

Юрий Сергеевич Щербаков

Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал Федерального научного центра животноводства – ВИЖ им. акад. Л. К. Эрнста, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики, Пушкин, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: yura.10.08.94.94@mail.ru

Валентина Ивановна Тыщенко

Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал Федерального научного центра животноводства – ВИЖ им. акад. Л. К. Эрнста, старший научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики, кандидат биологических наук, Пушкин, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: tinatvi@mail.ru

**АНАЛИЗ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТОВ И СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
САМОК РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ ТРЕХ РАЗНЫХ ПОРОД**

Цель исследования – провести сравнительную характеристику продуктивных показателей самок радужной форели трех разных пород и анализ главных компонентов (PCA). Работа проводилась на базе Федерального селекционно-генетического центра рыбоводства в Ленинградской области. Объектом исследования были самки радужной форели пород: ропшинская золотая, рофор, росталь. Для исследования были взяты особи в возрасте четырех лет. От каждой породы сняли размерно-весовые показатели у 18 самок (масса, длина по Смиту, длина до конца чешуйчатого покрова, длина головы, высота тела, толщина тела). Измерения проводили единовременно во время нерестовой бонитировки. В результате было выявлено, что самки радужной форели породы ропшинская золотая значительно превосходят другие породы по биомассе ($2051,4 \pm 314,0$) с достоверно p -value = 0,001, данный показатель наиболее изменчив ($Cv = 15,3\%$). Минимальные различия пород по толщине тела. Анализ главных компонент проводили в интерпретаторе Rstudio с использованием библиотек GGally и ggbio. Выявлена связь исходных показателей с главными компонентами. Показатель толщина тела связан со второй главной компонентой, также он имеет наибольшую зависимость от данного показателя. Между показателями: длина головы, длина тела по Смиту и длина до конца чешуйчатого покрова – корреляция положительная, связь этих признаков сильная. А корреляция этих длин с показателями толщина тела и высота тела минимальна. Корреляция между признаками высота тела и длина до конца чешуйчатого покрова минимальна.

Ключевые слова: радужная форель, *Oncorhynchus mykiss*, бонитировка, селекция, PCA.

Yuri S. Shcherbakov

All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Agricultural Animals - a branch of the Federal Scientific Center for Animal Husbandry – All Russian Institute for Animal Husbandry (ARIAH) after academician L.K. Ernst, post-graduate student, junior researcher at the Laboratory of Molecular Genetics, Pushkin, St. Petersburg, Russia

E-mail: yura.10.08.94.94@mail.ru

Valentina I. Tyschenko

All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Agricultural Animals - a branch of the Federal Scientific Center for Animal Husbandry – All Russian Institute for Animal Husbandry (ARIAH) after academician L.K. Ernst, senior researcher at the Laboratory of Molecular Genetics, candidate of biological sciences Pushkin, St. Petersburg, Russia

E-mail: tinatvi@mail.ru

MAIN COMPONENTS ANALYSIS AND COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF FEMALE RAINBOW TROUT OF THREE DIFFERENT BREEDS

The purpose of the study is to conduct a comparative characteristic of the productive indicators of the female rainbow trout of three different breeds and to analyse the main components (PCA). The work was carried out on the basis of the federal selection and genetic center of fish farming in the Leningrad Region. The object of the study was the female rainbow trout of the following breeds: ropshinskaya zolotaya, rofor, rostal. Individuals of four years of age were taken for research. The size and weight indicators of 18 females (mass, Smith length, length to the end of the scaly cover, head length, body height, body thickness) were taken from each breed. Measurements were performed at a time during the spawning appraisal. As a result, it was revealed that females of the ropshinskaya zolotaya rainbow trout significantly exceed other breeds in terms of biomass (2051.4 ± 314.0) with a significant p -value = 0.001 and this characteristic is the most variable ($Cv = 15.3\%$). Minimal differences are in breed thickness. The main component analysis was carried out in the Rstudio interpreter using GGally and ggbiplot. libraries. The connection of the initial indicators with the main components is revealed. An indicator of body thickness is associated with the second main component, it also has the greatest dependence on this indicator. Among the indicators: the length of the head, the length of the body in Smith and the length of the scaly cover – the correlation is positive, the connection of these signs is strong. And the correlation of these lengths with indicators of the thickness of the body and the height of the body is minimal. The correlation between signs of body height and length to the end of the scaly cover is minimal.

