

Сложенкина Марина Ивановна, член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, директор ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), профессор кафедры «Технологии пищевых производств» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, д. 28), ORCID:0000-0001-9542-5893, e-mail: niimmp@mail.ru

Балышев Андрей Владимирович, кандидат биологических наук, комплексная аналитическая лаборатория, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Абрамов Сергей Владиславович, кандидат ветеринарных наук, комплексная аналитическая лаборатория, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Воронцова Елена Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), e-mail: esvoronts@mail.ru

Горлов Иван Федорович, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, научный руководитель ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции» (Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. Рокоссовского, д. 6), заведующий кафедрой «Технология пищевых производств» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. В. И. Ленина, д. 28), ORCID: 0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

Author's Information

Brekhova Svetlana Andreevna, Junior Researcher, Volga Region Research Institute for Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovskogo str., 6), e-mail: sveta511518@mail.ru

Slozhenkina Marina Ivanovna, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Director of the Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovskogo str., 6), Professor of the Department of Food Production Technology, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), ORCID:0000-0001-9542-5893, e-mail: niimmp@mail.ru

Balyshev Andrey Vladimirovich, Candidate of Biological Sciences, Complex Analytical Laboratory, Volga Region Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovskogo str., 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Abramov Sergey Vladislavovich, Candidate of Veterinary Sciences, Complex Analytical Laboratory, Volga Region Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovskogo str., 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Vorontsova Elena Sergeevna, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Volga Region Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovskogo str., 6), e-mail: niimmp@mail.ru

Gorlov Ivan Fedorovich, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Director of the Volga Region Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Russian Federation, 400131, Volgograd, Rokossovskogo str., 6), Head of the Department of Food Production Technology, Volgograd State Technical University (Russian Federation, 400005, Volgograd, V. I. Lenin Ave., 28), ORCID: 0000-0002-8683-8159, e-mail: niimmp@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-32

DEVELOPMENT OF A MULTILOCUS STR PANEL AND ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF THE ORIGIN OF THE AQUACULTURE STERLET (*ACIPENSER RUTHENUS*)

¹Nikipelov V. I., ¹Kharzinova V. R., ¹Volkova V. V., ¹Nikipelova A. K., ¹Bardukov N. V.,
²Grozescu Yu. N., ¹Zinovieva N. A.

¹Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst
Dubrovitsy, Moscow region, Russian Federation

²Astrakhan State Technical University
Astrakhan, Russian Federation

Received 11.04.2024

Submitted 25.05.2024

Corresponding author E-mail: vladnikipelovvij@mail.ru

**The work was carried out with financial support from the Russian Science Foundation,
project No. 21-66-00007**

Acknowledgments: We express our gratitude to RTF Diana LLC, the Sturgeon Breeders Union and personally to A. V. Mikhailov for providing samples of biomaterial for research. For assistance in carrying out the experiment, we thank the chief fish farmer of the Federal State Budgetary Institution "Glavrybvod" Glebov A. P.

When carrying out the research, the equipment of the Center for Collective Use of Scientific Equipment "Bioresources and Bioengineering of Farm Animals" of the Federal State Budgetary Institution Federal Research Center VIZh named after. L. K. Ernst.

Summary

This article presents the results of studies of genetic analysis of aquaculture sterlet carried out using a multiplex panel consisting of 12 microsatellite loci. This study is aimed at establishing the authenticity of the origin of sterlet individuals, as well as improving the genetic quality of the offspring in sturgeon fish farms.

Abstract

Introduction. In modern practice of artificial breeding of sturgeon fish, obtaining viable offspring is of particular importance. In this context, the use of microsatellite markers to assess the relatedness and genetic diversity of sterlet in commercial aquaculture becomes relevant. This will make it possible to more accurately determine the origin of individuals and significantly increase the efficiency of breeding work at fisheries enterprises. **Object.** The object of the study is samples of fin sections of aquaculture sterlet of various origins. **Materials and methods.** The development of a microsatellite panel including 12 loci (AfuG 63, AfuG 112, Afu 68 b, LS-39, Spl-163, An20, AfuG 51, Aru13, AoxD161, AfuG 41, Aru18, LS-68) was carried out on the basis of the Federal State Budgetary Institution Federal Research Center VIZH them. OK. Ernst. Testing of the developed test system, as well as its information content, was carried out on a sample of hatchery sterlet (n=149) from three populations: Sukhonovskaya, among which there were two parental pairs with 30 known offspring (SX, n=65), Okaskaya (OK, n=50) and Lower Volga (NV, n=34). **Results and conclusions.** Based on the results of using microsatellite markers, the reliability of the origin of three sterlet populations was assessed. Based on the polymorphism of 12 microsatellite loci for the three studied groups of sterlet, classical population genetic indicators were calculated: the average number of alleles per locus ($NA = 7.528 \pm 0.717$), the number of effective alleles ($NE = 4.098 \pm 0.437$), observed ($HO = 0.571 \pm 0.049$) and expected ($HE = 0.611 \pm 0.049$) heterozygosity, as well as the inbreeding coefficient ($FIS = 0.046 \pm 0.028$). The probability of matching genotypes (PI) for the developed STR panel ranged from $3.7 \cdot 10^{-13}$ for OK to $8.1 \cdot 10^{-10}$ for SX, i.e. was practically excluded. The exclusion probability values (P1, P2, P3), calculated based on the results of the developed test system, were minimum for SX and maximum for OK and ranged from 99.88 to 99.99% for P1. The P2 parameter was 98.62% for the NV and 99.87% for the OK population. For P3 it was 99.99% for all studied groups. These data confirm the high information content of DNA analysis of 149 individuals to establish the authenticity of the origin of hatchery sterlet and the functionality of the developed STR panel. As a result of the research, a multiplex test system was created that allows analysis of twelve STR loci, and its high functional efficiency was demonstrated.

Keywords: aquaculture, microsatellites, sterlet, sterlet populations, credibility of the origin of the sterlet.

