№ 3 (172). С. 72–80 **Общая биология** **2018**
УДК 639.3.0.34:535.21
DOI: 10.15393/uchz.art.2018.129

МУСТАФА СУЛЕЙМАН ЛИМАН
аспирант кафедры ихтиологии и рыбоводства, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия (Горки, Республика Беларусь)
mustafasulaimanliman@yahoo.com

НИКОЛАЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ БАРУЛИН
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой ихтиологии и рыбоводства, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия (Горки, Республика Беларусь)
barulin@list.ru

ВЛИЯНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ НА ЭМБРИОНЫ И ЛИЧИНКИ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ

В технологиях воспроизводства и выращивания ценных видов рыб традиционно наиболее сложным является этап получения рыбопосадочного материала. В период инкубации икры в условиях аквакультурных комплексов необходимо проводить коррекцию эмбрионального развития с использованием различных факторов воздействия на организм. Одним из таких факторов является низкоинтенсивное оптическое излучение. Цель наших исследований заключалась в установлении наиболее оптимальных режимов кратности воздействия низкоинтенсивным оптическим излучением и влияния оптимального режима на рыбоводно-биологические показатели личинок и мальков радужной форели. В результате исследований установлено, что низкоинтенсивное оптическое излучение (красная область спектра, $\lambda = 630$ нм) в течение пяти дней по 20 минут в день при плотности мощности оптического излучения 3,0 мВт/см^2 способно оказывать стимулирующие влияние на размерно-весовые показатели рыбопосадочного материала радужной форели. Молодь опытной группы характеризовалась более высокими значениями жизнестойкости и физиологической адаптивности к изменяющимся параметрам среды, выживаемости. Гематологические и биохимические параметры крови находились в пределах физиологической нормы.

Ключевые слова: лазерное и оптическое излучение, аквакультура, инкубационный цех, икра, радужная форель, лососевые

ВВЕДЕНИЕ

Величина потребления рыбы и продуктов ее переработки является существенным показателем при оценке уровня и качества жизни населения [3], [4]. Аквакультура, как подотрасль сельского хозяйства, обеспечивает культивирование рыб, других водных животных и растений в контролируемых человеком условиях и является надежным источником увеличения объема производства рыбы, особенно в условиях сокращения уловов океанической рыбы и сокращения рыбных запасов внутренних водоемов [1]. Подпрограммой развития рыбохозяйстенной деятельности в рамках госпрограммы развития аграрного бизнеса Беларуси на 2016–2020 годы запланировано увеличение производства рыбной продукции. Однако дальнейший рост рыбного хозяйства и аквакультуры невозможен без внедрения новых технологических направлений, в том числе и без освоения технологий замкнутого водоснабжения (УЗВ) на базе рыбоводных индустриальных комплексов [1], [16].

На основании многолетних исследований для реализации задач по созданию эффективной технологии выращивания высококачественного рыбопосадочного материала ценных видов рыб в индустриальных рыбокомплексах нами были обоснованы новые подходы в целях обеспечения стимулирующего действия лазерного и оптического излучения низкой интенсивности на рыбоводно-биологические показатели малька осетровых и лососевых рыб и половые продукты производителей этих рыб [2], [11]. По результатам проведенных исследований нами был создан новый типоряд лазерно-оптических приборов на основе полупроводниковых лазеров и светодиодов для использования их в инкубации икры осетровых и лососевых рыб.

В настоящее время развитие форелеводства и осетроводства актуально для Беларуси. Однако в технологии воспроизводства и выращивания этих видов рыб традиционно наиболее сложным является этап получения рыбопосадочного материала. Интенсификация индустриального производства является одним из существенных стрессовых факторов для эмбрионов рыб и личинок рыб, а также производителей [14]. В результате чего наблюдаются снижение общих физиологических показателей, повышение гибели, снижение жизнестойкости, увеличение морфологических аномалий [12]. Поэтому в период инкубации икры в условиях аквакультурых комплексов необходимо проводить коррекцию эмбрионального

© Лиман М. С., Барулин Н. В., 2018

развития с использованием различных факторов воздействия на организм. Одним из таких факторов является низкоинтенсивное оптическое излучение. Данное излучение показало свою эффективность при использовании в медицине, ветеринарии и сельском хозяйстве. Как установили наши многолетние исследования, низкоинтенсивное оптическое излучения имеет стимулирующий эффект при воздействии на икру и сперму осетровых рыб, а также на науплии жаброногих рачков [2], [7], [11]. Однако предыдущие исследования основывались на однократном воздействии оптического излучения на биообъекты, потому что частота воздействия излучением ограничивалась технологией выращивания биообъекта.

Представляют научно-практический интерес наиболее стимулирующие режимы кратности воздействия низкоинтенсивным оптическим излучением на объекты рыбоводства, технология выращивания которых это допускает.

Цель наших исследований заключалась в установлении наиболее оптимальных режимов кратности воздействия низкоинтенсивным оптическим излучением и влияния оптимального режима на рыбоводно-биологические показатели личинок и мальков радужной форели.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведение исследований осуществлялось на базе рыбоводного индустриального комплекса Белорусской государственной сельскохозяйственной академии (БГСХА).

В исследованиях использовали однополые эмбрионы (самки) радужной форели на стадии глазка, которые закупались в рыбопитомнике Viviers de Sarrance (Франция). Для транспортировки эмбрионов использовали термопластиковую тару со льдом. Транспортировка осуществлялась самолетом.

После транспортировки эмбрионы проходили адаптацию в инкубационном цехе рыбокомплекса БГСХА, который работает по принципу УЗВ и включает в себя емкости для доинкубации, механическую и биологическую фильтрацию, оксигенацию и обеззараживание воды УФ-облучением.