Keywords: rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, bonitation, breeding, PCA.

Введение. Во всем мире аквакультура является активно развивающейся отраслью сельского хозяйства. Показатели темпа роста и эффективность конверсии корма являются одними из экономически важных показателей для рыбоводных хозяйств [1].

Индивидуальный отбор потомства по массе тела может улучшить показатели темпа роста, а также снизить производственные затраты. В результате достигается сокращение сроков выращивания рыбы до товарного размера, что значительно увеличивает прибыль хозяйства [2].

При выведении породы росталь использовались особи стальноголового лосося (*Salmogairdnei*), завезенные в поселок Ропша из Финляндии. Формирование стада осуществлялось с помощью индивидуального отбора и подбора. Использовалась семейная селекция с применением близкородственного скрещивания. Порода вывела-дилась для условий северо-запада России (среднегодовая температура воды 6–8 °C) [3].

При создании радужной форели породы рофор использовались особи радужной форели, завезенные из Дании и Германии в Ропшу. Выведение новой породы осуществлялось методом массового отбора на ранних этапах и индивидуального подбора производителей с оценкой потомства по его качеству [4].

Исходными формами радужной форели породы ropshinskaya золотая являлись особи радужной форели пород росталь и рофор. Выведение породы производилось массовым отбором по окраске тела. Благодаря систематическому отбору особей с окраской ярко-желтого цвета удалось создать маточные стада форели [5–7].

Цель исследования. Провести сравнительную характеристику продуктивных показателей самок радужной форели трех разных пород и анализ главных компонентов (PCA).

Задачи исследования: создание опытных групп самок радужной форели трех разных пород; снятие размерно-весовых показателей; сравнение экстерерьерных показателей трех разных пород; анализ главных компонент размерно-весовых показателей радужной форели.

Материалы и методы исследования. С целью выявления отличительных особенностей продуктивных показателей радужной форели трех пород: рофор, росталь, ropshinskaya золотая, – были созданы опытные группы самок-производителей. Исследование проводили на базе Федерального селекционно-генетического центра рыбоводства (ФСГЦР), расположенного в поселке Ропша. Породы содержались в одинаковых условиях, и кормление проводилось по нормам биотехники выращивания ра-

дужной форели ФСГЦР. Бонитировка проводилась во время нереста производителей. От каждой породы было взято по 18 самок в возрасте 4 лет. С особей были сняты размерно-весовые показатели (масса, длина по Смиту, длина до конца чешуйчатого покрова, длина головы, высота тела, толщина тела). Полученные данные были статистически обработаны с использованием Excel и занесены в таблицу. Сравнение средних величин проводилось с использованием критерия Стьюдента при уровне значимости $p<0.05$. Коэффициент изменчивости (CV, %) рассчитывался по формуле [8]

$$CV = \frac{\bar{x}}{\sigma} \cdot 100 \%,$$

где \bar{x} – среднее значение показателя; σ – стандартная ошибка.

Анализ главных компонентов проводили в R v. 4.1.0 с помощью библиотек GGally, dplyr и ggbioplot. Пакет dplyr использовался для структуризации данных, а GGally и ggbioplot для визуализации полученных результатов.

Результаты исследования и их обсуждение. На первом этапе проводились расчеты средних величин и коэффициента изменчивости у трех пород радужной форели по размерно-весовым показателям (см. табл.).

