

УДК 639.31

ВЛИЯНИЕ ФОТОПЕРИОДА НА РОСТ РЫБОПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ В УСТАНОВКЕ ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

М. С. ЛИМАН, Н. В. БАРУЛИН, Р. В. КУРИЛИН

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

(Поступила в редакцию 20.09.2017)

***Резюме.** Среди многочисленных абиотических факторов в аквакультуре, которые влияют на рост и развитие рыбы, свет играет важную роль. Цель наших исследований заключалась в определении наиболее оптимальных фотопериодов для роста рыбопосадочного материала радужной форели в условиях искусственного освещения в установке замкнутого водоснабжения. Нами было установлено, что фотопериоды способны оказывать как стимулирующий, так и угнетающий эффект. Наилучшие результаты в размерно-весовых показателях были выявлены в опытной группе с продолжительностью света 16 час. /сутки (L16D8). Наихудшие показатели в размерно-весовых показателях были выявлены в опытной группе с продолжительностью света 8 час. /сутки (L8D16). Разница между лучшими и худшими фотопериодами достигала до 50,4 % по средней массе и до 13,7 % по общей длине. В группе L16D8 исследуемая молодь радужной форели также характеризовалась лучшими значениями скорости роста. Наши исследования не выявили достоверных отличий в изменении силы корреляционных связей между исследуемыми фотопериодами. Лучший фотопериод (L16D8) характеризовался максимальными показателями экономической эффективности. Результаты наших исследований рекомендуется использовать в практической деятельности рыбоводных индустриальных комплексов по выращиванию рыбопосадочного материала радужной форели.*

Ключевые слова: аквакультура, свет, рыбопосадочный материал, радужная форель, искусственное освещение.

***Summary.** Among many abiotic factors in aquaculture which exert an influence on the growth and development of fish, light plays a critical part. The goal of our study was to determine photoperiods optimal for growth of rainbow trout stocking material when using artificial light in RAS systems. Our studies found that photoperiods can have both stimulatory and inhibitory effect. The best parameters of length-weight relationships were revealed in the experimental group with a lighting period of 16 hours a day (L16D8). The worst length-weight relationship parameters were revealed in the experimental group with a lighting period of 8 hours a day (L8D16). The difference between the best and the worst photoperiods topped 50.4 % by average weight and 13.7 % by the overall length. In L16D8 group rainbow trout fingerlings under study were also characterized by better values of growth rate. Our studies didn't find any significant difference in correlation relationships between photoperiods under consideration. The best photoperiod (L16D8) showed maximum economic efficiency. It is recommended that the results of our studies should be used for practical purposes at fish breeding farms producing rainbow trout stocking material.*

Key words: aquaculture, light, stocking material, rainbow trout, artificial lighting.

Введение. 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) [1].

Выращивание рыбы в УЗВ осуществляется в полностью контролируемых человеком искусственных условиях, в которых успех производства во многом определяется различными абиотическими факторами. Внешние факторы особенно важны в процессе роста холоднокровных позвоночных, таких как костистых рыб, чувствительных к температуре, доступности продуктов питания и др. [2, 3]. Среди многочисленных абиотических факторов в аквакультуре, которые влияют на рост и развитие рыбы, свет играет важную роль. Влияние света на рост рыбы, прежде всего, касается длины фотопериода [4]. Многочисленные исследования, посвященные этой проблеме, сообщают о влиянии длительности фотопериода на различные объекты аквакультуры [5]. Улучшение роста рыбы под влиянием светового режима связываются с более высокой эффективностью преобразования пищи и увеличением параметров роста. Манипуляции с продолжительностью светового дня используют, к примеру, для стимулирования или замедления полового созревания у рыб, для управления периодами нереста или ускорения роста товарной рыбы [5].

По нашему мнению, технология выращивания рыбы в рыбоводных индустриальных комплексах Беларуси нуждается в корректировке применяемых фотопериодов, которые должны использоваться дифференцированно, в зависимости от возраста и конечных целей предприятия.

Цель работы – определение наиболее оптимальных фотопериодов для роста рыбопосадочного материала радужной форели в условиях искусственного освещения.

Материал и методика исследований. Исследования выполнялись на базе кафедры ихтиологии и рыбоводства и рыбоводного индустриального комплекса УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» (рыбокомплекс УО БГСХА) в 2016–2017 годах.

Объектом исследований являлся рыбопосадочный материал (молодь) радужной форели средней навеской 5,6–29,4 г, в возрасте 100–160 суток, завезенный на стадии глазка из рыбопотомника Viviers de Sarrance (Франция) с дальнейшей доинкубацией и дорастиванием в условиях установки замкнутого водоснабжения (УЗВ) рыбокомплекса УО БГСХА. УЗВ включала в себя лотки для доинкубации, бассейны, системы механической и биологической очистки, а также оксигенацию и обеззараживание воды УФ-облучением и озонированием.

Для достижения поставленной цели нами были сформированы 5 групп по 50 экз. 100-суточной молоди радужной форели средней навеской $4,71 \pm 0,24$ г, которых выращивали при следующих фотопериодах: 1 группа – продолжительность света 0 час./сутки, продолжительность темноты 24 час./сутки (L0D24); 2 группа – продолжительность света 12 час./сутки, продолжительность темноты 12 час./сутки (L12D12); 3 группа – продолжительность света 16 час./сутки, продолжительность темноты 8 час./сутки (L16D8); 4 группа – продолжительность света 24 час./сутки, продолжительность темноты 0 час./сутки (L24D0); 5 группа – продолжительность света 8 час./сутки, продолжительность темноты 16 час./сутки (L8D16).

В качестве источника света использовали люминесцентные неполяризованные лампы белого света суммарной мощностью 72 Вт. Плотность мощности света на уровне уреза воды в бассейне составляла не более $0,2$ мВт/см². Для создания полной темноты бассейны с рыбой накрывались крышками из светонепроницаемого материала.

Плотность посадки малька, частота кормления и другие технологические условия (за исключением фотопериода) соответствовали нормативным значениям [6].

В течение исследований осуществляли еженедельную регистрацию размерно-весовых показателей молоди радужной форели по следующим параметрам: средняя масса, общая длина, длина по Смитту, промысловая длина, длина головы, длина туловища, высота тела, антедорсальное расстояние, антевентральное расстояние [7]. На основании полученных размерно-весовых показателей осуществляли расчет стандартного коэффициента упитанности лососевых рыб [8], индекса прогонистости, индекса большеголовости, индекса высокоспинности, абсолютного среднесуточного прироста, относительной скорости роста [9].