Эмбрионы подвергались воздействию оптическим излучением (опытные группы) в течение 1–5 дней по 1–30 минут в день, при плотности мощности 3,0 мВт/см^2, или не подвергались воздействию, но находились в идентичных условиях (контрольная группа). Источником оптического излучения являлась матрица светодиодных источников (LED) оптического прибора «Стронга» (красная область спектра $\lambda = 630 \pm 10$ нм), который был разработан кафедрой ихтиологии и рыбоводства БГСХА совместно с Институтом физики Национальной академии наук Беларуси.

В период проведения исследования регистрировали выживаемость, жизнестойкость, размерно-весовые показатели, гематологические и биохимические показатели личинок и мальков радужной форели.

Регистрацию размерных показателей осуществляли на цифровую камеру Cyber-Shot DSC-P200 с дальнейшей обработкой результатов с использованием программы ImageJ.

Для приготовления мазков отбор крови проводили прижизненно из хвостовой вены, с соблюдением ветеринарно-санитарных правил и принципов гуманного отношения к животным. Отбор материала и работа с ним проводились в спецодежде, одноразовых перчатках. Сгустки крови перед утилизацией в общую канализационную сеть обезвреживали только с применением дезинфицирующих растворов (в соответствии с действующими инструкциями по обеззараживанию). Готовые мазки крови после обработки упаковывались на хранение. Для приготовления мазков крови применялись чистые обезжиренные предметные и шлифованные стекла. Отработанные шприцы перед утилизацией подвергались дезинфекции. Дезинфекционная обработка оборудования (центрифуги, микроскопы, холодильники и др.) проводилась раствором 70 %-ного спирта. После каждого контакта с биологическим материалом тщательно мыли руки, а использованные одноразовые перчатки утилизировали. Кровь отбирали в утреннее время, до кормления. Процесс отбора крови был максимально безболезненным и быстрым. Процесс взятия крови не превышал 30 сек. После отбора из крови готовился мазок. После приготовления мазки крови высушивались на воздухе в течение 5–10 минут. После высушивания подвергались окрашиванию по методу Романовского – Май Грюнвальда. Окрашивание проводилось с применением красителей. После окраски окрашенные мазки подвергались анализу путем прямого микроскопирования с применением микроскопа с иммерсионной системой «BioScope».

Для биохимических исследований отбирали венозную кровь. Полученный материал сразу же закрывали пробками, не допуская контакта с внешней средой. Для получения сыворотки крови антикоагулянт не добавляли. Сыворотку крови получали после свертывания крови при температуре +18–20 °С с последующим охлаждением при температуре +4 °С и центрифугированием в течение 15 минут при 3 000 об./мин на лабораторной центрифуге.

В полученной сыворотке крови определялась активность α-гидроксибутиратдегидрогеназы, щелочной фосфатазы, лактатдегидрогеназы, аспартатаминотрансферазы, аланинамиотрансферазы, концентрация магния, мочевины, триглицеридов, кальция, альбумина, неорганического фосфора, полного белка, полного холестерина, глюкозы. В наших исследованиях мы использовали реактивы фирмы Cormay (LiquickCor-СК). В качестве методики

биохимических исследований использовали прилагаемые инструкции, которые основаны на рекомендациях Международной федерации клинической химии (IFCC). Исследования проводили на свежей сыворотке без следов гемолиза.

Определение жизнестойкости осуществляли при использовании методов функциональных нагрузок: терморезистентности, нейрофармакологического тестирования, а также при использовании оценки фоновых реакций пигментных клеток. Регистрацию реакции пигментных клеток осуществляли при использовании программы FishGui на базе MATLAB [20].

Для статистической обработки результатов использовали программную среду R, включая пакеты R Commander, MASS, ggplot2, mgcv, corrplot [17], [19], [21], [22], [23], [24]. Статистическую достоверность различий оценивали по тесту Тьюки при условии соблюдения нормальности распределения данных (оценивалось тестом Шапиро – Уилка) и однородности групповых дисперсий (оценивалось тестом Ливина). При несоблюдении указанных условий использовали непараметрический тест Ньюмена – Кейлса.

Для построения нелинейных моделей регрессии применяли пакет drc программной среды R. В настоящей работе использовали 13 следующих моделей: логнормальная модель (пробит) с четырьмя параметрами, log-логистическая модель с четырьмя параметрами, log-логистическая модель с тремя параметрами, log-логистическая модель с двумя параметрами, модель Weibull – 1, модель Weibull – 2, логистическая модель с четырьмя параметрами, модель Gompertz с четырьмя параметрами, экспоненциальная модель с тремя параметрами, экспоненциальная модель с двумя параметрами, модель Michaelis-Menten с тремя параметрами, модель Brain-Cousens с пятью параметрами, модель Cedergreen-Ritz-Streibig с четырьмя параметрами [18], [19].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты наших исследований установили, что низкоинтенсивное оптическое излучение способно оказывать влияние на рост и развитие личинок и мальков радужной форели.

Проведенные исследования в условиях *in vivo* показали, что параметры выживаемости (время начала первого выклева и массового выклева предличинок, средняя выживаемость, период продолжительности максимальной выживаемости, индивидуальное время жизни и др.), а также размерно-весовые показатели личинок радужной форели зависели от дозировки оптического излучения: периодичности 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 течение 5 дней при времени воздействия 10–20 минут (в зависимости от контролируемого параметра). Пример изменения стимулирующего эффекта оптического излучения низкой интенсивности на индивидуальное время жизни личинок радужной форели в зависимости от периодичности воздействия (1–5 дней) и времени воздействия (0–30 мин.) представлен на рис. 1.