Citation. Nikipelov V. I., Kharzinova V. R., Volkova V. V., Nikipelova A. K., Bardukov N. V., Grozescu Yu. N., Zinovieva N. A. Development of a multilocus STR panel and assessment of the reliability of the origin of the aquaculture sterlet (*Acipenser ruthenus*). *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 3(75). 273-283 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-03-32.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the design, execution, and analysis of this study. All authors of this article have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 639.3:636.082

**РАЗРАБОТКА МУЛЬТИЛОКУСНОЙ STR-ПАНЕЛИ И ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ
ПРОИСХОЖДЕНИЯ АКВАКУЛЬТУРНОЙ СТЕРЛЯДИ (*ACIPENSER RUTHENUS*)**

¹Никипелов В. И., младший научный сотрудник

¹Харзинова В. Р., кандидат биологических наук

¹Волкова В. В., кандидат биологических наук,

¹Никипелова А. К., аспирант

¹Бардуков Н. В., научный сотрудник

²Грозеску Ю. Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹Зиновьева Н. А., доктор биологических наук, профессор, академик РАН

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный исследовательский
центр ВИЖ имени Л. К. Эрнста

п. Дубровицы, Московская область, Российская Федерация

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Астраханский государственный технический университет
г. Астрахань, Российская Федерация

**Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда,
проект № 21-66-00007**

Благодарности: выражаем благодарность ООО РТФ «Диана», Союзу осетроводов и лично Михайлову А.В. за предоставление образцов биоматериала для исследований. За помощь в выполнении эксперимента благодарим главного рыбоведа ФГБУ «Главрыбвод» Глебова А. П.

При выполнении исследований было использовано оборудование Центра коллективного пользования научным оборудованием «Биоресурсы и биоинженерия сельскохозяйственных животных» ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста.

Актуальность. В современной практике искусственного разведения осетровых рыб особое значение приобретает получение жизнестойкого потомства. В этом контексте актуальным становится применение микросателлитных маркеров для оценки родства и генетического разнообразия стерляди в коммерческой аквакультуре. Это позволит более точно установить происхождение особей и значительно повысить эффективность селекционной работы на рыбохозяйственных предприятиях. **Объект.** Объектом исследования являются образцы плавниковых срезов аквакультурной стерляди различного происхождения. **Материалы и методы.** Разработка микросателлитной панели включающей в себя 12 локусов (AfuG 63, AfuG 112, Afu 68 b, LS-39, Spl-163, An20, AfuG 51, Aru13, AoxD161, AfuG 41, Aru18, LS-68) проводилась на базе ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста. Апробацию разработанной тест-системы, а также ее информативность выполняли на выборке заводской стерляди ($n=149$) трех популяций: сухонская, среди которой имелись две родительские пары с 30 известными потомками (SX, $n=65$), окская (OK, $n=50$) и нижеволжская (NV, $n=34$). **Результаты и выводы.** По результатам использования микросателлитных маркеров была дана оценка достоверности происхождения трех популяций стерляди. На основании полиморфизма 12-ти микросателлитных локусов для трех исследуемых групп стерляди произведен расчет классических популяционно-генетических показателей: среднее число аллелей на локус ($N_A = 7,528 \pm 0,717$), количество эффективных аллелей ($N_E = 4,098 \pm 0,437$), наблюдаемой ($H_O = 0,571 \pm 0,049$) и ожидаемой ($H_E = 0,611 \pm 0,049$) гетерозиготности, а также коэффициента инбридинга ($F_{IS} = 0,046 \pm 0,028$). Вероятность совпадения генотипов (P_1) для разработанной STR-панели колебалась от $3,7 \cdot 10^{-13}$ у OK до $8,1 \cdot 10^{-10}$ у SX, т.е. была практически исключена. Значения вероятности исключения (P_1, P_2, P_3), рассчитанные по результатам разработанной тест-системы, были минимальными у SX и максимальными у OK и колебались от 99,88 до 99,99% для P_1 . Параметр P_2 составлял 98,62% у NV и 99,87% для OK популяции. Для P_3 составило 99,99% для всех исследуемых групп. Эти данные подтверждают высокую информативность анализа ДНК 149 особей для установления достоверности происхождения заводской стерляди и функциональные возможности разработанной STR-панели. В результате проведенных исследований была создана мультиплексная тест-система, которая позволяет проводить анализ двенадцати STR-локусов, продемонстрирована ее высокая функциональная эффективность.

Ключевые слова: аквакультура, микросателлиты, стерлядь, популяции стерляди, достоверность происхождения стерляди.

Цитирование. Никипелов В. И., Харзинова В. Р., Волкова В. В., Никипелова А. К., Бардуков Н. В., Грозеску Ю. Н., Зиновьева Н. А. Разработка мультилокусной STR-панели и оценка достоверности происхождения аквакультурной стерляди (*Acipenser ruthenus*). *Известия НВ АУК.* 2024. 3(75). 273-283. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-32.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Стерлядь (*Acipenser ruthenus*, Linnaeus, 1758) – распространенный представитель осетровых видов рыб, хорошо известный относительно небольшим размером тела и широким ареалом по сравнению с другими представителями рода. В связи с сокращением естественных популяций, в 2019 году стерлядь была внесена в Красный список исчезающих видов МСОП в соответствии с критериями A2cde [1, 2].

Основными причинами сложившейся ситуации является загрязнение и разрушение естественной среды обитания, строительство гидроэлектростанций, бесконтрольный вылов (браконьерство) [3].

Аквакультура способствует восстановлению диких популяций и удовлетворению растущей потребности общества в высококачественной рыбной продукции. Тем не менее рыбоводные предприятия, занимающиеся разведением осетровых для коммерческих целей, сталкиваются с серьезными проблемами, такими как дефицит качественных производителей и получение не жизнеспособного потомства. Одной из причин сложившихся проблем является скрещивание близкородственных особей. В этой связи для решения обозначенных задач необходимо применение наиболее эффективных и доступных молекулярно-генетических методов, одним из которых является анализ микросателлитов (Simple Tandem Repeats, STR). Благодаря высокой степени полиморфизма, менделевскому типу

наследования и равномерному распределению по всему геному, микросателлитные маркеры на протяжении многих лет считаются наиболее широко используемым типом ДНК-маркеров для контроля достоверности происхождения сельскохозяйственных животных [4, 5, 6, 7, 8].

Для использования в осетроводстве был разработан коммерческий набор реагентов «генэксперт-осётр», включающий в себя 7 STR-локусов, предназначенный для генетической паспортизации и определения родства. Также, известны исследования по разработке тест-системы на основе анализа 5-ти STR-локусов, которая позволяет использовать их для видовой идентификации осетровых (и пищевой продукции из них), а также показана возможность определения особей гибридного происхождения. Помимо этого, с помощью разработанной тест системы была проведена работа по генетическому мониторингу молоди естественного воспроизводства (личинки и сеголетки) стерляди, выловленной в среднем и нижнем нерестовых участках реки Волги за период 2021-2022 годов. Однако в условиях осетровых хозяйств, где маточные стада формировались из ограниченного числа особей, оценка степени родства между потомками с помощью вышеперечисленных тест-систем может быть недостаточной. [9, 10, 11].