Размерно-весовые показатели самок трех пород радужной форели

Показатель	Порода					
	Ропшинская золотая		Рофор		Росталь	
	Среднее значение	Cv, %	Среднее значение	Cv, %	Среднее значение	Cv, %
Масса, г	2051,4±314,0	15,3	1601,4±226,7	14,2	1351,7±151,9	11,2
Длина тела по Смиту, см	50,4±3,1	6,1	44,8±1,8	4,1	43,8±2,2	5
Длина тела до конца чешуйчатого покрова, см	46,7±2,8	5,9	41,2±1,3	3,2	40,8±2,1	5,1
Длина головы, см	9,5±0,6	5,3	7,9±0,3	3,8	8,2±0,4	4,9
Высота тела, см	14±0,9	6,4	11,4±0,7	6,2	11,1±0,6	5,4
Толщина тела, см	6,3±0,6	8,0	5,2±0,3	5,8	5,3±0,3	5,7

В представленной таблице видно, что самки радужной форели породы *ропшинская золотая* значительно превосходят по биомассе особей двух других пород (p -value = 0,001). Также следует отметить, что наиболее изменчив показатель массы тела. Минимальные различия пород по толщине тела.

Далее были построены диаграммы рассеяния для каждой пары фенотипических признаков. При помощи библиотеки GGally в Rstudio был построен следующий график (рис. 1).

Так как наши данные имеют разные единицы измерения и разный разброс, необходимо было

стандартизировать показатели (рис. 1). На данном графике представлены нормальность распределения показателей, диаграмма рассеяния и корреляция.

Используя правило Кеттела, которое имеет логику, схожую с методом согнутого колена (локтя) в кластерном анализе, был построен график, по горизонтальной оси которого отложены номера главных компонент, а по вертикальной – их дисперсии (собственные значения ковариационной матрицы) (рис. 2).