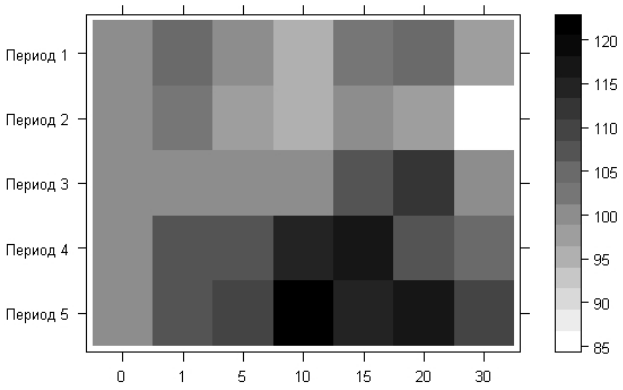


Рис. 1. Вариограмма изменения стимулирующего эффекта лазерно-оптического прибора «Стронга» на индивидуальное время жизни эмбрионов радужной форели в зависимости от периодичности воздействия (1–5 дней) и времени воздействия (0–30 мин.)

Выявленную стимулирующую дозировку оптического излучения мы применяли в производственных условиях рыбокомплекса в модуле инкубации при воздействии оптического излучения низкой интенсивности на эмбрионы радужной форели на стадии глазка. Были сформированы две группы: опытная, эмбрионы которой подвергались оптическому излучению в наиболее оптимальной дозировке, и контрольная, эмбрионы которой не подвергались оптическому излучению, но находились в идентичных условиях.

Средняя масса через неделю после выклева достоверно не отличалась между исследуемыми группами и изменялась от 0,12 ± 0,01 до 0,13 ± 0,01 г, однако через 31 день произошло увеличение средней массы в опытной группе (0,43 ± 0,02 г) относительно контрольной группы (0,57 ± 0,02 г). Различия статистически достоверны ($p < 0,05$).

Общая длина через неделю после выклева достоверно не отличалась между исследуемыми группами и изменялась от 25,40 ± 0,45 до 26,14 ± 0,35 мм, однако через 31 день произошло увеличение общей длины в опытной группе (40,98 ± 1,05 мм) относительно контрольной группы (37,74 ± 0,89 мм). Различия статистически достоверны ($p < 0,05$).

Длина, по Смитту, через неделю после выклева достоверно не отличалась между исследуемыми группами и изменялась от 25,19 ± 0,46 до 25,79 ± 0,35 мм, однако через 31 день произошло