Для статистической обработки результатов использовали программную среду R, включая пакеты R Commander, MASS, ggplot2, mgcv, drc, corrplot [10–19], а также программную среду Circos [20]. 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 [18]. Для анализа влияния различных фотопериодов на темп роста массы молоди радужной форели использовали модель Михаэлиса – Ментена [10].

Результаты исследований и их обсуждение. Как показали наши исследования, фотопериод способен оказывать эффект на изменение размерно-весовых показателей молоди радужной форели. Так если через неделю после начала эксперимента средняя масса молоди радужной форели между исследуемыми группами достоверно не отличалась и варьировала от $5,57 \pm 0,24$ г до $6,38 \pm 0,27$ г, то через 7 недель значения средней массы составили: $21,79 \pm 0,76$ г в опытной группе (в фотопериоде) L0D24; $19,87 \pm 0,86$ г в L8D16; $25,09 \pm 0,80$ г в L12D12; $29,90 \pm 0,97$ г в L16D8; $26,62 \pm 0,74$ г в L24D0 (рис. 1, а). Максимальные значения средней массы были получены в группе L16D8 (различия статистически достоверны ($p < 0,05$) по отношению к группам L0D24, L8D16, L12D12).

Общая длина молоди радужной форели в начале эксперимента достоверно не отличалась и варьировала от $75,63 \pm 1,97$ мм до $81,61 \pm 1,84$ мм. В конце эксперимента значения общей длины составили: $123,33 \pm 2,27$ мм в опытной группе (в фотопериоде) L0D24; $117,78 \pm 2,58$ мм в L8D16; $129,34 \pm 3,58$ мм в L12D12; $139,05 \pm 2,85$ мм в L16D8; $131,71 \pm 2,65$ мм в L24D0 (рис. 1, б). Максимальные значения общей длины были получены в группе L16D8 (различия статистически достоверны ($p < 0,05$) по отношению к группам L0D24 и L8D16).

Длина по Смитту молоди радужной форели в начале эксперимента достоверно не отличалась и варьировала от $72,66 \pm 2,01$ мм до $78,64 \pm 1,68$ мм. В конце эксперимента значения длины по Смитту

составили: $119,31 \pm 2,26$ мм в опытной группе (в фотопериоде) L0D24; $113,64 \pm 2,46$ мм в L8D16; $125,21 \pm 3,49$ мм в L12D12; $134,19 \pm 2,82$ мм в L16D8; $127,32 \pm 2,43$ мм в L24D0 (рис. 1, в). Максимальные значения длины по Смитту были получены в группе L16D8 (различия статистически достоверны ($p < 0,05$) по отношению к группам L0D24 и L8D16).