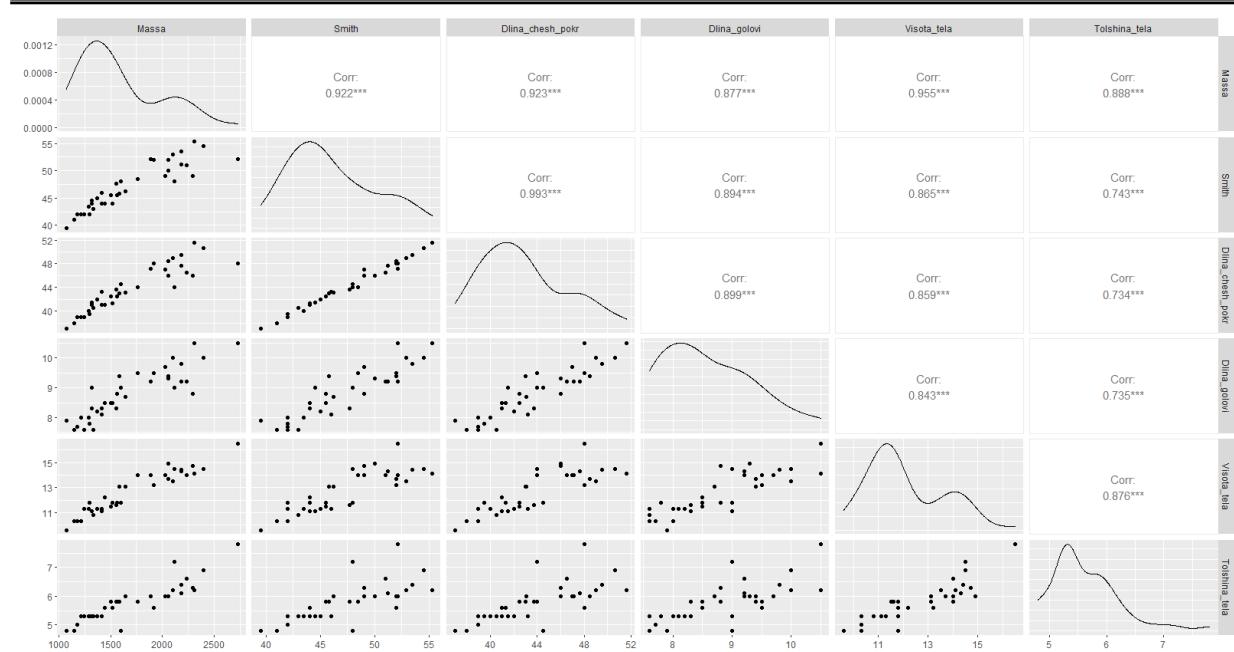


Рис. 1. Матрица диаграммы рассеяния

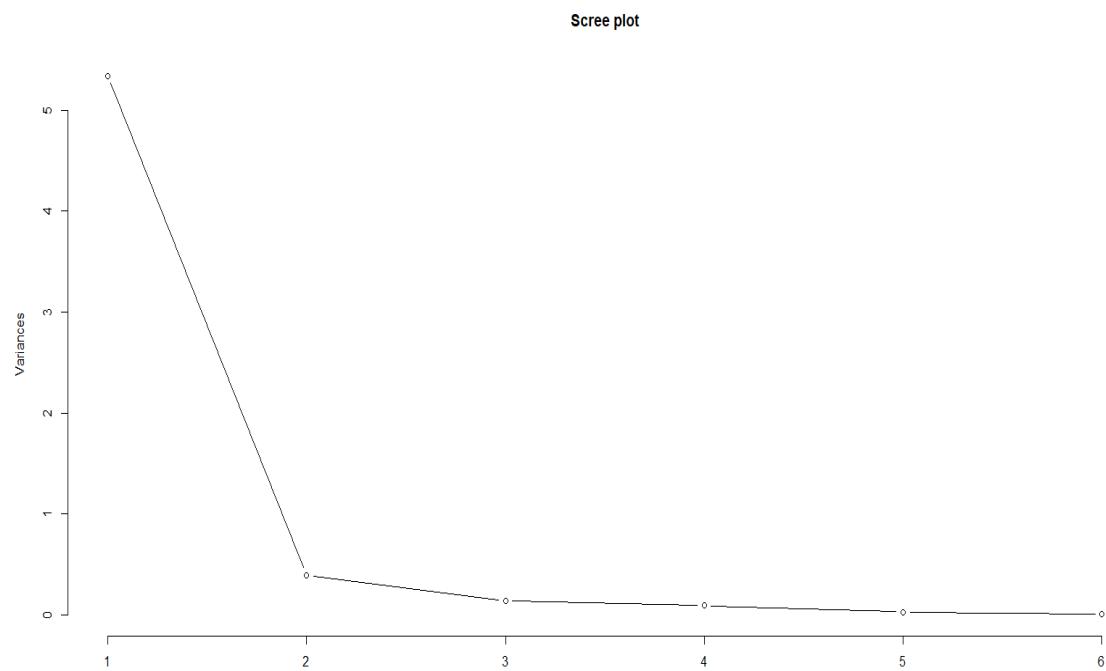


Рис. 2. График главных компонент

По графику видно, что в нашем случае главная компонента вторая, так как она находится на изгибе. Следовательно, для достаточно точного описания наших 6 показателей достаточно иметь две комбинации этих показателей (рис. 2).

Далее мы построили график визуализации главных компонент, используя библиотеку ggbiplot (рис. 3).

