 222163, Республика Беларусь, Минская область, г. Жодино, ул. Фрунзе, 11, тел. (01775) 2- 27-99, факс (01775) 3-52-83, e-mail: belniig@tut.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству».

Автореферат разослан «__» 2018 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций _____ М.А. Горбуков

ВВЕДЕНИЕ

Искусственное культивирование рыбы позволяет обеспечивать человечество полноценными пищевыми продуктами (А.И. Козлов, Т.В. Козлова, 2013). Государственной программой развития аграрного бизнеса на 2016 – 2020 годы предусмотрено значительное увеличение объемов выращивания рыбы в условиях аквакультуры, в т.ч. за счет развития рыбоводных промышленных комплексов работающих по принципу установок замкнутого водоснабжения и выращивания в них ценных объектов аквакультуры (Н.В. Барулин, 2015).

В настоящее время форелеводство является интенсивно развивающейся отраслью рыбоводства (Е.В. Таразевич и др., 2014). В Могилевской, Минской и Витебской областях реализованы проекты по созданию рыбокомплексов для выращивания радужной форели (Н.В. Барулин, 2015). Однако необходимо учесть, что производство товарной рыбы напрямую зависит от обеспеченности рыбхозов высококачественным жизнестойким посадочным материалом (Н.Н. Гадлевская, А.В. Астренков, 2012; Н.В. Барулин, 2015).

Оптическое излучение низкой интенсивности получило широкое распространение и применение в медицине и в различных направлениях сельского хозяйства (М.В. Шалак и др., 2017; И.П. Шейко и др., 2010; Н.В. Барулин 2015). В акультуре данный тип излучения носит экспериментальный характер. Однако, радужная форель, как удобный и популярный объект для аквакультуры, а также для сельскохозяйственных и биологических исследований, представляет широкие возможности для изучения влияния оптического излучения низкой интенсивности на рост и развитие рыб. Кроме того, используемые в аквакультуре дозировки оптического излучения основываются на однократном воздействии, в то время как особенности инкубации радужной форели позволяют изучить влияние различных режимов кратности оптического излучения на эмбриональное и постэмбриональное развитие рыб в аквакультуре.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами, темами. Тема диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям научных исследований Республики Беларусь на 2016 – 2020 годы (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 12.03.2015 г. № 190): пункт 00006 – «Электроника и фотоника»; пункт 00009 – «Агропромышленный комплекс и продовольственная безопасность», является частью научных исследований кафедры ихтиологии и рыбоводства УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», выполнялась в рамках международного договора о подготовке специалиста с высшим образованием (договор № 351 от 05.01.2015 г. и договор № 360 от 18.06.2015 г.). Составная часть иссле-

дований выполнялась в рамках проектов инновационного фонда Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь (№ государственной регистрации 20131832 и 20150265).

Цель и задачи исследований. Цель диссертационной работы заключалась в рыбоводно-биологическом обосновании использования оптического излучения низкой интенсивности для повышения эффективности выращивания рыбопосадочного материала радужной форели.

Для реализации поставленной цели решались *следующие задачи*:

- определить оптимальные режимы времени и кратности воздействия оптическим излучением низкой интенсивности красной области спектра на эмбрионы радужной форели в условиях *in vitro*;
- изучить зависимость регуляторного действия оптического излучения низкой интенсивности красной области спектра на эмбрионы и личинки радужной форели в условиях *in vitro* от температурного режима инкубации и когерентности излучения;
- исследовать влияние оптимальных параметров и условий воздействия оптического излучения низкой интенсивности красной области спектра на рыбопосадочный материал радужной форели в условиях *in situ*;
- определить экономическую эффективность использования оптического излучения низкой интенсивности в технологии аквакультуры рыбопосадочного материала лососевых рыб.

Объектом исследований являлись оплодотворенная икра (эмбрионы), предличинки, личинки, мальки, гомогенат желточного мешка эмбрионов, сыворотка крови, мышечная ткань однополый (самки) радужной форели. Предмет исследований – особенности физиологического ответа радужной форели на воздействие оптическим излучением низкой интенсивности красной области спектра, зависимость наблюдаемых стимулирующих эффектов от физических характеристик оптического излучения.

Научная новизна

1. Впервые установлено, что регуляторное действие оптического излучения низкой интенсивности красной области спектра на объекты аквакультуры (радужная форель) зависит от кратности воздействия и температурного режима, при котором осуществляется воздействие на инкубируемые эмбрионы.

2. Доказано, что эффект на эмбрионы и личинки радужной форели может оказывать как поляризованное излучение полупроводникового лазера, так и поляризованное излучение светодиодного источника, степень когерентности которого почти в 10 раз меньше.

3. Разработаны новые параметры и условия стимулирования рыбоводно-биологических показателей посадочного материала радужной форели, основанные на ежедневном воздействии оптическим излучением низкой интенсивности (красная область спектра $\lambda = 630$ нм, длина когерентности $L_{\text{ког}} \sim 26$ мкм) на эмбрионы рыб на стадии глазка при ежесуточном воздействии в течение 20 минут на протяжении 5 суток,

при плотности мощности оптического излучения $3,0 \text{ мВт/см}^2$, при температуре инкубации $8 \text{ }^\circ\text{C}$.

Положения, выносимые на защиту

1. Определение оптимальных режимов времени (20 минут), кратности (ежесуточно, в течении 5 суток) и температуры инкубации ($8 \text{ }^\circ\text{C}$) при воздействии оптическим излучением низкой интенсивности красной области спектра ($\lambda = 630 \text{ нм}$, длина когерентности $L_{\text{ког}} \sim 26 \text{ мкм}$, плотность мощности $3,0 \text{ мВт/см}^2$), обеспечивающих повышение индивидуального времени жизни эмбрионов и личинок радужной форели на $26,6 \%$ и скорости нарастания эффекта на выживаемость в $3,2$ раза.

2. Доказательство способности оказания эффекта поляризованного излучения полупроводникового лазера и поляризованного излучения светодиодного источника, степень когерентности которого в 10 раз меньше, на эмбрионы и личинки радужной форели при регистрации активности ферментов, индивидуального времени жизни и скорости нарастания эффекта на выживаемость.

3. Научно обоснованные оптимальные параметры и условия достоверного увеличения рыбоводно-биологических показателей посадочного материала радужной форели, повышающие среднюю массу рыбопосадочного материала на $26,9 - 32,6 \%$ (в зависимости от возраста), ихтиологические промеры на $5,2 - 11,5 \%$ (в зависимости от параметра), относительную скорость роста массы на $27,7$ п.п., терморезистентность на $26,7 \%$, нейрофармакологическую устойчивость на $38,9 \%$, фоновую реакцию меланофоров до $8,5 \%$, количество эритроцитов на $1,8$ п.п., снижающие активность аспаратаминотрансферазы на $10,3 \%$ и аланинаминотрансферазы на $38,7 \%$, основанные на ежедневном воздействии оптическим излучением низкой интенсивности красной областью спектра ($\lambda = 630 \text{ нм}$), длиной когерентности ($L_{\text{ког}}$) $\sim 26 \text{ мкм}$, ежесуточно, в течение 20 минут на протяжении 5 суток, при плотности мощности $3,0 \text{ мВт/см}^2$, при температуре инкубации $8 \text{ }^\circ\text{C}$.

4. Экономическая эффективность применения оптического излучения низкой интенсивности в технологии выращивания посадочного материала радужной форели в аквакультуре, выразившаяся в получении дополнительной прибыли $395,9$ рублей $10\ 000$ экземпляров личинок.

Личный вклад соискателя ученой степени.