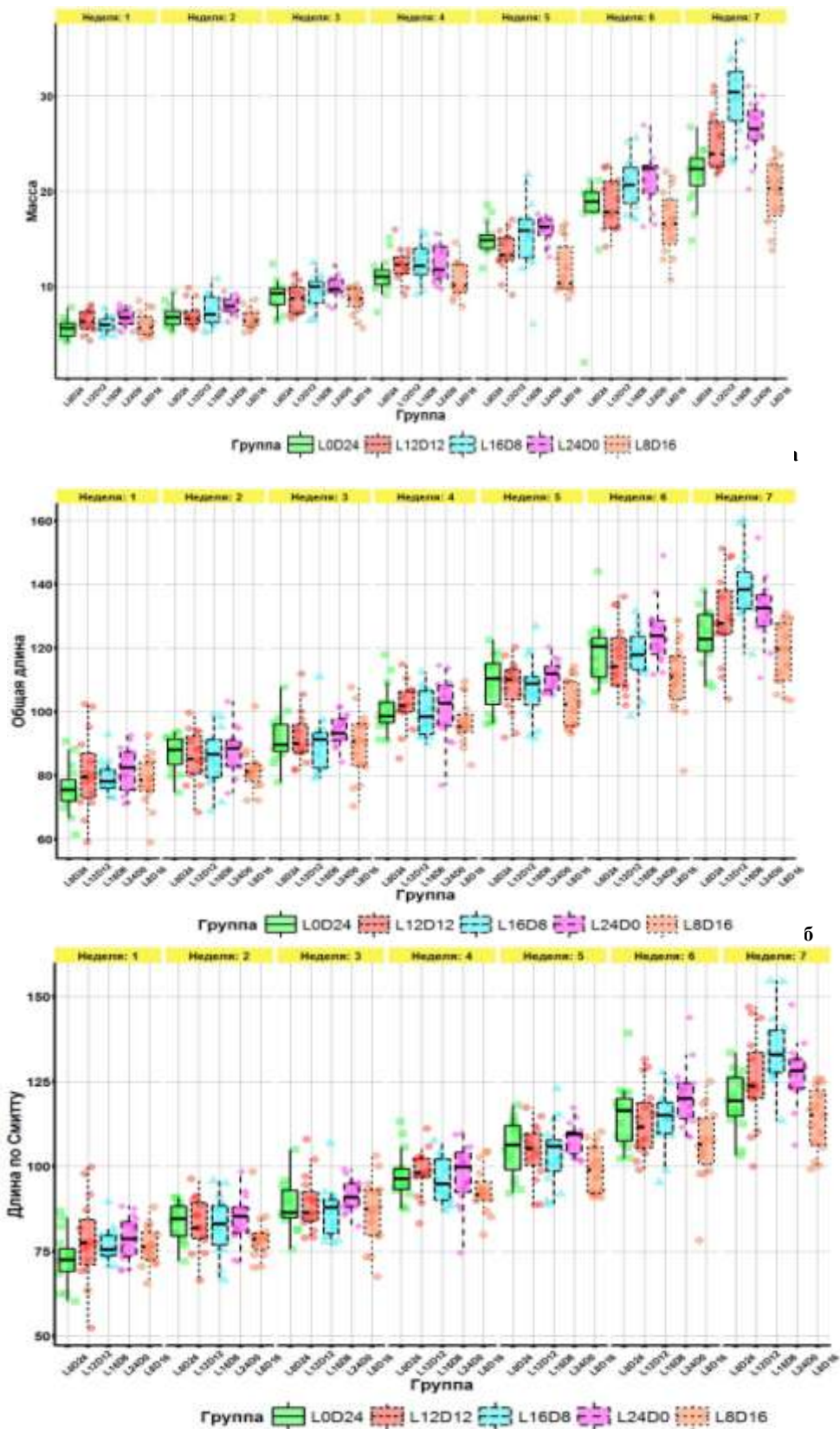
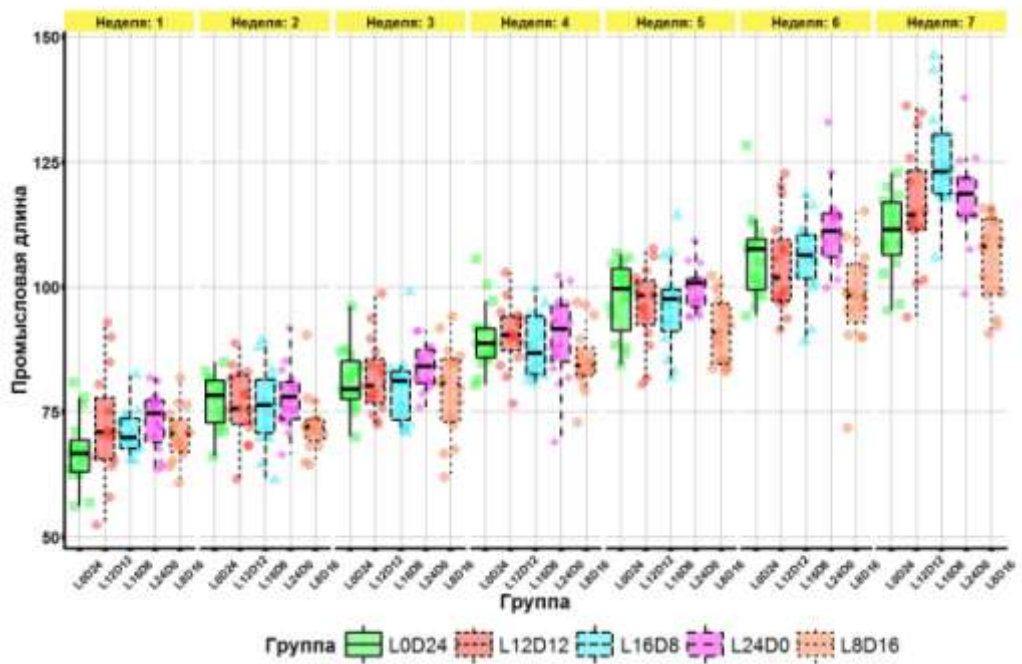
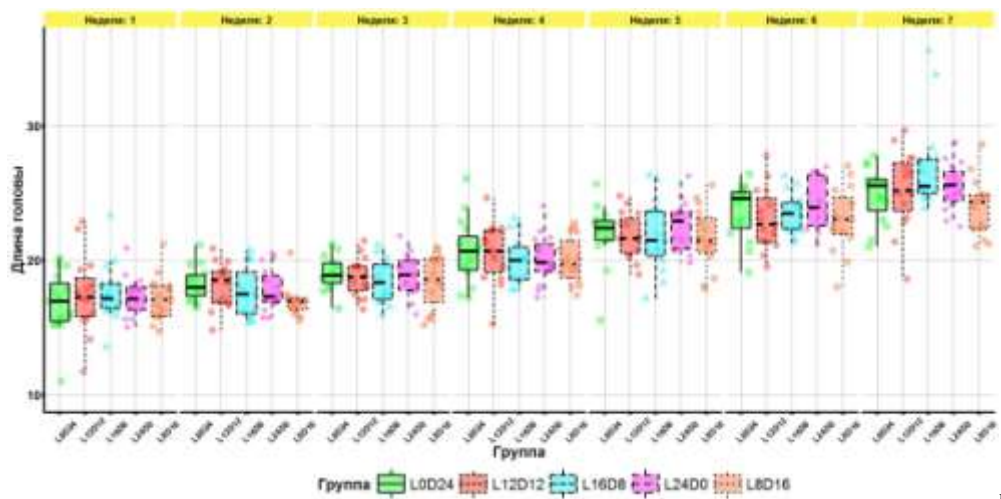


Рис. 1. (начало рисунка)

