

УДК 639.3.07

## АНАЛИЗ РОСТА РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ ПРИ САДКОВОМ ВЫРАЩИВАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

Дзюбук И.М., Клюкина Е.А.

ГОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск, Россия (185910, Петрозаводск, Россия, пр. Ленина, 33), e-mail: [ikrup@petsu.ru](mailto:ikrup@petsu.ru), [elena\\_k\\_79@mail.ru](mailto:elena_k_79@mail.ru)

Представлены результаты исследования по накоплению массы тела радужной форели (*Parasalmo mykiss irideus*) при садковом выращивании на озере Коткозеро (Карелия) с использованием методов математической статистики. Выявлено, что при увеличении общей массы тела радужной форели от 678,2 до 1515,4 г увеличивалась ее относительная масса тела без внутренних органов от 83,8 до 86,2 %. При увеличении массы тела от 1287,7 г до 1515,4 г увеличиваются абсолютные приросты массы тела, и незначительно уменьшается относительный прирост массы тела без внутренних органов (до 90,5 %). В результате регрессионного анализа получена адекватная модель, описывающая связь массы тела радужной форели без внутренних органов (Y) с общей массой тела форели (X):  $Y = -37.43 + 0.88 \cdot X$ . Полученное линейное регрессионное уравнение позволяет на основе знаний общей массы тела радужной форели прогнозировать массу тела ее без внутренних органов. Результаты важны для регулирования процесса кормления радужной форели при садковом выращивании и реализации товарной рыбы.

Ключевые слова: радужная форель, садковое выращивание, рыбоводство, масса тела, масса тела без внутренних органов, прирост, регрессионный анализ, уравнение линейной регрессии, дисперсионный анализ.

## ANALYSIS OF GROWTH OF RAINBOW TROUT WHICH HAS BEEN GROWN UP IN CAGES, BY USE OF METHODS OF MATHEMATICAL STATISTICS

Dzyubuk I.M., Klyukina E.A.

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia (185910, Petrozavodsk, Lenin avenue), e-mail: [ikrup@petsu.ru](mailto:ikrup@petsu.ru), [elena\\_k\\_79@mail.ru](mailto:elena_k_79@mail.ru)

Research results of the weight change of the rainbow trout (*Parasalmo mykiss irideus*) which has been grown in cages on Kotkozero Lake (Karelia) are presented in the article. The results were obtained with the use of methods of mathematical statistics. We have revealed that at increase in total body weight of a rainbow trout from 678,2 to 1515,4 g, its relative body weight without inner organs from 83,8 increased to 86,2 %. With increasing body weight from 1287,7 g to 1515,4 g increase the absolute growth of body weight, and slightly decreases the relative weight gain without internal organs (up to 90,5 %). As a result of the regression analysis the adequate model describing communication of body weight of an rainbow trout without inner organs (Y) with a total body weight of a trout (X) is received:  $Y = -37.43 + 0.88 \cdot X$ . The linear regression equation enables knowledge-based total body weight rainbow trout to predict its body weight without internal organs. The results are of practical importance for the regulation of the feeding process of the rainbow trout which has been grown in cages, and for sale of marketable fish.

Keywords: rainbow trout, cage culture, fish farming, body weight, body weight without inner organs, regression analysis, linear regression, analysis of variance.

### Введение

В настоящее время во всем мире растёт потребность населения в рыбной продукции хорошего качества [1, с. 2; 3, с. 5]. Аквакультура приобретает стратегический характер, и как дополнительный резерв призвана решать проблемы продовольственной безопасности. В России это направление включено в программу агропромышленного комплекса как приоритетное, и в 2007 году была принята стратегия развития аквакультуры до 2020 года. (2, с. 4). В настоящее время в РФ более 2,4 тыс. рыбоводных хозяйств выращивают более 100 тыс. т товарной рыбы (5, с. 80). На Европейском Севере наиболее эффективным и перспективным является садковое выращивание рыбы, позволяющее за короткий срок

получать качественную товарную продукцию. В Республике Карелия садковое рыбоводство интенсивно развивается. Этому способствуют климатические особенности Карелии, обилие глубоководных водоемов, достаточно хорошие транспортные связи, относительная близость стран, в которых приобретаются качественные корма (Финляндия, Норвегия) и рынков сбыта, потребности и возможности которых практически не ограничены (Санкт-Петербург, Москва) и другими факторами [7, с. 235-236; 8, с. 182].

