

Результаты генетического анализа племенного ядра сарбоянского карпа

DOI: 10.37663/0131-6184-2023-6-141-149 EDN bwmyxw

Морузи Ирина Владимировна – доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой биологии, биоресурсов и аквакультуры, Новосибирский государственный аграрный университет, @ moryzi@ngs.ru, Новосибирск, Россия;

Елисеева Елизавета Андреевна – аспирант кафедры биологии, биоресурсов и аквакультуры, Новосибирский государственный аграрный университет, @ e.e-2@mail.ru, Новосибирск, Россия;

Разоков Наимджон Насимджонович – аспирант кафедры биологии, биоресурсов и аквакультуры, Новосибирский государственный аграрный университет, @ naimchon_1999@mail.ru, Новосибирск, Россия;

Бочкарев Николай Анатольевич – доктор биологических наук, старший научный сотрудник научный сотрудник Научно-исследовательской группы физиологии и генетики гидробионтов, Институт систематики и экологии животных Сибирского отделения Российской академии наук, @ Nikson_1960@mail.ru, Новосибирск, Россия;

Пищенко Елена Витальевна – доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры биологии, биоресурсов и аквакультуры, Новосибирский государственный аграрный университет, @ epishenko@ngs.ru, Новосибирск, Россия

Адреса:

1. Новосибирский государственный аграрный университет – 630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160
2. Институт систематики и экологии животных Сибирского отделения Российской академии наук – 630091, Новосибирск, Россия, ул. Фрунзе, д. 11

Аннотация.

В работе дана оценка результатов генетического анализа племенного ядра сарбоянского карпа ООО «Эко-парк». Анализ был проведен методом ПЦР диагностики по гену COXI. Выявлены преимущественные гаплотипы племенной группы сарбоянского карпа. Анализ медианной сети гаплотипов показал, что рассматриваемые гаплотипы карпа и дикого сазана формируют две гаплогруппы, связанные через 1 гаплотип. Один из гаплотипов, наиболее многочисленный среди них – H1, в него входит до 78% изученного массива рыб. Стадо рыб, взятых для исследования, было изучено по 8 бонитировочным промерам (массе тела, абсолютной длине тела, длине тела без хвостового плавника, наибольшей высоте, ширине и обхвату). Был проведен сравнительный анализ особенностей телосложения рыб самцов и самок, принадлежащих к различным гаплотипам. Внутри гаплогруппы существует половой диморфизм по морфологическим признакам. Самцы от самок достоверно отличаются по массе, толщине и обхвату тела, а также – по соответствующим индексам телосложения. Вторая, наиболее многочисленная гаплогруппа – H16, входящие в нее самки превосходят самцов по массе тела, толщине и обхвату. Сравнение самцов из разных групп h1 и h16 не выявило различия морфологического признаков, те же закономерности установлены по отношению к экстерьеру самок. Филогенетический анализ, проведенный на основе собственных гаплотипов и взятых из международной базы данных NCBI, подтверждает известные сведения о том, что сарбоянский карп представляет собой глубоко гибридную группировку, созданную на основе вводного скрещивания белорусских карпов и амурского сазана.

Ключевые слова:

сарбойанский карп, РЦР диагностика, гаплотипы, индексы телосложения, стандарт породы

Для цитирования:

Морузи И.В., Елисеева Е.А., Разоков Н.Н., Боцкарев Н.А., Пищенко Е.В. Результаты генетического анализа племенного ядра сарбойанского карпа // Рыбное хозяйство. 2023. № 6. С. 141-149.

DOI: 10.37663/0131-6184-2023-6-141-149 EDN bwmyxw

RESULTS OF GENETIC ANALYSIS OF THE BREEDING NUCLEUS OF THE SARBOYAN CARP

Irina V. Moruzi – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Biology, Bioresources and Aquaculture, Novosibirsk State Agrarian University, @ moryzi@ngs.ru, Novosibirsk, Russia;

Elizaveta A. Eliseeva – Postgraduate student of the Department of Biology, Bioresources and Aquaculture, Novosibirsk State Agrarian University, @ e.e-2@mail.ru, Novosibirsk, Russia;

Naimjon N. Razokov – Postgraduate student of the Department of Biology, Bioresources and Aquaculture, Novosibirsk State Agrarian University, @ naimchon_1999@mail.ru, Novosibirsk, Russia;

Nikolay A. Bochkarev – Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher, Researcher of the Research Group of Physiology and Genetics of Hydrobionts, Institute of Systematics and Ecology of Animals of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, @ Nikson_1960@mail.ru, Novosibirsk, Russia;

Elena V. Pishchenko – Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of Biology, Bioresources and Aquaculture, Novosibirsk State Agrarian University, @ epishenko@ngs.ru, Novosibirsk, Russia

Addresses:

1. Novosibirsk State Agrarian University – 630039, Novosibirsk, Dobrolyubova str., 160

2. Institute of Systematics and Ecology of Animals of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences – 630091, Novosibirsk, Russia, Frunze str., 11

Annotation. The paper evaluates the results of the genetic analysis of the breeding core of sarboyan carp LLC "Eco-Park". The analysis was carried out using PCR diagnostics using the COXI gene. The predominant haplotypes of the breeding group of sarboyan carp have been identified. Analysis of the median network of haplotypes showed that the considered haplotypes of carp and wild carp form two haplogroups connected through 1 haplotype. One of the most numerous haplotypes among them is H1; it includes up to 78% of the studied array of fish. The stock of fish taken for the study was studied according to 8 grading measurements (body weight, absolute body length, body length without caudal fin, greatest height, width and girth). A comparative analysis of the physique features of male and female fish belonging to different haplotypes was carried out. Within the haplogroup there is sexual dimorphism based on morphological characteristics. Males and females differ significantly in weight, thickness and girth of the body, as well as the corresponding body indices. The second most numerous haplogroup is H16, its females exceed males in body weight, thickness and girth. A comparison of males from different groups h1 and h16 did not reveal differences in morphological characteristics; the same patterns were established in relation to the exterior of females. Phylogenetic analysis carried out on the basis of its own haplotypes and haplotypes taken from the international NCBI database confirms the known information that sarboyan carp is a deeply hybrid group created on the basis of introductory crossing of belarusian carp and amur carp.

