

**ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНО-ОПТИЧЕСКОГО ПРИБОРА «СТРОНГА»
НА РЫБОВОДНО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РЫБОПОСАДОЧНОГО
МАТЕРИАЛА РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ**

М. С. ЛИМАН, Н. В. БАРУЛИН

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Могилевская область, Республика Беларусь, 213407

(Поступила в редакцию 04.12.2017)

Резюме. В работе представлены результаты исследований влияния оптического излучения низкой интенсивности на рыбопосадочный материал радужной форели в производственных условиях индустриального инкубационного цеха. В качестве источника излучения использовали лазерно-оптический прибор «Стронга» (красная область спектра, $\lambda = 630$ нм). В течении исследований осуществляли регулярную регистрацию размерно-весовых показателей, выживаемости, жизнестойкости, гематологических и биохимических показателей крови молоди радужной форели. Представленные данные позволяют заключить, что излучение лазерно-оптического прибора «Стронга» оказывает стимулирующий эффект.

Ключевые слова: оптическое излучение, радужная форель, лазерно-оптический прибор, выживаемость, жизнестойкость, кровь.

Summary. The paper presents the results of research on the effect of low intensity optical radiation on rainbow trout stocking material in the environment of industrial incubation. Laser-optical device «Stronga» (red region, $\lambda = 630$ nm) was used as a radiation source. During the research we conducted regular registration of length-weight indices, survival rate, viability, hematologic and blood chemistry value of young rainbow trout. Research statistics allow us to conclude that «Stronga» laser-optical device irradiation has a stimulating effect.

Key words: optical radiation, rainbow trout, laser-optical device, survival rate, viability, blood.

Введение. Потребление рыбы и продуктов ее переработки – важный показатель уровня и качества жизни населения. Потребность в этих продуктах удовлетворяется рыбохозяйственным комплексом, представляющим собой сложный многоотраслевой производственный механизм [1–3]. В условиях, когда уловы океанической рыбы и других морепродуктов сокращаются, а рыбные запасы внутренних водоемов находятся в критическом состоянии и поддерживаются в основном за счет искусственного воспроизводства, единственным надежным источником увеличения объемов пищевой рыбопродукции является аквакультура – культивирование рыб, других водных животных и растений в контролируемых и управляемых человеком условиях [2]. Государственной программой развития аграрного бизнеса на 2016–2020 годы предусмотрено значительное увеличение объемов выращивания товарной рыбной продукции. Вместе с тем, дальнейшее развитие аквакультуры Беларуси невозможно без освоения и внедрения инновационных технологических направлений, одними из которых являются рыбоводные индустриальные комплексы, работающие на принципах установок замкнутого водоснабжения (УЗВ) [4].

С целью решения задачи по разработке новой эффективной технологии выращивания жизнестойкого посадочного материала ценных видов, в рыбоводных индустриальных комплексах нами в результате многолетних фундаментальных и прикладных исследований научно обоснованы подходы, обеспечивающие реализацию стимулирующего действия низкоинтенсивного оптического излучения на рыбоводно-биологические и хозяйственно-полезные качества посадочного материала осетровых и лососевых рыб за счет воздействия оптического излучения на эмбрионы (оплодотворенную икру) и сперму рыб [5–7]. Проведенные исследования послужили основой для создания типоряда лазерно-оптических приборов на основе полупроводниковых лазеров и светодиодов для облучения икры ценных видов рыб, инкубирующейся в неподвижном положении, и в аппаратах Вейса.

Анализ источников. Развитие технологии форелеводства и осетроводства является актуальным для Беларуси. В технологической цепочке выращивания товарной рыбы наиболее ответственным является этап получения рыбопосадочного материала. Индустриальные методы выращивания, интенсификация производства и искусственные условия являются сильнейшими стрессовыми факторами для эмбрионального развития, приводя к снижению основных физиологических показателей, выживаемости и жизнестойкости на протяжении всей жизни рыбы, в т. ч. к появлению морфологических аномалий [8]. Поэтому, в период эмбрионального развития в

условиях индустриальной аквакультуры, необходимо осуществлять коррекцию развития, с использованием различных факторов воздействия на организм. Одним из таких факторов является низкоинтенсивное оптическое излучение, которое с успехом используется в медицине для лечения, коррекции и терапии в различных направлениях. Как показали наши многолетние исследования, лазерное излучение, а также излучение сверхярких светодиодов оказывает стимулирующее воздействие на осетровых рыб и их половые продукты (икру и сперму), а также на развитие жаброногих рачков [9–13]. Однако, наши исследования основывались на однократном воздействии оптического излучения на биообъекты, т. к. кратность воздействия лимитировалась технологией культивирования биообъекта. Открытым остается вопрос о наиболее благоприятных режимах периодичности (кратности) воздействия оптического излучения на объекты аквакультуры, технология культивирования которых это позволяет.

