

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ОВЕЦ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ МЯСНОЙ И КУЛУНДИНСКОЙ ТОНКОРУННОЙ ПОРОД ПО ГЕНАМ *CAST*, *GDF9* И *KRT1.2*

О.Л. ХАЛИНА, С.Н. МАГЕР, Г.М. ГОНЧАРЕНКО,
Т.С. ХОРОШИЛОВА, Н.Б. ГРИШИНА

(Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий Российской академии наук, СФНЦА РАН)

*Цель исследований – анализ генотипической структуры и популяционно-генетических параметров западно-сибирской мясной и кулундинской тонкорунной пород овец по генам *CAST*, *GDF9*, *KRT1.2* и группам крови. Молекулярно-генетические и иммуногенетические исследования проведены в лаборатории биотехнологии СибНИПТИЖ СФНЦА РАН. ПЦР-ПДРФ-анализ для определения генотипов проводили согласно описанным и апробированным методикам на амплификаторе С 1000 «BioRad», результаты визуализировали с помощью гельдокументирующей системы E-Box-CX5.TS-20.M. Установлено, что по частоте генотипов и аллелей гена *CAST* западно-сибирская мясная и кулундинская тонкорунная породы не имеют значимых различий. В обеих породах *CAST^{MM}* был преобладающим, с частотой 69,0–75,0%, носителей *CAST^{NN}* – всего 1,6–5,1%. Кулундинская тонкорунная порода характеризуется очень высокой частотой генотипа *GDF9^{GG}* – 92,7%, что выше, чем у овец западно-сибирской мясной породы, на 26,3%. *GDF9^{AA}*-генотип в породах встречается крайне редко (0–5%). Аллель *GDF9^G* у сравниваемых пород выявлен в диапазоне 0,811–0,960, а аллель *GDF9^A* – 0,189–0,040. По соотношению генотипов гена *KRT1.2* в сравниваемых породах наблюдаются различия. В кулундинской тонкорунной породе подавляющее большинство животных имеют гомозиготный генотип *KRT1.2^{MM}* (95,5%), тогда как в западно-сибирской мясной породе таких овец 32,8%. Соответственно частота аллеля *KRT1.2^M* составляет 0,565–0,978, аллеля *KRT1.2^N* – 0,435–0,022. Генное равновесие в изученных генах не нарушено, $\chi^2 = 0,033–1,025$. Индекс генетического сходства между породами, вычисленный на основе частот генотипов и групп крови, составляет $0,901 \pm 0,028$ и $0,833 \pm 0,024$. Популяционно-генетические характеристики практически одинаковы у сравниваемых пород, за исключением гомозиготности генов (C_a), которая выше в кулундинской тонкорунной породе по гену *GDF9* на 24,3%, *KRT1.2* – на 29,1% в сравнении с западно-сибирской мясной породой овец. Число эффективно действующих аллелей незначительно (1,04–1,46). Генетическая изменчивость (V) по отдельным генам в породах варьирует от 5,0 до 49,6%. Отрицательное значение коэффициента F_{is} свидетельствует об отсутствии инбридинга у овец изучаемых пород.*

Ключевые слова: овцы, западно-сибирская мясная, кулундинская тонкорунная, генотип, аллель, частота, гомозиготность, инбридинг.

Введение

Несмотря на определенную стабилизацию отрасли овцеводства в последние годы и наметившееся увеличение общей численности поголовья овец, происходит сокращение племенных животных на племенных предприятиях разного уровня [2]. Отчасти снижение поголовья и производство шерсти произошло в результате замены натуральных шерстяных изделий более дешевыми из химических волокон, составляя им конкуренцию [4].

В сложившейся ситуации для сохранения генофонда отечественных пород овец необходимо разрабатывать комплекс мер, где важнейшим звеном должна быть научно

обоснованная система координации селекционно-племенной работы с учетом форм собственности и использованием современных технологических приемов. При этом, по мнению авторов, в племенных хозяйствах нельзя допускать скрещивания чистопородных животных с зарубежными породами, а для экспериментов следует использовать товарные хозяйства [1]. Одним из наиболее перспективных методов совершенствования продуктивных и адаптационных свойств сельскохозяйственных животных является использование молекулярно-генетического анализа, значимость которого доказана многочисленными исследованиями отечественных и зарубежных авторов.

В овцеводстве также осуществляется активный поиск перспективных генов-маркеров. В этой связи интерес представляет ген дифференциального фактора роста *GDF9*, находящийся на 5 хромосоме протяженностью 2,5 т.п.н., оказывающий влияние на рост, развитие, воспроизводительные качества овец, а также мясную продуктивность и качество мяса [23, 25]. Полиморфизм этого гена был выявлен в ряде пород. Так, у овец татарстанской породы соотношение частот генотипов *GDF9* – *GDF9^{AA}*: *GDF9^{AG}*: *GDF9^{GG}* – находится в пределах 10:11:79 [7]. Практически такое же распределение генотипов выявлено и в молочной породе лакон (7:6:87) [12]. У овец мясных пород, эдильбаевской и волгоградской, генотип *GDF9^{AA}* не выявлен, гетерозиготный генотип находится на уровне 10–16%, а абсолютное большинство животных являются носителями гомозиготного генотипа *GDF9^{BB}* [3].

Таким образом, можно сделать заключение о приоритетности в отборе генотипа *GDF9^{GG(BB)}* и его потенциальной связи с энергией роста молодняка.