Диссертационная работа выполнена лично автором и является результатом законченных научных исследований по рыбоводно-биологическому и экономическому обоснованию использования оптического излучения лазерных и светодиодных источников низкой интенсивности красной области спектра для повышения эффективности (технологии) выращивания рыбопосадочного материала радужной форели в аквакультуре. Личный вклад автора состоял в организации и проведении опытов; регистрации и сборе всех результатов исследований, их биометрической обработке, анализе и публикации полученных результатов. Научным руководителем Барулиным Н.В. была обосно-

вана цель и задачи диссертационных исследований, разработана методика исследований и оказывалось содействие при проведении биохимических исследований. Отдельные этапы исследований выполнялись при содействии магистрантов кафедры ихтиологии и рыбоводства УО БГСХА Новиковой Е.Г., Атрошенко Л.О., Юрченко Т.П. (научный руководитель Барулин Н.В.), управляющего рыбоводным промышленным комплексом УО БГСХА Некрылова А.В., заведующего химико-экологической лаборатории УО БГСХА Барбасова Н.В., за что автор выражает им искреннюю благодарность.

Вклад автора в публикации [1 – 11] заключался организации и проведении опытов; регистрации и сборе всех результатов исследований, их биометрической обработке, анализе и подготовке проекта рукописи. Вклад автора в публикации [12 – 15] заключался в предоставлении результатов собственных исследований, как составной части публикации. Вклад соавторов Барулина Н.В. и Плавского В.Ю. в публикации [1 – 11] заключался в обсуждении полученных результатов и в редактировании проекта рукописи публикации. Вклад соавтора Плавского В.Ю. в публикации [12 – 14] заключался в обобщении результатов исследований. Вклад соавтора Барулина Н.В. в публикацию [15] заключался в обобщении результатов исследований. Вклад других соавторов в работы [12 – 15], заключался в предоставлении или обсуждении своей части исследований, как составной части публикации.

Апробация результатов диссертации и информация об использовании ее результатов. Основные результаты исследований были доложены и обсуждены на XIX Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства» (Горки, 2016); VI Международной научной конференции молодых ученых Сети центров аквакультуры стран Центральной и Восточной Европы (Горки, 2017); XX Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства» (Горки, 2017); 17-й Международной научной конференции «Сахаровские чтения 2017 года: экологические проблемы XXI века» (Минск, 2017); XX Международной научно-практической конференции «Современные технологии сельскохозяйственного производства» (Гродно, 2017); 2nd International Aquaculture Conference «Recirculating Aquaculture System (RAS): Life Science and Technologies» (Daugavpils, 2017); VIII Съезде Российского фотобиологического общества и Всероссийской конференции «Современные проблемы фотобиологии» (Шепси, Пушино, 2017); 2nd International Symposium «Physics, engineering and technologies for biomedicine» (Москва, 2017); 17th Congress European Society for Photobiology (Pisa, 2017); заседании научно-технического совета по зоотехнии и ветеринарной медицины факультета биотехнологии и аквакультуры УО «Белорус-

ская государственная сельскохозяйственная академия» (г. Горки, 2018).

Опубликование результатов диссертации. По результатам диссертационной работы опубликовано 7 статей (3,5 авторских листов) в научных изданиях (в т.ч. 2 в зарубежных изданиях (в т.ч. 1 в издании, входящем в базу Web of Science (Zoological Record))), соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, а также 4 статьи и 3 тезиса в сборниках и материалах научных конференций. По результатам исследований опубликованы рекомендации производству.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, основной части из трех глав, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объем диссертации составляет 143 страницы. В состав работы включено 66 таблиц, 39 рисунков и 6 приложений общим объемом 40 страниц. Библиографический список, общим объемом 24 страницы, включает 316 наименований литературы, в том числе 275 на английском языке и 15 публикаций соискателя.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Обзор литературы. В трех разделах главы представлен литературный обзор по теме диссертации, отражена биологическая характеристика радужной форели, описано влияние лазерного и светодиодного излучения на биологические объекты, использование оптического излучения в медицине, растениеводстве, животноводстве и аквакультуре. Проведен анализ экспериментальных сведений о влиянии температуры на живые организмы и влиянии температуры на эффективность использования оптического излучения в медицине, ветеринарии и сельском хозяйстве. Отражены проблемные и нерешенные вопросы в указанных направлениях.

Материал и методика исследований. Исследования выполнялись на базе кафедры ихтиологии и рыбоводства и рыбоводного промышленного комплекса УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» в течении 2015 – 2018 гг. согласно схеме исследований (рисунок 1).



Рисунок 1 – Общая схема исследований

Технология выращивания радужной форели основана на технологии замкнутого водоснабжения (УЗВ). Объектом исследований являлись однополюсные эмбрионы (оплодотворенная икра на стадии глазка) самок радужной форели, которые в процессе исследования переходили на стадию свободного эмбриона, а затем на стадию экзогенного питания. Оплодотворенная икра на стадии глазка закупалась в рыбоплотнике Viviers de Sarrance (Франция).

В качестве источника оптического излучения использовали полупроводниковый лазер (LD) фототерапевтического аппарата «Lotos» (красная область спектра, длина волны $\lambda = 650$ нм, длина когерентности $L_{\text{ког}} \sim 211$ мкм) разработанного в КБ «Люзар» и Институте физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, а также матрицу светодиодных источников (LED) оптического прибора «Стронга» (красная область спектра $\lambda = 630$ нм, длина когерентности $L_{\text{ког}} \sim 26$ мкм) разработанного в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии и в Институте физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси. Воздействие на эмбрионы осуществляли в течении $1^1 - 5$ дней по $1 - 30$ минут в день, при плотности мощности $3,0$ мВт/см².

Для исследования влияния оптического излучения на эмбриональное и постэмбриональное развитие радужной форели в условиях *in*

in vitro, после двухсуточной адаптации эмбрионов (оплодотворенной икры на стадии глазка) в УЗВ инкубационного цеха, формировались опытные и контрольные группы, которые помещались в отдельные чашки Петри и переносились в холодильник, где проходила их дальнейшая двухсуточная адаптация. Далее эмбрионы подвергались оптическому излучению (опытные группы) или не подвергались, но находились в идентичных условиях (контрольная группа). В исследуемых группах ежедневно осуществлялась замена воды. Источником воды являлась артезианская скважина. Вода предварительно подвергалась обезжелезиванию, обеззараживанию (УФ-облучение) и температурному выравниванию. Контроль за выживаемостью осуществляли путем ежедневной регистрации количества живых и мертвых личинок в исследуемых группах. Мертвые личинки после регистрации утилизировались. На основании полученных данных по количеству живых и мертвых личинок осуществляли расчет средней выживаемости за период проведения эксперимента, декадной динамики средней выживаемости в течении эксперимента, а также продолжительность жизни 2/3 личинок и индивидуального времени жизни.

Для исследования влияния оптического излучения на выживаемость эмбрионов и личинок радужной форели при разной температуре в условиях *in vitro*, было сформировано пять т.н. «температурных» исследуемых групп, включающих контрольную и опытные группы в трех повторностях для каждой температуры: 8, 9, 10, 11, 12 °С. Регулирование температуры в исследуемых группах осуществлялось путем их помещения в холодильник на соответствующую полку по высоте.

Для исследования роли когерентности и периодичности оптического излучения низкой интенсивного в его взаимодействии с эмбрионами рыб (оплодотворенной икрой) радужной форели воздействие осуществляли в течении 5 дней (через 0, 24, 48, 72 и 96 часов с момента начала эксперимента) по 20 минут в день, при плотности мощности оптического излучения 3,0 мВт/см². После воздействия на эмбрионы оптическим излучением они незамедлительно возвращались в холодильник. Определение активности ферментов эмбрионов радужной форели осуществляли в центрифугированных гомогенатах, приготовленных из целых икринок. В полученном гомогенате определялась активность лактатдегидрогеназы (LDH) и креатиновой киназы (СК).

Для изучения влияния отобранных оптимальных режимов оптического излучения на рыбоводно-биологические показатели рыбопосадочного материала радужной форели в производственных условиях инкубационного цеха (*in situ*) осуществляли регистрацию выживаемости, размерно-весовых показателей, жизнестойкости, гематологических и биохимических показателей крови, химического состава мышечной ткани.

Регистрацию размерно-весовых показателей молоди радужной форели осуществляли по следующим параметрам: средняя масса, общая длина, длина по Смитту, промысловая длина, длина головы, длина ту-

ловища, высота тела, антедорсальное расстояние, антевентральное расстояние. На основании полученных размерно-весовых показателей осуществляли расчет стандартного коэффициента упитанности лососевых рыб, индекса прогонистости, индекса большеголовости, индекса высокоспинности, абсолютного среднесуточного прироста, относительной скорости роста.