Цель работы – изучение влияния разработанного лазерно-оптического прибора «Стронга» на рыбоводно-биологические показатели рыбовосадочного материала радужной форели при различных режимах периодичности воздействия.

Материал и методика исследований. Исследования выполнялись на базе кафедры ихтиологии и рыбоводства и рыбоводного индустриального комплекса УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».

Объектом исследований являлись однополые эмбрионы (оплодотворенная икра на стадии глазка) самок радужной форели на стадии глазка.

Оплодотворенная икра на стадии глазка закупалась в рыбопотомнике Viviers de Sarrance (Франция), которая транспортировалась в термопластиковой таре со льдом на самолете. Затем икра проходила адаптацию в инкубационном цехе рыбоводного индустриального комплекса, работающим по принципу УЗВ, включающая в себя лотки для доинкубации, систему механической и биологической очистки, а также оксигенацию и обеззараживание воды УФ-облучением.

Эмбрионы радужной форели подвергались оптическому излучению (опытные группы) или не подвергались, но находились в идентичных условиях (контрольная группа). В качестве источника оптического излучения использовали матрицу светодиодных источников (LED) оптического прибора «Стронга» (красная область спектра $\lambda = 630 \pm 10$ нм) разработанного в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии и в Институте физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси. Воздействие на эмбрионы осуществляли в течение 1–5 дней по 1–30 минут в день, при плотности мощности $3,0$ мВт/см².

В течение исследований осуществляли регистрацию выживаемости, жизнестойкости, размерно-весовых показателей, гематологических и биохимических показателей рыбовосадочного материала радужной форели.

Фиксирование размерных показателей осуществлялось при помощи цифровой камеры Cyber - Shot DSC-P200 с последующей обработкой результатов при помощи программы ImageJ.

У исследуемых рыб изучали клетки крови, а также количественные и качественные изменения в сыворотке крови. Отбор крови для приготовления мазков осуществлялся прижизненно из хвостовой вены, с соблюдением ветеринарно-санитарных правил и принципов гуманного отношения к животным. Отбор материала и работа с ним проводилась 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 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 мазки подвергались окрашиванию по методу Романовского–Май Грюнвальда. Окрашивание проводилось с применением красителей. После окраски окрашенные мазки подвергались анализу путем прямого микрофотографирования с применением микроскопа с иммерсионной системой «BioScope» [14].

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 3000 об. / мин. на лабораторной центрифуге.

В полученной сыворотке крови определялась активность α -гидроксибутиратдегидрогеназы, щелочной фосфатазы, лактатдегидрогеназы, аспаратаминотрансферазы, аланинаминотрансферазы, концентрация магния, мочевины, триглицеридов, кальция, альбумина, неорганического фосфора, полного белка, полного холестерина, глюкозы. В наших исследованиях мы использовали реактивы фирмы Cormay (LiquickCor-CK). 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 [14].

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 [15].

Для статистической обработки результатов использовали программную среду R, включая пакеты R Commander, MASS, ggplot2, mgcv, corrplot [16-25], а также программную среду Circos [26]. 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.

Результаты исследований и их обсуждение. Как показали наши исследования, лазерно-оптический прибор «Стронга» способен оказывать влияние на изменение размерно-весовых показателей личинок радужной форели.

Исследования по изучению влияния оптического излучения на эмбриональное и постэмбриональное развитие радужной форели в условиях *in vivo* установили, что показатели 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) лазерно-оптический прибор «Стронга» оказывал стимулирующий эффект на перечисленные рыбоводно-биологические показатели 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) [27–28]. Пример 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.) представлен на рис. 1.