В активно развивающемся в настоящее время мясном овцеводстве одними из важнейших показателей являются качество мяса, его химический состав и вкусовые свойства, и исследования многих ученых направлены на изучение этого вопроса. Установлено, что выраженность структуры и нежности мяса овец находится под влиянием функций фермента кальпастина, в одноименном гене которого обнаружен полиморфизм. Так, у овец калмыцкой курдючной породы и их помесей с дорпер частота генотипов гена *CAST* составляет [11]: *CAST^{MM}* – 30,0%; *CAST^{MN}* – 70%; генотип *CAST^{NN}* не выявлен. У овец мясного направления продуктивности, эдильбаевской и мясошерстной татарстанской породах, напротив, наиболее распространенным генотипом был *CAST^{MM}* (0,88 и 0,89), тогда как доля гетерозиготного генотипа *CAST^M* составила 0,12 и 0,09 [8]. Аналогичные результаты были получены при изучении этого гена в ставропольской, дагестанской горной шерстного направления продуктивности и волгоградской мясо-шерстной породах [10, 18, 29]. Такое единообразие в частотах генотипов гена *CAST* в исследованных породах, за исключением калмыцкой курдючной, может быть обусловлено отсутствием давления селекции по этому признаку, так как качественные показатели мяса можно оценить только после убоя животных. В связи с этим невозможно определить данный показатель прижизненно, а значит, затруднительно его оценивать и вести отбор по нему.

Напротив, качественные характеристики шерсти (тонина, длина, уравненность) фенотипически хорошо поддаются описанию у каждого животного, причем это можно оценить неоднократно в течение жизни. Исходя из этого, можно предположить, что гены, оказывающие влияние на проявление шерстных качеств, должны иметь разную частоту генотипов в породах противоположного направления продуктивности (шерстное и мясное). В качестве такого гена можно рассматривать ген *KRT1.2*, продуцирующий белки кератина, основного компонента шерсти, копытного рога, кожи. От уровня его содержания в организме овец зависят блеск и прочность шерсти. В исследованиях [15] у овец шерстного направления продуктивности (черноземельный меринос, грозненская тонкорунная), мясо-сального (эдильбаевская) и мясо-шерстного (кавказская), преобладают аллель *KRT1.2^M* (0,88–0,91) и генотип

KRT1.2^{MM} (0,76–0,84). Однако по данным [26], у 11 пород овец Индии наблюдалась существенная вариативность этого гена

Для изучения генетических особенностей овец в качестве дополнительного инструмента может использоваться иммуногенетический анализ, позволяющий получить новые данные по генетическому разнообразию стад, пород, проводить мониторинг генетического сходства и различия пород, типов, линий, более эффективно осуществлять подбор [16, 17].

В настоящее время генетические маркеры приобретают особое значение при сохранении и совершенствовании пород, созданных и адаптированных к местным условиям. Западно-Сибирская мясная порода выведена методом воспроизводительного скрещивания местных маток под общим названием «Кулундинская короткожирнохвостая», с разной долей крови эдильбаевской курдючной, романовской и некоторых других пород с баранами улучшенного мясного типа (УМТ – южная мясная) (патент № 5728, 11.01.2011 г.). Овцы западно-сибирской мясной породы характеризуются хорошей шерстной продуктивностью: настриг у баранов-производителей составлял 5,92 кг, у маток – 3,37 кг при выходе чистой шерсти 68%, шерстный покров – в основном штапельного и штапельно-косичного строения. К 6–8-месячному возрасту вес баранчиков достигает 36–45 кг. Овцематки имеют повышенную плодовитость и полиэстричность, что обеспечивает получение дополнительной продукции за счет интенсификации воспроизводства [5].

Кулундинская тонкорунная порода овец создана путем скрещивания алтайской породы с баранами грозненской, австралийской и маньчжурской меринос с последующим разведением помесей желательного типа «В себе» [9]. Овцы этой породы хорошо приспособлены к условиям холодной зимы и жаркого лета в Сибири. Они имеют следующие показатели: настриг чистой шерсти в отарах селекционных маток колеблется в пределах 3,4–3,7 кг, основных баранов-производителей – 6,9–8,6 кг; толщина шерсти у баранов-производителей составляет 20,6–26,0 мкм (93,3%), у маток и ремонтных баранчиков – 20,6–24 мкм (95,5–97,9%); длина шерсти на боку у баранов-производителей составляет 11,0 см, у ремонтных баранов – 11,7 см, у маток – 9,1 см, у ярок-годовиков – 10,4 см [14].

Цель исследований заключалась в изучении генотипических особенностей и популяционно-генетической характеристики овец западно-сибирской мясной и кулундинской тонкорунной пород с использованием генов *CAST*, *GDF9*, *KRT1.2* и групп крови.

Методика исследований

Исследования выполнены на двух породах овец, отличающихся по направлению продуктивности: шерстная (кулундинская тонкорунная) и мясная (западно-сибирская), общей численностью 240 животных.

Молекулярно-генетические исследования проведены в аккредитованной лаборатории биотехнологии СибНИПТИЖ СФНЦА РАН. Материалом для исследований служила цельная кровь овец, консервированная ЭДТА КЗ, из которой выделяли геномную ДНК с применением набора экстракции из клинического материала «Ампли Прайм ДНК-сорб-В» по прописи изготовителя ООО «НекстБио» (Москва). Качество, концентрацию выделенной ДНК и идентификацию генотипов оценивали в агарозном геле методом горизонтального электрофореза с использованием геледокументирующей системы E-Box-CX5.TS-20.M. Амплификацию проводили стандартным методом ПЦР анализа на ДНК-амплификаторе С 1000 Touch Thermal Cycler «BioRad» (Singapore). При проведении ПЦР применялись наборы БиоМастер HS-Tag ПЦР производства ООО «Биолабмикс» (Новосибирск). Генотипирование проводили согласно описанным и апробированным методикам ПЦР-ПДРФ: для гена *CAST* [24],

GDF9 [23] и *KRT1.2* [26]. При этом использовали эндонуклеазы рестрикции производства СибЭнзим Msp I (*CAST*, и *KRT1.2*) BstHI (*GDF9*).

Иммуногенетический анализ проводили с использованием 14 сывороток-реагентов производства ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» (Ставрополь).