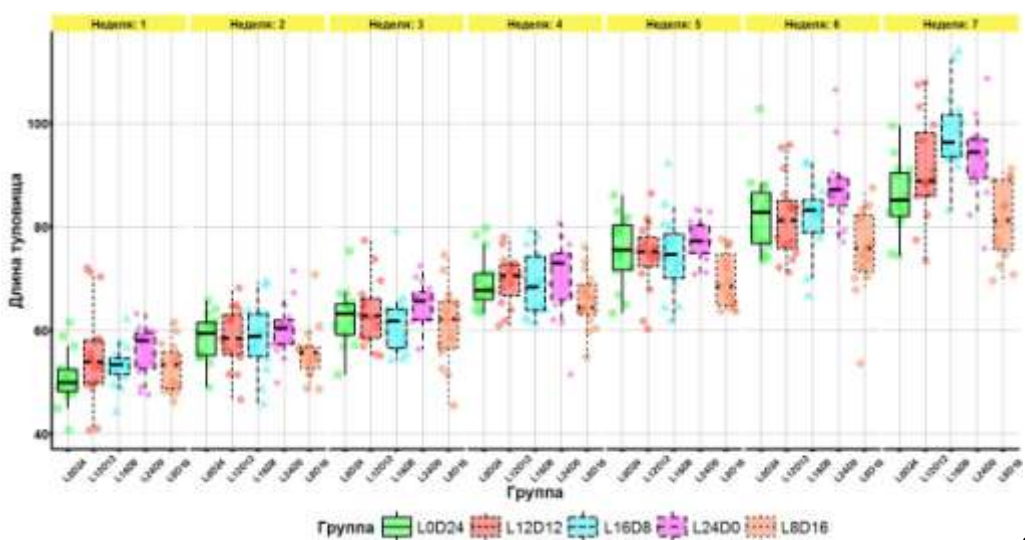
в



Г

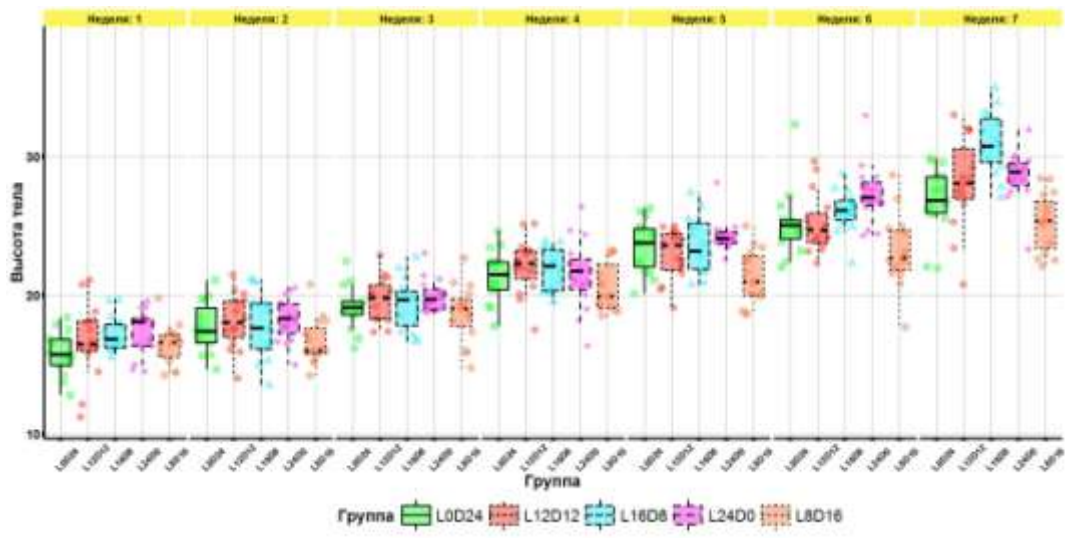


Д

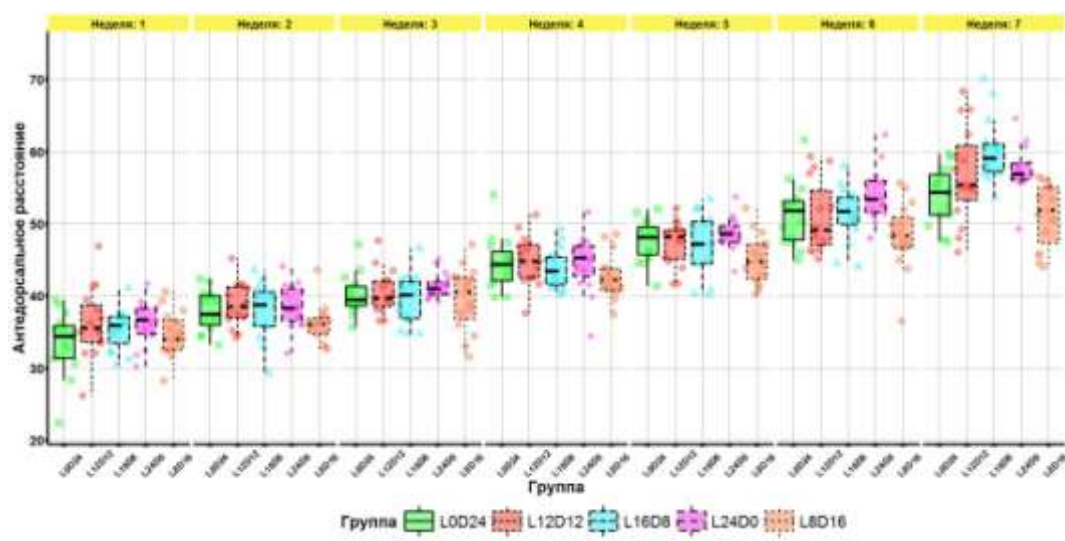


Е

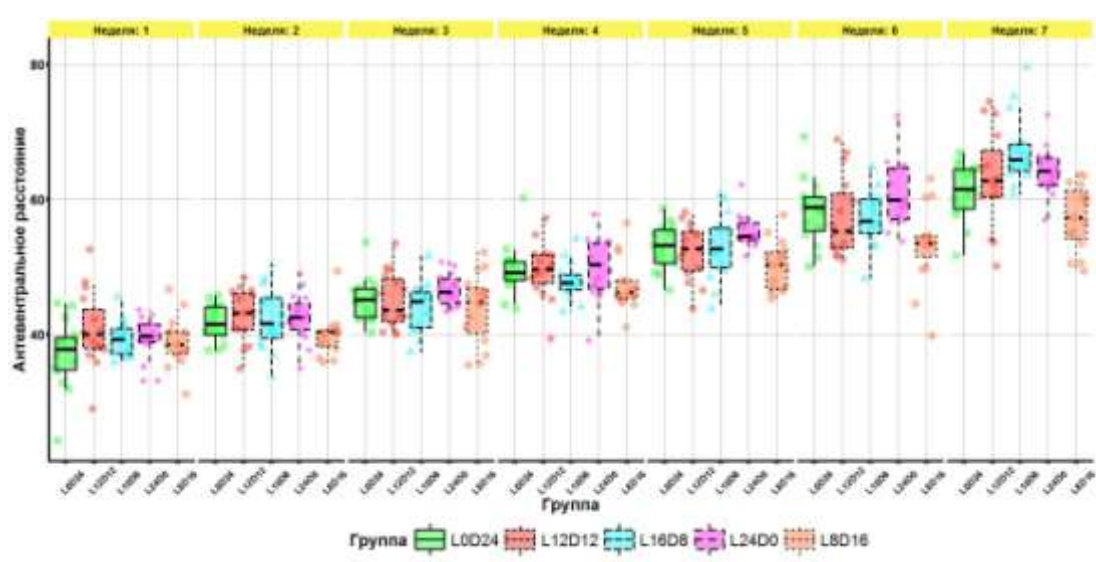
Рис. 1. (продолжение рисунка)



Ж



З



И

Рис. 1. Совмещенная диаграмма одномерного рассеяния и размахов изменения размерно-весовых показателей молоди радужной форели (n=15) в зависимости от фотопериода и продолжительности эксперимента: средняя масса (а), общая длина (б), длина по Смитту (в), промысловая длина (г), длина головы (д), длина туловища (е), высота тела (ж), антедорсальное расстояние (з), антевентральное расстояние (и). Прямоугольник диаграммы размахов обозначает медиану, а также 0,25 и 0,75 квантили

Промысловая длина молоди радужной форели в начале эксперимента достоверно не отличалась и варьировала от $67,19 \pm 1,82$ мм до $73,07 \pm 1,55$ мм. В конце эксперимента значения промысловой

длины составили: $110,50 \pm 2,11$ мм в опытной группе (в фотопериоде) L0D24; $105,55 \pm 2,32$ мм в L8D16; $115,88 \pm 3,20$ мм в L12D12; $124,90 \pm 2,69$ мм в L16D8; $118,15 \pm 2,28$ мм в L24D0 (рис. 1, г). Максимальные значения промысловой длины были получены в группе L16D8 (различия статистически достоверны ($p < 0,05$) по отношению к группам L0D24 и L8D16).