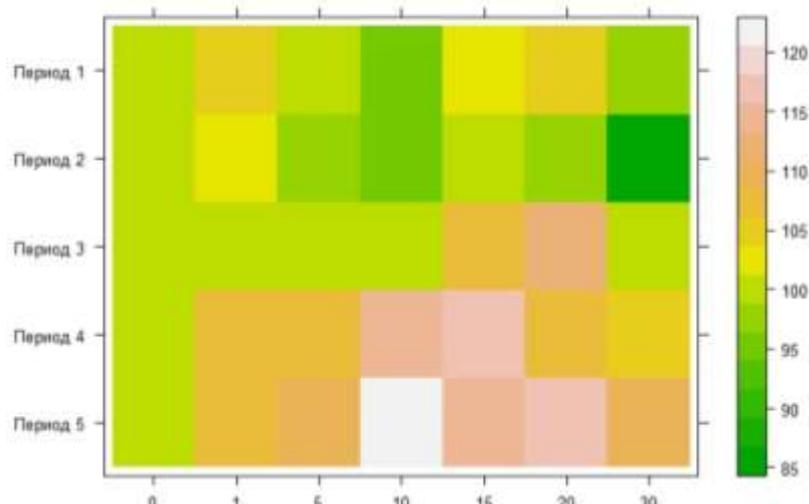


Рис. 1. Вариограмма изменения стимулирующего эффекта лазерно-оптического прибора «Стронга» на индивидуальное время жизни эмбрионов радужной форели в зависимости от периодичности воздействия (1–5 дней) и времени воздействия (0–30 мин.)

Выявленную стимулирующую дозировку оптического излучения мы применяли в производственных условиях рыбоводного индустриального комплекса в модуле инкубации при воздействии оптическим прибором «Стронга» на эмбрионы радужной форели на стадии глазка. Были сформированы две группы: опытная, эмбрионы которой подвергались оптическому излучению прибора «Стронга» в наиболее оптимальной дозировке и контрольная, эмбрионы которой не подвергались оптическому излучению прибора «Стронга», но находились в идентичных условиях.

Через неделю после выклева средняя масса личинок радужной форели между исследуемыми группами достоверно не отличалась и варьировала от $0,12 \pm 0,01$ г до $0,13 \pm 0,01$ г, то через 31 день после выклева значения средней массы составили: $0,43 \pm 0,02$ г в контрольной группе и $0,57 \pm 0,02$ г в опытной группе. Различия статистически достоверны ($p < 0,05$).

Общая длина личинок при выклеве достоверно не отличалась и варьировала от $25,40 \pm 0,45$ мм до $26,14 \pm 0,35$ мм. Через 31 день после выклева значения общей длины составили: $37,74 \pm 0,89$ мм в контрольной группе и $40,98 \pm 1,05$ мм в опытной группе (рис. 2, а). Различия статистически достоверны ($p < 0,05$).

Длина по Смитту личинок при выклеве достоверно не отличалась и варьировала от $25,19 \pm 0,46$ мм до $25,79 \pm 0,35$ мм. Через 31 день после выклева значения длины по Смитту составили: $36,53 \pm 0,91$ мм в контрольной группе и $39,60 \pm 0,95$ мм в опытной группе. Различия статистически достоверны ($p < 0,05$).

Промысловая длина личинок при выклеве достоверно не отличалась и варьировала от $22,76 \pm 0,41$ мм до $23,30 \pm 0,30$ мм. Через 31 день после выклева значения промысловой длины составили: $32,94 \pm 0,88$ мм в контрольной группе и $35,45 \pm 0,85$ мм в опытной группе (рис. 2, б). Различия статистически недостоверны ($p > 0,05$).

Длина головы личинок при выклеве достоверно не отличалась и варьировала от $5,88 \pm 0,14$ мм до $5,98 \pm 0,15$ мм. Через 31 день после выклева значения длины головы составили: $8,99 \pm 0,16$ мм в контрольной группе и $9,77 \pm 0,21$ мм в опытной группе. Различия статистически достоверны ($p < 0,05$).

Длина туловища личинок при выклеве достоверно не отличалась и варьировала от $16,79 \pm 0,33$ мм до $17,28 \pm 0,25$ мм. Через 31 день после выклева значения длины туловища составили: $23,99 \pm 0,79$ мм в контрольной группе и $25,90 \pm 0,70$ мм в опытной группе. Различия статистически недостоверны ($p > 0,05$).