Keywords:

mitochondrial DNA, cytochrome oxidase I, haplotype, sarboyan carp

For citation:

Moruzi I.V., Eliseeva E.A., Razokov N.N., Bochkarev N.A., Pishchenko E.V. Results of genetic analysis of the breeding nucleus of the Sarboyan carp // Fisheries. 2023. No. 6. Pp. 141-149. DOI: 10.37663/0131-6184-2023-6-141-149 EDN bwmyxw

АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Аквакультура – одна из наиболее скорорастущих сфер сельского хозяйства. Генетическое усовершенствование культивируемых рыб представляет значительную роль в оптимизации, а также в повышении производства продуктов аквакультуры [1].

Карп обычный (*Cyprinus carpio*, L., а также *Cyprinus rubrofuscus*) – единственный из наиболее часто выращиваемых видов рыб в мире. Его производство увеличивается с каждым годом, к примеру, в 2014 г. размер выращивания в мире достиг 4 млн т, а также 145 тыс. т в Европе [2].

Не так давно проведено множество исследований, затрагивающих генетическое усовершенствование карпа [3; 4; 5]. Необходимо отметить исследования по генетическому маркированию карпа [6; 7]. Но большая часть исследований сосредоточена на продуктивных свойствах, таких

как темп роста, а также рыбопродуктивность (высокоурожайность). Вместе с тем, не меньше исследований проведено для исследования генетического фона признаков, связанных с успехом зимовки карпа и влиянием зимовки на продуктивность в дальнейший вегетационный промежуток. Исследователи отмечают, что в условиях резко континентального климата подледный промежуток длится приблизительно 6 месяцев (с ноября до конца апреля), и в последующий вегетационный сезон карп демонстрирует большую скорость увеличения массы и длины тела. Селекционные проекты усовершенствования карповых рыб реализуются не часто, по сравнению с проектами для лососевых видов аквакультуры.

Селекционные программы для данного вида в целом характеризуются формированием разных штаммов, которые применяются с целью исполь-

зования гетерозиса по показателям, связанным со скоростью роста (к примеру, Linhart et al., 2008; Vandeputte, 2003) [8; 9]. Это объясняет по какой причине таким скрещиваниям, при разведении данного вида, уделяется большое внимание. Но изучения, проведенные Wohlfarth et al. (1975) чистыми штаммами, показали, что чистые линии или породы работают приблизительно таким образом, как и кроссы [10].

Значительная доля наблюдаемого гетерозиса, вернее всего, обусловлена тем, что родительские штаммы очень инбредны. Непосредственно скрещивание порождает сокращение инбридинга по показателям продуктивности, а также – по устойчивости к болезням. Но выращивание отдельных линий повышает расходы хозяйств на их содержание. Кроме этого, имеются разнообразные взгляды по данной проблеме, например, скрещивание само по себе никак не представляет интереса в долгосрочной перспективе, а также по этой причине его необходимо анализировать равно как добавок к чистому разведению, в таком случае имеется подбор, согласно аддитивным генетическим результатам, изнутри родительских штаммов [11]. Brody et al. (1981) с коллегами выявили крупные отличия в росте между семействами полусибсов карпа, и дали оценку доли наследственности роста карпа в размере 0,47, в сравнении с родительским потомством [12]. Совершенно не так давно, Vandeputte et al. (2008) заявили, что существует наследуемость 0,44 между общей массой тела и продуктивностью (урожайностью) [13].

В Российской Федерации ученые, занимающиеся селекцией пород карпа полагают, что спад или стабилизация результативных качеств карпа наступает в седьмом (F7), восьмом (F8) поколении селекции, при этом воздействие инбридинга никак не прослеживается. Это достигается правильным планом селекции в стадах карпа [14].

В Западной Сибири селекционно-племенная деятельность со стадами рыб (карпа и форели) активно проводилась в 60-х годах XX столетия и не прекращается вплоть до нынешнего периода. Именно она ориентирована на формирование пород, хорошо адаптированных к континентальному климату. Карп, точнее его первоначальный вид сазан (*Ciprinus carpio*, L.), считается интродуцентом, завезенным в Западную Сибирь в 1928 году. Цель интродукции – товарное разведение в озерах Западной Сибири, так как в природной ихтиофауне отсутствуют скорорастиющие виды рыб. Но существовало весьма большое количество мнений, заключающихся в том, что карп никак не сможет приспособиться к погодным условиям юга Сибири, это связано с продолжительными условиями зимовки (6 месяцев) в водоемах при температуре 0°C. Вследствие 1-ой интродукции под руководством Б.Г. Иоганзена (1928) [15] было перевезено приблизительно 42316 годовиков голого, а также зеркального карпа и посажено в оз. Сартлан Новосибирской области. Успеха данная деятельность не имела, однако единичные экземпляры попадались в озере вплоть до 1934 года. Это объясняется некоторыми факторами. Оз. Сартлан время от времени – заморный водоем, зимние

заморы появляются в среднем через 3-5 лет. Водяное равновесие данного водоема сопряжено с аккумуляцией весенних паводковых вод, ко времени прогрева воды до нерестовых температур, паводковые воды успевают сойти и, таким образом, в прибрежной области нет свежезалитой растительности – икрометание делается неосуществимым, так писали Б.Г. Иоганзен, А.Н. Петкевич [16]. В 1932 г. опыт вселения повторяли с целью интродукции. Были взяты галицийские карпы из Молдавии, которые прошли поэтапную акклиматизацию в прудах Средней России, а затем – Предуралья. Карпы были интродуцированы в различные водоемы и пруды Алтайского края [17].