Длина головы молоди радужной форели в начале эксперимента достоверно не отличалась и варьировала от $16,79 \pm 0,60$ мм до $17,55 \pm 0,57$ мм. В конце эксперимента значения длины головы составили: $24,86 \pm 0,53$ мм в опытной группе (в фотопериоде) L0D24; $23,93 \pm 0,55$ мм в L8D16; $25,23 \pm 0,75$ мм в L12D12; $27,03 \pm 0,87$ мм в L16D8; $25,46 \pm 0,45$ мм в L24D0 (рис. 1, д). Максимальные значения длины головы были получены в группе L16D8 (различия статистически достоверны ($p < 0,05$) по отношению к группе L8D16).

Длина туловища молоди радужной форели в начале эксперимента достоверно не отличалась и варьировала от $50,73 \pm 1,36$ мм до $55,72 \pm 1,26$ мм. В конце эксперимента значения длины туловища составили: $85,78 \pm 1,77$ мм в опытной группе (в фотопериоде) L0D24; $81,26 \pm 1,93$ мм в L8D16; $90,94 \pm 2,63$ мм в L12D12; $98,13 \pm 2,05$ мм в L16D8; $92,90 \pm 2,03$ мм в L24D0 (рис. 1, е). Максимальные значения длины туловища были получены в группе L16D8 (различия статистически достоверны ($p < 0,05$) по отношению к группам L0D24 и L8D16).

Высота тела молоди радужной форели в начале эксперимента достоверно не отличалась и варьировала от $15,81 \pm 0,40$ мм до $17,34 \pm 0,42$ мм. В конце эксперимента значения высоты тела составили: $26,84 \pm 0,62$ мм в опытной группе (в фотопериоде) L0D24; $25,25 \pm 0,54$ мм в L8D16; $28,09 \pm 0,86$ мм в L12D12; $30,98 \pm 0,58$ мм в L16D8; $28,57 \pm 0,48$ мм в L24D0 (рис. 1, ж). Максимальные значения высоты тела были получены в группе L16D8 (различия статистически достоверны ($p < 0,05$) по отношению к группам L0D24, L8D16, L12D12).

Антедорсальное расстояние молоди радужной форели в начале эксперимента достоверно не отличалось и варьировало от $33,46 \pm 1,12$ мм до $36,20 \pm 1,26$ мм. В конце эксперимента значения антедорсального расстояния составили: $53,94 \pm 1,00$ мм в опытной группе (в фотопериоде) L0D24; $51,21 \pm 1,15$ мм в L8D16; $56,88 \pm 1,72$ мм в L12D12; $60,17 \pm 1,13$ мм в L16D8; $57,41 \pm 0,86$ мм в L24D0 (рис. 1, з). Максимальные значения антедорсального расстояния были получены в группе L16D8 (различия статистически достоверны ($p < 0,05$) по отношению к группам L0D24 и L8D16).

Антевентральное расстояние молоди радужной форели в начале эксперимента достоверно не отличалось и варьировало от $36,95 \pm 1,43$ мм до $40,83 \pm 1,56$ мм. В конце эксперимента значения антевентрального расстояния составили: $61,17 \pm 1,11$ мм в опытной группе (в фотопериоде) L0D24; $57,25 \pm 1,26$ мм в L8D16; $63,06 \pm 1,87$ мм в L12D12; $67,26 \pm 1,33$ мм в L16D8; $64,21 \pm 0,92$ мм в L24D0 (рис. 1, и). Максимальные значения антевентрального расстояния были получены в группе L16D8 (различия статистически достоверны ($p < 0,05$) по отношению к группам L0D24 и L8D16).

Абсолютный среднесуточный прирост массы варьировал от 0,08 г (в группе L8D16) до 0,21 г (в L16D8) в начале эксперимента и от 0,45 г (в L8D16) до 1,30 г (в L16D8) в конце эксперимента. Относительная скорость роста массы варьировала от 9,29 % (в группе L12D12) до 22,01 % (в L16D8) в начале эксперимента и от 17,20 % (в L8D16) до 35,87 % (в L16D8) в конце эксперимента (рис. 2).

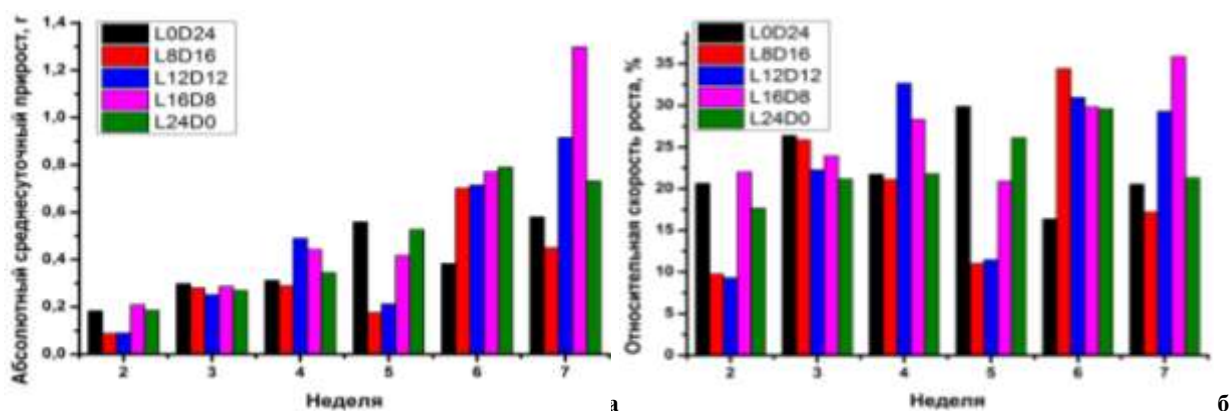


Рис. 2. Столбиковая диаграмма изменения скорости роста массы молоди радужной форели в зависимости от фотопериода и продолжительности эксперимента: абсолютный среднесуточный прирост (а), относительная скорость роста (б)

Как показали проведенные исследования, продолжительность света и его отсутствие может оказывать стимулирующее и угнетающее действие на размерно-весовые показатели молоди радужной форели (рис. 3). Так, в условиях полного отсутствия света или в условиях

недостаточного освещении (8 часов в день / 392 часа в течении 7 недель) происходило снижение средней массы молоди радужной форели. При увеличении продолжительности светового дня (освещения) происходило плавное повышение средней массы с достижением максимальных значений при 16-часовом освещении в сутки (784 часа в течении 7 недель) с дальнейшим снижением средней массы при достижении круглосуточного освещения. Аналогичные закономерности были выявлены также для других размерно-весовых показателей (рис. 1).