Высота тела личинок при выклеве достоверно не отличалась и варьировала от $3,28 \pm 0,05$ мм до $3,33 \pm 0,05$ мм. Через 31 день после выклева значения высоты тела составили: $6,77 \pm 0,36$ мм в контрольной группе и $7,55 \pm 0,24$ мм в опытной группе (рис. 2, в). Различия статистически недостоверны ($p > 0,05$).

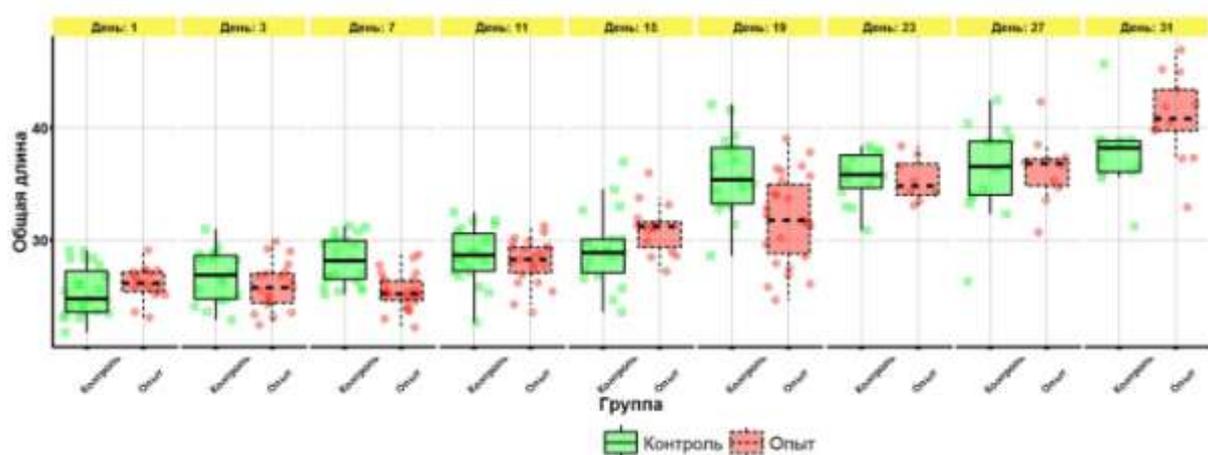
Антедорсальное расстояние при выклеве достоверно не отличалось и варьировала от $11,70 \pm 0,20$ мм до $11,95 \pm 0,19$ мм. Через 31 день после выклева значения антедорсального расстояния составили: $16,91 \pm 0,44$ мм в контрольной группе и $18,46 \pm 0,48$ мм в опытной группе. Различия статистически достоверны ($p < 0,05$).

Антевентральное расстояние при выклеве достоверно не отличалось и варьировала от $12,06 \pm 0,25$ мм до $12,57 \pm 0,26$ мм. Через 31 день после выклева значения антевентрального расстояния составили: $18,68 \pm 0,55$ мм в контрольной группе и $19,65 \pm 0,57$ мм в опытной группе. Различия статистически недостоверны ($p > 0,05$).

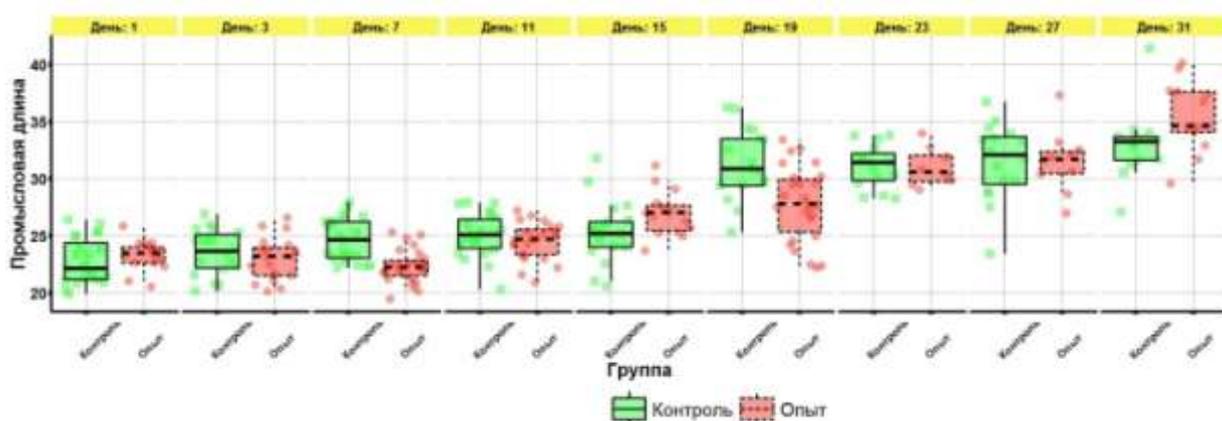
Абсолютный среднесуточный прирост массы личинок сразу после выклева варьировал от 0,002 г до 0,008 г. Через 31 день после выклева абсолютный среднесуточный прирост массы составил 0,006 г в контрольной группе и 0,04 г в опытной группе. Относительная скорость роста массы через 31 день после выклева в контрольной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