Независимо от неудач, акклиматизация карпа к климатическим условиям Юга Западной Сибири была успешно проведена. В начале 60-х годов XX столетия была активизирована деятельность по развитию рыбоводства в Сибири, которая требовала формирования высокопродуктивных стад карпа. Из пруда колхоза им. Карла Маркса, находящегося в Змеиногорском районе Алтайского края, в 1964 г. было выловлено 46 самок и 74 самца зеркального



Таблица 1. Экстерьер половозрелых самок основного селекционного стада /
Table 1. Exterior of mature females of the main breeding herd

Показатель	Средняя масса тела, г	Абсолютная длина тела, см	Индексы телосложения			Коэффициент упитанности
			прогонистости	широкоспинности	обхвата	
4+						
$\bar{X}+S\bar{x}$	3872,00±126,05	59,93±1,12	3,23±0,05	17,96±0,38	78,56±1,17	2,89±0,09
Cv,%	12,61	7,21	5,62	8,16	5,77	12,05
5+						
$\bar{X}+S\bar{x}$	5073,08±162,53	65,40±0,71	3,20±0,04	18,89±0,51	81,22±1,10	2,86±0,07
Cv,%	16,34	5,57	5,81	13,84	6,89	11,96
6+						
$\bar{X}+S\bar{x}$	5760,53±144,37	69,66±0,65	3,33±0,04	18,42±0,42	79,88±1,11	2,64±0,07
Cv,%	14,24	4,14	5,43	10,32	6,20	11,36
7+						
$\bar{X}+S\bar{x}$	6388,89±182,91	73,28±0,79	3,38±0,06	18,18±0,58	78,38±1,5	2,52±0,08
Cv,%	8,59	3,24	5,61	9,58	5,73	9,23
8+						
$\bar{X}+S\bar{x}$	7260,00±40,00	75,25±2,40	3,40±0,10	19,59±0,46	78,69±1,82	2,74±0,14
Cv,%	1,23	7,15	6,89	5,24	5,17	11,27
9+						
$\bar{X}+S\bar{x}$	8200,00±57,74	79,50±0,29	3,41±0,29	17,28±0,16	78,15±3,54	2,39±0,07
Cv,%	1,22	0,63	14,54	1,62	7,84	4,96

карпа в возрасте 2-3 лет [18]. Они стали начальным стадом при формировании породы алтайский зеркальный карп. Рыбы одичали. Форма их туловища уклонилась к сазаньему типу: уменьшилась высота туловища, а также обхват, возросла прогонистость.

Во время нереста плодовитость на самку 5 лет составила 25,5-75,0 тыс. икринок. Отмечалась значительная вариабельность показателя – 56%. В 1996 г., вследствие селекции, была сформирована порода алтайский зеркальный карп (а.с. №6135) [19]. Вплоть до нынешнего периода идет ее усовершенствование, а также на ее базе продолжают селекцию породного типа. Рыбы данного стада стали базой для селекции карпов, выращиваемых в условиях тепловодного садкового хозяйства, находящегося на ТЭЦ в г. Белово Кемеровской области, они также известны как беловские карпы. В настоящий период селекция в стадах карпа ориентирована на поддержку и повышение продуктивности. Отбор проводится на повышении скорости роста, а также – плодовитости рыб и выживаемости в 1-ых стадиях развития [20].

Цель исследований – изучение генетического разнообразия фрагмента (COX1 мтДНК) на основе морфологического анализа выявленных гаплотипов у рыб племенного ядра сарбоянского карпа, обитающих в ООО «Экопарк» Мошковского района Новосибирской области; изучение экстерьера рыб, входящих в выявленные гаплотипы, на основе изучения митохондриальной ДНК COX1 и установление морфологических различий между ними.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования были самки и самцы сарбоянского карпа рыбоводного хозяйства ООО

«ЭКО-ПАРК» Мошковского района Новосибирской области.

Изучение генетического разнообразия проводили методом полимеразной цепной реакции (ПЦР, PCR) по методу Кэри Мюллис (1983). Полимеразная цепная реакция (ПЦР) – исследовательский метод молекулярной биологии, способ существенного повышения небольших концентраций конкретных частей нуклеиновой кислоты (ДНК) в биологическом использованном материале, в дальнейшем была усовершенствована [21].

Метод секвенирования ДНК был разработан в 1977 году. Он основан на избирании и включении, обрывающих цепь, дидезоксинуклеотидов с помощью ДНК-полимеразы во время репликации ДНК. Методика создана Фредериком Сэнгером и др. в 1977 году [22].

Для осуществления генетического анализа образцы плавниковой ткани карпа были взяты у 75 экземпляров размером 3-4 мм². Материал собирали прижизненно. Фрагмент спинного плавника отрезали и фиксировали в 96% этиловом спирте на местах сбора материала. Общую геномную ДНК выделяли с помощью Chelex 100. Выделенную ДНК хранили при температуре 40С. Амплификацию фрагмента гена COX1 мтДНК проводили в реакционной смеси объемом 20 мкл, с использованием разработанных праймеров 5'-TCAACCAACCACAAAGACATTGGC AC-3' Forward и 5'-TAGACTTCTGGGTGGCCAAAGA ATCA-3' Reverse. Полученные продукты проверяли в 1% агарозном геле и очищали посредством PEG6000 с и отмывкой в 70% этиловом спирте. Секвенирование в прямом и обратном направлении проводили в компании «Евроген» [23].

В итоге были получены последовательности длиной 566 нуклеотидных оснований. Выравнивание последовательностей проводили вручную в программе BioEdit v3.6.3.

Филогенетический анализ последовательностей нуклеотидов проводили с помощью пакета программ MEGA4. Анализ генетической изменчивости и филогенетических связей проводили в программе dnsp5. Кроме собственных сиквентов использовали сиквенсы из NCBI.