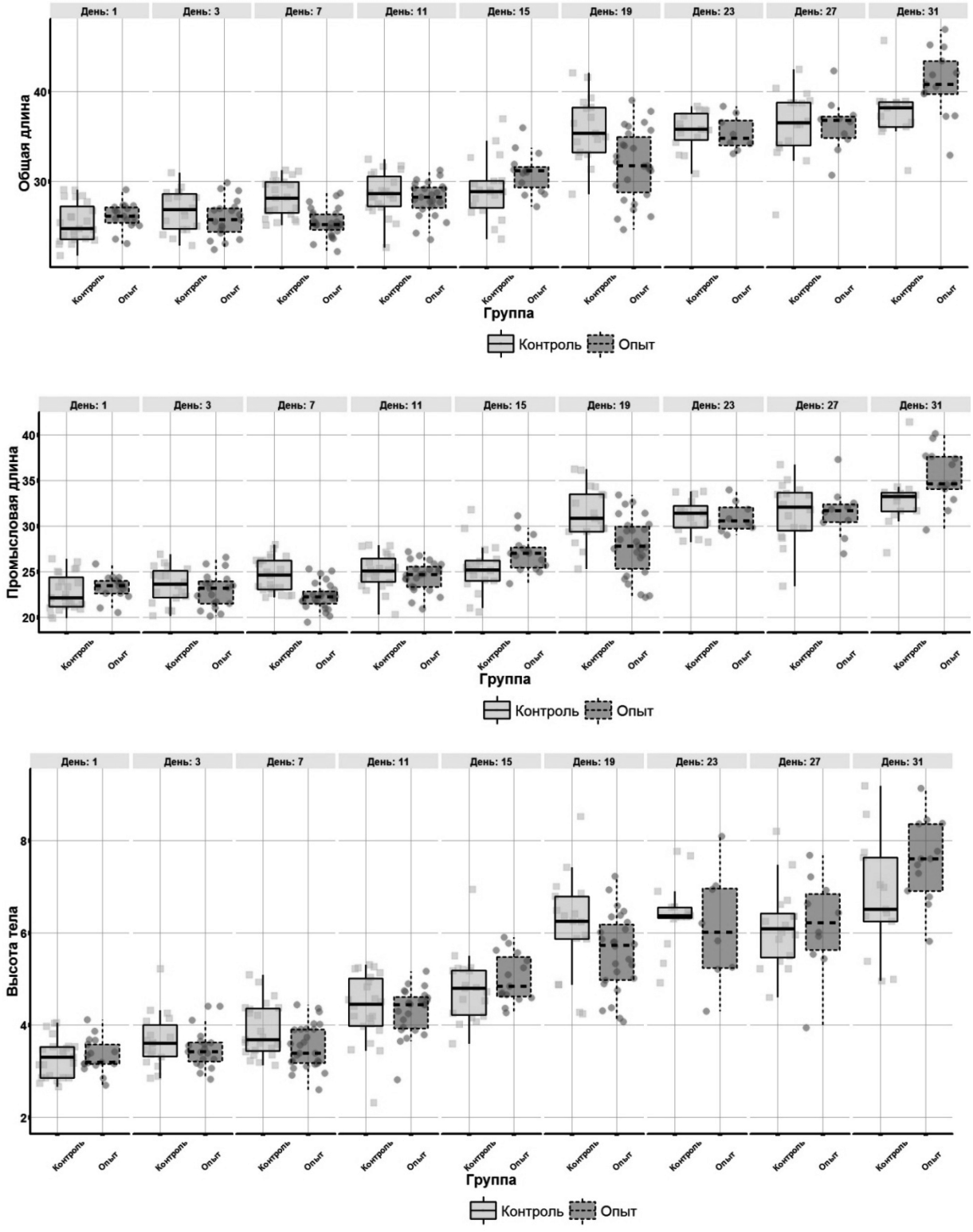


Рис. 2. Совмещенная диаграмма одномерного рассеяния и размахов роста размерных показателей личинок радужной форели в контрольной и опытной группах: общая длина (а), промысловая длина (б), высота тела (в). Прямоугольник диаграммы размахов обозначает медиану, а также 0,25 и 0,75 квантиль. N = 10–20 (в зависимости от дня наблюдения)

увеличение длины, по Смитту, в опытной группе (39,60 ± 0,95 мм) относительно контрольной группы (36,53 ± 0,91 мм). Различия статистически достоверны ($p < 0,05$).

Промысловая длина через неделю после выклева достоверно не отличалась между исследуемыми группами и изменялась от 22,76 ± 0,41 до 23,30 ± 0,30 мм, однако через 31 день произошло увеличение промысловой длины в опытной группе (35,45 ± 0,85 мм) относительно контрольной группы (32,94 ± 0,88 мм). Различия статистически достоверны ($p < 0,05$).

Длина головы через неделю после выклева достоверно не отличалась между исследуемыми группами и изменялась от 5,88 ± 0,14 до 5,98 ± 0,15 мм, однако через 31 день произошло увеличение длины головы в опытной группе (9,77 ± 0,21 мм) относительно контрольной группы (8,99 ± 0,16 мм). Различия статистически достоверны ($p < 0,05$).

Длина туловища через неделю после выклева достоверно не отличалась между исследуемыми группами и изменялась от 16,79 ± 0,33 до 17,28 ± 0,25 мм, однако через 31 день произошло увеличение длины туловища в опытной группе (25,90 ± 0,70 мм) относительно контрольной группы (23,99 ± 0,79 мм). Различия статистически достоверны ($p < 0,05$).

Высота тела через неделю после выклева достоверно не отличалась между исследуемыми группами и изменялась от 3,28 ± 0,05 до 3,33 ± 0,05 мм, однако через 31 день произошло увеличение высоты тела в опытной группе (7,55 ± 0,24 мм) относительно контрольной группы (6,77 ± 0,36 мм). Следует отметить, что различия статистически недостоверны ($p > 0,05$).

Антедорсальное расстояние через неделю после выклева достоверно не отличалось между исследуемыми группами и изменялось от 11,70 ± 0,20 до 11,95 ± 0,19 мм, однако через 31 день произошло увеличение антедорсального расстояния в опытной группе (18,46 ± 0,48 мм) относительно контрольной группы (16,91 ± 0,44 мм). Различия статистически достоверны ($p < 0,05$).

Антевентральное расстояние через неделю после выклева достоверно не отличалось между исследуемыми группами и изменялось от 12,06 ± 0,25 до 12,57 ± 0,26 мм, однако через 31 день произошло увеличение антевентрального расстояния в опытной группе (19,65 ± 0,57 мм) относительно контрольной группы (18,68 ± 0,55 мм). Следует отметить, что различия статистически недостоверны ($p > 0,05$).

Абсолютный среднесуточный прирост массы через неделю после выклева изменялся от 0,002 до 0,008 г. Через 31 день абсолютный среднесуточный прирост массы составил 0,006 г в контрольной группе и 0,04 г в опытной группе. Относительная скорость роста массы через 31 день после выклева в контрольной группе составляла 6,59 %, в опытной группе 34,25 %.

Экстерьерные индексы в исследуемых группах достоверно не отличались и изменялись следующим образом: через неделю после выклева индекс прогонистости варьировал от 6,98 до 7,04, индекс высокоспинности – от 14,27 до 14,39, индекс большеголовости – от 25,68 до 25,87. 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 ($p > 0,05$).

Анализ коэффициентов корреляции между экстерьерными индексами не выявил достоверных отличий между исследуемыми группами (рис. 3).

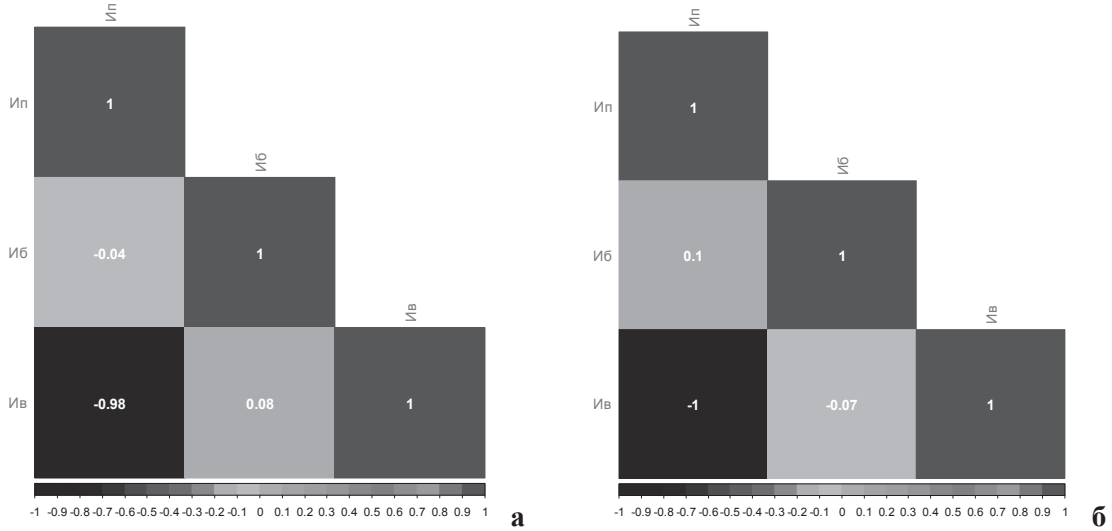


Рис. 3. Мультиколлинеарная матрица корреляционных связей экстерьерных индексов радужной форели в контрольной (а) и опытной (б) группе через 31 день после выклева. Условные обозначения: Ип – индекс прогонистости, Иб – индекс большеголовости, Ив – индекс высокоспинности