Экстерьерные индексы в исследуемых группах достоверно не отличались и варьировали следующим образом: сразу после выклева личинок индекс прогонистости 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 ($p > 0,05$).

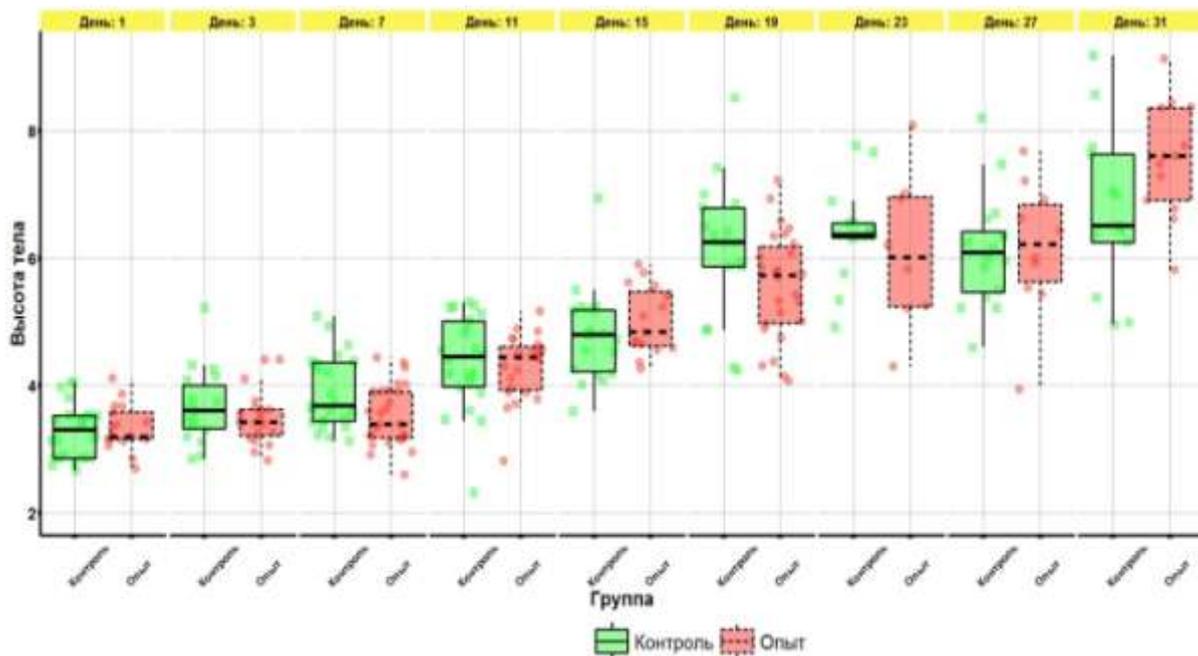
Анализ коэффициентов корреляции между экстерьерными индексами не выявил достоверных отличий между исследуемыми группами (рис. 3).



а



б



в

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 квантили. N =10-20 (в зависимости от дня наблюдения)