У данных рыб изучали экстерьер по общепринятым методикам. Морфологический анализ был проведен во время осенней бонитировки племенного стада по методике измерений И.Ф. Правдина [24]. Расчеты индексов экстерьера вели по Ф.Г. Мартышеву, оценка племенной ценности самок и самцов проведена согласно инструкции по

бонитировке карпа, разработанной авторами породы [25]. При отборе были выбраны промеры, связанные с направлением селекции – масса рыбы в данном возрасте (Q), абсолютная длина тела (L), длина тела без хвостового плавника (l), наибольшая длина головы (C), наибольшая высота (H), обхват (W) и толщина (B) тела. Были рассчитаны индексы телосложения: прогонистости, как отношение l/H , обхвата – $W/l \times 100\%$, широкоспинности – $B/l \times 100\%$, высокоспинности – $H/l \times 100\%$. Индекс упитанности определяли по формуле Р. Фультонна: $Kф = Q \times 100 / L^3$, где Кф – коэффициент упитанности; Q - вес рыбы, г; L - длина рыбы от начала рыла до конца чешуйного покрова, см. Материал обработан статистически по алгоритмам А.Н. Плохинского (1961), с использованием пакета прикладных программ Microsoft Office [38].



РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для анализа были взяты рыбы исходного стада, отобранные для восстановления породы сарбоянский карп, обитающие в племрыбхозе ООО «Экопарк» Мошковского района Новосибирской области. Они были представлены особями разного возраста от 4+ до 9+ лет. Оценка фенотипа показала, что отобранные рыбы отличаются от стандарта породы по признакам прогонистости и обхвату на 2-3%. Форма тела самцов стала более низкой и вальковатой. Это связано с отсутствием племенной работы в течение 20 лет.

Упитанность рыб, рассчитанная по Фультону, колеблется в пределах от 2,39 до 2,89. Известно, что нормативный показатель упи-

Таблица 2. Экстерьер половозрелых самцов основного селекционного стада /
Table 2. Exterior of mature males of the main breeding herd

Показатель	Средняя масса тела, г	Абсолютная длина тела, см	Индексы телосложения			Коэффициент упитанности
			прогонистости	широкоспинности	обхвата	
Возраст 3+						
$\bar{X}+S\bar{x}$	2463,64±89,72	48,41±0,87	3,02±0,05	19,28±0,32	83,52±0,94	3,33±0,08
Cv,%	12,08	5,95	4,98	5,45	3,73	7,88
Возраст 4+						
$\bar{X}+S\bar{x}$	3200±200,00	58,00±1,0	3,31±0,06	17,18±1,18	82,8±4,87	2,64±0,24
Cv,%	8,83	2,44	2,95	9,74	8,32	13,09
Возраст 5+						
$\bar{X}+S\bar{x}$	4191,66±85,69	62,58±0,84	3,23±0,06	18,25±0,44	80,30±1,09	2,65±0,08
Cv,%	7,08	4,64	6,38	8,26	4,69	10,76
Возраст 6+						
$\bar{X}+S\bar{x}$	5111,76±155,51	67,97±0,82	3,32±0,04	18,28±0,18	78,88±0,89	2,56±0,04
Cv,%	12,54	4,98	4,62	4,07	4,63	6,70
Возраст 7+						
$\bar{X}+S\bar{x}$	6650,00±350,00	73,75±1,25	3,20±0,01	17,81±2,19	82,62±0,58	2,64±0,23
Cv,%	7,44	2,40	0,11	17,37	1,00	12,45

Таблица 3. Структура стада по гаплотипам / Table 3. Herd structure by haplotypes

Гаплотипы	Количество особей	Структура в %
H1	39	78
H15	1	2
H16	9	18
H17	1	2
Всего рыб, шт.	50	100

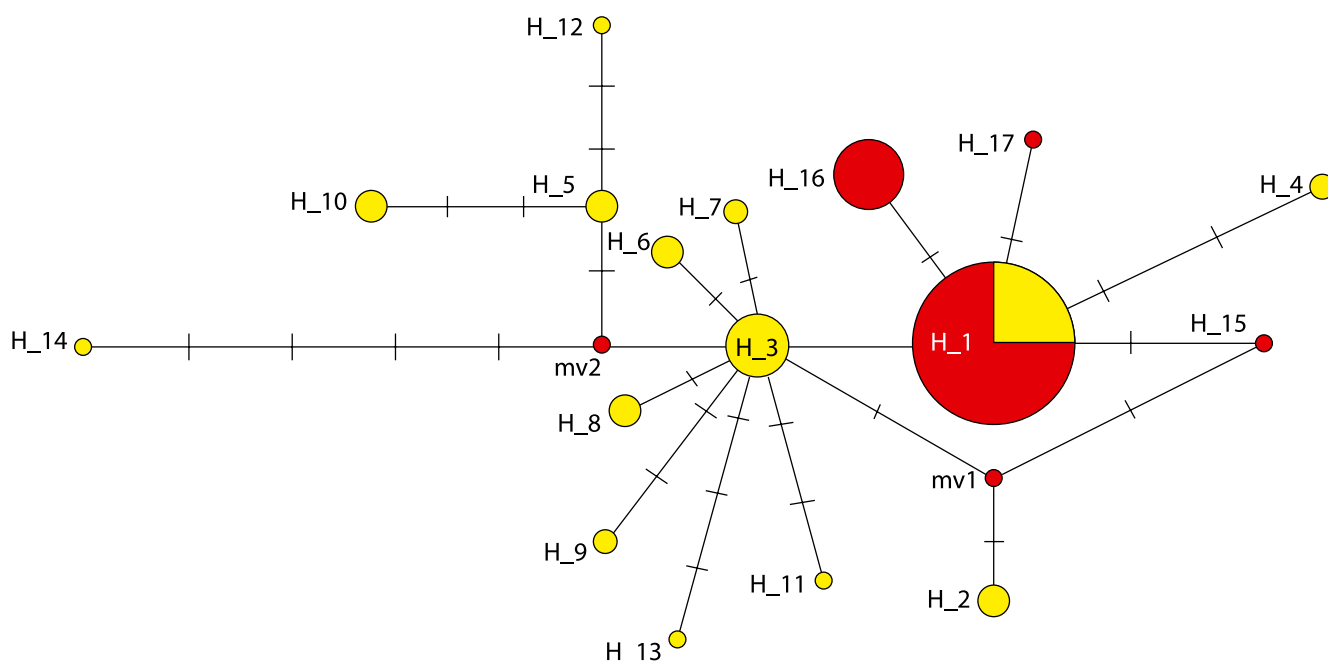


Рисунок 1. Медианная сеть гаплотипов на основе нуклеотидных последовательностей митохондриального гена COX1. Красным выделены гаплотипы сарбойанской породы карпа