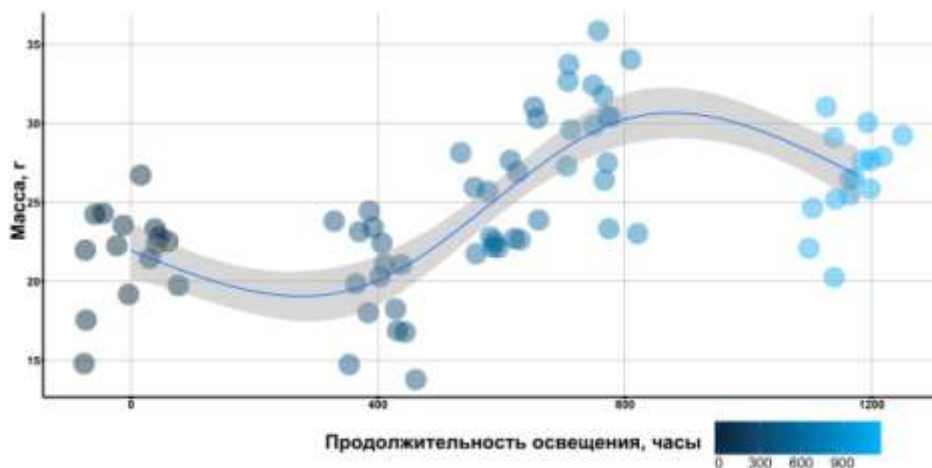


Рис. 3. Диаграмма одномерного рассеяния изменения средней массы молоди радужной форели ($n=15$) в зависимости от продолжительности освещения в течение 7 недель проведения эксперимента. На диаграмму добавлена линия тренда (полином второй степени)

Для анализа влияния различных фотопериодов на темп роста массы молоди радужной форели нами были построены модели Михаэлиса – Ментена для лучшего (L16D8) и худшего (L8D16) фотопериода [10], которые имели следующий вид функции регрессии:

$$y = \frac{c \cdot x^d}{e + x^d}$$

В результате построения моделей Михаэлиса – Ментена нами были получены следующие коэффициенты. Для фотопериода L16D8: $c = -0,29$; $d = 2532,9$; $e = 639,3$. Для фотопериода L8D16: $c = -0,29$; $d = 1019,4$; $e = 342,3$ (рис. 4). Расчет изоэффективных доз и сравнительной оценки темпа роста массы молоди радужной форели установил, что модель темпа роста массы при L16D8 лучше модели L8D16 на значение 1,87.

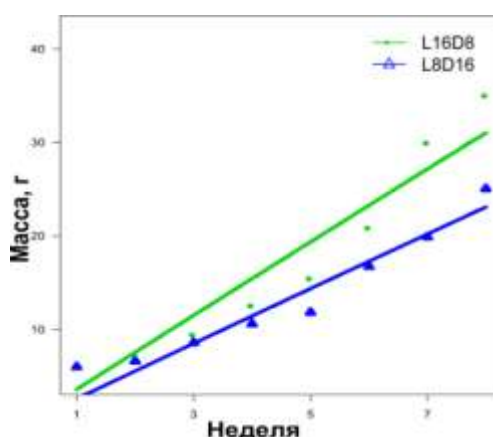


Рис. 4. Модель Михаэлиса-Ментена изменения средней массы молоди радужной форели для лучшего (L16D8) и худшего (L8D16) фотопериода

Анализ коэффициентов корреляции между размерно-весовыми показателями молоди радужной форели позволил установить следующую силу связи: среднюю положительную корреляцию между массой и всеми размерными показателями, сильную положительную корреляцию между длиной головы и всеми размерными показателями, сильную положительную корреляцию между всеми остальными размерными показателями. Сравнение изменения силы корреляционной связи между исследуемыми фотопериодами не выявил достоверных отличий (рис. 5).