Исследование жизнестойкости включало в себя проведение следующих тестов над изучаемым рыбопосадочным материалом: тест на термоустойчивость, нейрофармакологическое тестирование, тест оценки фоновой реакции меланофоров. Фото съемка осуществлялась цифровым фотоаппаратом Sony Cyber-shot DSC-P200. Регистрацию реакции пигментных клеток на полученных изображениях осуществляли при использовании программы FishGui на базе MATLAB, которая регистрировала параметры окраски в формате цветовых моделей RGB и HSV и определяла доминирующую длину волны окраски рыбы.

Окрашивание мазков крови осуществлялось по методу Романовского – Май Грюнвальда. Для биохимических исследований отбирали венозную кровь. Для получения сыворотки крови антикоагулянт не добавляли. Сыворотку крови для биохимический исследований получали из венозной крови после свертывания, путем центрифугирования при 3000 оборотах в минуту в течении 5 минут. В полученной сыворотке крови определялась активность щелочной фосфатазы, лактатдегидрогеназы, аспартатаминотрансферазы, аланинаминотрансферазы, γ -глутамилтрансферазы, концентрация мочевины, кальция, холестерина, креатинина.

У исследуемых рыб осуществляли исследования химического состава мышечной ткани. Массовую долю белковых веществ определяли по ГОСТ 7636-85. Содержание фосфора определяли по ГОСТ 26657-97. Содержание калия определяли по ГОСТ 30504-97. Содержание сухого вещества и влаги определяли по ГОСТ 30504-97.

Для статистической обработки использовали статистическую программу R с пакетами PMCMR и RCommander, MASS, ggplot2, mgcv, drc, corrplot и др., а также программную среду Circos. Для определения нормальности распределения данных использовали метод построения диаграммы, квантильный график и критерий Шапиро-Уилка. Для определения однородности групповых дисперсий использовали F – тест для двух выборок и тест Ливина для трех и более выборок. Для оценки различий у исследуемых групп использовали параметрические критерии: тест Стьюдента (для двух групп) и тест Тьюки (для трех и более групп). При несоблюдении условий применения параметрических критериев, мы использовали непараметрические критерии: U-критерий Манна-Уитни (для двух исследуемых групп) и тест Ньюмена-Кейлса (для трех и более исследуемых групп). Для создания обобщенной линейной модели применяли функцию glm() в программе R. Качество построенных моделей сравнивали, используя девианс статистику. Проверку различий в повторностях эксперимента осуществляли при использо-

вании логрангового критерия и теста Гехана-Вилкоксона в модификации Пето. Для анализа выживаемости реализовывали построение обобщенной линейной модели GLM. Тип функции модели выбирали, на основании минимальной величины AIC-критерия при сравнении двух возможных моделей. Для построения нелинейных моделей регрессии, используемых для аппроксимации зависимостей доза-эффект использовали пакет `dlc` программной среды R.

РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Определение оптимального режима времени и кратности воздействия излучением низкой интенсивности красной области спектра на эмбрионы радужной форели в условиях *in vitro*. Проведенные исследования установили, что время и кратность воздействия оптическим излучением способны регулировать стимулирующий эффект излучения лазерно-оптического прибора «Стронга». При однократном воздействии оптического излучения, максимальный стимулирующий эффект на индивидуальное время жизни наблюдался при воздействии в течении 1 мин. и составил 13,5 %. При двукратном воздействии оптического излучения, максимальный стимулирующий эффект на индивидуальное время жизни наблюдался при воздействии в течении 20 мин. и составил 7,3 %. При трехкратном воздействии оптического излучения, максимальный стимулирующий эффект на индивидуальное время жизни наблюдался при воздействии в течении 20 мин. и составил 12,9 %. При четырехкратном воздействии оптического излучения, максимальный стимулирующий эффект на индивидуальное время жизни наблюдался при воздействии в течении 15 мин. и составил 18,8 %. При пятикратном воздействии оптического излучения, максимальный стимулирующий эффект на индивидуальное время жизни наблюдался при воздействии в течении 20 мин. и составил 24,6 %. Снижение стимулирующего эффекта при двукратном и трехкратном воздействии после однократного, возможно объяснить приспособлением эмбрионов с изменяющемуся фактору внешней среды, к которому относится оптическое излучение, с дальнейшим проявлением более высокого стимулирующего эффекта при четырех- и пятикратном воздействии (рисунок 2).

Следует отметить, что не смотря на то, что нашими исследованиями не было установлена кратность оптического излучения оказывающего негативный эффект, увеличение кратности воздействия более чем в 5 раз являлось нецелесообразным по технологическим причинам инкубации радужной форели в инкубационных модулях, поскольку нахождение икры на стадии глазка в инкубационных аппаратах могло сопроводжаться началом выклева уже на шестой день после прибытия оплодотворенной икры из маточного хозяйства.

Проведенные исследования показали, что параметры выживаемости (средняя выживаемость за период проведения эксперимента, де-

кадная динамика средней выживаемости в течении эксперимента, а также продолжительность жизни 2/3 личинок) зависели от дозировки оптического излучения: кратности и времени воздействия. Начиная с третьего периода (дня воздействия) оптическое излучение низкой интенсивности оказывало стимулирующий эффект на вышеперечисленные показатели личинок и молоди радужной форели. При этом наиболее высокий стимулирующий эффект оказало воздействие в течении 5 дней при времени воздействия 10-20 минут (в зависимости от контролируемого параметра). Так, если в контрольной группе, средняя выживаемость эмбрионов составила 76,32 %, то в группе, в которой наблюдался максимальный стимулирующий эффект на среднюю выживаемость от влияния оптического излучения низкой интенсивности (ежедневно по 10 минут в день, каждые 5 дней), данный показатель составил 93,99 %, что превышало контрольные значения на 17,67 п.п. Стимулирующий эффект составил 23,15 %.

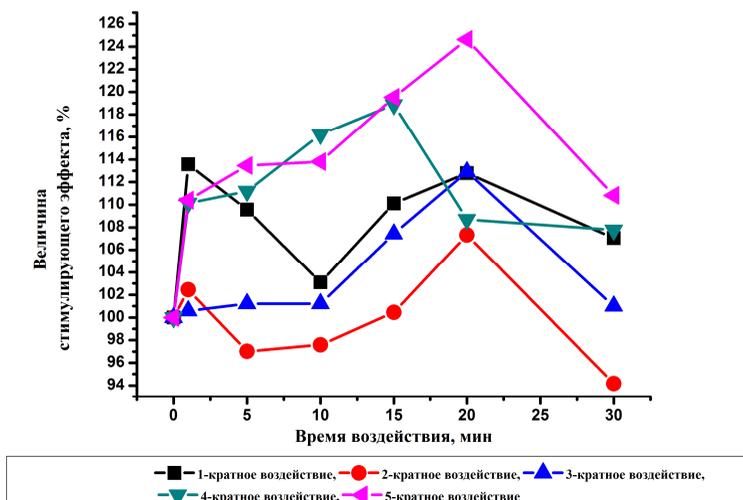


Рисунок 2 – Изменение величины стимулирующего эффекта излучения светодиодного источника ($\lambda = 630$ нм, длина когерентности $L_{\text{ког}} \sim 26$ мкм, плотность мощности $3,0$ мВт/см²) на индивидуальное время жизни под влиянием кратности и времени воздействия

Зависимость стимулирующего эффекта оптического излучения красной области спектра на эмбрионы и личинки радужной форели в условиях *in vitro* от температурного режима инкубации и когерентности источника излучения.