Figure 1. Median haplotype network based on nucleotide sequences of the mitochondrial gene COX1. The haplotypes of the Sarboyan carp breed are highlighted in red

танности для племенных карпов сарбойанской породы равен 2,3-3,0.

От шестилеток к десятилеткам у самок данного стада повышается прогонистость, но понижаются на 8,52% индекс широкоспинности и на 3,8% – индекс обхвата. В связи с этим, с возрастом у рыб увеличивается индекс прогонистости на 6,15%. Обычно в стадах карпа отмечается положительная корреляция между возрастом и увеличением приведенных индексов. В нашем случае эта связь нарушена, и скорее всего это является следствием недостаточного кормления половозрелых рыб, о чем свидетельствует невысокая упитанность. При низкой упитанности рыбы вынуждены тратить питательные вещества на генеративный рост половых продуктов в ущерб соматическому.

Средняя масса самцов исходного маточного стада составляет 3136,36 г (табл. 2). У самцов всех возрастных групп упитанность находится в рамках нормативных показателей и колеблется в пределах от 2,56 до 3,33. Наибольший индекс прогонистости отмечен у рыб 5-летнего возраста с показателем 3,31. По индексам широкоспинности и обхвата тела рыбы четырехлетнего возраста превосходят все остальные возрастные группы.

Самцы, как и самки, имеют выраженный сазаний тип телосложения.

Филогенетические отношения, изученные способом построения медианной сети гаплотипов, в основе нуклеотидных последовательностей гена COX1 мтДНК, продемонстрировали, то что рассматриваемые гаплотипы карпа и дикого сазана формируют две гаплогруппы, связанные посредством 1-го гаплотипа (рис. 1).

Сарбойанский карп представлен 3-мя гаплотипами, 75% из которых вступают в звездообразную структуру (H1). Другие 25% представлены разными породами карпа и сазана, равно как Евразии, так и Северной Америки. Оставшиеся 3 гаплотипа (H15, 16, 17) карпа сарбойанской породы связаны вместе с основным гаплотипом через одну замену.

Для анализа генетического полиморфизма, по фрагменту (566 bp) гена COX1, были выбраны 73 самки и самца в соотношении 1:2 (табл. 3).

Гаплогруппа H1 является самой большой по количеству рыб и составляет 39 шт. в процентном соотношении 78%. Группы H15 и H17 являются самыми немногочисленными по количеству, в них входят по одной особи или 2%, а в гаплогруппе H16 входят 15 рыб, она занимает 18% общего количества.

Нами была проведена оценка индексов телосложения между наиболее многочисленными группами. Она показала, что по индексам телосложения различия существуют только по индексам длины тела (табл. 4).

Внутри гаплогруппы существует половой диморфизм по экстерьеру самцов от самок. Они достоверно отличаются по массе, толщине и обхвату тела.

В гаплогруппе Н16 самцы достоверно превосходят самок по массе тела, толщине и длине головы. При этом обхват тела имеет тенденцию к уменьшению у самок (табл. 5).

Сравнение самцов из разных групп Н1 и Н16 не выявило различий морфологических признаков, те же закономерности установлены по отношению к экстерьеру самок. Различия возникают в большей мере в связи с разной массой самок, т.к. они все выращивались в разных условиях.

При сравнении данных между самками – 22 и самцами – 17 в гаплогруппе Н1 выявлена тенденция к увеличению высокоспинности и большеголовости, также как сравнение самцов – 5 особей и самок – 4 особей в гаплогруппе Н16 показало, что есть значительное увеличение индексов

по сравнению с группой Н1 по большеголовости, высокоспинности и компактности (табл. 6).

Вследствие выделения и обрабатывания образцов, выявлено то, что сарбоянская порода карпа с прудов Новосибирской области характеризуется низкими признаками генетического полиморфизма по фрагменту (566 bp) гена COX1. Необходимо выделить значительное нуклеотидное и гаплотипическое многообразие сарбоянского карпа. Это дает возможность утверждать, что при селекционной работе со стадом применяли ряд, отличных на генном уровне, самок разных породных направлений. В сравнении самок между гаплогруппами Н1 и Н16 выявилась тенденция к небольшому увеличению высокоспинности и большеголовости. Между самцами уже другие показатели – имеется тенденция к увеличению высокоспинности, компактности и большеголовости.

Таким образом, карпы в группах Н1 и Н16, имеющие преимущества в численности, по признакам фенотипа слабо отличаются друг от друга. Они образуют однородные фенотипические группы.