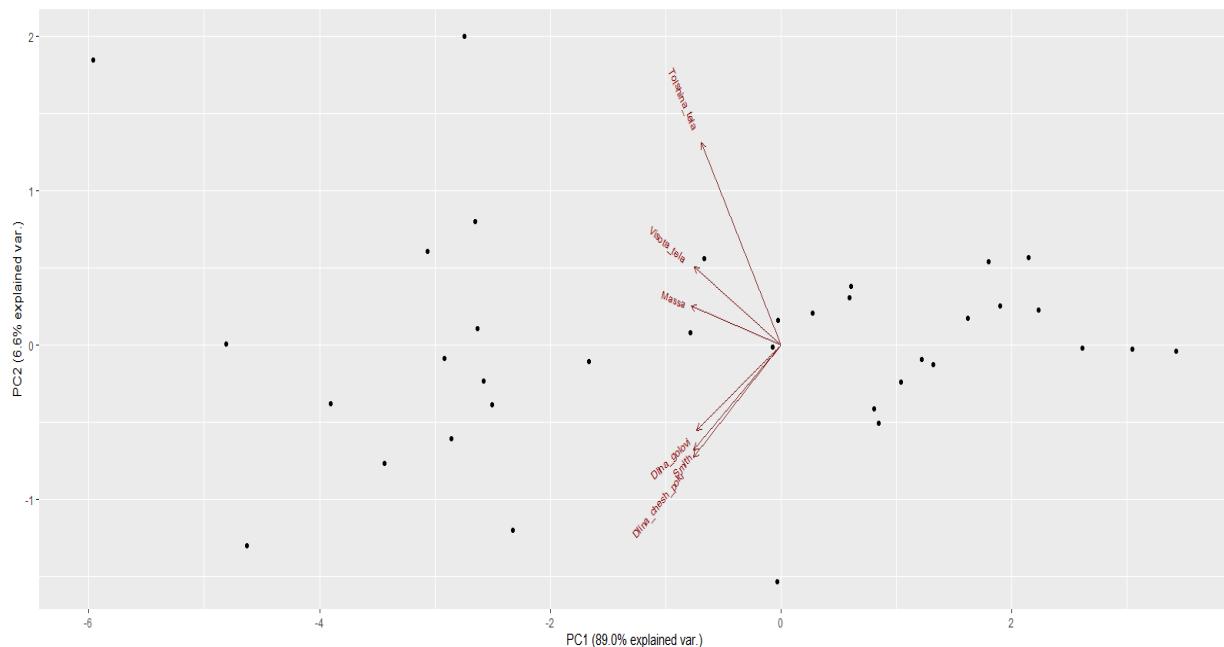


Рис. 3. Визуализация главных компонент

На графике изображены векторы, соответствующие переменным: длина тела до конца Смита, длина тела до конца чешуйчатого покрова, длина головы, высота тела, толщина тела, масса тела. По осям X и Y идут две первые (наиболее информативные) главные компоненты. Представлена связь исходных показателей с главными компонентами. Вектор толщина тела сонаправлен с осью второй главной компоненты, следовательно между ними положительная связь. Также он самый длинный из всех остальных показателей, это означает, что он имеет наибольшую зависимость от данной компоненты. Следует отметить, что угол между векторами показателей: длина головы, длина тела по Смиту и длина до конца чешуйчатого покрова – минимален, следовательно, корреляция между данными экстерьерными признаками положительная и связь этих признаков сильная. А корреляция этих длин с показателями толщина тела и высота тела минимальна. Также следует отметить, что связь между признаками высота тела и длина до конца чешуйчатого покрова минимальна, так как угол между ними равен около 90° .

Заключение. Самки радужной форели породы ропшинская золотая значительно превосходят особей двух других пород по биомассе,

хотя данный показатель наиболее изменчив (среднее значение $2051,4 \pm 314,0$ Cv – 15,3 %). Показатель толщина тела имеет положительную связь со второй главной компонентой и имеет наибольшую зависимость от данной компоненты. Корреляция между показателями длина головы, длина тела по Смиту и длина до конца чешуйчатого покрова положительная и связь этих признаков сильная. Связь между показателями высота тела и длина до конца чешуйчатого покрова минимальна.