Для анализа влияния оптического излучения на темп роста массы личинок радужной форели нами были построены 13 вышеперечисленных нелинейных моделей регрессии с учетом классификации Ритца [18], [19]. Селекцию лучших моделей осуществляли на основании значения логарифма правдоподобия (logLik). Так, при анализе темпа изменения средней массы в контрольной группе лучшие значения logLik наблюдались у логистической модели с четырьмя параметрами; в опытной группе лучшие значения logLik наблюдались у Log-логистической модели с четырьмя параметрами. Значения коэффициентов указанных моделей приведены в таблице. Визуализация отобранных моделей представлена на рис. 4.

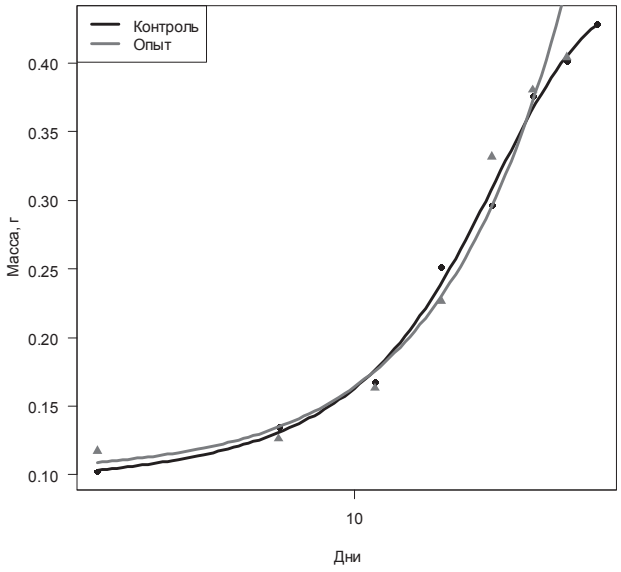


Рис. 4. Модели (логистическая модель с четырьмя параметрами (контрольная группа) и Log-логистическая модель с четырьмя параметрами (опытная группа)) темпа роста (массы) личинок радужной форели

Коэффициенты нелинейных моделей темпа роста (массы) личинок радужной форели в контрольной и опытной группах

Модель	Группа	
	контрольная	опытная
Коэффициенты	Логистическая модель	Log-логистическая модель
b	-0,18540	-1,8205
c	0,07383	0,1022
d	0,45071	4,6645
e	16,30119	105,2283

Логистическая модель с четырьмя параметрами имела следующий вид функции регрессии:

$$\varphi(x) = c + \frac{d-c}{1+exp\{b(x-e)\}}. \qquad (1)$$

Log-логистическая модель с четырьмя параметрами имела следующий вид функции регрессии:

$$\varphi(x) = c + \frac{d-c}{1+\exp\{b(\log(x)-\log(e))\}}, \qquad (2)$$

где параметры *c* и *d* являются нижним и верхним пределами отклика, *b*, *e* – параметры задаваемой нелинейной функции [13].

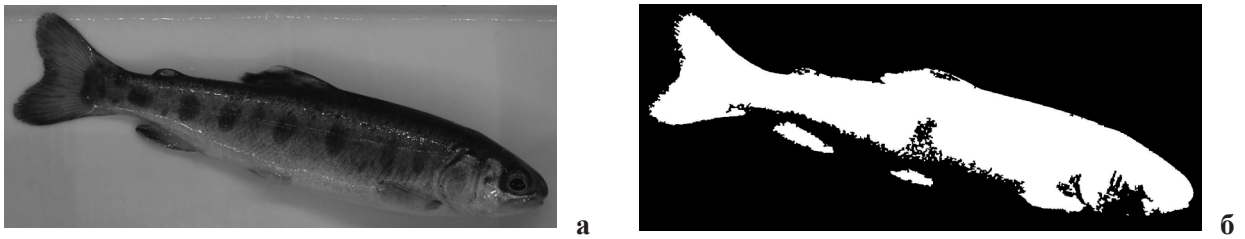
Проведенные исследования установили, что оптическое излучение низкой интенсивности способно оказывать влияние на изменение жизнестойкости личинок и мальков радужной форели при использовании методов функциональных нагрузок: терморезистентности, нейрофармакологического тестирования, а также при использовании оценки фоновых реакций пигментных клеток.

Так, при определении терморезистентности у молоди средней навеской 15 г величина стимулирующего эффекта достигала 19 %. При определении терморезистентности у молоди средней навеской 30 г величина стимулирующего эффекта достигала 12 %. Таким образом под влиянием оптического излучения происходило увеличение устойчивости рыбопосадочного материала радужной форели к экстремальным температурам.

При проведении нейрофармакологического тестирования в опытной группе величина стимулирующего эффекта времени восстановления после наркотического воздействия составила от 3 до 8 % в зависимости от массы рыбопосадочного материала.