Исходя из вышеизложенного целью нашей работы является разработка панели микросателлитных маркеров включающую в себя 12 STR-локусов и оценка ее информативности для определения достоверности происхождения заводских стад стерляди.

Материалы и методы. На первоначальном этапе на основе проведенного анализа литературных данных в разрабатываемую панель STR-локусов анализа достоверности происхождения стерляди нами было отобрано 12 перспективных локусов (AfuG 63, AfuG 112, Afu 68 b, LS-39, Spl-163, An20, AfuG 51, Aru13, AoxD161, AfuG 41, Aru18, LS-68), характеризующиеся высокой степенью информативности и приводимые в наибольшем числе публикаций. При определении спектра локусов учитывали их полиморфный характер, а также возможность проведения мультиплексной реакции (близкие температуры плавления праймеров). Выбор флуоресцентной метки микросателлитных локусов проводился с учетом отсутствия пересечений их диапазонов друг с другом [10, 12, 13, 14, 15].

Апробацию разработанной тест-системы, а также ее информативность выполняли на выборке заводской стерляди ($n = 149$) трех популяций: сухонская, среди которой имелись две родительские пары с 30 известными потомками (SX, $n = 65$), окская (OK, $n = 50$) и нижеволжская (NV, $n = 34$).

Выделение геномной ДНК из отобранной плавниковой ткани осуществляли с помощью коммерческого набора ДНК-Экстран-2 (НПК «Синтол» Россия), согласно протоколу фирмы-изготовителя. Качественную оценку ДНК во всех образцах проводили методом электрофореза в агарозном геле, а ее концентрацию измеряли с помощью флуориметра Qubit 4.

Отобранные маркеры были сформированы в три мультиплексные панели. Это позволило выполнить в одной реакции одновременную амплификацию нескольких микросателлитов.

Состав ПЦР-смеси был следующим: 1 мкл (50-100 нг) исследуемой геномной ДНК и 9 мкл реакционной смеси, состоящей из 1,0 мкл 10х ПЦР-буфера (166 mM (NH₄) SO₄, 670 mM Tris-HCL, 15 mM MgCl₂, 0,1% Tween 20, pH = 8.8), 1,0 мкл 2 mM раствора dNTPs, 0,5 мкл 100 mM MgCl₂, 0,1 мкл (1 ед.) Taq-полимеразы (ООО «Диалат Лтд.», Россия). Концентрация праймеров реакционной смеси для мультиплексной ПЦР подбиралась в зависимости от уровня флуоресценции ампликонов (высоты пиков на графике фрагментного анализа).

Оптимизация ПЦР протокола произведена с использованием функции градиент. Температурно-временные режимы ПЦР включали в себя следующие этапы: 10 мин при 95C⁰ (первичная денатурация); 30 с при 95C⁰ (денатурация), 40 с при 60C⁰ (отжиг праймеров на ДНК-матрице), 30 с при 72C⁰ (элонгацию цепей) (35 циклов); 10 мин при 72C⁰ (финальная элонгация). Полученный ПЦР – продукт оценивали с помощью 16-канального капиллярного генетического анализатора ABI3130xl (Applied Biosystems, США). Исходные данные о длине аллелей получены в программном обеспечении Gene Mapper v. 4 (Applied Biosystems, США).

Для оценки потребительских свойств, разработанной тест-системы, использовали следующие критерии:

1) Возможность применения разработанной тест-системы для генетической паспортизации стерляди. Проводился расчет вероятности совпадения генотипов индивидуумов (P_i) по методике Peakall R. с соавторами [16].

2) Для возможности определения происхождения с использованием разработанной тест-системы оценивали точность подтверждения происхождения по трем частным случаям: исключение одного родителя, если известны генотипы обоих родителей и потомка (P_1); исключение родителя, если известны генотипы одного родителя и потомка (P_2); исключение обоих родителей, если известны генотипы родителей и потомка (P_3) [17, 18].

Для оценки эффективности используемых локусов в каждой популяции определяли среднее (N_A) и эффективное число (N_E) аллелей на локус, информационный индекс Шеннона (I), наблюдаемую (H_O) и ожидаемую (H_E) гетерозиготность и коэффициент инбридинга (F_{IS}) [19, 20].

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета MS Excel 2007 с плагином GenAlEx v. 6.5.1 [21].

Результаты и обсуждение. Выбор микросателлитных маркеров для включения в мультиплексную панель осуществляли с учетом их полиморфизма и возможности амплификации в одной реакции за счет близких температур плавления праймеров. Также была учтена возможность проведения анализа на ДНК-анализаторе с использованием специфических флуоресцентных меток, предотвращая перекрытие спектров для каждого из красителей (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика выбранных микросателлитных маркеров
Table 1 – Characteristics of the selected microsatellite markers

Наименование локуса / Locus name	Диапазон длин по литературным данным / Range of lengths according to the literature data	Температурный режим по литературным данным / Temperature regime according to literature data	Диапазон длин по собственным данным / Length range based on native data	Флуоресцентная метка по собственным данным / Fluorescent label based on own data	Температурный режим по собственным данным / Temperature regime according to own data
AfuG 63	127-147 [14]	52 [14]	132-142	6-FAM	60
AfuG 112	240-268 [14]	52 [14]	194-288	6-FAM	60
Afu 68 b	153-197 [14]	52 [14]	130-226	R6G	60
LS-39	117-132 [22]	57 [22]	121-135	6-FAM	60
Spl-163	172-220 [22]	57 [22]	171-221	6-FAM	60
An20	152-178 [22] 129-193 [10]	57 [10; 22]	151-207	R6G	60
AfuG 51	223-247 [22] 204-312 [10]	57 [10; 22]	226-262	R6G	60
Aru13	87-135 [22]	60 [15]	91-137	6-FAM	60
AoxD161	106-130 [22] 86-154 [10]	60 [10; 15]	101-137	6-FAM	60
AfuG 41	193-261 [15] 173-225 [10]	60 [10; 15]	201-265	6-FAM	60
Aru18	135-145 [15]	60 [15]	138-154	R6G	60
LS-68	174-238 [15]	60 [15]	163-247	R6G	60

Данные таблицы 1 показали, что в ходе выполнения собственных исследований, для всего выбранного спектра микросателлитных локусов, была подобрана одинаковая температура отжига праймеров, что позволяет оптимизировать рабочий процесс, являющийся ключевым фактором для повышения производительности и эффективности работы.