В садковом рыбоводстве основным показателем эффективности выращивания рыбы является увеличение ими массы тела. Рыбоводы стремятся получить максимальный прирост массы форели за более короткий период с минимальными затратами (10, с. 5). Для этого, прежде всего, регулируют процесс кормления (подбор качественных кормов, режим кормления, нормы кормления и др.) как основного метода интенсификации товарного рыбоводства. Однако потребленная рыбой пища идет не только на пластический обмен (в т.ч. на накопление массы тела), но и на обеспечение функционального обмена, на формирование экскрементов и т.д. В связи с этим выявление закономерностей весового роста радужной форели при садковом выращивании имеет не только теоретическое, но и определенное практическое значение.

**Целью** работы было провести анализ накопления массы тела радужной форели при садковом выращивании на озере Коткозеро (Карелия), используя методы математической статистики.

В задачи исследования входило: изучение закономерностей изменения относительной массы тела радужной форели без внутренних органов; выявление зависимости массы тела радужной форели без внутренних органов от ее общей массы тела и поиск линейной регрессионной модели, описывающей зависимость.

### **Материалы и методы**

Исследования проводили летом 2010 года на полносистемном садковом хозяйстве с двухлетним циклом выращивания товарной продукции, расположенном на озере Коткозеро в Карелии. Объектом исследования была радужная форель (*Parasalmo mykiss irideus*), которая была распределена по 5 садкам в зависимости от массы тела (табл. 1). Обычно в процессе выращивания рыбы регулярно производят ее сортировку на размерные группы, что приводит к уменьшению размерно-весовой разнокачественности рыб в садках и, соответственно, к более рациональному использованию кормов [9, с. 100-101; 10, с. 189].

Таблица 1. Характеристика исследованного материала

Параметры	№ садка (размерная группа)					Всего
	1	2	3	4	5	
Масса тела	564–759	748–997	1007–1198	1200–1390	1400–1686	564–1686

форели, г						
n	15	45	76	63	40	239

Рыба выращивалась в одинаковых условиях, кормление проводилось вручную, использовались корма только от одного производителя, суточный рацион соответствовал температуре воды и массе тела выращиваемых рыб.

В ходе исследований проводили взвешивание рыбы, затем ее вскрывали и освобождали от внутренних органов. После этого проводили взвешивание рыбы без внутренних органов. Всего на морфобиологический анализ было исследовано 239 экземпляров форели.

Для общей выборки была рассмотрена задача нахождения зависимостей между двумя признаками с помощью регрессионного анализа [4, с. 157-180]. В качестве зависимого признака выступала масса тела радужной форели без внутренних органов, в качестве независимой переменной – масса тела форели. Процедуру поиска линейной регрессионной модели ( $Y=a+b \cdot X$ ) проводили в среде StatGraphics [6, с. 33-35].

### **Результаты и обсуждение**

В ходе исследований был проведен расчет средней массы тела форели для каждого садка. В первом садке масса тела форели в среднем составила 678,2 г, во втором – 914,8 г, в третьем – 1106,8 г, в четвертом – 1287,7 г и в пятом – 1515,4 г (рис. 1). Результаты по взвешиванию радужной форели после вскрытия и освобождения от внутренних органов показали, что масса тела без внутренних органов закономерно увеличивается при увеличении общей массы тела рыбы. При этом было выявлено, что относительная масса тела форели без внутренних органов (выраженная в процентах от общей массы тела) также увеличивалась с увеличением общей массы тела. В первом садке масса тела форели без внутренних органов составила 83,8 % от общей массы тела, во втором – 84,1 %, в третьем – 84,5 %, в четвертом – 85,4 % и в пятом – 86,2 % (рис. 1).