В ходе изучения изменения окраски мальков при оценке фоновых реакций пигментых клеток была установлена более активная реакция меланофоров на изменения фона у мальков опытной группы, чем у мальков контрольной группы, что свидетельствовало об ее большей физиологической адаптивности к изменяющимся параметрам среды. При этом величина стимулирующего эффекта достигала 32 %. Регистрацию реакции пигментных клеток осуществляли при использовании программы FishGui на базе MATLAB (рис. 5), которая регистрировала параметры окраски в формате цветовых моделей RGB и HSV (рис. 6) и определяла доминирующую длину волны окраски рыбы (рис. 7).

При изучении мазков крови исследуемого рыбопосадочного материала радужной форели статистические отличия между контрольной и опытной группой выявлены не были. При этом формула крови свидетельствовала о нормальном развитии рыбопосадочного материала: количество эритроцитов варьировало от 86,6 до 93,8 %, незрелых лимфоцитов от 0,4 до 1,3 %, зрелых лимфоцитов от 2,3 до 6,5 %, моноцитов от 0,3 до 0,7 %, гранулоцитов от 0,4 до 1,6 %, тромбоцитов от 1,1 до 4,2 %.



а б

Рис. 5. Пример обработки изображения (а – до обработки, б – после обработки) с рыбопосадочным материалом радужной форели в программе FishGui для оценки фоновых реакций пигментных клеток

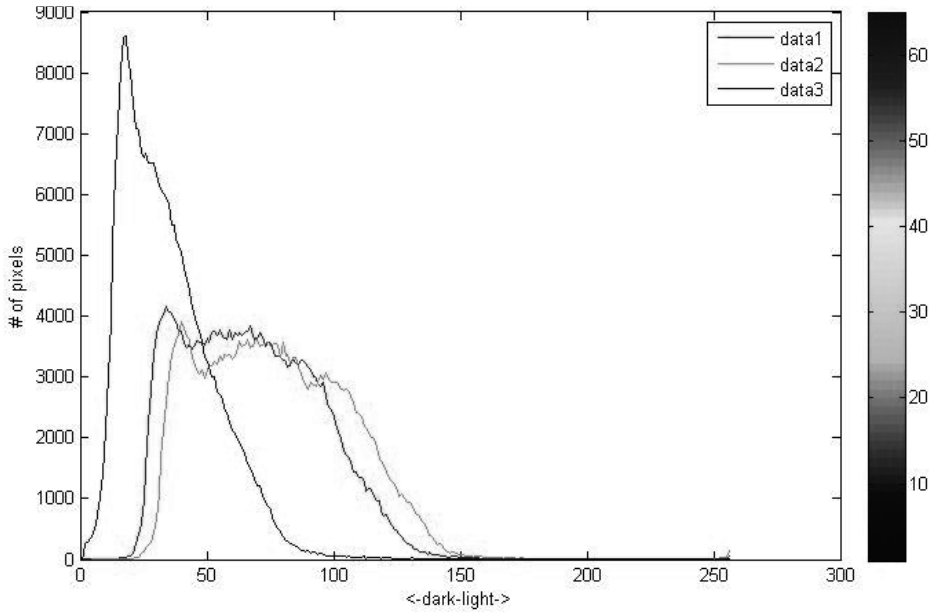


Рис. 6. Пример графика распределения отдельных цветов в восьмибитовом изображении с рыбопосадочным материалом радужной форели в программе FishGui для оценки фоновых реакций пигментных клеток

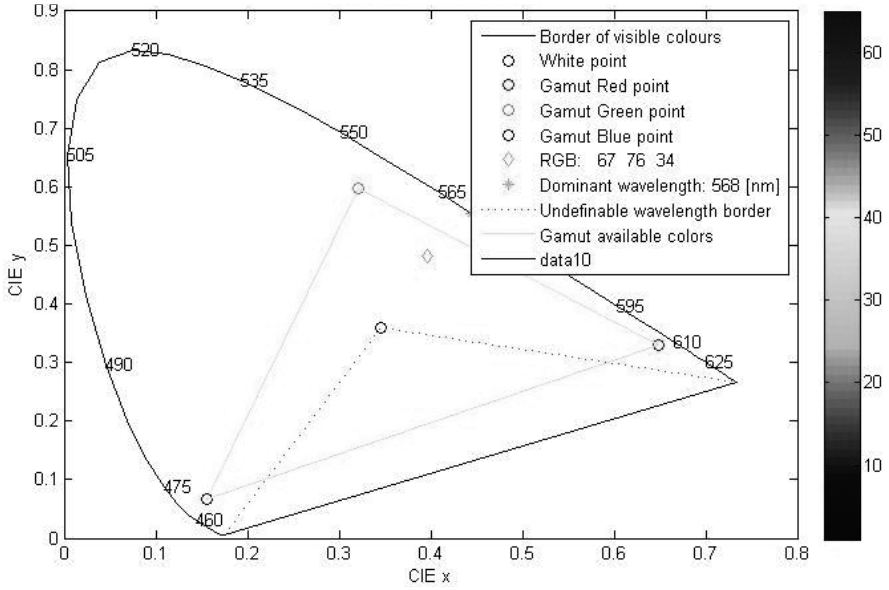


Рис. 7. Пример графика гаммы с определением доминирующей длины волны изображения с рыбопосадочным материалом радужной форели в программе FishGui для оценки фоновых реакций пигментных клеток

При проведении биохимических исследований достоверных отличий между исследуемыми группами по таким параметрам, как концентрация магния, мочевины, триглицеридов, кальция, альбумина, неорганического фосфора, полного белка, полного холестерина, глюкозы, выявлено не было. Однако установлено, что в опытной группе происходило достоверное снижение активности аспартатаминотрансферазы и аланинамиотрансферазы с 9 до 17 %.