В результате нашего исследования была разработана STR-панель, позволяющая анализировать 12 локусов (рисунок 1)

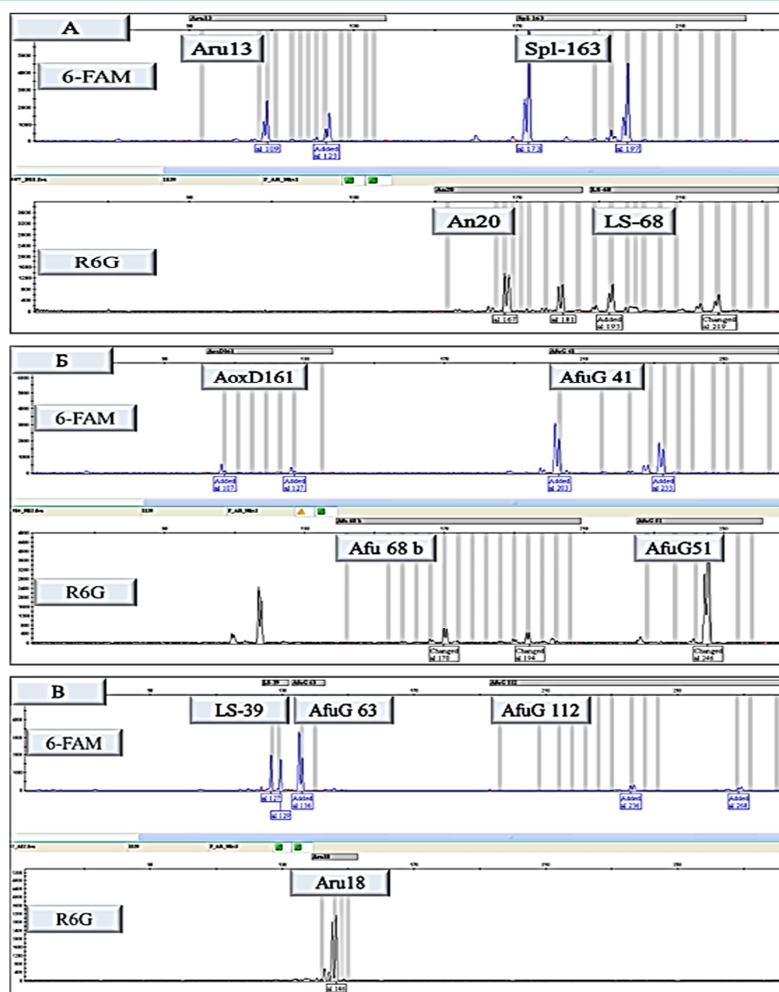


Рисунок 1 – Визуальный фрагмент мультиплексирования локусов для особей аквакультурной стерляди: А – панель № 1 (локусы Aru13, Spl-163, An20, LS-68), Б – панель № 2 (локусы AoxD161, AfuG 41, Afu 68 b, AfuG 51), В – панель № 3 (локусы LS-39, AfuG 63, AfuG 112, Aru18)
Figure 1 – Visual fragment of multiplexing loci for individuals of aquaculture sterlet: А – panel No. 1 (loci Aru13, Spl-163, An20, LS-68), Б – panel No. 2 (loci AoxD161, AfuG 41, Afu 68 b, AfuG 51), В – panel No. 3 (loci LS-39, AfuG 63, AfuG 112, Aru18)

Примечание: фрагменты, меченные специфическими флуоресцентными красителями 6-FAM, R6G показаны на рисунке (А, Б, В), в первом и втором рядах.

Note: fragments labeled with specific fluorescent dyes 6-FAM, R6G are shown in the figure (A, B, C), in the first and second rows.

Из 12 микросателлитных локусов были сформированы три мультиплексные панели (панель 1: Aru13, Spl-163, An20, LS-68; панель 2: AoxD161, AfuG 41, Afu 68 b, AfuG 51; панель 3: LS-39, AfuG 63, AfuG 112, Aru18), позволяющие анализировать 12 локусов (рисунок 1).

В таблице 2 представлены результаты анализа основных генетических параметров и дана характеристика по каждому локусу.

В результате анализа 12 микросателлитов в 3 группах заводской стерляди было выявлено 135 аллелей, что превосходило число аллелей (40 аллелей), детектированных при молекулярно-генетическом анализе стерляди с использованием десяти микросателлитных маркеров. В целом по исследуемой выборке наименее полиморфными оказались локусы AfuG_63, LS_39 и Aru18, в которых было выявлено от 2 до 4 аллелей. Аналогичная тенденция наблюдалась при исследованиях стерляди, разводимой на территории Германии (4 аллеля для локуса Aru18 и LS_39). Наибольший полиморфизм по результатам исследований *Kohlmann* и соавторов (2017) показал локус LS_68 (15 аллелей), однако в нашей работе было идентифицировано 21 аллель [22, 23].

Таблица 2 – Характеристика информативности микросателлитных локусов
для всей исследуемой выборки

Table 2 – Characteristics of the information content of microsatellite loci for the entire study sample

Locus	N_A	N_E	I	H_O	H_E	F_{IS}
Aru13	12	4,618	1,783	0,893	0,783	-0,139
Spl_163	12	7,240	2,139	0,852	0,862	0,011
An20	12	2,690	1,417	0,541	0,628	0,140
LS_68	21	7,942	2,387	0,554	0,874	0,366
AoxD161	9	3,479	1,618	0,631	0,713	0,115
AfuG_41	16	8,264	2,308	0,913	0,879	-0,038
Afu68b	18	7,852	2,366	0,676	0,873	0,226
AfuG_51	8	1,364	0,636	0,215	0,267	0,195
LS_39	4	2,152	0,903	0,456	0,535	0,149
AfuG_63	2	1,042	0,100	0,041	0,040	-0,021
AfuG_112	17	8,854	2,377	0,884	0,887	0,003
Aru18	4	1,477	0,590	0,322	0,323	0,002

Примечание: N_A – среднее число аллелей на локус. N_E – число эффективных аллелей на локус; I – информационный индекс Шеннона. H_O – наблюдаемая гетерозиготность. H_E – ожидаемая гетерозиготность. F_{IS} коэффициент инбридинга.