Для анализа влияния типа оптического излучения на декадную выживаемость при различных температурных режимах мы строили про-

бит-модель или логит-модель в зависимости от результатов АИС-критерия для каждой исследуемой группы. При этом мы получили коэффициенты наклона индивидуальной регрессии для каждой исследуемой группы, а также уравнения линейных пробит (логит)-моделей и значения полулетальных доз (LD50). Так, при температуре 8 °С мы наблюдали имеющие различия в исследуемых группах. Коэффициент наклона в контрольной группе составил 3,04, тогда как в опытной группе он составил 5,11, что превышало контрольные значения на 68,09 % (в 1,68 раза). Т.е. в опытной группе скорость нарастания эффекта была выше, о чем свидетельствуют более крутые линии логит-регрессии. Значения LD50 в опытных группах были также выше, чем в контрольной группе. Так, значения LD50 в контрольной группе составило 54,16 суток, тогда как в опытной группе, этот показатель составил 69,74 суток, что превышало контрольное значение на 28,77 %. Как показал девианс анализ, установленные различия были достоверными.

Для определения влияния оптического излучения на индивидуальное время жизни личинок и эмбрионов радужной форели мы применяли модель пропорциональных рисков Кокса, а также модели ускоренного времени AFT с использованием четырех видов распределений: exponential, weibull, lognorm и loglogistic.

На основании полученных результатов были построены модельные кривые функций индивидуального времени жизни, для каждой исследуемой группы, совмещенные с кривыми Каплан-Майера при различных температурных режимах (рисунок 3).

Как показали приведенные результаты, оптическое излучения красной области спектра не оказывает выраженного и достоверного влияния на индивидуальное время жизни эмбрионов и личинок радужной форели *in vitro* в условиях отсутствия кормления при температуре 12 и 11 °С, однако достоверные различия начинали проявляться при температуре 10 °С, достигая максимальных отличий при температуре 8 °С. Так при сравнении результатов индивидуального времени жизни в опытных группах на которых воздействовали LED оптическим излучением наблюдалось по пять достоверных различий в сравниваемых группах, а величина стимулирующего эффекта изменялась от 7,7 %, соответственно, при температуре воды 12 °С, до 23,4 %, при температуре воды 8 °С.

По данным Голованова и Валтонена (2000), динамика границ термостойчивости эмбрионов и личинок радужной форели составляет 8 – 18°С с оптимумом 6 – 12 °С, т.е. температурный диапазон используемый в наших исследованиях (8 – 12 °С) находился в пределах оптимального диапазона, а наблюдаемый стимулирующий эффект не был результатов отклонения условий выращивания от нормы. В защиту того, что на величину стимулирующего эффекта лазерного излучения оказывало влияние температура воды, а не улучшение / ухудшение оптимальных условий выращивания, свидетельствует факт пересчета результатов индивидуального времени жизни в градусо-дни. Как пока-

зали наши расчеты, индивидуальное время жизни в контрольной группе во всех исследуемых температурных режимах находится на одном уровне и варьирует от 511,0 до 516,0 градусо-дней. В опытной группе наблюдался увеличение индивидуального времени жизни выражаемое в градусо-днях в зависимости от температуры воды. Так в опытной группе, на которую воздействовали LED излучением, продолжительность индивидуального времени жизни увеличилась от 556,0 градусо-дней при температуре 12 °С до 633,0 и 630,8 градусо-дней при температуре 9 и 8 °С, соответственно.

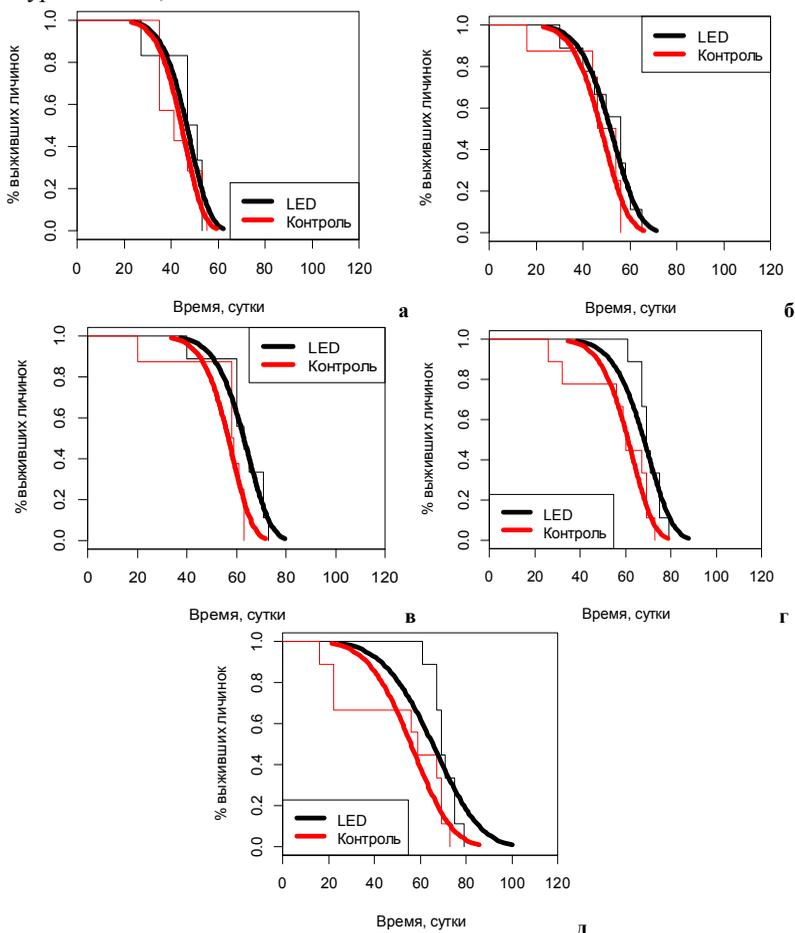


Рисунок 3 – Кривые Каплан-Майер и с использованием моделей индивидуального времени жизни эмбрионов и личинок радужной форели *in vitro* при температуре 12 (а), 11 (б), 10 (в), 9 (г), 8 (д) °С под влиянием светодиодного (LED) оптического излучения низкой интенсивности красной области спектра

Нами было установлено, что под влиянием LED и LD излучения, происходило изменение активности ферментов у эмбрионов радужной форели относительно контрольной группы. Активность LDH в двух опытных группах достоверно отличалась ($p < 0,05$) от контрольной, при регистрации активности после 24, 26, 48, 50 и 120 часов с момента начала эксперимента. Активность СК в двух опытных группах достоверно отличалась ($p < 0,05$) от контрольной, при регистрации активности после 26, 48, и 50 часов с момента начала эксперимента. Необходимо отметить, что достоверные отличия между двумя различными источниками излучения были обнаружены только при регистрации активности LDH через 96 часов с момента начала эксперимента и при регистрации активности СК через 26 и 48 часов с момента начала эксперимента. Во всех остальных вариантах сравнения, достоверные отличия между исследуемыми группами отсутствовали.

Результаты исследований установили, что активность LDH и СК в контрольной группе увеличивается, что можно объяснить интенсивными процессами энергетического метаболизма в завершающий этап эмбрионального развития. Повышение активности ферментов в опытных группах (при оптимальных дозировках), можно объяснить тем, что под влиянием оптического излучения происходило стимулирование скорости эмбрионального развития, что выражалось в увеличении энергетического метаболизма.

При анализе активности LDH лучшие значения $\log\text{Lik}$ наблюдались у модели Brain-Cousens с пятью параметрами для всех исследуемых групп. При анализе активности СК лучшие значения $\log\text{Lik}$ наблюдались у модели Gompertz с четырьмя параметрами (в контрольной группе) и у модели Brain-Cousens с пятью параметрами (в опытных группах).

Сравнение результатов исследований, выполненных с использованием излучения различной степени временной когерентности, показало, что биологические эффекты (активность ферментов), индуцируемые поляризованным излучением полупроводникового лазера ($\lambda = 650$ нм, $L_{\text{ког}} \sim 211$ мкм) и светодиодного источника ($\lambda = 630$ нм, $L_{\text{ког}} \sim 26$ мкм), практически не отличаются (при изучении активности LDH) и отличались незначительно (при изучении активности СК).

Похожие результаты, о схожести эффектов, при сравнении лазерного и светодиодного источника были продемонстрированы при исследовании показателей выживаемости: при температурном режиме инкубации 8°C коэффициент наклона в группе на которую воздействовали светодиодным излучением составил 5,11, в группе на которую воздействовали лазерным излучением – 4,78. Значение LD50 для LED и LD составило 69,74 и 67,16 суток, соответственно, а величина стимулирующего эффекта от воздействия LED и LD составила 23,4 и 26,8 %, соответственно.