При сравнении смежных размерных групп радужной форели было выявлено, что с увеличением массы тела радужной форели от 678,2 г до 1287,7 г наблюдается уменьшение абсолютных приростов массы, но увеличение относительного прироста массы тела без внутренних органов от 84,5 до 91,1 % (рис. 2). При дальнейшем увеличении массы тела радужной форели до 1515,4 г – абсолютные приросты массы увеличились, а относительный прирост массы тела без внутренних органов незначительно уменьшился, но был достаточно высок 90,5 %.

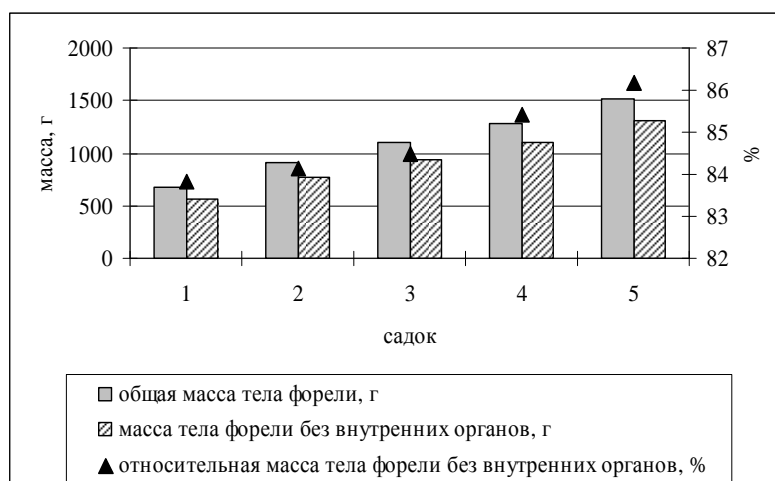


Рисунок 1. Изменение общей массы тела и массы тела без внутренних органов радужной форели при садковом выращивании, озеро Коткозеро (Карелия), 2010 год

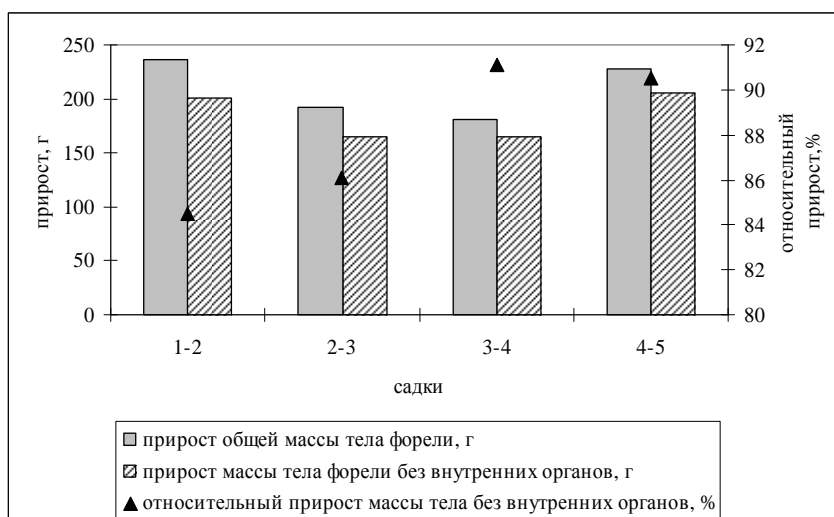


Рисунок 2. Изменение приростов общей массы тела и массы тела без внутренних органов радужной форели при садковом выращивании, озеро Коткозеро (Карелия), 2010 год