Популяционно-генетическая характеристика пород включала в себя следующие показатели: генетическое равновесие (χ^2), гомозиготность по отдельным генам (C_a), число эффективно действующих аллелей (N_a), степень генетической изменчивости (V), коэффициент инбридинга (F_{is}).

Полученные данные обрабатывались с использованием методов вариационной статистики [6] и компьютерной программы Excel.

Результаты и их обсуждение

Сравнительным анализом частот генотипов генов *CAST*, *GDF9* и *KRT1.2* у овец западно-сибирской мясной и кулундинской тонкорунной пород выявлены их генетические особенности, связанные как с породной принадлежностью, так и с предшествующей селекцией. Частота генотипов гена *CAST* у сравниваемых пород практически одинакова, что можно объяснить слабым вовлечением его в селекционный процесс (табл. 1). Самая высокая частота – генотипа *CAST^{MM}* (69,0–75,0%), около 1/3 животных гетерозиготные по этому гену, и незначительная часть овец имеют генотип *CAST^{NN}* (1,6–2,5%).

Данные согласуются с источниками литературы, где показано, что у всех исследуемых пород, включая эдильбаевскую, отличающуюся высокими мясными качествами, наиболее высокая частота (88–89%) приходится на гомозиготный генотип *CAST^{MM}*, тогда как доля альтернативного генотипа *CAST^{NN}* составляет от 0 до 9% [20, 28].

Таблица 1

Частота генотипов генов *CAST*, *GDF9* и *KRT1.2* у овец западно-сибирской мясной и кулундинской тонкорунной пород

Генотип	Западно-сибирская мясная (n = 116)	Кулундинская тонкорунная (n = 124)
<i>CAST^{MM}</i>	69,0 ± 4,30	75,00 ± 3,89
<i>CAST^{MN}</i>	28,5 ± 4,19	23,4 ± 3,80
<i>CAST^{NN}</i>	2,5 ± 1,47	1,6 ± 1,13
<i>GDF9^{AA}</i>	5,1 ± 2,04	0,0 ± 0,0
<i>GDF9^{AG}</i>	28,5 ± 4,19***	7,3 ± 2,33
<i>GDF9^{GG}</i>	66,4 ± 4,39	92,7 ± 2,33**
<i>KRT1.2^{MM}</i>	32,8 ± 4,36	95,5 ± 1,79***
<i>KRT1.2^{MN}</i>	47,4 ± 4,64	4,5 ± 1,79
<i>KRT1.2^{NN}</i>	19,8 ± 3,70	0,0 ± 0,0

* $p < 0,01$; *** $p < 0,001$ – различия между группами статистически значимы при соответствующем p .

Несколько иная ситуация наблюдается по гену *GDF9*, ассоциативная связь которого с живой массой, молочной и мясной продуктивностью показана в исследованиях [21, 20, 28]. В исследуемых нами породах овец установлено существенное варьирование генотипов этого гена. В кулундинской тонкорунной породе частота *GDF9^{GG}* приближается к мономорфизму и достигает 92,7%, что выше на 26,3%, чем в западно-сибирской мясной породе ($p < 0,01$). Высокая встречаемость генотипа *GDF9^{GG}* выявлена и у овец породы лакон – 87,0% [12]. Гетерозиготный генотипа *GDF9^{AG}* имеет почти 1/3 животных западно-сибирской мясной породы, у овец кулундинской тонкорунной породы он выявлен только у 7,3%, что меньше на 21,2% ($p < 0,001$). Генотип *GDF9^{AA}* можно отнести к редко встречающимся вариантам этого гена.

Шерсть – один из главных признаков тонкорунных и полутонкорунных овец, поэтому ведутся поиски генов, связанных не только с настригом шерсти, но и с тониной, длиной, извитостью и другими показателями волокна. Перспективным геном, как показали исследования [19, 22, 27], оказывающим влияние на формирование шерстного волокна, является ген *KRTI.2* (keratins, или KIF, – keratin intermediate filaments). Анализ его частот у овец западно-сибирской мясной и кулундинской тонкорунной пород показал их различия. Так, у овец шерстного направления продуктивности (кулундинской) преобладающим генотипом был *KRTI.2^{MM}* (95,5%), тогда как в породе мясного направления (западно-сибирская мясная) их меньше на 62,7% ($p < 0,001$), что может служить косвенным доказательством связи генотипа *KRTI.2^{MM}* с настригом шерсти или ее качеством.

Следует отметить более равномерное соотношение всех генотипов в западно-сибирской мясной породе (32,8:47,4:19,8). Однако по данным литературы, такие различия в частотах генотипов у овец шерстного и мясного направления продуктивности не наблюдаются. Так, установлено практически одинаковое соотношение генотипов в породах шерстного и мясного направлений продуктивности [15], где представителем мясной породы была эдильбаевская, а шерстной – 3 породы: кавказская, черноземельный меринос, грозненская тонкорунная.

При проведении анализа аллельного профиля пород установлено, что аллели *CAST^M* и *CAST^N* у овец западно-сибирской мясной и кулундинской пород имеют одинаковую частоту, в двух других генах выявлено различие (табл. 2). В гене *GDF9* у овец западно-сибирской мясной породы частота варианта аллеля *GDF9^A* находится на уровне 0,189, тогда как у овец кулундинской тонкорунной породы этот аллель встречается крайне редко – 0,040 ($p < 0,001$). Превалирующим аллелем в обеих сравниваемых породах был *GDF9^G* (0,811–0,960). Породы отличаются также и по частоте аллелей гена *KRTI.2*. Овцы кулундинской тонкорунной породы характеризуются высокой частотой аллеля *KRTI.2^M* (0,978), а в западно-сибирской мясной породе таких животных чуть больше половины – 0,565 ($p < 0,001$).

В качестве дополнительной характеристики породного профиля овец может служить иммуногенетический анализ по группам крови (табл. 3).