Основной вывод, который можно сделать из полученных данных заключается в том, что биологический эффект может оказывать как поляризованное излучение полупроводникового лазера, так и светодиодного источника, значения временной когерентности которого почти в 10 раз меньше. Результаты, полученные в настоящей работе, а также исследования Плавского В.Ю. и Барулина Н.В. (2008) позволяют сделать вывод, что в основе фотофизического механизма, определяющего биологическое действие оптического излучения низкой интенсивности при его воздействии на эмбрионы, кроме диполь–дипольных взаимодействий, лежит ориентационный эффект нефотохимической природы.

Исследование влияния оптимального режима оптического излучения низкой интенсивности красной области спектра на рыбопосадочный материал радужной форели в условиях *in situ*. Как показали наши исследования, наиболее оптимальным режимом оптического излучения является воздействие на эмбрионы радужной форели на стадии глазка, ежедневно, в течение 20 минут на протяжении 5 суток, при плотности мощности оптического излучения $3,0 \text{ мВт/см}^2$, при температуре инкубации $8 \text{ }^\circ\text{C}$. В наших дальнейших исследованиях мы изучили влияния оптимального параметра оптического излучения низкой интенсивности на рыбопосадочный материал радужной форели в условиях *in situ*.

Так, если через неделю после выклева средняя масса личинок радужной форели между исследуемыми группами достоверно не отличалась и варьировала от $0,12 \pm 0,01 \text{ г.}$ до $0,13 \pm 0,01 \text{ г.}$, то через 31 день после выклева значения средней массы составили: $0,43 \pm 0,02 \text{ г.}$ в контрольной группе и $0,57 \pm 0,02 \text{ г.}$ в опытной группе. Различия статистически достоверны ($p < 0,05$). Через 31 день после выклева значения общей длины составили: $37,74 \pm 0,89 \text{ мм}$ в контрольной группе и $40,98 \pm 1,05 \text{ мм}$ в опытной группе (рисунок 4) ($p < 0,05$); значения длины по Смитту составили: $36,53 \pm 0,91 \text{ мм}$ в контрольной группе и $39,60 \pm 0,95 \text{ мм}$ в опытной группе ($p < 0,05$); значения промысловой длины составили: $32,94 \pm 0,88 \text{ мм}$ в контрольной группе и $35,45 \pm 0,85 \text{ мм}$ в опытной группе ($p > 0,05$); значения длины головы составили: $8,99 \pm 0,16 \text{ мм}$ в контрольной группе и $9,77 \pm 0,21 \text{ мм}$ в опытной группе ($p < 0,05$); значения длины туловища составили: $23,99 \pm 0,79 \text{ мм}$ в контрольной группе и $25,90 \pm 0,70 \text{ мм}$ в опытной группе ($p > 0,05$); значения высоты тела составили: $6,77 \pm 0,36 \text{ мм}$ в контрольной группе и $7,55 \pm 0,24 \text{ мм}$ в опытной группе ($p > 0,05$); значения антедорсального расстояния составили: $16,91 \pm 0,44 \text{ мм}$ в контрольной группе и $18,46 \pm 0,48 \text{ мм}$ в опытной группе ($p < 0,05$); значения антевентрального расстояния составили: $18,68 \pm 0,55 \text{ мм}$ в контрольной группе и $19,65 \pm 0,57 \text{ мм}$ в опытной группе ($p > 0,05$). Через 31 день после выклева абсолютный среднесуточный прирост массы составил $0,006 \text{ г}$ в контрольной группе и $0,04 \text{ г}$ в опытной группе. Относительная скорость роста массы через 31 день после выклева в контрольной группе составляла $6,59 \%$, в опытной группе – $34,25 \%$.

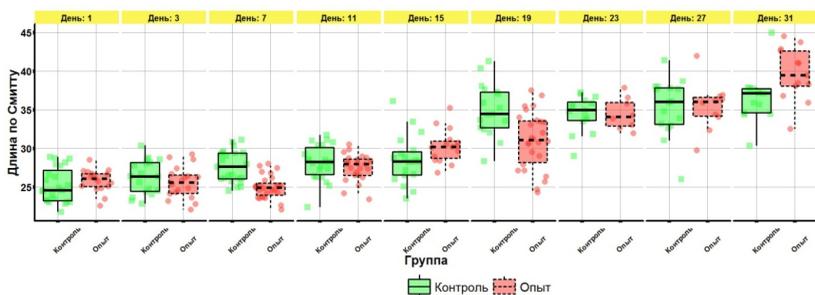


Рисунок 4 – Совмещенная диаграмма одномерного рассеяния и размахов роста длины по Смитту личинок радужной форели в контрольной и опытной группах. Прямоугольник диаграммы размахов обозначает медиану, а также 0,25 и 0,75 квантиль. N=10-20 (в зависимости от дня наблюдения)

Для анализа влияния оптического излучения на темп роста массы личинок радужной форели нами были построены 13 нелинейных моделей регрессии с учетом классификации Ритца. Селекцию лучших моделей осуществляли на основании значения логарифма правдоподобия ($\log\text{Lik}$). Так, при анализе темпа изменения средней массы в контрольной группе лучшие значения $\log\text{Lik}$ наблюдались у логистической модели с четырьмя параметрами; в опытной группе лучшие значения $\log\text{Lik}$ наблюдались у Log- логистической модели с четырьмя параметрами.

Анализ коэффициентов корреляции между размерными показателями личинок радужной форели позволил установить, что в контрольной группе через 31 день после выклева наблюдалась следующая сила связи: средняя положительная корреляция между высотой тела и общей длиной, длиной по Смитту, длиной туловища, андедорсальным расстоянием; сильная положительная корреляция между всеми остальными размерными показателями. В опытной группе через 31 день после выклева наблюдалась сильная положительная корреляционная связь между всеми размерными показателями (рисунок 4).

Экстерьерные индексы в исследуемых группах достоверно не отличались и варьировали следующим образом: через 31 день после выклева в контрольной группе средние значения экстерьерных индексов составили 4,97; 20,49; 27,39 для индекса прогонистости, индекса высокоспинности и индекса большеголовости, соответственно. Через 31 день после выклева в опытной группе средние значения экстерьерных индексов составили 4,72; 21,27; 27,63 для индекса прогонистости, индекса высокоспинности и индекса большеголовости, соответственно. Различия статистически недостоверны ($p>0,05$).

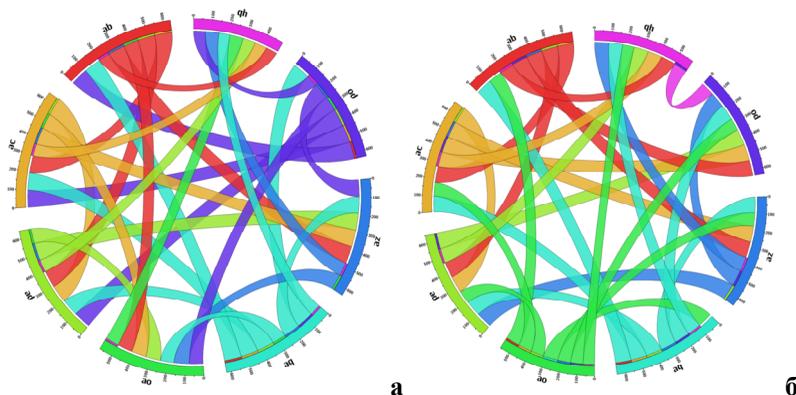


Рисунок 4 – Корреляционная связь между размерными показателями личинок радужной форели в контрольной (а) и опытной (б) группе через 31 день после выклева. Цвет линии обозначает соответствующий параметр: ab – общая длина, ac – длина по Смитту ad – промысловая длина, ao – длина головы, od – длина туловища, qh – высота тела, aq – антедорсальное расстояние, az – антевентральное расстояние. Толщина линии зависит силы корреляционной связи

Дальнейший контроль за размерно-весовыми показателями исследуемой радужной форели проводился на 120 день выращивания. Как показали наши исследования, светодиодное излучение низкой интенсивности способно оказывать влияние на изменение жизнестойкости рыбопосадочного материала радужной форели при использовании методов функциональных нагрузок: терморезистентности, нейрофармакологического тестирования, а также при использовании оценки фоновых реакций пигментных клеток.