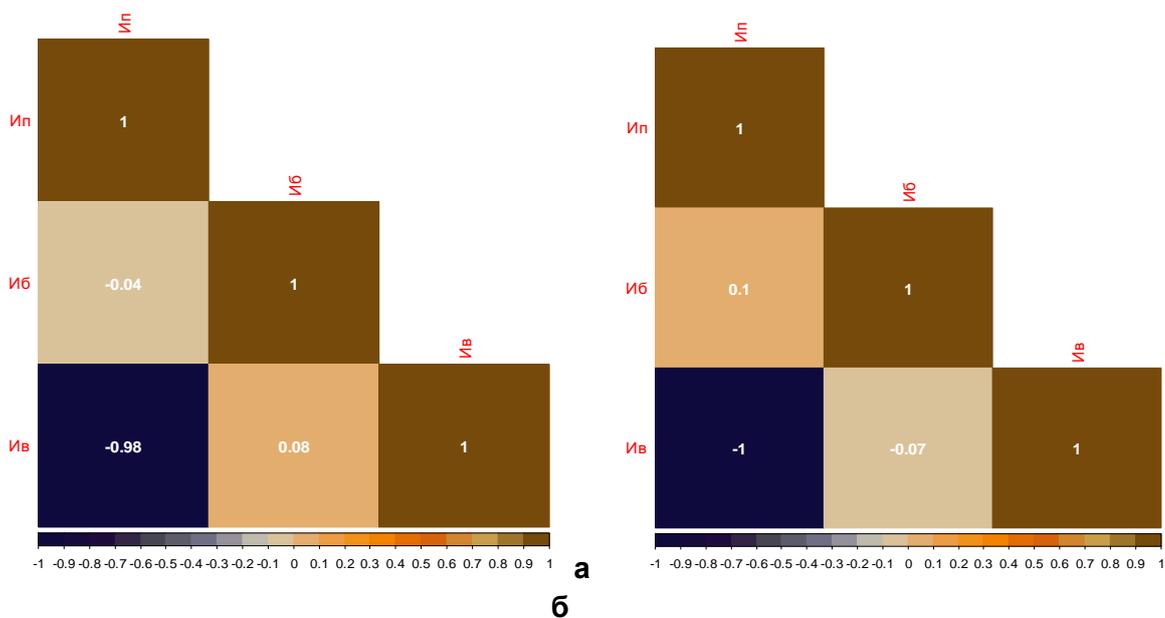


Рис. 3. Мультиколлинеарная матрица корреляционных связей экстерьерных индексов радужной форели в контрольной (а) и опытной (б) группе через 31 день после выклева. Условные обозначения: Ип – индекс прогонистости, ИБ – индекс большеголовости, Ив – индекс высокоспинности

Как показали наши исследования, лазерно-оптический прибор «Стронга» способен оказывать влияние на изменение жизнестойкость рыбопосадочного материала 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 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 этом величина стимулирующего эффекта достигала до 32 %. Регистрацию реакции пигментных клеток осуществляли при использовании программы FishGui на базе MATLAB (рис. 4), которая регистрировала параметры окраски в формате цветowych моделей RGB и HSV (рис. 5) и определяла доминирующую длину волны окраски рыбы (рис. 6).

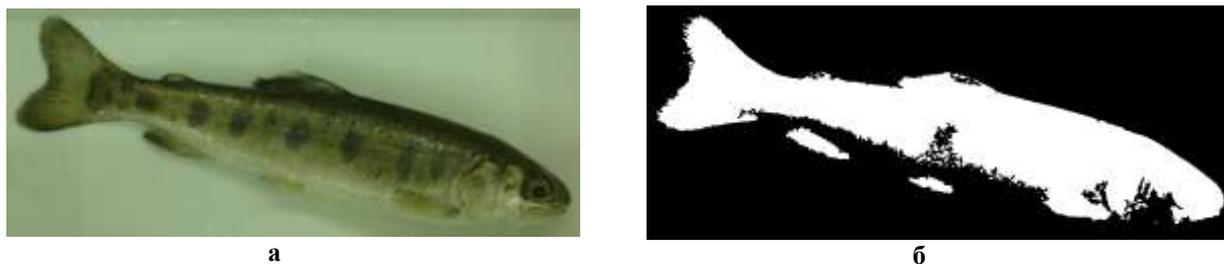


Рис. 4. Пример обработки изображения (а – до обработки, б – после обработки) с рыбопосадочным материалом радужной форели в программе FishGui для оценки фоновых реакций пигментных клеток