Таблица 4. Средние показатели телосложения рыб в гаплогруппах /
Table 4. Average indicators of the physique of fish in haplogroups

Показатель	Промеры особей по гаплогруппам					
	масса, г Q	абсолютная длина тела, см L	длина головы, см C	высота тела, см H	толщина, см B	обхват, см V
H1	6291,25	68,925	13,425	17,7325	11,1325	46,81
H15	4800	59	11,5	16,5	10	42
H16	5706,41	66,30	12,90	17,81	10,31	46,21
H17	4800	61	11,5	15,5	10	41,5
tdH1 и H16	2,01	1,62	1,30	-0,19	2,43	0,51

Таблица 5. Сравнительный анализ гаплогрупп по морфологическим признакам /
Table 5. Comparative analysis of haplogroups by morphological features

M±m	Экстерьерные показатели рыб в гаплогруппе Н1				
	масса, г Q	высота тела, см H	толщина, см B	длина головы, см C	обхват V
Гаплогруппа Н1					
самец	5729,41±167,10	17,37±0,26	10,67±0,10	12,94±0,25	45,35±0,63
самка	6686,4±214,3	17,95±0,21	11,43±0,22	13,64±0,35	47,89±0,55
td	3,52	1,74	3,11	1,61	3,04
Гаплогруппа Н16					
самец	5780±461,95	18,4±0,53	9,7±0,37	13,4±0,51	46,7±2,32
самка	5325±131,50	17,125±0,315	10,75±0,60	12±0,35	44,75±0,48
td	0,95	2,06	1,49	2,26	-0,82
При сравнении экстерьеров самцов в гаплогруппах Н1 и Н16 разделить по сравнению					
самец Н1	5263,1±614,9	14,55±1,65	9,21±0,96	10,61±1,17	45,35±0,63
самец Н16	5780±461,95	18,4±0,53	9,7±0,37	13,4±0,51	46,7±2,32
td	0,68	2,22	0,47	2,18	0,56
При сравнении экстерьеров самок в гаплогруппах Н1 и Н16					
самка h1	6686,4±214,3	17,95±0,21	11,43±0,22	13,64±0,35	47,89±0,55
самка h16	5325±131,50	17,125±0,315	10,75±0,60	12±0,35	44,75±0,48
td	5,41	2,18	2,98	3,33	4,30

Таблица 6. Сравнение индекса самок и самцов в гаплогруппах H1 и H16 /
Table 6. Comparison of the index of females and males in haplogroups H1 and H16

Показатели	Индексы телосложения				
	прогонистости, I/H	большеголовости, % C/I*100	высокоспинности, % H/I*100	толщины тела, % B/I*100	обхвата (компактности), % V/I*100
Гаплогруппа H1					
самки ♀*	3,38±0,05	22,52±0,37	29,72±0,49	18,92±0,42	79,23±1,17
самцы ♂	3,32±0,76	22,62 ±0,40	30,22 ±0,42	18,58 ±0,21	78,88 ±0,89
td между ♀ и ♂ H1	0,08	0,18	0,77	0,72	0,23
Гаплогруппа H16					
самки ♀	3,21±0,12	22,54±0,38	32,23±1,05	20,24±1,33	84,22±2,43
самцы ♂	3,11±0,01	23,12±0,62	31,78±0,79	16,73±0,43	80,39±1,93
td между ♀ и ♂ H16	0,33	0,80	0,35	2,51	1,23
Сравнение гаплогрупп H1 и H16 между самками:					
самки ♀ H1	3,38±0,05	22,52±0,37	29,72±0,49	18,92±0,42	79,23±1,17
самки ♀ H16	3,11±0,12	22,54±0,38	32,23±1,05	20,24±1,33	84,22±2,43
td между ♀♀ H1 и H16	2,88	0,04	1,87	0,98	1,85
Сравнение гаплогрупп самцами H1 и H16:					
самцы ♂ H1	3,32±0,76	22,62 ±0,40	30,22 ±0,42	18,58 ±0,21	78,88 ±0,89
самцы ♂ H16	3,15±0,07	23,12±0,62	31,78±0,79	16,73±0,43	80,39±1,93
td между ♂♂ H1 и H16	1,63	0,11	1,53	1,19	1,72

*Примечание: ♀ самка; ♂ самец

ВЫВОДЫ

1. На основании изучения генотипа сарбоянского карпа, разводимого в Мошковском районе в хозяйстве ООО «ЭКО-ПАРК», по фрагменту гена COX1 составлена медианная сеть гаплотипов. Она показала, что рассматриваемые гаплотипы карпа и дикого сазана формируют две гаплогруппы, связанные через 1 гаплотип.

2. Выявлены 4 гаплотипа, связанные с основной группой, при этом наибольшая численность особей в гаплотипе H1 равна 39, а в гаплотипе H16 входит 9 экз. рыб. По одной особи входят в H15 и H17.

3. У проанализированных гаплотипов сарбоянского карпа выявлены невысокие показатели генетического полиморфизма. Рыбы, входящие в каждый из гаплотипов, мало отличаются по основным признакам экстерьера друг от друга. При сравнении самцов и самок гаплогрупп H1 и H16 отмечено увеличение у самцов гаплогруппы H16 компактности, высокоспинности, а также большеголовости. У самок зафиксированы те же закономерности.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад в работу авторов: **Морузи И.В.** – идея статьи, коррективная работа ее окончательная проверка, **Елисеева Е.А.** – подготовка обзора литературы, подготовка статьи, проведение генетических исследований, **Разоков Н.Н.** – сбор и анализ данных, подготовка статьи, **Бочкарев Н.А.** – подготовка статьи, проведение генетических исследований, **Пищенко Е.В.** – сбор данных, анализ, подготовка статьи.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Contribution to the work of the authors: **Moruzi I.V.** – the idea of the article, correction of the text of its final verification, preparation of the article, **Eliseeva E.A.** – preparation of the

literature review, preparation of the article, genetic research, **Razokov N.N.** – data collection and analysis, **Bochkarev N.A.** – preparation of the article, genetic research, **Pishchenko E.V.** – data collection, analysis, preparation of the article.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