Под влиянием оптического излучения происходило увеличение устойчивости рыбопосадочного материала радужной форели к экстремальным температурам. Общее время терморезистентности в контрольной группе составило 90 мин., в опытной группе 114 мин.

Под влиянием оптического излучения происходило улучшение результатов прохождения нейрофармакологического тестирования рыбопосадочным материалом радужной форели. В качестве критерия нейрофармакологической устойчивости мы использовали показатель LD50 при анестезии. В опытной группе, во время нейрофармакологического тестирования, время наступления обездвиживания под влиянием анестезии было выше, чем в контрольной группе, а время восстановления после анестезии было ниже, чем в контрольной группе. При построении линии пробит-регрессии с учетом коэффициента наклона можно наблюдать имеющие различия в исследуемых группах. Так во время анестезии коэффициент наклона в контрольной группе составил 3,84, тогда как в опытной группе он составил 2,48, т.е. в контрольной группе скорость нарастания эффекта была выше, о чем свидетельствуют более крутая линия пробит-регрессии. Следует отметить, что

значение LD50 в опытной группе было также выше, чем в контрольной группе. Как показал девианс анализ, установленные различия были достоверными. Во время восстановления после анестезии коэффициент наклона в контрольной группе составил 5,91, тогда как в опытной группе он составил 4,66. Т.е. в контрольной группе скорость нарастания эффекта была выше, о чем свидетельствуют более крутая линия пробит-регрессии. Следует отметить, что значение LD50 в опытной группе было также ниже, чем в контрольной группе. Это свидетельствует о том, что восстановление рыбопосадочного материала после анестезии осуществлялось за более короткое время. Как показал девианс анализ, установленные различия были достоверными.

В результате исследований изменения окраски рыбопосадочного материала радужной форели при проведении методики оценки «фоновых» реакций пигментных клеток (меланофоров) в контрольной и опытной группе, было установлено, что наиболее активно реакция на изменения фона проявлялась у рыбопосадочного материала опытной группы, что свидетельствовало о ее более физиологической адаптивности к изменяющимся параметрам среды.

При изучении мазков крови исследуемого рыбопосадочного материала радужной форели статистические отличия между контрольной и опытной группами выявлены не были, за исключением доли эритроцитов, которые достоверно превышали данный показатель в контрольной группе на 1,8 п.п. При этом формула крови свидетельствовала о нормальном развитии рыбопосадочного материала: количество эритроцитов варьировало от 90,77 до 92,57 %, незрелых лимфоцитов от 0,57 до 0,76 %, зрелых лимфоцитов от 3,66 до 4,55 %, моноцитов от 0,43 до 0,55 %, гранулоцитов от 0,77 до 0,86 %, тромбоцитов от 2,00 до 2,51 %.

При проведении биохимических исследований достоверных отличий между исследуемыми группами по таким параметрам как концентрация кальция, холестерина, мочевины, креатинина, активность лактатдегидрогеназы, щелочной фосфатазы, γ -глутамилтрансферазы выявлено не было. Однако установлено, что в опытной группе происходило достоверное снижение активности аспаргатаминотрансферазы и аланинаминотрансферазы на 10,3 и 38,7 %, соответственно. Это можно объяснить тем, что оптическое излучение в оптимальном режиме оказывало гепатопротекторное действие.

Проведенный анализ химического состава мышечной ткани рыбопосадочного материала радужной форели не выявил статистически значимых отличий между контрольной и опытной группами.

Производственные испытания результатов исследований. В ходе производственных испытаний была подтверждена способность оптического излучения низкой интенсивности в оптимальной дозировке для однополлого рыбопосадочного материала радужной форели, оказывать стимулирующее влияние на эффективность подращивания в установке замкнутого водоснабжения.

В результате производственной проверки в контрольной группе было получено 3525 штук личинок средней навеской 0,42 г (70,5 % выживаемости), а в группе, на которую воздействовали оптическим излучением красной области спектра было получено 4060 штук личинок средней навеской 0,57 г. (81,2 % выживаемости). Ожидаемый экономический эффект от использования результатов составил 395,9 рублей на 10 000 экземпляров личинок радужной форели (в ценах на 30.05.2017 г.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Оптическое излучение низкой интенсивности красной области спектра обеспечивает повышение эффективности выращивания рыбопосадочного материала радужной форели за счет стимулирования рыбоводно-биологических показателей, а также оптимизации технологии аквакультуры при низкой стоимости оборудования для ее реализации [1, 12, 13, 14].

2. Установлено, что время и кратность воздействия оптическим излучением способны регулировать эффективность действия данного фактора на радужную форель. При изучении влияния оптического излучения низкой интенсивности красной области спектра ($\lambda = 630$ нм) на эмбриональное и постэмбриональное развитие радужной форели в условиях *in vitro* установлено, что при однократном воздействии оптическим излучением, максимальный стимулирующий эффект на индивидуальное время жизни эмбрионов и личинок наблюдался при воздействии в течении 1 мин. и составил 13,5 %. При двукратном воздействии оптическим излучением, максимальный стимулирующий эффект на индивидуальное время жизни наблюдался при воздействии в течении 20 мин. и составил 7,3 %. При трехкратном воздействии оптическим излучением, максимальный стимулирующий эффект на индивидуальное время жизни наблюдался при воздействии в течении 20 мин. и составил 12,9 %. При четырехкратном воздействии оптическим излучением, максимальный стимулирующий эффект на индивидуальное время жизни наблюдался при воздействии в течении 15 мин. и составил 18,8 %. При пятикратном воздействии оптическим излучением, максимальный стимулирующий эффект на индивидуальное время жизни наблюдался при воздействии в течении 20 мин. и составил 24,6 % [1, 7, 8, 15].

3. Установлено, что температурный режим инкубации эмбрионов радужной форели, даже в пределах оптимальных значений, способен оказывать влияние на эффективность действия оптического излучения. Так, при сравнении выживаемости в опытных группах (на эмбрионы которых воздействовали оптическим излучением низкой интенсивности красной области спектра), наблюдалось увеличение скорости нарастания эффекта (коэффициента угла наклона линейной зависимости гибели личинок) в 1,3 – 3,2 раза, относительно контрольной группы, при снижении температурного режима инкубации. При сравнении результатов индивиду-

ального времени жизни эмбрионов и личинок в опытных группах, на которых воздействовали оптическим излучением, наблюдалось по пять достоверных различий в сравнимых группах при различной температуре инкубации, а величина стимулирующего эффекта изменялась от 7,7 % (при температуре воды 12 °С) до 23,4 % (при температуре воды 8 °С) [4, 5, 6, 9, 10, 11].

4. Результаты, полученные в настоящей работе, свидетельствуют о том, что эффект на эмбрионы и личинки радужной форели может оказывать как поляризованное излучение полупроводникового лазера, так и поляризованное излучение светодиодного источника, степень когерентности которого почти в 10 раз меньше. Сравнение результатов исследований, выполненных с использованием излучения различной степени временной когерентности, показало, что биологические эффекты (активность ферментов эмбрионов радужной форели, индивидуальное время жизни личинок, скорость нарастания эффекта на выживаемость), индуцируемые поляризованным излучением полупроводникового лазера ($\lambda = 650$ нм, $L_{\text{ког}} \sim 211$ мкм) и поляризованным излучением светодиодного источника ($\lambda = 630$ нм, $L_{\text{ког}} \sim 26$ мкм), практически не отличаются или отличаются незначительно [2, 12, 13, 14].