Сравниваемые породы характеризуются определенным сходством частоты антигенов (*Aa, Bd, Bi, Mb*), однако по большинству антигенов выявлены различия. Так, в западно-сибирской мясной чаще (на 21,32–27,60%) встречаются антигены *Cb* и *Da*, реже – антигены *Ab, Bb, Bg, Be, Ca, Ma, R, O* (на 17,38–40,63%), чем в кулундинской тонкорунной породе ($p < 0,001$; $p < 0,01$). Выявленные различия по частоте групп крови можно объяснить их породной принадлежностью или возможностью сцепления антигенов с локусами количественных признаков QTL.

На основании частот антигенов групп крови и генотипов генов *CAST, GDF9, KRTI.2* вычислены индексы генетического сходства (r), которые практически имеют равную величину ($0,901 \pm 0,028$ и $0,833 \pm 0,024$).

С использованием данных частот генотипов и аллелей рассчитаны популяционно-генетические параметры изучаемых пород овец (табл. 4).

Таблица 2

**Частота аллелей по генам *CAST*, *GDF9*, *KRT1.2* у овец
западно-сибирской мясной и кулундинской тонкорунной пород**

Аллель	Западно-сибирская мясная (n = 116)	Кулундинская тонкорунная (n = 124)
CAST ^M	0,832 ± 0,024	0,867 ± 0,01
CAST ^N	0,168 ± 0,024	0,133 ± 0,01
GDF9 ^A	0,189 ± 0,025	0,040 ± 0,01
GDF9 ^G	0,811 ± 0,025	0,960 ± 0,01
KRT1.2 ^M	0,565 ± 0,033	0,978 ± 0,009
KRT1.2 ^N	0,435 ± 0,033	0,022 ± 0,009

Таблица 3

**Частота антигенов крови овец западно-сибирской мясной
и кулундинской тонкорунной пород**

Антиген	Западно-сибирская мясная (n = 116)	Кулундинская тонкорунная (n = 124)
Aa	54,31 ± 4,62	54,10 ± 4,51
Ab	59,48 ± 4,56	89,34 ± 2,79
Bb	50,00 ± 4,64	77,05 ± 3,81
Bd	34,48 ± 4,41	31,07 ± 4,21
Bi	60,34 ± 4,54	63,11 ± 4,37
Bg	17,24 ± 3,51	85,25 ± 3,21
Be	13,79 ± 3,20	44,26 ± 4,49
Ca	46,55 ± 4,63	63,93 ± 4,34
Cb	83,62 ± 3,43	62,30 ± 4,38
Ma	47,41 ± 4,63	70,49 ± 4,12
Mb	59,48 ± 4,56	63,11 ± 4,36
R	40,52 ± 4,56	81,15 ± 3,54
O	14,66 ± 3,28	38,52 ± 4,40
Da	61,21 ± 4,52	33,61 ± 4,27

Следует отметить, что генное равновесие в исследуемых генах не нарушено ($\chi^2 = 0,033-1,025$).

Обращает на себя внимание показатель доли гомозиготных генотипов C_a , процентное содержание которых выше в кулундинской тонкорунной породе по генам *GDF9* и *KRT1.2* на 24,3 и 44,80% соответственно по сравнению с западно-сибирской мясной породой ($p < 0,001$). Число эффективно действующих аллелей является незначительным (1,04–1,46). Степень генетической изменчивости (V) сильно варьирует по отдельным генам. Наиболее высокая изменчивость выявлена по гену *KRT1.2* в западно-сибирской мясной породе (49,6), что выше аналогичного показателя в кулундинской тонкорунной породе на 44,6% ($p < 0,001$). Несколько меньше, но также значимые различия генетической изменчивости отмечены по гену *GDF9*: 31,5 против 7,0% ($p < 0,001$). Отрицательное значение коэффициента F_{is} свидетельствует об отсутствии инбридинга у овец в изучаемых породах.

Таблица 4

Популяционно-генетические параметры овец западно-сибирской мясной и кулундинской тонкорунной пород

Показатель	Западно-сибирская мясная	Кулундинская тонкорунная
CAST		
χ^2	0,033	0,039
C_a , %	72,04 ± 4,16	76,94 ± 3,78
N_a	1,38 ± 1,08	1,30 ± 1,02
V	28,2 ± 4,17	23,3 ± 3,80
F_{is}	-0,137	-0,218
GDF9		
χ^2	1,025	0,047
C_a , %	68,7 ± 4,31	93,00 ± 2,29
N_a	1,46 ± 1,11	1,08 ± 0,92
V	31,5 ± 4,79	7,0 ± 2,29
F_{is}	-0,249	-0,301
KRT1.2		
χ^2	0,152	0,067
C_a , %	50,8 ± 4,64	95,6 ± 1,83
N_a	1,96 ± 1,28	1,04 ± 0,91
V	49,6 ± 4,64	5,0 ± 1,95
F_{is}	-0,202	-0,178

Примечание. χ^2 – хи-квадрат (HWE), генетическое равновесие; C_a – доля гомозиготных животных; N_a – число эффективно действующих аллелей; V – степень генетической изменчивости; F_{is} – коэффициент инбридинга.

Выводы

Сложившийся полиморфизм генов *CAST*, *GDF9* и *KRT1.2* овец западно-сибирской мясной и кулундинской тонкорунной пород является результатом селекции по шерстной и мясной продуктивности и адаптации к местным условиям юга Сибири. Равнозначная частота генотипов гена *CAST* у исследованных пород может быть следствием слабого вовлечения этого гена в процесс отбора при затруднительной прижизненной оценке данного показателя.

Наблюдаемые существенные отличия по частоте генотипов генов *GDF9* и *KRT1.2* обусловлены их ассоциативными связями с настригом шерсти и ее качественными признаками, энергией роста молодняка, воспроизводительными способностями, оценка которых служит критерием для отбора и подбора пар. Индекс генетического сходства, вычисленный по группам крови и генотипам исследуемых генов, составляет $0,901 \pm 0,028$ и $0,833 \pm 0,024$.