Note: N_A is the average number of alleles per locus. N_E is the number of effective alleles per locus; I is the Shannon Information Index. H_O is the observed heterozygosity. H_E is expected heterozygosity. F_{IS} inbreeding ratio.

Значения информационного индекса Шеннона (I) показали, что средние параметры генетического разнообразия у семи локусов (Aru13, Spl_163, LS_68, AoxD161, AfuG_41, Afu68b, AfuG_112) составляли от 1,618 до 2,387. Остальные локусы обладали относительно низким разнообразием, при этом наименьший результат был зафиксирован в локусе AfuG_63 (0,100). Наибольшим уровнем наблюдаемой гетерозиготности (H_O) характеризовались локусы Aru13 (0,893), Spl_163 (0,852), AfuG_41 (0,913) и AfuG_112 (0,884), а наибольшим уровнем ожидаемой гетерозиготности (H_E) – локусы Spl_163 (0,862), LS_68 (0,874), AfuG_41 (0,879), Afu68b (0,873) и AfuG_112 (0,887), в то время как наименьшим уровнем наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности отличался локус AfuG_63 (0,041 и 0,040 соответственно). Исходя из коэффициента инбридинга (F_{IS}), только в трех локусах (Aru13, AfuG_41, AfuG_63) наблюдаемая гетерозиготность превышала ожидаемую. В остальных локусах наблюдалось смещение равновесия в сторону недостатка гетерозигот, однако наивысшим коэффициентом инбридинга обладал локус LS_68 (0,366). Выявленные особенности указывают на возможность более эффективного использования отдельных локусов для различных целей генетических исследований.

Для оценки информативности разработанной тест-системы, были оценены такие параметры, как вероятность совпадения генотипов (P_1) и значения вероятности исключения родителей (P_1 , P_2 , P_3). В таблице 3 представлены результаты, полученные при анализе трех групп аквакультурной стерляди.

Таблица 3 – Оценка достоверности происхождения

Table 3 – Assessment of the reliability of origin

Параметр / Parameter	NV	OK	SX
P_1	$4,23 \cdot 10^{-10}$	$3,69 \cdot 10^{-13}$	$8,12 \cdot 10^{-10}$
P_1	99,93	99,99	99,88
P_2	98,62	99,87	97,80
P_3	99,99	99,99	99,99

Примечание: P_1 – вероятность совпадения генотипов. P_1 – исключение одного родителя, если известны генотипы обоих родителей и потомка. P_2 – исключение родителя, если известны генотипы одного родителя и потомка; P_3 – исключение обоих родителей, если известны генотипы родителей и потомка. Расшифровку аббревиатур для стад заводской стерляди см. в разделе «Материалы и методы».

Note: P_1 is the probability of a genotype match. P_1 is the exclusion of one parent if the genotypes of both parents and offspring are known. P_2 is the exclusion of the parent if the genotypes of one parent and descendant are known; P_3 is the exclusion of both parents if the genotypes of the parents and descendant are known. For an explanation of the abbreviations for stud sterlet, see the section "Materials and Methods"

Так, вероятность совпадения генотипов (P_i) для разработанной STR-панели колебалась от $3,7 \cdot 10^{-13}$ у ОК до $8,1 \cdot 10^{-10}$ у SX, т.е. была практически исключена. Значения вероятности исключения (P_1, P_2, P_3), рассчитанные по результатам разработанной тест-системы, были минимальными у SX и максимальными у ОК и колебались от 99,88 до 99,99% для P_1 . Параметр P_2 составлял 98,62% у NV и 99,87% для ОК популяции. Для P_3 составило 99,99% для всех исследуемых групп. Эти данные подтверждают высокую информативность анализа ДНК 149 особей для установления достоверности происхождения заводской стерляди и функциональные возможности разработанной STR-панели.

Для оценки генетического разнообразия популяций стерляди часто используют показатели аллельного разнообразия, а также степени гетерозиготности, которые рассчитываются по каждому локусу, и в среднем по всем используемым локусам. Результаты анализа основных показателей генетической изменчивости каждой исследуемой группы представлены в таблице 4 [24].

Таблица 4 – Параметры генетического разнообразия исследуемой выборки стерляди на основе анализа 12-ти микросателлитных локусов

Table 4 – Parameters of the genetic diversity of the sterlet sample under study based on the analysis of 12 microsatellite loci

POP	N_A	N_E	I	H_O	H_E	F_{IS}
NV	$6,583 \pm 1,076$	$3,507 \pm 0,624$	$1,251 \pm 0,217$	$0,563 \pm 0,098$	$0,573 \pm 0,090$	$0,019 \pm 0,063$
ОК	$9,833 \pm 1,502$	$5,243 \pm 1,015$	$1,593 \pm 0,250$	$0,608 \pm 0,085$	$0,651 \pm 0,087$	$0,050 \pm 0,035$
SX	$7,333 \pm 1,096$	$3,229 \pm 0,503$	$1,247 \pm 0,178$	$0,570 \pm 0,084$	$0,587 \pm 0,074$	$0,029 \pm 0,054$

Примечание: N_A – среднее число аллелей на локус. N_E – число эффективных аллелей на локус; I – информационный индекс Шеннона. H_O – наблюдаемая гетерозиготность. H_E – ожидаемая гетерозиготность. Расшифровку аббревиатур для стад заводской стерляди см. в разделе «Материалы и методы».

Note: N_A is the average number of alleles per locus. N_E is the number of effective alleles per locus; I is the Shannon Information Index. H_O is the observed heterozygosity. H_E is expected heterozygosity. For the explanation of abbreviations for the herds of factory sterlet, see the section "Materials and methods".

Среднее число аллелей на локус для всей выборки составило 7,917, что превышает средние значения данного показателя, обнаруженные в популяциях заводской стерляди на рыбной ферме «Рёнфорелле» в Герсфельде, (Германия), с использованием 15 микросателлитов и рыбоводном хозяйстве в Сиане (Китай) на основании анализа 10 локусов: 7,2 и 4,0 соответственно [22, 23].

Индекс Шеннона (I) показал, что окская популяция стерляди обладает умеренным генетическим разнообразием ($1,593 \pm 0,250$). Остальные группы стерляди имели низкие значения ($NV = 1,251 \pm 0,217$, $SX = 1,247 \pm 0,178$), но при сравнительном анализе их генетическое разнообразие оказалось схоже друг с другом. Наибольшим уровнем наблюдаемой (H_O) и ожидаемой (H_E) гетерозиготности характеризовалась окская группа стерляди (ОК) (0,608 и 0,651, соответственно), а наименьшим – нижеволжская стерлядь (0,563 и 0,573, соответственно).