- Gjedrem T, Robinson N, Rye M. (2012) The importance of selective breeding in aquaculture to meet future demands for animal protein: A review. *Aquaculture*. Pp. 350-353: 117-129. doi:10.1016/j.aquaculture.2012.04.008
- Итоги деятельности федерального агентства по рыболовству в 2021 году. *itogi_raboty_rosrybolovstvo_za_2021_god.pdf*. (Дата обращения 20 сентября 2023 г.)
- Ninh NH, Ponzone RW, Nguyen NH, Woolliams JA, Taggart JB, McAndrew BJ, et al. (2011) A comparison of communal and separate rearing of families in selective breeding of common carp (*Cyprinus carpio*): Estimation of genetic parameters. *Aquaculture*, 2011. Pp. 322-323: 39-46. <https://hdl.handle.net/20.500.12348/1173>
- Dong Z, Nguyen NH, Zhu W. (2015) Genetic evaluation of a selective breeding program for common carp *Cyprinus carpio* conducted from 2004 to 2014. *BMC Genet*. P. 16(94). doi: 10.1186/s12863-015-0256-2.
- Bauer C., Schlott G. (2004) Overwintering of farmed common carp (*Cyprinus carpio* L.) in the ponds of a central European aquaculture facility—measurement of activity by radio telemetry. *Aquaculture*. 241(1-4). Pp. 301-317. doi:10.1016/j.aquaculture.2004.08.010
- Palaiokostas C., Cariou S., Bestin A., Bruant J. S., Haffray P., Morin T., et al. (2018). Genome-wide association and genomic prediction of resistance to viral nervous necrosis in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) using RAD sequencing. *Genet. Sel. Evol.* Pp. 50:30. doi: 10.1186/s12711-018-0401-2
- Palaiokostas C., Kocour M., Prchal M., and Houston R.D. (2018). Accuracy of genomic evaluations of juvenile growth rate in common carp (*Cyprinus carpio*) using genotyping by sequencing. *Front. Genet*. 9:82. doi: 10.3389/fgene.2018.00082
- Hulata G. (1995). A review of genetic improvement of the common carp (*Cyprinus carpio* L.) and other cyprinids by crossbreeding, hybridization and selection. *Aquac.* 129. P. 481-491.
- Linhart O. (2008). A proposal and case study towards a conceptual approach of validating sperm competition in common carp (*Cyprinus carpio* L.), with practical implications for hatchery procedures. *J. App. Ichthyol.*, 24. Pp. 406-409.