5. На основании проведенных исследований разработаны научно обоснованные параметры и условия достоверного стимулирования рыбободно-биологических показателей выращивания посадочного материала радужной форели, повышающие среднюю массу рыбопосадочного материала на 26,9 – 32,6 % (в зависимости от возраста), ихтиологические промеры на 5,2 - 11,5 % (в зависимости от параметра), относительную скорость роста массы на 27,7 п.п., терморезистентность на 26,7 %, нейрофармакологическую устойчивость на 38,9 %, фоновую реакцию меланофоров до 8,5 %, количество эритроцитов на 1,8 п.п., снижающие активность аспаратамиотрансферазы на 10,3 % и аланинаминотрансферазы на 38,7 %, основанные на ежедневном воздействии оптическим излучением низкой интенсивности красной областью спектра ($\lambda = 630$ нм), длиной когерентности ($L_{\text{ког}}$) ~ 26 мкм, ежедневно, в течение 20 минут на протяжении 5 суток, при плотности мощности оптического излучения 3,0 мВт/см², при температуре инкубации 8 °С [3, 7].

6. Экономический эффект (в ценах на 30.05.2017 г.) от применения оптического излучения низкой интенсивности в технологии выращивания посадочного материала радужной форели в аквакультуре составил 395,9 рублей на 10 000 экземпляров личинок радужной форели [7].

Рекомендации по практическому использованию результатов исследований

Для повышения эффективности технологии аквакультуры рыбопосадочного материала радужной форели, рекомендуется использование оптического излучения низкой интенсивности светодиодного источника красной областью спектра ($\lambda = 630$ нм), длиной когерентности ($L_{\text{ког}}$) ~ 26 мкм, при ежедневном воздействии на стадии глазка в течении 20 минут на протяжении 5 суток, при плотности мощности оптическо-

го излучения $3,0 \text{ мВт/см}^2$, при температуре инкубации $8 \text{ }^\circ\text{C}$ [15-А, выписка из протокола № 1 от 09.01.2017 г. заседания секции животноводства научно-технического совета Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, справка о практическом использовании результатов исследований в фермерском хозяйстве «Василек» Дзержинского р-на от 23.02.2017 г., справка о практическом использовании результатов исследований в ООО «Фирма Ремона» г. Могилева от 04.03.2017 г., справка о практическом использовании результатов исследований в участке по выращиванию рыб ценных пород №3 «Высокое» Костюковичского р-на КПУП «Форелевое хозяйство «Лохва», акт о практическом использовании результатов исследований в рыбноводном промышленном комплексе УО БГСХА г. Горки от 31.05.2017 г.].

Социальный эффект результатов исследований

Результаты исследований внедрены в образовательный процесс по специальности 1-74 03 03 «Промышленное рыбоводство» в рамках дисциплин «Искусственное воспроизводство рыб» и «Аквакультура ценных видов рыб и ресурсосберегающие технологии» (акт о внедрении научно-исследовательской разработки в образовательный процесс от 09.03.2017 г.).

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в изданиях, включенных в перечень научных изданий ВАК

1. Лиман, М. С. Лазерно-оптические приборы для повышения эффективности инкубации икры радужной форели и стерляди в рыбноводных промышленных комплексах [Текст] / М. С. Лиман, Н. В. Барулин, В. Ю. Плавский // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси : сборник научных трудов / Республиканское дочернее унитарное предприятие "Институт рыбного хозяйства" Республиканского унитарного предприятия "Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству". – Минск : РУП "Институт рыбного хозяйства", 2016. – Вып. 32. – С. 121–134.

2. Лиман, М. С. Влияние когерентности оптического излучения низкой интенсивности и периодичности его воздействия на активность ферментов эмбрионов радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792) [Текст] / М. С. Лиман, Н. В. Барулин, В. Ю. Плавский // Веснік Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. – 2017. – №2. – С. 69–79.

3. Лиман, М. С. Влияние лазерно-оптического прибора "Стронга" на размерно-весовые показатели личинок радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792) [Текст] / М. С. Лиман, Н. В. Барулин, В. Ю. Плавский // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси : сборник научных трудов / Республиканское дочернее унитарное предприятие "Институт рыбного хозяйства" Республиканского унитарного предприятия "Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству". - Минск : РУП "Институт рыбного хозяйства", 2017. – Вып. 33. – С. 111–128.

4. Лиман, М. С. Эффект оптического излучения низкой интенсивности на декадную выживаемость эмбрионов и личинок радужной форели в зависимости от температуры *in vitro* [Текст] / М. С. Лиман, Н. В. Барулин, В. Ю. Плавский // Животноводство и ветеринарная медицина : ежеквартальный научно-практический журнал. – 2017. – № 3 (26). – С.13–17.

5. Лиман, М. С. Эффект оптического излучения низкой интенсивности на индивидуальное время жизни эмбрионов и личинок радужной форели в условиях *in vitro* в зависимости от температуры [Текст] / М. С. Лиман, Н. В. Барулин // Сельское хозяйство - проблемы и перспективы : сборник научных трудов / Т. 37 : Зоотехния : Гродно : ГГАУ, 2017. – С.163–172.

6. Barulin, N. Survival of embryos and larvae of the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792) under influence of optical radiation at various temperature regimes [Текст] / N. Barulin, M. Liman, V. Plavskii // Acta Biol. Univ. Daugavp. – 2017. – Vol. 17 (1). – P. 19–28.

7. Лиман, М. С. Влияние оптического излучения низкой интенсивности на эмбрионы и личинки радужной форели [Текст] / М. С. Лиман,

Н. В. Барулин, В. Ю. Плавский // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. – 2018. – № 3 (172). – С. 72–80.

Материалы конференций

8. Лиман, М.С. Влияние периодичности оптического излучения на постэмбриональное развитие радужной форели в условиях *in vitro* [Текст] / М.С. Лиман, Н.В. Барулин // Материалы XIX Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию образования кафедр биотехнологии и ветеринарной медицины и кормления и разведения с.-х животных УО "БГСХА"; 130-летию со дня рождения основателя зоотехнического образования и науки о кормлении с.-х животных в Белоруссии, доктора с.-х наук, профессора Николая Васильевича Найденова и 90-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки Республики Беларусь, доктора биологических наук, профессора Юрия Леонидовича Максимова (г. Горки, 2-3 июня 2016 г. : в 2-х ч. Вып. 19 Ч. 1 ; ред. Н. И. Гавриченко [и др.]. – Горки : БГСХА, 2016. – С. 248–252.

9. Лиман, М. С. Влияние оптического излучения на эмбрионы радужной форели в условиях *in vitro* при различных температурных режимах [Текст] / М. С. Лиман, Н. В. Барулин // Сахаровские чтения 2017 года: экологические проблемы XXI века : Материалы 17-й Международной научной конференции, 18-19 мая 2017 г., г. Минск, Республика Беларусь : в 2 ч. Ч. 2 ; ред. С. А. Маскевич [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2017. – С. 32 – 33.

10. Лиман, М. С. Влияние температуры воды на эффективность оптического излучения при воздействии на эмбрионы радужной форели в условиях *in vitro* [Текст] / М. С. Лиман, Н. В. Барулин // Современные технологии сельскохозяйственного производства : сборник научных статей по материалам XX Международной научно-практической конференции (Гродно, 11, 19 мая 2017 года). Ветеринария. Зоотехния / Гродно : ГГАУ, 2017. – С. 207–209.

11. Liman, M.S. Survival of embryos and larvae of the rainbow trout under influence of optical radiation at various temperature regimes [Текст] / M.S. Liman, N.V. Barulin // 2nd International Aquaculture Conference “Recirculating Aquaculture System (RAS): Life Science and Technologies” (2017.05.04). 8th General Assembly Meeting “Network of Aquaculture Centres in Central and Eastern Europe (NACEE)” (2017.05.05). Daugavpils: Daugavpils University Academic Press “Saule”. – 2017. – P. 13–14.

Тезисы

12. Плавский, В. Исследование механизмов биологического действия оптического излучения на эмбрионы и сперму рыб [Текст] / В. Плавский, Н. Барулин, М. Лиман, С. Роговцев, С. Бушук, И. Леусенко, А. Микулич // Материалы VIII Съезда Российского фотобиологического общества и Всероссийской конференции “Современные проблемы

фотобиологии” пос. Шепси, 10–15 сентября 2017 г. ; ред. И. И. Про-
скураков, И. А. Найдов. – Пущино, 2017. – С. 76.