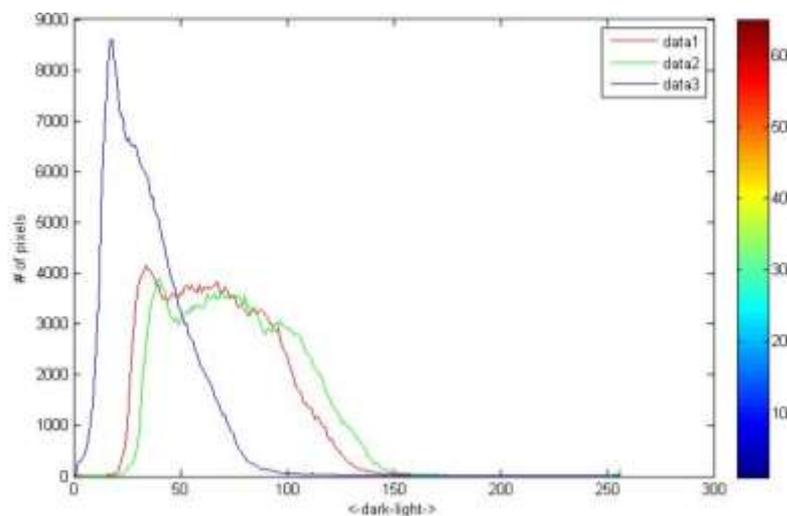


Рис. 5. Пример графика распределения отдельных цветов в восьмибитовом изображении с рыбопосадочным материалом радужной форели в программе FishGui для оценки фоновых реакций пигментных клеток

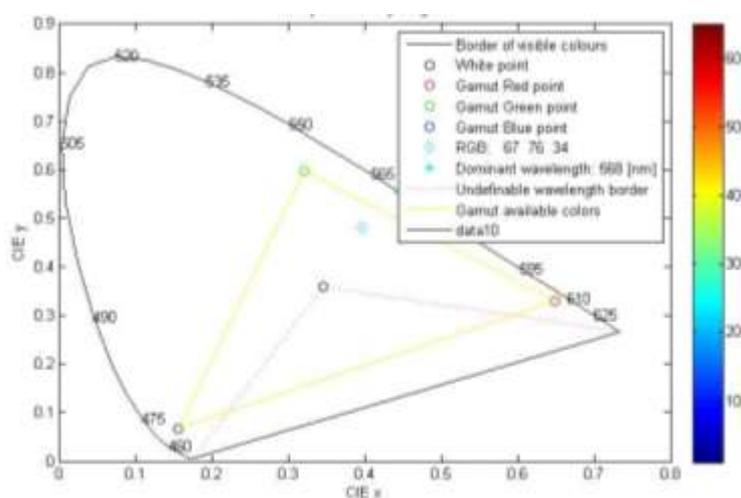


Рис. 6. Пример графика гаммы с определением доминирующей длины волны изображения с рыбопосадочным материалом радужной форели в программе FishGui для оценки фоновых реакций пигментных клеток

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 нормально 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 %.

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 аспаратаминотрансферазы и аланинаминотрансферазы от 9 до 17 %.

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 прибора «Стронга» было получено 4060 штук личинок средней навеской 0,57 г (81,2 % выживаемости). Ожидаемый экономический эффект от использования результатов составил 395,9 рублей на 10000 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 [9–13].