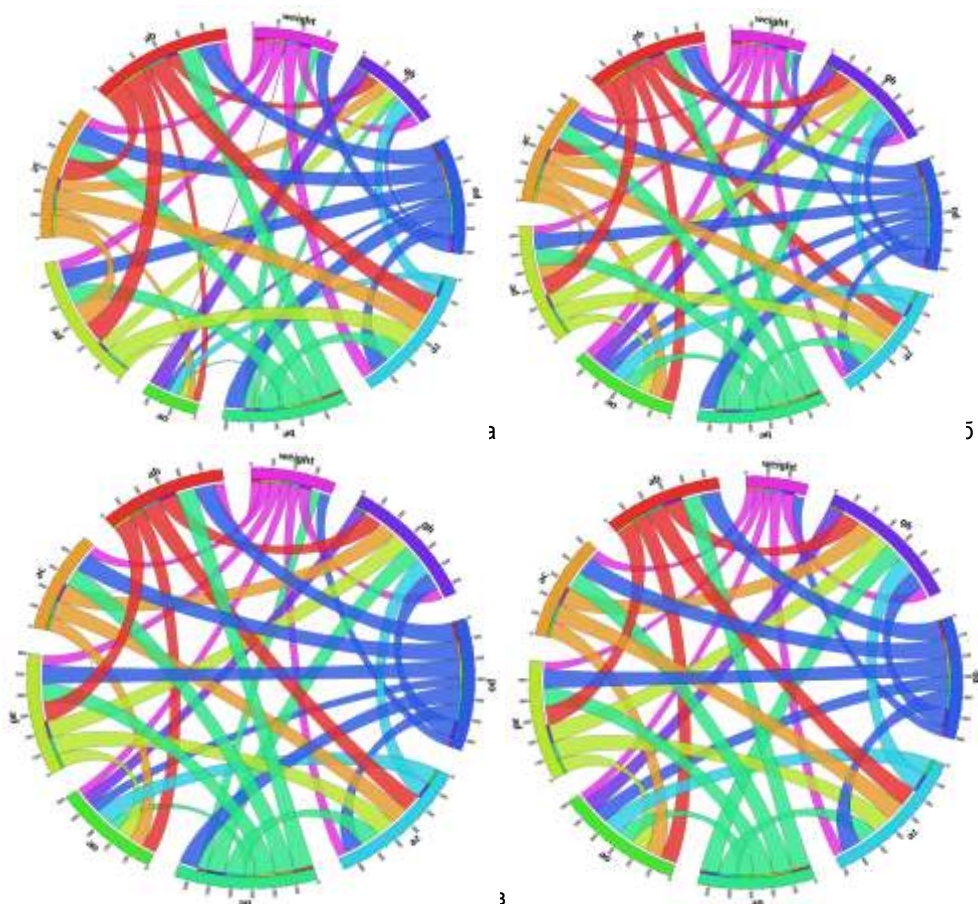


Рис. 5. Корреляционная связь между размерно-весовыми показателями молоди радужной форели после 1-й (а, б) и 7-й (в, г) недели воздействия лучшим (L16D8) (а, в) и худшим (L8D16) (б, г) фотопериодом. Цвет линии обозначает соответствующий параметр: weight – масса, ab – общая длина, ac – длина по Смитту ad – промысловая длина, ao – длина головы, od – длина туловища, qh – высота тела, aq – антедорсальное расстояние, az – антевентральное расстояние. Толщина линии зависит силы корреляционной связи

Экстерьерные индексы при различных фотопериодах достоверно не отличались и варьировали следующим образом: через 1 неделю после начала эксперимента в L16D8 стандартный коэффициент упитанности лососевых рыб варьировал от 0,87 до 1,62, индекс прогонистости от 3,45 до 4,59, индекс высокоспинности от 21,74 до 28,92, индекс большеголовости от 20,15 до 34,50; через 1 неделю в L8D16 стандартный коэффициент упитанности лососевых рыб варьировал от 1,03 до 2,16, индекс прогонистости от 3,86 до 4,90, индекс высокоспинности от 20,38 до 25,87, индекс большеголовости от 21,97 до 26,83; через 7 недель после начала эксперимента в L16D8 стандартный коэффициент упитанности лососевых рыб варьировал от 0,87 до 2,09, индекс прогонистости от 3,75 до 4,30, индекс высокоспинности от 23,20 до 26,64, индекс большеголовости от 19,43 до 26,69; через 7 недель в L8D16 стандартный коэффициент упитанности лососевых рыб варьировал от 1,05 до 2,23, индекс прогонистости от 3,94 до 4,36, индекс высокоспинности от 22,90 до 25,36, индекс большеголовости от 20,32 до 24,82.

Анализ коэффициентов корреляции между экстерьерными индексами не выявил достоверных отличий между исследуемыми фотопериодами (рис. 6).

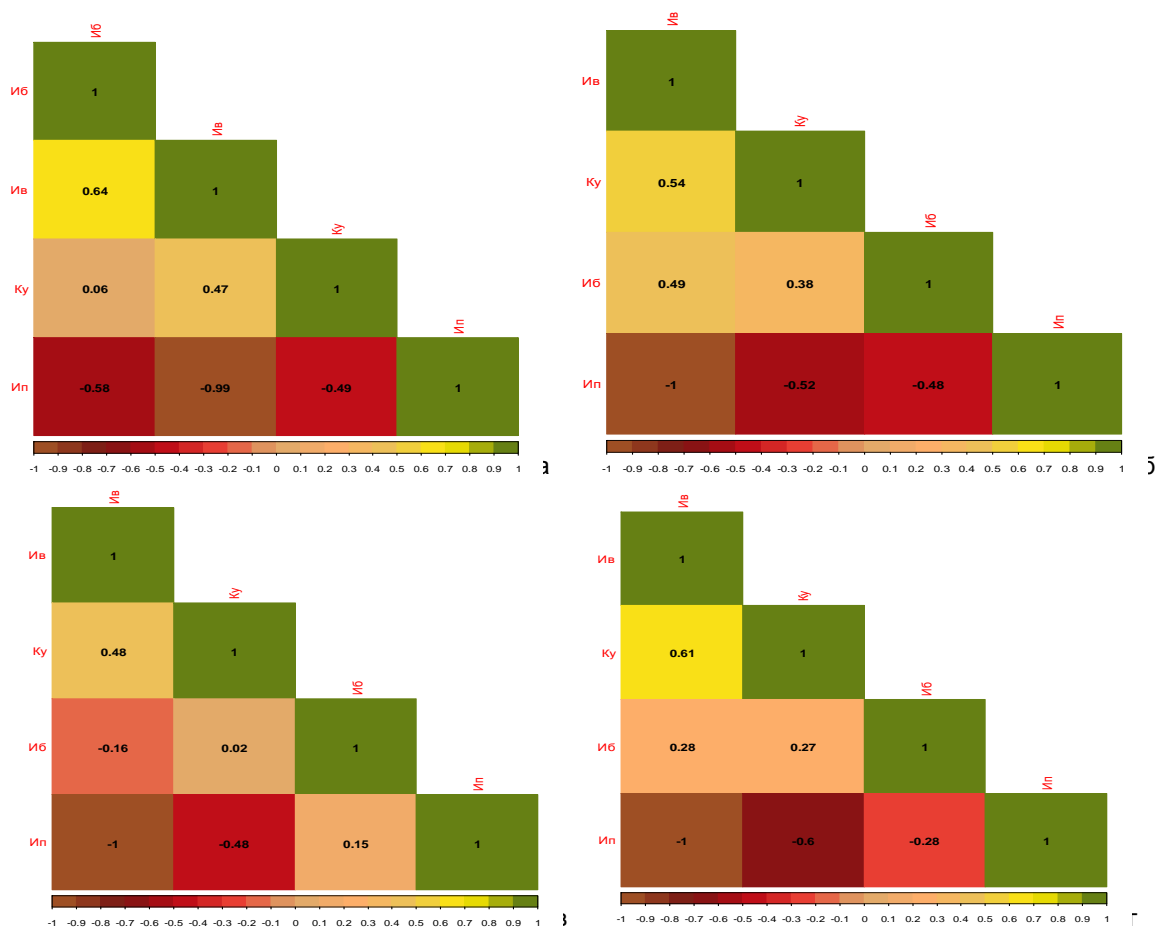


Рис. 6. Мультиколлинеарная матрица корреляционных связей экстерьерных индексов молоди радужной форели после 1-й (а, б) и 7-й (в, г) недели воздействия лучшим (L16D8) (а, в) и худшим (L8D16) (б, г) фотопериодом. Условные обозначения: Ку – стандартный коэффициент упитанности лососевых рыб, Ип – индекс прогонистости, Иб – индекс большеголовости, Ив – индекс высокоспинности

Анализ экономической эффективности использования различного фотопериода при выращивании рыбопосадочного материала радужной форели в рыбоводном индустриальном комплексе (таблица) позволил установить, что наиболее экономически выгодным являлся фотопериод с продолжительностью света 16 час. / сутки (L16D8). Чистая прибыль (без учета коммунальных затрат, которые во всех группах были одинаковыми) в данном фотопериоде составила 369,7 рублей на 50 экз. молоди форели. Наиболее низкие показатели чистой прибыли составили в группах L8D16 и L0D24 – 247,5 и 277,4 рублей соответственно, т. е. даже несмотря на меньшие затраты электроэнергии на освещение, конечная низкая масса молоди радужной форели в этих исследуемых группах не смогла компенсировать данное преимущество.