В результате производственной проверки в контрольной группе было получено 3 525 штук личинок средней навеской 0,42 г (70,5 % выживаемости), а в группе, на которую воздействовали оптическим излучением низкой интенсивности, – 4 060 штук личинок средней навеской 0,57 г (81,2 % выживаемости). Ожидаемый экономический эффект от использования результатов составил 395,9 белорусских рубля на 10 000 штук личинок радужной форели.

На основании ранее проведенных исследований мы считаем, что в основе фотофизического механизма, определяющего биологическое действие оптического излучения низкой интенсивности при его воздействии на эмбрионы рыб, кроме диполь-дипольных взаимодействий, лежит ориентационный эффект нефотохимической природы [7], [8], [9], [10], [11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, периодичность оптического излучения низкой интенсивности при воздействии на икру рыб обеспечивает повышение эффективности искусственного воспроизводства и выращивания лососевых рыб за счет стимуляции размерно-весовых показателей, выживаемости, жизнестойкости и других физиологических показателей, а также оптимизации технологии товарной аквакультуры при низкой стоимости оборудования для ее реализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барулин Н. В. Системный подход к технологии регулирования воспроизводства объектов аквакультуры в рыбоводных индустриальных комплексах // Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. 2015. № 3. С. 107–111.
2. Барулин Н. В., Плавский В. Ю., Орлович В. А. Жаброногий рачок *Artemia salina* L. как объект для исследования биологической активности оптического излучения низкой интенсивности // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. 2012. № 28. С. 42–49.
3. Курдюков С. И. Экономическая ситуация в рыбохозяйственном комплексе // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2007. № 1. С. 20–22.
4. Мамонтов Ю. П. Аквакультура в пресноводных водоемах России. Тюмень: ФГУП Госрыбцентр, 2007. 35 с.
5. Мастицкий С. Э. Визуализация данных с помощью ggplot2. М.: ДМК Пресс, 2017. 222 с.
6. Мастицкий С. Э., Шитиков В. К. Статистический анализ и визуализация данных с помощью R. Хайдельберг. Лондон; Тольятти, 2014. 401 с.
7. Плавский В. Ю., Барулин Н. В. Влияние лазерного излучения инфракрасной области спектра на устойчивость молоди осетровых рыб к дефициту кислорода // Биомедицинская радиоэлектроника. 2008. № 8–9. С. 65–74.
8. Плавский В. Ю., Барулин Н. В. Влияние модуляции низкоинтенсивного лазерного излучения на его биологическую активность // Лазерная медицина. 2009. Т. 13. № 1. С. 4–10.
9. Плавский В. Ю., Барулин Н. В. Влияние низкоинтенсивного лазерного облучения икры на жизнестойкость молоди осетровых рыб // Журнал прикладной спектроскопии. 2008. Т. 75. № 2. С. 233–241.
10. Плавский В. Ю., Барулин Н. В. Влияние поляризации и когерентности оптического излучения низкой интенсивности на эмбрионы рыб // Журнал прикладной спектроскопии. 2008. Т. 75. № 6. С. 843–858.
11. Плавский В. Ю., Барулин Н. В. Роль поляризации и когерентности оптического излучения во взаимодействии со сперматозоидами осетровых рыб // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. 2009. № 25. С. 56–63.
12. Портная Т. В., Портной А. И., Сопот А. А. Характер эмбрионального и постэмбрионального развития радужной форели при доинкубации икры в условиях неблагоприятного повышения температуры воды // Животноводство и ветеринарная медицина. 2015. № 2 (17). С. 26–33.
13. Шитиков В. К. Экотоксикология и статистическое моделирование эффекта с использованием R. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2016. 149 с.
14. Barulin N. V. Serum enzyme response of captive sturgeon brookstock *Acipenser baerii* Brandt 1869 females and two hybrids (bester = female *Huso huso* Linnaeus, 1758× male *Acipenser ruthenus* Linneaus, 1758, and RsSs= *A. gueldenstaedtii* Brandt 1833× *A. baerii* Brandt 1869) to hormonal stimulation for spawning induction // Journal of Applied Ichthyology. 2015. Vol. 2 (31). P. 2–6.
15. Fox J. The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R // J. of Statistical Software. 2005. Vol. 14 (9). P. 1–42.
16. Kostousov V. G., Barulin N. V. Development of industrial fish culture in Belarus // Recirculation technologies in indoor and outdoor systems. HANDBOOK. Research Institute for Fisheries, Aquaculture and Irrigation/Szarvas. 2013. P. 44–48.
17. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2017. URL: https://www.R-project.org/.
18. Ritz C. et al. Dose-Response Analysis Using R // PLOS ONE. 2015. Vol. 10 (12).
19. Ritz C. Towards a unified approach to dose-response modeling in ecotoxicology // Environ. Toxicol. Chem. 2010. Vol. 29. P. 220–229.
20. Urban J. et al. Expertomica Fishgui: comparison of fish skin colour // J. Appl. Ichthyol. 2013. Vol. 29. P. 172–180.
21. Venables W. N., Ripley B. D. Modern Applied Statistics with S. Fourth Edition. Springer, New York, 2002. 498 p.
22. Wei T., Simko V. Corrplot.: Visualization of a Correlation Matrix // R package version 0.77. 2016. https://CRAN.R-project.org/package=corrplot.
23. Wickham H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag, New York, 2009.
24. Wood S. N. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models // Journal of the Royal Statistical Society (B). 2011. Vol. 73 (1). P. 3–36.