При исследовании регрессионной зависимости массы тела радужной форели без внутренних органов от общей массы тела форели для общей выборки: поиск линейной регрессионной модели  $Y=a+b \cdot X$ , оценка ее адекватности исходным данным дали положительный результат. Полученная регрессионная модель зависимости массы тела радужной форели без внутренних органов ( $Mt_1$ ) от общей массы тела ( $Mt$ ) имеет вид  $Y=-36.3+0.88 \cdot X$ , она вполне удовлетворительно описывает увеличение массы тела без внутренних органов радужной форели при увеличении общей массы тела (при уровне доверительной вероятности 95 %). Р (значимость критерия Стьюдента) коэффициентов регрессии а и b равны соответственно 0.0031 и 0.00001 (оба меньше 0.05), что свидетельствует о том, что они достоверно отличаются от нуля. В таблице дисперсионного анализа (табл. 2) представлена оценка общей адекватности линейной регрессии исходным

данным. Значение  $P < 0.05$ , что свидетельствует о достоверности отличий между факториальной и случайной дисперсиями, а значит, об адекватности модели исходным данным. Данная модель объясняет 96.9 % ( $R^2$ ) изменчивости в массе тела радужной форели без внутренних органов;  $r = 0.98$ , что указывает на относительно сильную зависимость между переменными. Стандартная ошибка оценки равна 37.53. Анализ необычных остатков для данной линейной модели показал, что для двух наблюдений вычисленный остаток по абсолютной величине больше 3, а значит, эти наблюдения подозрительны на выброс для этой модели. Исключив из регрессионного анализа эти наблюдения, получаем, что наилучшее описание связи между рассматриваемыми признаками дает модель  $Y = -37.43 + 0.88 \cdot X$ , для которой  $R^2 = 97.1$  %, а коэффициент корреляции  $r = 0.99$ . Вывод остался прежним: масса форели без внутренних органов увеличивается при увеличении массы тела.

Таблица 2. Дисперсионный анализ оценки адекватности регрессионной модели

$$Y = -36.3 + 0.88 \cdot X$$

Источники изменчивости	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Дисперсия	Критерий влияния	Значимость различий дисперсий
Факториальная дисперсия	1.03538E7	1	1.03528E7	7351.5	0.0000
Случайная дисперсия	332381	236	1408.39		

Графическое отображение результатов регрессионного анализа представлено на рисунке 3, на котором кроме точек – вариант (нарисованы синими квадратиками) и линии регрессии (нарисована сплошной синей линией), показаны доверительный интервал, характеризующий область ожидания генеральной линии регрессии (две красные сплошные линии), и интервал прогноза – область, в которой возможно появление новых значений переменной  $Y$ , если продолжать наблюдения (две черные сплошные линии).

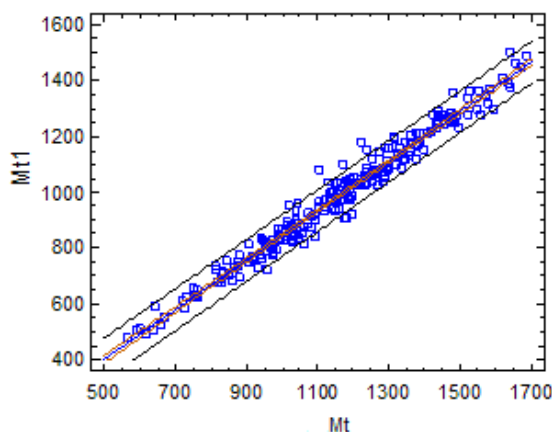


Рисунок 3. График подобранной модели  $Y = -36.3 - 0.88 \cdot X$   
( $M_t$  – общая масса тела форели,  $M_{t1}$  – масса тела форели без внутренних органов)

### **Заключение**

Садковое рыбоводство в России, и особенно в Карелии, интенсивно развивается, и перспективы его велики. Для дальнейшего повышения эффективности выращивания радужной форели в садках на внутренних водоемах Европейского Севера необходимы разносторонние знания об особенностях роста, о закономерностях увеличения длины, массы тела форели и др.