Экономическая эффективность использования различного фотопериода при выращивании рыбопосадочного материала радужной форели в рыбоводном индустриальном комплексе (без учета коммунальных затрат)

Показатели	Фотопериод				
	L8D16	L16D8	L24D0	L0D24	L12D12
Количество рыб, экз.	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Средняя масса, г	19,9	29,9	26,6	21,8	25,1
Общая масса, кг	9,9	15,0	13,3	10,9	12,5
Отпускная цена за рыбопосадочный материал без НДС, руб. / кг	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5
Стоимость полученного рыбопосадочного материала, руб.	252,9	380,5	338,8	277,4	319,4
Мощность лампы, кВт	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072
Продолжительность работы лампы ч/сут.	8,0	16,0	24,0	0,0	12,0
Продолжительность эксперимента, сут	49,0	49,0	49,0	49,0	49,0
Общее потребление электроэнергии кВт·ч	28,2	56,4	84,7	0,0	42,3
Тариф на электроэнергию руб /кВт·ч без НДС	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Затраты на электроэнергию, руб.	5,4	10,8	16,2	0,0	8,1
Чистая прибыль, руб.	247,5	369,7	322,5	277,4	311,2

Закключение. Таким образом, в результате наших исследований было установлено, что фотопериоды способны оказывать различное влияние на рост молоди радужной форели в

рыбоводных индустриальных комплексах. При этом продолжительность света способно оказывать как стимулирующий, так и угнетающий эффект.

Наилучшие результаты в размерно-весовых показателях были выявлены в опытной группе с продолжительностью света 16 час./сутки (L16D8). Наихудшие показатели в размерно-весовых показателях были выявлены в опытной группе с продолжительностью света 8 час./сутки (L8D16). Разница между лучшими и худшими фотопериодами достигала 50,4 % по средней массе и 13,7 % по общей длине. В группе L16D8 исследуемая молодь радужной форели также характеризовалась лучшими значениями скорости роста. Наши исследования не выявили достоверных отличий в изменении силы корреляционных связей между исследуемыми фотопериодами. Лучший фотопериод (L16D8) также характеризовался максимальными показателями экономической эффективности.

Результаты наших исследований рекомендуется использовать в практической деятельности рыбоводных индустриальных комплексов по выращиванию рыбопосадочного материала радужной форели.

Авторы выражают благодарность управляющему рыбокомплексом УО БГСХА И. В. Емельянову и ведущему рыбоводу С. В. Роговцову за помощь в организации проведения исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барулин, Н. В. Системный подход к технологии регулирования воспроизводства объектов аквакультуры в рыбоводных индустриальных комплексах / Н. В. Барулин // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. (Серыя аграрных навук). – Мінск, 2015. – 3. – С. 107–111.
2. Мастицкий, С. Э. Визуализация данных с помощью ggplot2 / С. Э. Мастицкий. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 222 с.
3. 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>.
4. Мурза, И. Г. Об унификации расчета коэффициента упитанности у лососевых рыб / И. Г. Мурза, О. Л. Христофоров // Биологические ресурсы белого моря и внутренних водоемов европейского севера: материалы XXVIII Международной конференции 5–8 октября 2009 г. г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009 – С. 376–380.
5. Портная, Т. В. Рыбоводство. Устройство прудового хозяйства, воспроизводство, рост и развитие рыб: методические указания к лабораторным занятиям для студентов специальности 1-74 03 01 Зоотехния / Т. В. Портная. – Горки: 2014. – 40 с.
6. Правдин, И. Ф. Руководство по изучению рыб / И. Ф. Правдин. – М.: Пищевая промышл., 1966. – 375 с.
7. Рекомендации по выращиванию рыбопосадочного материала радужной форели в рыбоводных индустриальных комплексах (с временными нормативами): / Н. В. Барулин [и др.]. – Горки: БГСХА, 2016. – 179 с.
8. Шитиков, В. К. Экотоксикология и статистическое моделирование эффекта с использованием R. / В. К. Шитиков – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2016. – 149 с.
9. Voeuf, G. Does light have an influence on fish growth? / G. Voeuf, Le Bail, P. Y. // Aquaculture – 1999. – Vol. 177 – P. 129–152.
10. Circo: An information aesthetic for comparative genomics / M. I. Krzywinski [et al.] // Genome Res. – 2009. – doi:10.1101/gr.092759.109.
11. Dose-Response Analysis Using R / C. Ritz [et al.] // PLOS ONE. – 2015. – Vol. 10(12).
12. Immsland, A. K. Growth oxygen consumption and activity of juvenile turbot reared under different temperature and photoperiods / A. K. Immsland, A. Folk void, S. O. Stefansson // J. Sea. Res. – 1995. – Vol. 34 – P. 149–159.
13. Influence of photoperiod on growth challenges in juvenile Atlantic salmon *salmon salar* / J. E. Thorpe [et al.] // L. J. fish bio. – 1989. – Vol. 33 – P. 15–30.
14. 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.
15. 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/>.
16. Yildirim, S. The influence of a longer photoperiod on growth parameters of European sea bass *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus 1758) Reared In Sea Cages / Yildirim, S., H. Vardar // Journal of Applied Ichthyology. – 2015. – Vol.31 – Issue 1 – P. 100–105.
17. Venables, W. N. Modern Applied Statistics with S / W. N. Venables. B. D. Ripley // Fourth Edition. Springer, New York. – 2002.
18. 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.
19. Wickham, H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis / H. Wickham. – Springer-Verlag New York, 2009.
20. 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>.