Высокий уровень гомозиготности по генам *GDF9*, *KRT1.2* у овец кулундинской тонкорунной породы (93,0 и 95,6%) может быть результатом давления селекции и их консолидированности. В стадах осуществляется контроль подбора животных, F_{is} – коэффициент инбридинга – отрицательный.

Полученная информация о генотипической структуре, приоритетных генотипах и популяционно-генетических параметрах у овец западно-сибирской мясной и кулундинской тонкорунной пород может служить основой для дальнейших углубленных исследований по доказательству гипотезы ассоциативных связей генотипов с хозяйственно ценными признаками для разработки научно обоснованного перспективного плана с породами.

Библиографический список

1. Абонеев В.В. О проблемах сохранения племенных ресурсов овцеводства России / В.В. Абонеев, Ю.А. Колосов // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2020. – № 1. – С. 43–45.
2. Абонеев В.В. К вопросу о племенных ресурсах овцеводства / В.В. Абонеев, Ю.А. Колосов, А. Лагода // Приоритетные направления развития сельскохозяйственной науки и практики в АПК: Материалы всероссийской (национальной) научно-практической конференции. В 3-х томах, пос. Персиановский, 24 декабря 2021 года. Том II. – пос. Персиановский: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный аграрный университет», 2021. – С. 177–180. – EDN MOVCUU.
3. Горлов И.Ф. Генетическая структура стада по генам *GDF9*, *GH* у овец волгоградской и эдильбаевской пород / И.Ф. Горлов, М.И. Сложенкина, Ю.А. Колосов, Н.В. Широкова // Аграрно-пищевые инновации. – 2021. – Т. 14, № 2. – С. 51–59.
4. Ерохин А.И. Состояние, динамика и тенденции в развитии овцеводства в мире и в России / А.И. Ерохин, Е.А. Карасев, С.А. Ерохин // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2019. – № 3. – С. 3–7.
5. Катаманов С.Г. Западно-Сибирская мясная порода овец / С.Г. Катаманов, А.Н. Ульянов, А.Я. Куликова, В.В. Абонеев, И.И. Селькин, А.И. Афанасьева, Ю.Г. Катаманов, Н.Д. Лобода, В.А. Мороз, В.И. Трухачев, А.С. Катаманов, А.Н. Чеботаев, М.А. Чмырев // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2012. – № 3. – С. 6–12.
6. Кузнецов В.М. Основы научных исследований в животноводстве: Монография. – Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2006. – 568 с.
7. Лушников В.П. Полиморфизм генов соматотропина (*GH*), кальпастина (*CAST*), дифференциального фактора роста (*GDF9*) у овец татарстанской

- породы / В.П. Лушников, Т.О. Фетисова, М.И. Селионова, Л.Н. Чиждова, Е.С. Сурждикова // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2020. – № 1. – С. 2–3.
8. *Лушников В.П.* Полиморфизм гена CAST у овец татарстанской и эдилбаевской пород / В.П. Лушников, Т.Ю. Фетисова, А.А. Стрильчук // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2020. – № 2. – С. 9–11.
9. *Мороз В.А.* Новая тонкорунная порода овец – Кулундинская / В.А. Мороз, С.Г. Катаманов, Ю.Г. Катаманов, П.С. Бида, В.И. Трухачев, Н.Ф. Кеслер, С.И. Сторожук, И.В. Рыбалко, И.И. Селькин // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2008. – № 3. – С. 6–9.
10. *Оздеримов А.А.* Полиморфизм генов CAST, GH, GDF9 дагестанской горной породы / А.А. Оздеримов, Л.Н. Чиждова, А.А. Хожожков, Е.С. Сурждикова, Г.Д. Догеев, С.Ш. Абдулмагомедов // Юг России: экология, развитие. – 2021. – Т. 16, № 2. – С. 39–44.
11. *Погодаев В.А.* Полиморфизм генов кальпастина и соматотропина у овец калмыцкой курдючной породы и помесей (1/2 калмыцкая курдючная + 1/2 Дорпер) / В.А. Погодаев, Л.В. Кононова, Б.К. Адучиев // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 3 (47). – С. 141–145.
12. *Селионова М.И.* Полиморфизм гена GDF9 и его связь с молочной продуктивностью овец породы Лакон / М.И. Селионова, Д.Д. Евлагина, С.И. Светличный // Молекулярно-генетические технологии анализа экспрессии генов продуктивности и устойчивости к заболеваниям животных: Материалы Третьей Международной научно-практической конференции в рамках года науки и технологий Российской Федерации по тематике «Генетика и качество жизни», Москва, 2021. – М., 2021. – С. 396–403.
13. *Селионова М.И.* Полиморфизм генов CAST, GH, GDF9 овец горно-алтайской породы / М.И. Селионова, Л.Н. Чиждова, Е.С. Сурждикова, Н.А. Подкорытов, А.Т. Подкорытов // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2020. – Т. 50, № 1. – С. 92–100.
14. *Селькин И.И.* Живая масса, настриг и свойства шерсти новой Кулундинской тонкорунной породы овец / И.И. Селькин, А.С. Катаманов // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2009. – № 1. – С. 8–10.
15. *Сенина Р.Ю.* Полиморфизм гена KRT1.2 у отечественных пород овец / Р.Ю. Сенина, Л.А. Калашникова, В.П. Лушников, М.Б. Павлов // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2018. – № 3. – С. 20–23.
16. *Хамируев Т.Н.* Иммуногенетическая характеристика овец забайкальской породы разного направления продуктивности // Российская сельскохозяйственная наука. – 2019. – № 2. – С. 53–55.
17. *Чиждова Л.Н.* Иммуногенетическая сочетаемость родительских пар и морфоструктурные показатели плаценты овец / Л.Н. Чиждова, В.В. Абонеев, Д.В. Абонеев, С.Н. Шумаенко // Новые подходы, принципы и механизмы повышения эффективности производства и переработки сельскохозяйственной продукции: Материалы Международной научно-практической конференции; Под общ. ред. И.Ф. Горлова / ГНУ Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции Россельхозакадемии, Волгоградский государственный технический университет. – 2014. – С. 144–147.
18. *Чиждова Л.Н.* Полиморфизм гена CAST, особенности жирнокислотного состава липидов крови овец разных генотипов в онтогенезе / Л.Н. Чиждова, Е.С. Сурждикова, Е.Д. Луцива, Н.И. Ефимова // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 6. – С. 47–51.
19. Abbott J.K.R. Gene markers for wool fibre traits / J.K.R. Abbott J.G.H. Hickford R.M.W. Summer // Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production. – 2006. – 66 (Napier). – Pp. 139–144.