Результаты исследования коэффициента инбридинга (F_{IS}) свидетельствуют о том, что все популяции стерляди проявляют недостаток гетерозигот. В данной выборке окская популяция стерляди проявила максимальную степень инбридинга ($0,050 \pm 0,035$), в то время как у сухонской популяции значение показателя составило $0,029 \pm 0,054$, а у нижеволжской популяции – $0,019 \pm 0,063$.

Заключение. В результате проведенных исследований была создана мультиплексная тест-система, которая позволяет проводить анализ двенадцати STR-локусов, продемонстрирована ее высокая функциональная эффективность. Путем учета множества критериев, включая вероятность совпадения генотипов и вероятность исключения в качестве родителя (родителей), можно заключить, что созданная мультилокусная тест-система STR-маркеров является надежным инструментом для проверки достоверности происхождения аквакультурной стерляди. Кроме этого, представленная тест-система может быть применима для оценки популяционно-

генетических параметров выборок стерляди. Так генетический анализ показал, что коэффициент инбридинга (F_{IS}) во всех популяциях стерляди были больше нуля. Наиболее вероятная причина наблюдаемого эффекта – применение в рыбоводных хозяйствах системы спаривания, направленной на достижение поставленных целей, к примеру снижение инбридинга или процессов закрепления хозяйственно-полезных признаков во время проведения селекционной работы, хотя не исключено также действие других факторов (конечные размеры популяции, неслучайное скрещивание особей, влияние отбора и др.).

В перспективе на основе разработанной тест-системы будут продолжены исследования увеличенной выборки представителей рода *Acipenser ruthenus* с целью оценки происхождения, характеристики генетической структуры и установления генетических взаимоотношений различных популяций стерляди, разводимых в России.

Conclusions. As a result of the research, a multiplex test system was created that allows analysis of twelve STR loci, and its high functional efficiency was demonstrated. By taking into account many criteria, including the probability of matching genotypes and the probability of exclusion as a parent (parents), we can conclude that the created multilocus test system of STR markers is a reliable tool for checking the authenticity of the origin of aquaculture sterlet. In addition, the presented test system can be applied to assess the population genetic parameters of sterlet samples. Thus, genetic analysis showed that the coefficient of inbreeding (F_{IS}) in all sterlet populations was greater than zero. The most likely reason for the observed effect is the use of a mating system in fish farms aimed at achieving set goals, for example, reducing inbreeding or the processes of fixing economically useful traits during breeding work, although the influence of other factors (final population sizes, non-random crossing of individuals, influence of selection, etc.)

In the future, based on the developed test system, studies will be continued on an increased sample of representatives of the genus *Acipenser ruthenus* in order to assess the origin, characterize the genetic structure and establish the genetic relationships of various populations of sterlet bred in Russia.

Библиографический список

1. Volosnikov G. Review of data on biology of sterlet *Acipenser ruthenus* (Linnaeus, 1758). Vestnik of Astrakhan State Technical University. 2017. No 2. Pp. 67-72.
2. Gessner J., Freyhof J., Kottelat M., Friedrich T. *Acipenser ruthenus*. The IUCN Red List of Threatened Species. 2022. e.T227A135062526.
3. Быков А. Д., Бражник С. Ю. Современное состояние запасов и искусственного воспроизводства стерляди в России. Вопросы рыболовства. 2022. Т. 23. № 3. С. 5-30.
4. Васильева Л. М. Современные проблемы осетроводства в России и мире. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2015. № 2 (6). С. 30-36.
5. Абдельманова А. С., Волкова В. В., Доцев А. В., Зиновьева Н. А. Характеристика генетического разнообразия современной и архивной популяций крупного рогатого скота черно-пестрой породы с использованием микросателлитных маркеров. Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 2. С. 34-38.
6. Никипелов В. И., Бардуков Н. В., Харзинова В. Р., Грозеску Ю. Н., Зиновьева Н. А. Характеристика микросателлитных локусов и их полиморфизма у аквакультурной стерляди (*Acipenser ruthenus*). Генетика и разведение животных. 2023. № 5 (2). 13 с.
7. Харзинова В. Р., Зиновьева Н. А. Паттерн генетического разнообразия у локальных и коммерческих пород свиней на основе анализа микросателлитов. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. Т. 24. № 7. С. 747-754.
8. Харзинова В. Р., Кудрявцев А. В., Семерикова М. Н., Зиновьева Н. А. Изучение популяционной структуры и генетического разнообразия чукотской породы северного оленя на основе анализа микросателлитов. Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 9. С. 87-92.
9. <https://www.syntol.ru/catalog/nabory-dlya-analiza-str-lokusov-zhivotnykh/nabor-reagentov-genekspert-osyetr-dlya-geneticheskoy-pasportizatsii-i-opredeleniya-rodstva-osetrovykh.html>.
10. Барминцева А. Е., Мюре Н. С. Использование микросателлитных локусов для установления видовой принадлежности осетровых (*Acipenseridae*) и выявления особей гибридного происхождения. Генетика. 2013. Т. 49. № 9. С. 1093-1105.
11. Макарова Е. Г., Козлова Н. В. Генетический мониторинг молодежи стерляди (*Acipenser ruthenus*) в реке Волге. Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2023. № 5.
12. Dudu A., Georgescu S., Burcea A., Florescu I., Costache M. Microsatellites Variation in Sterlet Sturgeon, *Acipenser ruthenus* from the Lower Danube. Scientific Papers: Animal Science and Biotechnologies. 2013. V. 46. Pp. 90-96.
13. Pekarik L., et al. Current stocking program of the sterlet (*Acipenser ruthenus*, L.) can negatively shape its genetic variability in the Middle Danube. Zoology Lab, Plant Science and Biodiversity Center. 2019. V. 8. No. 19. Pp. 2-8.
14. Welsh A., May B. Development and standardization of disomic microsatellite markers for lake sturgeon genetic studies. Journal of Applied Ichthyology. 2006. V. 22 (5). Pp. 337-344.
15. Yacheng Hu, et al. Development and characterization of novel cross-species tetranucleotide microsatellite markers for sterlet (*Acipenser ruthenus*) from Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*). Chinese Sturgeon Research Institute. Yichang, 2019. Pp. 3-10.
16. Peakall R., Ebert D., Cunningham R., Lindenmayer D. B. Mark-recapture by genetic tagging reveals restricted movements by bush rats, *Rattus fuscipes*, in a fragmented landscape. Journal of Zoology. 2006. No. 268. Pp. 207-216.