13. Plavskii, V. Biological effect of continuous, quasi-continous and pulsed laser radiation [Текст] / V. Plavskii, N. Barulin, M. Liman, S. Rahaoutsou, A. Mikulich, A. Grabtchikov, A. Vodchits, I. Khodasevich, L. Batay, A. Tretyakova, L. Plavskaya, V. Orlovich // Physics, engineering and technologies for biomedicine. The 2nd International Symposium: book of Abstracts. National Research Nuclear University MEPhI. – 2017. – P. 343–344.

14. Plavskii, V. Photobiological action of lasers working in different modes on hydrobionts [Текст] / V. Plavskii, N. Barulin, M. Liman, S. Rahaoutsou, A. Mikulich, A. Grabtchikov, A. Vodchits, I. Khodasevich, L. Batay, A. Tretyakova, L. Plavskaya, V. Orlovich // 17th Congress European Society for Photobiology: programme and book of abstract. Pisa, Italy, 4–8 September 2017. – Pisa, 2017 – P. 139.

Рекомендации

15. Барулин, Н.В Рекомендации по выращиванию рыбопосадочного материала радужной форели в рыбоводных промышленных комплексах (с временными нормативами) [Текст] / Н. В. Барулин, М. С. Лиман, Е. Г. Новикова, К. Л. Шумский, Л. О. Атрощенко, С. В. Роговцов, Н. А. Суворец, А. В. Некрылов, В. Ю. Плавский. – Горки : БГСХА, 2016. – 179 с.

РЭЗІЮМЭ

Ліман Мустафа Сулейман

Вырошчванне рыбапасадачнага матэрыялу радужнай фарэлі пры выкарыстанні аптычнага выпраменьвання нізкай інтэнсіўнасці

Ключавыя словы: аквакультура, ласасёвая, радужная фарэль, эмбрыёны, рыбапасадачны матэрыял, жыццёўстойлівасць, прырост, кроў, нізкаінтэнсіўнае святлодыёднае выпраменьванне, кратнасць уздзеяння, тэмпературны рэжым, кагерэнтнасць.

Мэта працы заключалася ў рыбаводна-біялагічным абгрунтаванні выкарыстання аптычнага выпраменьвання нізкай інтэнсіўнасці для павышэння эфектыўнасці вырошчвання рыбапасадачнага матэрыялу радужнай фарэлі.

Метады даследаванняў: рыбаводна-біялагічныя, іхтыялагічныя, біяхімічныя, фізіялагічныя, статыстычныя.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Упершыню выяўлена, што рэгулятарнае дзеянне аптычнага выпраменьвання нізкай інтэнсіўнасці чырвонай вобласці спектру на аб'екты аквакультуры (радужная фарэль) залежыць ад кратнасці ўздзеяння і тэмпературнага рэжыму, пры якім ажыццяўляецца ўздзеянне на інкубіруемыя эмбрыёны. Даказана, што эфект на эмбрыёны і лічынкі радужнай фарэлі можа зрабіць як палярызаванае выпраменьванне паўправадніковага лазера, так і палярызаванае выпраменьванне святлодыёднай крыніцы, ступень кагерэнтнасці якога амаль у 10 разоў меншая. Распрацаваны новыя параметры і ўмовы рэгулявання рыбаводна-біялагічных паказчыкаў пасадачнага матэрыялу радужнай фарэлі, заснаваныя на штодзённым уздзеянні аптычным выпраменьваннем нізкай інтэнсіўнасці (чырвоная зона спектра $\lambda = 630$ нм, даўжыня кагерэнтнасці $L_{\text{кар}} \sim 26$ мкм) на эмбрыёны рыб на стадыі вочка пры штосутачным уздзеянні на працягу 20 хвілін на працягу 5 сутак, пры шчыльнасці магутнасці аптычнага выпраменьвання $3,0$ мВт/см², пры тэмпературы інкубацыі 8 °С.

Галіна выкарыстання: стронгавыя гаспадаркі сажалкавага і індустрыяльнага тыпу, акварыумістыка; у навучальным працэсе пры падрыхтоўцы спецыялістаў зоветэрынарага і біялагічнага профілю.

РЕЗЮМЕ

Лиман Мустафа Сулейман

Выращивание рыбопосадочного материала радужной форели при использовании оптического излучения низкой интенсивности

Аквакультура, лососевые, радужная форель, эмбрионы, рыбопосадочный материал, жизнестойкость, прирост, кровь, низкоинтенсивное светодиодное и лазерное излучение, кратность воздействия, температурный режим, когерентность.

Цель работы заключалась в рыбоводно-биологическом обосновании использования оптического излучения низкой интенсивности для повышения эффективности выращивания рыбопосадочного материала радужной форели.

Методы исследований: рыбоводно-биологические, ихтиологические, биохимические, физиологические, статистические.

Полученные результаты и их новизна. Впервые установлено, что регуляторное действие оптического излучения низкой интенсивности красной области спектра на объекты аквакультуры (радужная форель) зависит от кратности воздействия и температурного режима, при котором осуществляется воздействие на инкубируемые эмбрионы. Доказано, что эффект на эмбрионы и личинки радужной форели может оказывать как поляризованное излучение полупроводникового лазера, так и поляризованное излучение светодиодного источника, степень когерентности которого почти в 10 раз меньше. Разработаны новые параметры и условия стимулирования рыбоводно-биологических показателей посадочного материала радужной форели, основанные на ежедневном воздействии оптическим излучением низкой интенсивности (красная область спектра $\lambda = 630$ нм, длина когерентности $L_{\text{кор}} \sim 26$ мкм) на эмбрионы рыб на стадии глазка при ежесуточном воздействии в течение 20 минут на протяжении 5 суток, при плотности мощности оптического излучения $3,0$ мВт/см², при температуре инкубации 8 °С.

Область применения: форелевые хозяйства прудового и промышленного типа, аквариумистика; в учебном процессе при подготовке специалистов зооветеринарного и биологического профиля.

SUMMARY

Limam Mustafa Sulaiman

Growing the fish stocking material of rainbow trout using low-intensity optical radiation

Aquaculture, salmon, rainbow trout, embryos, fish stocking material, vitality, growth, blood, low-intensity LED and laser radiation, exposure multiplicity, temperature regime, coherence.

The purpose of the work(objective) : justification of fish-biological and economic use of optical radiation from laser and LED sources of low intensity in the red spectral range to improve the efficiency (technology) of fish trout stocking material in rainbow trout aquaculture.

Methods of research: fish-biological, ichthyological, biochemical, physiological, statistical.

The results obtained and their novelty. It was established for the first time that the stimulating effect of low-intensity optical radiation on aquaculture objects (rainbow trout) depends on the multiplicity of the effect and the temperature regime at which the embryos are exposed and incubated. It is proved that the biological effect on embryos and larvae of rainbow trout can be provided by polarized radiation from both a semiconductor laser and the polarized radiation from an LED source whose coherence degree is almost 10 times smaller. New parameters for the regulation of fish-biological parameters of the rainbow trout stocking material based on daily exposure to low-intensity optical radiation (red spectral range $\lambda = 630$ nm, coherence length $L_{co} \sim 26$ μ m) on fish embryos at the ocellus stage with daily exposure for 20 minutes for 5 days, at a power density of optical radiation of 3.0 mW/cm^2 , at an incubation temperature of 8 $^{\circ}C$.

Area of application: trout farms of pond and industrial type, aquaristics; the educational process in the training of veterinarian and biological specialists.

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Лимана Мустафы Сулеймана

Подписано в печать _____ 18. Формат 60 x 84/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать Riso.
Усл.-печ. л.. Усл.-изд. л..
Тираж 60 экз. Заказ № _____.

Издатель – Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/409
от 14 августа 2014 г.
222160, Минская обл., г. Жодино, ул. Фрунзе, 11.

Отпечатано с оригинал-макета Заказчика
в МОУП «Борисовская укрупнённая типография им. 1 Мая».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 2/13 от 21 ноября 2013 г.
222120, г. Борисов, ул. Строителей, 33.