20. Al-Khuzai F.L.J.J. Polymorphism of GDF9 (exon-1) gene and its association with milk production and prolificacy of Awassi sheep / F.L.J.J. Al-Khuzai R. Ahmed // *Plant Archives*. – 2019. – Vol. 19, № 2. – Pp. 4037–4040.
21. *Getmantseva L.* Effect of the gene GDF9 on weight of lambs at birth / G L. etmantseva, N. Bakoev, N. Shirokova, M. Kolosova, S. Bakoev, A. Kolosov et al. // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. – 2019. – Vol. 25, № 1. – Pp. 153–157.
22. *Gong H.* Wool keratin-associated protein genes in sheep-A Review / H. Gong, H. Zhou, H.J. Rachel et al. // *Genes*. – 2016. – Pp. 7–24.
23. *Hanrahan J.P.* Mutations in the genes for oocytederived growth factors GDF9 and BMP15 are associated with both increased ovulation rate and sterility in Cambridge and belclare ship (*Ovis aries*) / J.P. Hanrahan, S.M. Gregan, P. Milsant et al. // *Biology Of Reproduction*. – 2004. – Vol. 70, № 4. – Pp. 900–909.
24. *Khederzadeh S.* Genetic diversity of myostatin and calpastatin genes in Zandi sheep / S. Khederzadeh, M. Iranmanesh, R. Motamedi-Mojdehi // *Journal of Livestock Science and Technologies*. – 2016. – Vol. 4 (1). – Pp. 45–52.
25. *Kolosov Yu.A.* Polymorphism of the GDF9 Gene in Russian Sheep Breeds Yu.A. Kolosov L.V., *Getmantseva N.V.* Shirokova et al. // *J. Cytol Histol*. – 2015. – № 6. – P. 305.
26. *Kumar R.* Polymorphism of KRT 1.2 and KAP 1.3 genes in Indian sheep breeds / R. Kumar, A.S. Meena, R. Kumari, B. Jyotsana L.L.L. Prince and S. Kumar // *Indian Journal of Small Ruminants*. – 2016. – № 22 (1). – Pp. 28–31.
27. *Rogers G.* Potential QTL for wool strength located on ovine chromosome 11 / G. Rogers, J. Hickford, R.A. Bickerstaffe // *Proceedings of the World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*. – 1994. – Vol. 21. – Pp. 291–294.
28. *Selionova M.I.* Polymorphism of GDF9 in sheep of Prikatun type of Altai Mountains breed and its correlations with indices of meat rate productivity / M.I. Selionova, N.A. Podkorytov // *Theory and Practice of Meat Processing*. – 2021. – Vol. 6, № 1. – Pp. 4–9.
29. *Kolosov Yu.A.* Determination of CAST gene polymorphism in sheep of the Volgograd breed / Yu.A. Kolosov, I.F. Gorlov, A.Yu. Kolosov N.V. Shirokova, A.Ya. Kulikova M.A. Kolosova, M.I. Slozhenkina, E.S. Vorontsova and N.N. Kolosova // *IV international conference on agribusiness, environmental engineering and biotechnologies – Agritech-iv-2020 IOP conference series: earth and environmental science, Krasnoyarsk, 2021. – 2021. – C. 1–7.*

GENETIC STRUCTURE OF WEST SIBERIAN MEAT SHEEP AND KULUNDA FINE-WOOL SHEEP BY *CAST*, *GDF9* AND *KRT1.2* GENES

O.L. KHALINA, S.N. MAGER, G.M. GONCHARENKO,
T.S. KHOROSHILOVA, N.B. GRISHINA

(Siberian Federal Scientific Center of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences)

*The purpose of the study is to analyze the genotypic structure and population-genetic parameters of the West Siberian meat and Kulunda fine-wool breed of sheep by the *CAST*, *GDF9* and *KRT1.2* genes and blood groups. Molecular genetic and immunogenetic studies were carried out in the SRIAH (Siberian Research Institute of Animal Husbandry SFSCA RAS) biotechnology laboratory. PCR-RFLP analysis to determine genotypes was performed according to the described and approved methods on a C1000 “BioRad” amplifier; the results were visualized using an E-Box-CX5.TS-20.M gel documentation system. It was found that the frequency of genotypes and alleles of the *CAST* gene of West Siberian meat and Kulunda fine-wool breeds have no significant differences. In both breeds, *CAST^{MM}* was predominant, with a frequency*