Закключение. Таким образом, разработанные нами лазерно-оптические приборы «Стронга» для периодического светового воздействия на икру рыб в инкубаторе лоткового типа 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барулин, Н. В. Жаброногий рачок *Artemia salina* L. как объект для исследования биологической активности оптического излучения низкой интенсивности / Н. В. Барулин, В. Ю. Плавский, В. А. Орлович // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. – Минск. – 2012. – № 28. – С. 42–49.
2. Барулин, Н. В. Системный подход к технологии регулирования воспроизводства объектов аквакультуры в рыбоводных промышленных комплексах / Н. В. Барулин // Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук – Минск. – 2015. – № 3. – С. 107–111.
3. Курдюков, С. И. Экономическая ситуация в рыбохозяйственном комплексе / С. И. Курдюков // Вест. Рос. академ. с.- х. наук. – 2007. – № 1. – С. 20–22.
4. Лиман, М. С. Лазерно-оптические приборы для повышения эффективности инкубации икры радужной форели и стерляди в рыбоводных промышленных комплексах / М. С. Лиман, Н. В. Барулин, В. Ю. Плавский // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. – Минск. – 2016. – № 32. – С. 121–134.
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 / М. С. Лиман, Н. В. Барулин // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сб. научных трудов. – Т. 37: Зоотехния: Гродно: ГГАУ, 2017. – С. 163–172.
6. Лиман, М. С. Эффект оптического излучения низкой интенсивности на декадную выживаемость эмбрионов и личинок радужной форели в зависимости от температуры *in vitro* / М. С. Лиман, Н. В. Барулин, В. Ю. Плавский // Животноводство и ветеринарная медицина: ежеквартальный научно-практический журнал. – 2017. – № 3(26). – С. 13–17.
7. Мамонтов, Ю. П. Аквакультура в пресноводных водоемах России / Ю. П. Мамонтов, А. И. Литвиненко. – Тюмень: ФГУП Госрыбцентр, 2007. – 35 с.
8. Мастицкий, С. Э. Статистический анализ и визуализация данных с помощью R / С. Э. Мастицкий, В. К. Шитиков. – Хайдельберг – Лондон – Тольятти. – 2014. – Электронная книга. – <http://r-analytics.blogspot.com>.
9. Мастицкий, С. Э. Визуализация данных с помощью ggplot2 / С. Э. Мастицкий. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 222 с.
10. Плавский, В. Ю. Влияние низкоинтенсивного лазерного облучения икры на жизнестойкость молоди осетровых рыб / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин // Журнал прикладной спектроскопии. – 2008 – Т. 75, 2 – С. 233–241.
11. Плавский, В. Ю. Влияние поляризации и когерентности оптического излучения низкой интенсивности на эмбрионы рыб / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин // Журнал прикладной спектроскопии. – 2008. – Т. 75. – № 6. – С. 843–858.
12. Плавский, В. Ю. Роль поляризации и когерентности оптического излучения во взаимодействии со сперматозоидами осетровых рыб / В. Ю. Плавский, Н. В. Барулин // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. – Минск. – 2009. – № 25. – С. 56–63.
13. Портная, Т. В. Характер эмбрионального и постэмбрионального развития радужной форели при доинкубации икры в условиях неблагоприятного повышения температуры воды / Т. В. Портная, А. И. Портной, А. А. Сопот // Животноводство и ветеринарная медицина. – 2015. – № 2(17). – С. 26–33.
14. Рекомендации по выращиванию рыбопосадочного материала радужной форели в рыбоводных промышленных комплексах (с временными нормативами): / Н. В. Барулин [и др.]. – Горки: БГСХА, 2016. – 179 с.
15. Стратегия развития аквакультуры в Российской Федерации на период до 2020 года // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2008. – № 6. – С. 1–16.
16. Шитиков, В. К. Экотоксикология и статистическое моделирование эффекта с использованием R. / В. К. Шитиков – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2016. – 149 с.
17. Circos: An information aesthetic for comparative genomics / M. I Krzywinski [et al.] // Genome Res. – 2009. – doi:10.1101/gr.092759.109.
18. Dose-Response Analysis Using R / C. Ritz [et al.] // PLOS ONE. – 2015. – Vol. 10(12).
19. Fox, J. 2005. The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R / J. Fox // J. of Statistical Software. – V. 14(9). –P. 1–42.
20. Plavskii, V.Y. Effect of exposure of sturgeon roe to low-intensity laser radiation on the hardness of juvenile sturgeon / V. Y. Plavskii, N. V. Barulin // Journal of Applied Spectroscopy. – 2008. – Vol. 75(2). – P. 241–250.
21. Plavskii, V.Y. Effect of polarization and coherence of low-intensity optical radiation on fish embryos / V. Y. Plavskii, N. V. Barulin // Journal of Applied Spectroscopy. – 2008. – Vol. 75 (6). – P. 843–856.
22. Plavskii, V. Y. How the biological activity of low-intensity laser radiation depends on its modulation frequency / V. Y. Plavskii, N. V. Barulin // Journal of Optical Technology. – 2008. – Vol. 75(9). – P. 546–552.
23. Expertomica Fishgui: comparison of fish skin colour / J. Urban [et al.] // J. Appl. Ichthyol. – 2013. – Vol. 29. – P. 172–180.
24. 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/>.
25. Venables, W. N. Modern Applied Statistics with S / W. N. Venables. B. D. Ripley // Fourth Edition. Springer, New York. – 2002.
26. Wood, S. N. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models / S. N. Wood // Journal of the Royal Statistical Society (B). – 2011. – Vol. 73(1). – P. 3–36.
27. Wickham, H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis / H. Wickham. – Springer-Verlag New York, 2009.
28. Wei, T. Corrplot: Visualization of a Correlation Matrix / T. Wei, V. Simko // R package version 0.77. – 2016. – <https://CRAN.R-project.org/package=corrplot>.