Литература

1. Burbridge H. Roth, Rosenthal: social and economic policy issues relevant to marine aquaculture. J Appl Ichthyol. 2001;17(4):194–206. DOI: 10.1046/j.1439-0426.2001.00316.x.
2. Dufflocq P., Lhorente JP., Bangera R., Neira R., Newman S., Yáñez JM. Correlated response of flesh color to selection for harvest weight in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) Aquaculture. 2017; 472:38–43. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2016.08.037.
3. Никандров В.Я., Шиндавина Н.И. Создание, совершенствование и поддержание селекционных достижений в племенных хозяйствах // Породы радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*)

- chus mykiss W.). M.: Росинформагротех, 2006. С. 110–315.
4. Щербаков Ю.С., Дементьева Н.В., Терлецкий В.П. и др. Встречаемость аномалий у форели ропшинская золотистая // Вестник КрасГАУ. 2020. № 11 (164). С. 145–151.
5. Голод В.М., Шиндавина Н.И., Терентьева Е.Г. и др. Вариант светлой окраски у радужной форели // Холодноводная аквакультура: старт в XXI век: мат-лы междунар. симп. (Санкт-Петербург, 8–13 сентября 2003). М., 2003. С. 143–144, 203–204.
6. Никандров В.Я., Шиндавина Н.И., Голод В.М. и др. Характеристика радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) желтой окраски, полученной в результате парных скрещиваний // Вестник рыбохозяйственной науки. 2015. Т. 2. № 3 (7).
7. Шиндавина Н.И., Никандров В.Я., Бабий В.А. и др. Особенности фенотипа золотисто-желтой окраски у радужной форели (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) // Рыбное хозяйство. Сер. Актуальные научно-технические проблемы отрасли: сб. ст. М.: Изд-во ВНИЭРХ, 2002. С. 11–32.
8. Меркульева Е.К. Генетические основы селекции в скотоводстве. М.: Колос, 1977.
2. Dufflocq P., Lhorente JP., Bangera R., Neira R., Newman S., Yáñez JM. Correlated response of flesh color to selection for harvest weight in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) Aquaculture. 2017; 472:38–43. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2016.08.037.
3. Nikandrov V.Ya., Shindavina N.I. Sozdanie, sovershenstvovanie i podderzhanie selekcionnyh dostizhenij v plemennyyh hozyajstvah // Porody raduzhnoj foreli (*Oncorhynchus mykiss* W.). M.: Rosinformagroteh, 2006. S. 110–315.
4. Scherbakov Yu.S., Dement'eva N.V., Terleczkij V.P. i dr. Vstrechaemost' anomalij u foreli ropshinskaya zolotistaya // Vestnik KrasGAU. 2020. № 11 (164). S. 145–151.
5. Golod V.M., Shindavina N.I., Terent'eva E.G. i dr. Variant svetloj okraski u raduzhnoj foreli // Holodnovodnaya akvakul'tura: start v XXI vek: mat-ly mezhdunar. simp. (Sankt-Peterburg, 8–13 sentyabrya 2003). M., 2003. S. 143–144, 203–204.
6. Nikandrov V.Ya., Shindavina N.I., Golod V.M. i dr. Harakteristika raduzhnoj foreli (*Oncorhynchus mykiss*) zheltoj okraski, poluchenoj v rezul'tate parnyh skreschivanij // Vestnik rybohozyajstvennoj nauki. 2015. Т. 2. № 3 (7).
7. Shindavina N.I., Nikandrov V.Ya., Babij V.A. i dr. Osobennosti fenotipa zolotisto-zheltoj okraski u raduzhnoj foreli (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) // Rybnoe hozyajstvo. Ser. Aktual'nye nauchno-tehnicheskie problemy otriasli: sb. st. M.: Izd-vo VNI'ERH, 2002. S. 11–32.
8. Merkur'eva E.K. Geneticheskie osnovy selekcii v skotovodstve. M.: Kolos, 1977.

References

1. Burbridge H. Roth, Rosenthal: social and economic policy issues relevant to marine aquaculture. JApplChthol. 2001;17(4):194–206. DOI: 10.1046/j.1439-0426.2001.00316.x.
8. Merkur'eva E.K. Geneticheskie osnovy selekcii v skotovodstve. M.: Kolos, 1977.

Работа подготовлена в рамках выполнения государственного задания, номер учета НИОКР: 0445-2021-0010.