of 69.0–75.0%, *CAST^{NN}* carriers being only 1.6–5.1%. The Kulunda fine-wool breed is characterized by a very high frequency of the *GDF9^{GG}* genotype 92.7%, which is higher than that of the West Siberian meat sheep by 26.3%. *GDF9^{AA}* genotype is extremely rare in breeds (0–5%). The *GDF9^G* allele in the compared breeds was found to range from 0.811–0.960 and the *GDF9^A* allele from 0.189–0.040. There are differences in the ratio of genotypes of the *KRT1.2* gene in the compared breeds. In the Kulunda fine-wool breed, the vast majority of animals have homozygous genotype *KRT1.2^{MM}* (95.5%), whereas in the West Siberian meat breed such sheep constitute 32.8%. Consequently, the frequency of the *KRT1.2^M* allele is 0.565–0.978 and the *KRT1.2^N* allele is 0.435–0.022. The genetic balance in the studied genes is not disturbed, $\chi^2 = 0,033–1,025$. The index of genetic similarity between breeds, calculated on the basis of the frequencies of genotypes and blood groups is 0.901 ± 0.028 and 0.833 ± 0.024 . Population and genetic characteristics are practically identical in the compared breeds, except for gene homozygosity (C_a), which is higher in the Kulunda fine-wool sheep breed by 24.3% for the *GDF9* gene and *KRT1.2* by 29.1%, compared to the West Siberian meat sheep breed. The number of effective alleles is insignificant (1.04–1.46). The genetic variability (V) by individual genes in the breeds varies from 5.0 to 49.6%. The negative value of the F_{is} coefficient indicates the absence of inbreeding in sheep the studied breeds.

Key words: sheep, West Siberian meat sheep, Kulunda fine-wool sheep, genotype, allele, frequency, homozygosity, inbreeding.

References

1. Aboneev V.V., Kolosov Ju.A. O problemah sohraneniya plemennyh resursov ovcevodstva Rossii [On the problems of preserving the breeding resources of sheep breeding in Russia] // *Ovcy, kozy, sherstyanoje delo*. 2020; 1: 43–45. (in Rus.)
2. Aboneev V.V., Kolosov Ju.A., Lagoda A. K voprosu o plemennyh resursah ovcevodstva [On the issue of breeding resources of sheep breeding] // *Prioritetnyje napravleniya razvitiya sel'skohozyajstvennoj nauki i praktiki v APK. Materialy vsrossijskoj (nacional'noj) nauchno-praktičeskoj konferencii. V 3-h tomah. pos. Persianovskii*, 2021: 177–180. (in Rus.)
3. Gorlov I.F., Slozhenkina M.I., Kolosov Ju.A., Shirokova N.V. Geneticheskaya struktura stada po genam *GDF9*, *GH* u ovec volgogradskoj i edil'baevskoj porod [Genetic structure of the herd according to the *GDF9*, *GH* genes in sheep of the Volgograd and Edilbaev breeds] // *Agrarno-pishevyje innovacii*. 2021; 14; 2: 51–59. (in Rus.)
4. Erohin A.I., Karasev E.A., Erohin S.A. Sostoyanie, dinamika i tendencii v razvitiu ovcevodstva v mire i v Rossii [Status, dynamics and trends in the development of sheep breeding in the world and in Russia] // *Ovcy, kozy, sherstyanoje delo*. 2019; 3: 3–7. (in Rus.)
5. Katamanov S.G., Ul'janov A.N., Kulikova A.Ja., Aboneev V.V., Sel'kin I.I., Afanas'eva A.I., Katamanov Ju.G., Loboda N.D., Moroz V.A., Truhachev V.I., Katamanov A.S., Chebotaev A.N., Chmyrev M.A. Zapadno-Sibirskaya myasnaya poroda ovec [West Siberian meat breed of sheep] // *Ovcy, kozy, sherstyanoje delo*. 2012; 3: 6–12. (in Rus.)
6. Kuznecov V.M. *Osnovy nauchnyh issledovanii v zhivotnovodstve*. [Fundamentals of scientific research in animal husbandry] Kirov, Zonal'nyi NIISKH Severo-Vostoka, 2006: 568. (in Rus.)
7. Lushnikov V.P., Fetisova T.O., Selionova M.I., Chizhova L.N., Surzhikova E.S. Polimorfizm genov somatotropina (*GH*), kal'pastatina (*CAST*), differencial'nogo faktora rosta (*GDF9*) u ovec tatarstanskoi porody [Polymorphism of somatotropin (*GH*), calpastatin (*CAST*), differential growth factor (*GDF9*) genes in sheep of the Tatarstan breed] // *Ovcy, kozy, sherstyanoje delo*. 2020; 1: 2–3. (in Rus.)
8. Lushnikov V.P., Fetisova T.Ju., Stril'chuk A.A. Polimorfizm gena *CAST* u ovec tatarstanskoi i edil'baevskoj porod [Polymorphism of the *CAST* gene in sheep of the Tatarstan and Edilbaev breeds] // *Ovcy, kozy, sherstyanoje delo*. 2020; 2: 9–11. (in Rus.)

9. Moroz V.A., Katamanov S.G., Kotomanov Ju.G., Bida P.S., Truhachev V.I., Kesler N.F., Storozhuk S.I., Rybalko I.V., Sel'kin I.I. Novaya tonkorunnaya poroda ovec – Kulundinskaya [New fine-wool breed of sheep – Kulunda] // *Ovcy, kozy, sherstyanoie delo*. 2008; 3: 6–9. (in Rus.)

10 Ozderimov A.A., Chizhova L.N., Hozhokov A.A., Surzhikova E.S., Dogeev G.D., Abdulmagomedov S.Sh. Polimorfizm genov CAST, GH, GDF9 dagestanskoi gornoj porody [Polymorphism of the CAST, GH, GDF9 genes of the Dagestan breed] // *Jug Rossii: ekologiya, razvitie*. 2021; 16; 2: 39–44. (in Rus.)

11. Pogodaev V.A., Kononova L.V., Aduchiev B.K. Polimorfizm genov kal'pastatina i somatotropina u ovec kalmyckoi kurdyuchnoi porody i pomesei (1/2 kalmyckaya kurdyuchnaya + 1/2 dorper) [Polymorphism of calpastatin and somatotropin genes in sheep of the Kalmyk fat-tailed breed and crossbreeds (1/2 Kalmyk fat-tailed + 1/2 Dorper)] // *Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skhozajstvennoi akademii*. 2019; 3 (47): 141–145. (in Rus.)