17. Jamieson A. The effectiveness of using co-dominant polymorphic allelic series for (1) checking pedigrees and (2) distinguishing full-sib pair members. *Animal Genetics*. 1994. V. 25 (1). Pp. 37-44.
18. Jamieson A., Taylor S. C. S. Comparisons of three probability formulae for parentage exclusion. *Animal Genetics*. 1997. V. 28. Pp. 397-400.
19. Brown A. H. D., Weir B. S. Measuring genetic variability in plant populations. In: *Isozymes in plant genetics and breeding, Part A*. Elsevier Science Publisher, Amsterdam. 1983. Pp. 219-239.
20. Hartl D. L., Clark A. G. Principles of population genetics. Sinauer Associates. 1997. 542 p.
21. Peakall R., Smouse P. E. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research – an update. *Bioinformatics*. 2012. V. 28. Pp. 2537-2539.
22. Kohlmann K., Kersten P., Gessner J., Onara D., Taflan E., Radu S. New microsatellite multiplex PCR sets for genetic studies of the sterlet sturgeon, *Acipenser ruthenus*. *Environmental Biotechnology*. 2017. V. 13. Pp. 11-17.
23. Wang J., Sun Z., Jiang L., Hu Y. Developing microsatellite duplex PCR reactions for sterlet (*Acipenser ruthenus*) and their application in parentage identification. *Scientific Reports*. 2022. No. 12. P. 12036.
24. Maletsanake D., Nsoso S. J., Kgwalalala P. M. Genetic variation from 12 microsatellite makers in an indigenous Tswana goat flock in Southeastern Botswana. *Livestock research for rural development*. 2013. V. 25. P. 2.

References

1. Volosnikov G. Review of data on biology of sterlet *Acipenser ruthenus* (Linnaeus, 1758). *Vestnik of Astrakhan State Technical University*. 2017. No. 2. Pp. 67-72.
2. Gessner J., Freyhof J., Kottelat M., Friedrich T. *Acipenser ruthenus*. The IUCN Red List of Threatened Species. 2022. e.T227A135062526.
3. Bykov A. D., Brazhnik S. Y. Current State of Sterlet Stocks and Artificial Reproduction in Russia. *Fisheries issues*. 2022. V. 23. № 3. Pp. 5-30.
4. Vasil'eva L. M. Modern problems of sturgeon breeding in Russia and the world. *Technologies of the food and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products*. 2015. № 2 (6). Pp. 30-36.
5. Abdelmanova A. S., Volkova V. V., Dotsev A. V., Zinovieva N. A. Characteristics of Genetic Diversity of Modern and Archival Populations of Black-and-White Cattle Using Microsatellite Markers. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2020. V. 34. № 2. Pp. 34-38.
6. Nikipelov V. I., Bardukov N. V., Kharzinova V. R., Grozescu Y. N., Zinovieva N. A. Characteristics of Microsatellite Loci and Their Polymorphism in Aquaculture Sterlet (*Acipenser ruthenus*). *Genetics and animal breeding*. 2023. No 5 (2). 13 p.
7. Kharzinova V. R., Zinovieva N. A. Pattern of Genetic Diversity in Local and Commercial Pig Breeds Based on Microsatellite Analysis. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020. V. 24. № 7. Pp. 747-754.
8. Kharzinova V. R., Kudryavtsev A. V., Semerikova M. N., Zinovieva N. A. Study of the population structure and genetic diversity of the Chukchi reindeer breed based on the analysis of microsatellites. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2023. V. 37. № 9. Pp. 87-92.
9. <https://www.syntol.ru/catalog/nabory-dlya-analiza-str-locusov-zhivotnykh/nabor-reagentov-genekspert-osyetr-dlya-geneticheskoy-pasportizatsii-i-opredeleniya-rodstva-osetrovykh.html>.
10. Barmintseva A. E., Muge N. S. Use of Microsatellite Loci to Establish Sturgeon (*Acipenseridae*) Species and Identify Individuals of Hybrid Origin. *Genetics*. 2013. V. 49. № 9. Pp. 1093-1105.
11. Makarova E. G., Kozlova N. V. Genetic Monitoring of Sterlet Juveniles (*Acipenser ruthenus*) in the Volga River. *Fish farming and fisheries*. 2023. № 5.
12. Dudu A., Georgescu S., Burcea A., Florescu I., Costache M. Microsatellites Variation in Sterlet Sturgeon, *Acipenser ruthenus* from the Lower Danube Scientific Papers: *Animal Science and Biotechnologies*. 2013. V. 46. Pp. 90-96.
13. Pekarik L., et al. Current stocking program of the sterlet (*Acipenser ruthenus*, L.) can negatively shape its genetic variability in the Middle Danube. *Zoology Lab, Plant Science and Biodiversity Center*. 2019. V. 8. No 19. Pp. 2-8.
14. Welsh A., May B. Development and standardization of disomic microsatellite markers for lake sturgeon genetic studies. *Journal of Applied Ichthyology*. 2006. V. 22 (5). Pp. 337-344.
15. Yacheng Hu, et al. Development and characterization of novel cross-species tetranucleotide microsatellite markers for sterlet (*Acipenser ruthenus*) from Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*). *Chinese Sturgeon Research Institute*. Yichang, 2019. Pp. 310.
16. Peakall R., Ebert D., Cunningham R., Lindenmayer D. B. Mark-recapture by genetic tagging reveals restricted movements by bush rats, *Rattus fuscipes*, in a fragmented landscape. *Journal of Zoology*. 2006. No 268. Pp. 207-216.
17. Jamieson A. The effectiveness of using co-dominant polymorphic allelic series for (1) checking pedigrees and (2) distinguishing full-sib pair members. *Animal Genetics*. 1994. V. 25 (1). Pp. 37-44.
18. Jamieson A., Taylor S. C. S. Comparisons of three probability formulae for parentage exclusion. *Animal Genetics*. 1997. V. 28. Pp. 397-400.
19. Brown A. H. D., Weir B. S. Measuring genetic variability in plant populations. In: *Isozymes in plant genetics and breeding, Part A*. Elsevier Science Publisher, Amsterdam. 1983. Pp. 219-239.
20. Hartl D. L., Clark A. G. Principles of population genetics. Sinauer Associates. 1997. 542 p.
21. Peakall R., Smouse P. E. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research – an update. *Bioinformatics*. 2012. V. 28. Pp. 2537-2539.
22. Kohlmann K., Kersten P., Gessner J., Onara D., Taflan E., Radu S. New microsatellite multiplex PCR sets for genetic studies of the sterlet sturgeon, *Acipenser ruthenus*. *Environmental Biotechnology*. 2017. V. 13. Pp. 11-17.
23. Wang J., Sun Z., Jiang L., Hu Y. Developing microsatellite duplex PCR reactions for sterlet (*Acipenser ruthenus*) and their application in parentage identification. *Scientific Reports*. 2022. No. 12. P. 12036.
24. Maletsanake D., Nsoso S. J., Kgwalalala P. M. Genetic variation from 12 microsatellite makers in an indigenous Tswana goat flock in Southeastern Botswana. *Livestock research for rural development*. 2013. V. 25. P. 2.