10. Vandeputte M. (2003). Selective breeding of quantitative traits in the common carp (*Cyprinus carpio*): a review. *Aquat. Living Resour.* 16. Pp. 399-407.
11. Wohlfarth G., Moav R., Hulata G. (1975). Genetic differences between Chinese and European races of the common carp. II. Multicharacter variation—a response to the diverse methods of fish cultivation in Europe and China. *Hered.* 34. Pp. 341-350.
12. Gjerde B. (1988). Complete diallel cross between six inbred groups of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Aquac.* 75. Pp. 71-87.
13. Brody T., Wohlfarth G., Hulata G., Moav R. (1981). Application of electrophoretic genetic markers to fish breeding. IV. Assessment of breeding value of full-sib families. *Aquac.* 24. Pp. 175-186.
14. Vandeputte M., Kocour M., Mauger S., Rodina M., Launay A., Gela D., Dupont-Nivet M., Hulak M., Linhart O. (2008). Genetic variation for growth at one and two summers of age in the common carp (*Cyprinus carpio* L.): heritability estimates and response to selection. *Aquac.* 277. Pp. 7-13.
15. Иванова З.А., Морузи И.В., Пищенко Е.В. Алтайский зеркальный карп – новая высокопродуктивная порода прудовых рыб: монография. МСХ РФ. Новосибирск: НГАУ. 2002. 204 с.
16. Иогансен Б.Г. Рост карпа в Западной Сибири. // Информ. бюлл. ВНИОРХ. 1940. №6.
17. Иогансен Б.Г., Петкевич А.Н. Акклиматизация рыб в Западной Сибири. Барабинск, отд. ВНИОРХ. 1951. Т. 5. 204 с.
18. Иванова З.А. Карп Западной Сибири. М.: Пищевая промышленность. 1983. 113 с.
19. Иванова З.А., Морузи И.В. Сообщение 1. Рыбоводно-биологическая характеристика алтайского зеркального карпа // Сиб. вестн. с.-х. науки. 1996. №3-4.
20. Морузи И.В., Иванова З.А., Жданова Н.И., Сапунов Л.Я., Буймов В.И. Селекционное достижение в животноводстве: новая порода прудовых рыб – алтайский зеркальный карп. Авторское свидетельство № 6135, по заявке № 269/82 от 7.05. 1992. Зарегистрирована в гос. реестре Роспатента 23.03.94.
21. Морузи И.В. Система создания и продуктивные качества алтайского зеркального карпа. Новосибирск. 1995. 66 с.
22. Hall T.A. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT // *Nucl. Ac. Symp. Ser. V.* 41 Pp. 95-98.
23. Librado P., Rozas J. (2009). DnaSP v5: A software for comprehensive analysis of DNA polymorphism data // *Bioinformatics.* V. 25 Pp. 1451-1452.
24. Tamura K., Stecher G., Peterson D., Filipski A., Kumar S. (2013). MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 6.0. *Mol Biol Evol.* Dec. 30(12). 2725-9. DOI: 10.1093/molbev/ mst197.
25. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть. 1966. 376 с.
26. Морузи И.В., Законнова Л.И., Пищенко Е.В., Осинцева Л.А., Крочачев Д.В., Барсукова М.А., Селюков А.Г. Эффективность племенной работы со стадами карпа на юге Западной Сибири. // Рыбное хозяйство. 2019. № 1. С. 71-76.
27. Плохинский Н.А. Руководство по биометрии для зоотехников М.: Колос, 1969. 256 с.
6. Palaiokostas C., Cariou, S., Bestin, A., Bruant, J. S., Haffray, P., Morin, T., et al. (2018). Genome-wide association and genomic prediction of resistance to viral nervous necrosis in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) using RAD sequencing. *Genet. Sel. Evol.* Pp. 50:30. doi: 10.1186/s12711-018-0401-2.
7. Palaiokostas C., Kocour, M., Prchal, M., and Houston, R. D. (2018). Accuracy of genomic evaluations of juvenile growth rate in common carp (*Cyprinus carpio*) using genotyping by sequencing. *Front. Genet.* 9:82. doi: 10.3389/fgene.2018.00082.
8. Hulata G. (1995). A review of genetic improvement of the common carp (*Cyprinus carpio* L.) and other cyprinids by crossbreeding, hybridization and selection. *Aquac.* 129. Pp. 481-491.
9. Linhart, O (2008). A proposal and case study towards a conceptual approach of validating sperm competition in common carp (*Cyprinus carpio* L.), with practical implications for hatchery procedures. *J. App. Ichthyol.*, 24. Pp. 406-409.
10. Vandeputte M. (2003). Selective breeding of quantitative traits in the common carp (*Cyprinus carpio*): a review. *Aquat. Living Resour.* 16. Pp. 399-407.
11. Wohlfarth G., Moav R., Hulata G. (1975). Genetic differences between Chinese and European races of the common carp. II. Multicharacter variation—a response to the diverse methods of fish cultivation in Europe and China. *Hered.* 34. Pp. 341-350.
12. Gjerde B. (1988). Complete diallel cross between six inbred groups of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Aquac.* 75. Pp. 71-87.
13. Brody T., Wohlfarth G., Hulata G., Moav R. (1981). Application of electrophoretic genetic markers to fish breeding. IV. Assessment of breeding value of full-sib families. *Aquac.* 24. Pp. 175-186.
14. Vandeputte M., Kocour M., Mauger S., Rodina M., Launay A., Gela D., Dupont-Nivet M., Hulak M., Linhart O. (2008). Genetic variation for growth at one and two summers of age in the common carp (*Cyprinus carpio* L.): heritability estimates and response to selection. *Aquac.* 277. Pp. 7-13.
15. Ivanova Z.A., Moruzi I.V., Pishchenko E.V. (2002). Altai mirror carp – a new highly productive breed of pond fish: monograph. Ministry of Agriculture of the Russian Federation. Novosibirsk: NGAU. 2002. P. 204. (In Russ.).
16. Johansen B.G. (1940). Carp growth in Western Siberia. // *Inform. byull. VNIORH.* No.6. (In Russ.).
17. Johansen B.G., Petkevich A.N. (1951). Acclimatization of fish in Western Siberia. Barabinsk, ed. VNIORKH. Vol.5. 204 p. (In Russ.).
18. Ivanova Z.A. (1983) Carp of Western Siberia. M.: Food industry. 1983. 113 p. (In Russ.).
19. Ivanova Z.A., Moruzi I.V. (1996). Message 1. Fish-breeding and biological characteristics of the Altai mirror carp // *Sib. vestn. S.-H. nauki.* No.3-4. (In Russ.).
20. Moruzi I.V., Ivanova Z.A., Zhdanova N.I., Sapunov L.Ya., Buymov V.I. Breeding achievement in animal husbandry: a new breed of pond fish – Altai mirror carp. Copyright certificate No. 6135, according to application No. 269/82 dated 7.05. 1992. Registered in the state register of Rospatent 23.03.94. (In Russ.).
21. Moruzi I.V. (1995) The system of creation and productive qualities of the Altai mirror carp. Novosibirsk. 1995. 66 p. (In Russ.).
22. Hall T.A. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT // *Nucl. Ac. Symp. Ser. V.* 41 Pp. 95-98.
23. Librado P., Rozas J. (2009). DnaSP v5: A software for comprehensive analysis of DNA polymorphism data // *Bioinformatics.* V. 25 Pp. 1451-1452.
24. Tamura K., Stecher G., Peterson D., Filipski A., Kumar S. (2013). MEGA6: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 6.0. *Mol Biol Evol.* Dec. 30(12). 2725-9. DOI: 10.1093/molbev/ mst197.
25. Pravdin I. F. Guide to the study of fish. M.: Food industry. 1966. 376 p. (In Russ.).
26. Moruzi I.V., Zakonnova L.I., Pishchenko E.V., Osintseva L.A., Kropachev D.V., Barsukova M.A., Selyukov A.G. Efficiency of breeding work with carp herds in the south of Western Siberia. // *Fisheries.* 2019. No. 1. Pp. 71-76. (In Russ., abstract in Eng.).
27. Plokhinsky N.A. (1969) Guide to biometrics for animal technicians M.: Kolos. 1969. 256 p. (In Russ.).

REFERENCES AND SOURCES

1. Gjedrem T., Robinson N., Rye M. (2012) The importance of selective breeding in aquaculture to meet future demands for animal protein: A review. *Aquaculture.* PP. 350-353: 117-129. doi:10.1016/j.aquaculture.2012.04.008.
2. The results of the activities of the Federal Agency for Fisheries in 2021. *Itogi_raboty_rosrybolovstvo_za_2021_god.pdf* (Accessed September 20, 2023). (In Russ.).
3. Ninh NH, Ponzoni RW, Nguyen NH, Woolliams JA, Taggart JB, McAndrew BJ, et al. (2011) A comparison of communal and separate rearing of families in selective breeding of common carp (*Cyprinus carpio*): Estimation of genetic parameters. *Aquaculture*, 2011. Pp. 322-323: 39-46. <https://hdl.handle.net/20.500.12348/1173>.
4. Dong Z, Nguyen NH, Zhu W. (2015) Genetic evaluation of a selective breeding program for common carp *Cyprinus carpio* conducted from 2004 to 2014. *BMC Genet.* P. 16(94). doi: 10.1186/s12863-015-0256-2.
5. Bauer C, Schlott G. (2004) Overwintering of farmed common carp (*Cyprinus carpio* L.) in the ponds of a central European aquaculture facility—measurement of activity by radio telemetry. *Aquaculture.* 241(1-4). Pp. 301-317. doi:10.1016/j.aquaculture.2004.08.010.

Материал поступил в редакцию / Received 04.09.2023
Принят к публикации / Accepted for publication 27.10.2023