Наши исследования радужной форели при садковом выращивании на озере Коткозеро (Карелия) показали, что при увеличении общей массы тела рыб от 678,2 до 1515,4 г, увеличивается относительная масса тела без внутренних органов от 83,8 до 86,2 %. Выявлено, что при увеличении общей массы тела радужной форели от 678,2 г до 1287,7 г происходит уменьшение абсолютных приростов общей массы, но увеличение относительного прироста массы тела без внутренних органов от 84,5 до 91,1 %. При увеличении массы тела от 1287,7 г до 1515,4 г увеличиваются абсолютные приросты массы тела, и незначительно уменьшается относительный прирост массы тела без внутренних органов (до 90,5 %). Эти закономерности можно использовать в садковом рыбоводстве при регулировании процесса кормления радужной форели.

С помощью регрессионного анализа получена адекватная модель, описывающая связь массы тела радужной форели без внутренних органов ( $Y$ ) с общей массой тела ( $X$ ):  $Y = -37.43 + 0.88 \cdot X$ . Полученное линейное регрессионное уравнение позволяет на основе знаний общей массы тела радужной форели прогнозировать ее массу тела без внутренних органов. Это имеет важное практическое значение для садкового рыбоводства при реализации рыбной продукции.

### **Список литературы**

1. Брайнбалле Я. Руководство по аквакультуре в установках замкнутого водоснабжения. Введение в новые экологические и высокопродуктивные замкнутые рыбоводные системы. – Копенгаген, 2010. – 74 с.
2. Водные ресурсы и аквакультура [Электронный ресурс]: библиогр. указ. / сост. Н.К. Бикбова, М.А. Бушина. – Оренбург: ОГУ, 2011. Режим доступа: [http://artlib.osu.ru/site/index.php?option=com\\_content&task=view&id=487&Itemid=258](http://artlib.osu.ru/site/index.php?option=com_content&task=view&id=487&Itemid=258) (дата обращения: 15.01.12).

3. Григорьев С.С., Седова Н.А. Индустриальное рыбоводство: В 2 ч. Ч. 1. Биологические основы и основные направления разведения рыбы индустриальными методами: учеб. пособие. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2008. – 186с.
4. Ивантер Э.В., Коросов А.В. Введение в количественную биологию: учеб. пособие. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2003. – 304 с.
5. Козлов В.И., Козлов А.В. Современное состояние аквакультуры в мире и в России // Рыбное хозяйство: научно-практический и производственный журнал Федерального агентства по рыболовству. – 2013. – № 4. – С. 78-80.
6. Коросов А. В., Горбач В. В. Компьютерная обработка биологических данных: метод. пособие. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. – 84 с.
7. Рыжков Л.П. Рыбохозяйственная отрасль Карелии // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера: матер. XXIX межд. конф. (Мурманск, 27–29 марта 2013 г.). – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2013. – С. 232-238.
8. Рыжков Л.П., Дзюбук И.М. Возможности развития индустриальной аквакультуры в Карелии // Интенсивная аквакультура на современном этапе развития: научно-практ. конф. с межд. участием. (Махачкала. 1-4 окт. 2013 г.). – Махачкала: Эко-пресс, 2013. – С. 182-185.
9. Рыжков Л.П., Кучко Т.Ю. Садковое рыбоводство. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. – 164 с.
10. Цуладзе В.Л. Бассейновый метод выращивания лососевых рыб: на примере радужной форели. – М.: Агропромиздат, 1990. – 156 с.

**Рецензенты:**

Шустов Ю.А., д.б.н., профессор, профессор кафедры зоологии и экологии, ФГБУ ВПО «Петрозаводский государственный университет», г. Петрозаводск;

Шкляревич Г.А., д.б.н., профессор, профессор кафедры зоологии и экологии, ФГБУ ВПО «Петрозаводский государственный университет», г. Петрозаводск.