Информация об авторах

Никипелов Владислав Игоревич, младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федерального исследовательского центра ВИЖ имени Л. К. Эрнста (Российская Федерация, 142132, Московская область, городской округ Подольск, поселок Дубровицы, д. 60), ORCID: 0009-0008-6411-2454, e-mail: vladnikipelovvij@mail.ru

Харзинова Вероника Руслановна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федерального исследовательского центра ВИЖ имени Л. К. Эрнста (Российская Федерация, 142132, Московская область, городской округ Подольск, поселок Дубровицы, д. 60), e-mail: veronika0784@mail.ru

Волкова Валерия Владимировна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федерального исследовательского центра ВИЖ имени Л. К. Эрнста (Российская Федерация, 142132, Московская область, городской округ Подольск, поселок Дубровицы, д. 60), ORCID: 0000-0002-2080-0182, e-mail: moonlit_elf@mail.ru

Бардуков Николай Владимирович, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федерального исследовательского центра ВИЖ имени Л. К. Эрнста (Российская Федерация, 142132, Московская область, городской округ Подольск, поселок Дубровицы, д. 60), ORCID: 0000-0002-5497-2409, e-mail: bardukv-nikolaj@mail.ru

Никипелова Амина Кумаровна, аспирант, младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федерального исследовательского центра ВИЖ имени Л. К. Эрнста (Российская Федерация, 142132, Московская область, городской округ Подольск, поселок Дубровицы, д. 60), ORCID: 0009-0002-8248-7555, e-mail: nikipelova_aminavij@mail.ru

Грозеску Юлия Николаевна, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой «Аквакультура и рыболовство» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Астраханского государственного технического университета (Российская Федерация, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, д. 16/1), e-mail: grozesku@yandex.ru

Зиновьева Наталия Анатольевна, доктор биологических наук, профессор, академик РАН, директор Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федерального исследовательского центра ВИЖ имени Л. К. Эрнста (Российская Федерация, 142132, Московская область, городской округ Подольск, поселок Дубровицы, д. 60), ORCID: 0000-0003-4017-6863, e-mail: n_zinovieva@mail.ru

Author's Information

Nikipelov Vladislav Igorevich, junior researcher at the Federal State Budgetary Scientific Institution of the Federal Research Center VIZh named after L. K. Ernst (Russian Federation, 142132, Moscow region, Podolsk district, Dubrovitsy village, house 60), ORCID: 0009-0008-6411-2454, e-mail: vladnikipelovvij@mail.ru

Kharzinova Veronika Ruslanovna, Candidate of Biological Sciences, leading researcher at the Federal State Budgetary Scientific Institution of the Federal Research Center VIZh named after L.K. Ernst. (Russian Federation, 142132, Moscow region, Podolsk district, Dubrovitsy village, house 60), ORCID: 0000-0002-8067-0404, e-mail: veronika0784@mail.ru

Volkova Valeria Vladimirovna, Candidate of Biological Sciences, senior researcher at the Federal State Budgetary Scientific Institution of the Federal Research Center VIZh named after L. K. Ernst (Russian Federation, 142132, Moscow region, Podolsk district, Dubrovitsy village, house 60), ORCID: 0000-0002-2080-0182, e-mail: moonlit_elf@mail.ru

Bardukov Nikolay Vladimirovich, researcher at the Federal State Budgetary Scientific Institution of the Federal Research Center VIZh named after L. K. Ernst. (Russian Federation, 142132, Moscow region, Podolsk district, Dubrovitsy village, house 60), ORCID: 0000-0002-5497-2409, e-mail: bardukv-nikolaj@mail.ru

Nikipelova Amina Kumarovna, graduate student, junior researcher at the Federal State Budgetary Scientific Institution of the Federal Research Center VIZh named after L. K. Ernst. (Russian Federation, 142132, Moscow region, Podolsk district, Dubrovitsy village, house 60), ORCID: 0009-0002-8248-7555, e-mail: nikipelova_aminavij@mail.ru

Grozesku Yulia Nikolaevna, professor, doctor of agricultural sciences, associate professor, head of the department of "Aquaculture and Fisheries" of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, Astrakhan State Technical University (Russian Federation, 414056, Astrakhan, st. Tatishcheva, 16/1), e-mail: grozesku@yandex.ru

Zinovieva Natalia Anatolyevna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of the Federal State Budgetary Scientific Institution of the Federal Research Center VIZh named after L. K. Ernst (Russian Federation, 142132, Moscow region, Podolsk district, Dubrovitsy village, house 60), ORCID: 0000-0003-4017-6863, e-mail: n_zinovieva@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-33

SEARCHING FOR DESIRABLE GENOTYPES OF FATHERS AND MOTHERS OF AYRSHIRE COWS USING THE BREEDING INDEX

Romanova E. A., Tulinova O. V.

*Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – branch of the L. K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry
St. Petersburg-Pushkin, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: splicing86@gmail.com

Received 05.02.2024

Submitted 22.04.2024

The work was carried out as part of the scientific research of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation on the topic No. 124020200029-4.

The materials of the Ayrshire Breed Breeding Center (VNIIGRZH) were used in the research

Summary

The article presents the results of research on the formation of breeding groups of Ayrshire cows using the index selection method to find the most effective combinations of desired genotypes of fathers and mothers of cows with different levels of selection pressure. Selection boundaries and the most effective combina-