Liman M. S., Belarusian State Agricultural Academy (Gorki, Belarus)
Barulin N. V., Belarusian State Agricultural Academy (Gorki, Belarus)

THE EFFECT OF LOW INTENSITY OPTICAL RADIATION ON EMBRYOS AND LARVAE OF RAINBOW TROUT

Traditionally, the most difficult step of the reproduction technology and cultivation of fish is the step of stocking material cultivation. The incubation period requires correction of the embryonic development with the use of different factors. One such factor is a low-intensity optical radiation. The aim of our study was to determine the most optimal modes of the low-intensity optical radiation and the effect of the optimal mode on fish breeding and biological indicators of larvae and juvenile rainbow trout. The results of the study revealed that, within five days for 20 minutes a day with the power density of 3,0 mW/cm^2, the low-intensity optical radiation (red region, λ = 630 nm) can exert a stimulating effect on the size and weight of the rainbow trout stocking material. Juvenile fish from the experimental group was characterized by higher values of vitality and survival rate, higher adaptability to changing physiological parameters. Haematological and biochemical parameters of blood were within the physiological norm.

Key words: laser and optical radiation, aquaculture, hatchery, eggs, rainbow trout, salmon

REFERENCES

1. Barulin N. V. System approach to the regulation of fish reproduction on fish farms. Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. 2015. № 3. С. 107–111. (In Russ.)
2. Barulin N. V., Plavskii V. Y., Orlovich V. A. Gill-footed crustaceans Artemia salina L. as an object for the biological activity of low intensity optical radiation study. *Belarus Fish Industry Problems: a collection of scientific papers*. 2012. No 28. P. 42–49. (In Russ.)
3. Kurdjukov S. I. Economic situation in fish-husbandry complex of Russia. *Vest. Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2007. No 1. P. 20–22. (In Russ.)
4. Mamontov Y. P. Aquaculture in freshwater of Russia. Tyumen, 2007. 35 p. (In Russ.)
5. Mastitsky S. E. Visualization of data with the help of ggplot2. Moscow, 2017. 222 p. (In Russ.)
6. Mastitsky S. E, Shitikov V. K. Statistical analysis and visualization of data with the help of R. Heidelberg. London, Togliatti, 2014. 401 p. (In Russ.)
7. Plavskii V. Y., Barulin N. V. Influence of Infra-Red Laser Radiation on Viability of Larva Sturgeon Fishes to Deficiency of Oxygen. *Biomedical radio electronics*. 2008. № 8–9. P. 65–74. (In Russ.)
8. Plavskii V. Y., Barulin N. V. Modulation effect of low-intensity laser radiation on its biological activity. *Laser Medicine*. 2009. Vol. 13. No 1. P. 4–10. (In Russ.)
9. Plavskii V. Y., Barulin N. V. Effect of exposure of sturgeon roe to low-intensity laser radiation on the hardiness of juvenile sturgeon. *Journal of Applied Spectroscopy*. 2008. Vol. 75. No 2. P. 241–250. (In Russ.)
10. Plavskii V. Y., Barulin N. V. Effect of polarization and coherence of low-intensity optical radiation on fish embryos. *Journal of Applied Spectroscopy*. 2008. Vol. 75. No 6. P. 843–856. (In Russ.)
11. Plavskij V. Ju., Barulin N. V. Effect of polarization and coherence of low-intensity optical radiation on sperm of sturgeon fish. *Belarus Fish Industry Problems*. 2009. No 25. P. 56–63. (In Russ.)
12. Portnaya T. V., Portnoi A. I., Sopot A. A. Character of embryonic and postembryonic development of rainbow trout during pre-incubation of eggs under conditions of unfavorable rise in water temperature. *Livestock and veterinary medicine*. 2015. No 2 (17). P. 26–33. (In Russ.)
13. Shitikov V. K. Ecotoxicology and statistical modeling of the effect using R. Togliatti, 2016. 149 p. (In Russ.)
14. Barulin N. V. Serum enzyme response of captive sturgeon brookstock *Acipenser baerii* Brandt 1869 females and two hybrids (bester = female *Huso huso* Linnaeus, 1758× male *Acipenser ruthenus* Linneaus, 1758, and RsSs= *A. gueldenstaedtii* Brandt 1833× *A. baerii* Brandt 1869) to hormonal stimulation for spawning induction // Journal of Applied Ichthyology. 2015. Vol. 2 (31). P. 2–6.
15. Fox J. The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R // J. of Statistical Software. 2005. Vol. 14 (9). P. 1–42.
16. Kostousov V. G., Barulin N. V. Development of industrial fish culture in Belarus // Recirculation technologies in indoor and outdoor systems. HANDBOOK. Research Institute for Fisheries, Aquaculture and Irrigation/Szarvas. 2013. P. 44–48.
17. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2017. URL: https://www.R-project.org/.
18. Ritz C. et al. Dose-Response Analysis Using R // PLOS ONE. 2015. Vol. 10 (12).
19. Ritz C. Towards a unified approach to dose-response modeling in ecotoxicology // Environ. Toxicol. Chem. 2010. Vol. 29. P. 220–229.
20. Urban J. et al. Expertomica Fishgui: comparison of fish skin colour // J. Appl. Ichthyol. 2013. Vol. 29. P. 172–180.
21. Venables W. N., Ripley B. D. Modern Applied Statistics with S. Fourth Edition. Springer, New York, 2002. 498 p.
22. Wei T., Simko V. Corrplot.: Visualization of a Correlation Matrix // R package version 0.77. 2016. https://CRAN.R-project.org/package=corrplot.
23. Wickham H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag, New York, 2009.
24. Wood S. N. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models // Journal of the Royal Statistical Society (B). 2011. Vol. 73 (1). P. 3–36.

Поступила в редакцию 19.01.2018