12. Selionova M.I., Evlagina D.D., Svetlichnyj S.I. Polimorfizm gena GDF9 i ego svyaz' s molochnoi produktivnost'yu ovec porody Lakon [Polymorphism of the GDF9 gene and its relationship with the milk productivity of sheep of the Lacon breed] // *Materialy 3-ei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferencii «Molekulyarno-geneticheskie tehnologii analiza ekspressii genov produktivnosti i ustoychivosti k zabolevaniyam zhyvotnykh» v ramkakh goda nauki i tekhnologii Rossiiskoi Federacii po tematike «Genetika i kachestvo zhizni» Moskva, 2021: 396–403. (in Rus.)*

13. Selionova M.I., Chizhova L.N., Surzhikova E.S., Podkorytov N.A., Podkorytov A.T. Polimorfizm genov CAST, GH, GDF9 ovec gorno-altajskoj porody [Polymorphism of CAST, GH, GDF9 genes in Mountain-Altai sheep] // *Sibirskii vestnik sel'skhozaystvennoi nauki*. 2020; 50; 1: 92–100. (in Rus.)

14. Sel'kin I.I., Katamanov A.S. Zhivaja massa, nastrig i svoistva shersti novoi Kulundinskoi tonkorunnoi porody ovec [Live weight, shearing and wool properties of the new Kulunda fine-wool breed of sheep] // *Ovcy, kozy, sherstyanoie delo*. 2009; 1: 8–10. (in Rus.)

15. Senina R.Ju., Kalashnikova L.A., Lushnikov V.P., Pavlov M.B. Polimorfizm gena KRT1.2 u otechestvennykh porod ovec [Polymorphism of the KRT1.2 gene in domestic breeds of sheep] // *Ovcy, kozy, sherstyanoie delo*. 2018; 3: 20–23. (in Rus.)

16. Hamiruev T.N. Immunogeneticheskaya kharakteristika ovec zabaikal'skoi porody raznogo napravleniya produktivnosti [Immunogenetic characteristics of sheep of the Transbaikal breed of different directions of productivity] // *Rossiiskaya sel'skhozaystvennaya nauka*. 2019; 2: 53–55. (in Rus.)

17. Chizhova L.N., Aboneev V.V., Aboneev D.V., Shumaenko S.N. Immunogeneticheskaja sochetaemost' roditel'skih par i morfostrukturnye pokazateli placenty ovec [Immunogenetic compatibility of parental pairs and morphostructural parameters of sheep placenta] // *Novye podkhody, principy i mekhanizmy povysheniya effektivnosti proizvodstva i pererabotki sel'skokhozaystvennoi produkcii: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferencii. Pod obshhej redakciej I.F. Gorlova; GNU Povolzhskij NII proizvodstva i pererabotki myasomolochnoy produkcii Rossel'hoz akademii, Volgogradskii gosudarstvennyi tehnikeskii universitet*, 2014: 144–147. (in Rus.)

18. Chizhova L.N., Surzhikova E.S., Luciva E.D., Efimova N.I. Polimorfizm gena CAST, osobennosti zhirnokislотноgo sostava lipidov krovi ovec raznyh genotipov v ontogeneze [Polymorphism of the CAST gene, features of the fatty acid composition of blood lipids in sheep of different genotypes in ontogenesis] // *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozaystvennoi akademii*. 2020; 6: 47–51. (in Rus.)

19. Abbott J.K.R., Hickford J.G.H., Summer R.M.W. Gene markers for wool fibre traits // *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*. 2006, 66: 139–144.

20. *Al-Khuzai F.L.J. J., Ahmed R.* Polymorphism of GDF9 (exon-1) gene and its association with milk production and prolificacy of Awassi sheep // *Plant Archives*. 2019; 19; 2: 4037–4040.
21. *Getmantseva L Bakoev N., Shirokova N., Kolosova M., Bakoev S., Kolosov A. et al.* Effect of the gene GDF9 on weight of lambs at birth // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2019; 25; 1: 153–157.
22. *Gong H., Zhou H., Rachel H.J. Forrest, Shaobin Li, Jiqing Wang, Jolon M. Dyer, Yuzhu Luo, and Jon G.H. Hickford* // *Wool keratin-associated protein genes in sheep-A Review* // *Genes*. 2016; 7; 24: 1–16.
23. *Hanrahan J.P., Gregan S.M., Milsant P., et al.* Mutations in the genes for oocytederived growth factors GDF9 and BMP15 are associated with both increased ovulation rate and sterility in Cambridge and belclare ship (*Ovis aries*) // *Biology Of Reproduction*. 2004; 70; 4: 900–909.
24. *Khederzadeh S.* Genetic diversity of myostatin and calpastatin genes in Zandi sheep / *S. Khederzadeh, M. Iranmanesh, R. Motamedi-Mojdehi* // *Journal of Livestock Science and Technologies*. 2016; 4(1): 45–52.
25. *Kolosov Yu.A., Getmantseva L, V., Shirokova N.V. et.al.* Polymorphism of the GDF9 Gene in Russian Sheep Breeds // *J. Cytol Histol*. 2015; 6: 305.
26. *Kumar R., Meena A.S., Kumari R., Jyotsana B., Prince L.L.L. and Kumar S.* Polymorphism of KRT 1.2 and KAP 1.3 genes in Indian sheep breeds // *Indian Journal of Small Ruminants*. 2016; 22(1): 28–31.
27. *Rogers G., Hickford J., Bickerstaffe R.A.* Potential QTL for wool strength located on ovine chromosome 11 // *Proceedings of the World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*. 1994; 21: 291–294.
28. *Selionova M.I., Podkorytov N.A.* Polymorphism of GDF9 in sheep of Prikatun type of Altai Mountains breed and its correlations with indices of meat rate productivity // *Theory and Practice of Meat Processing*, 2021; 6; 1: 4–9.
29. *Kolosov Yu.A., Gorlov I.F., Kolosov A. Yu., Shirokova N.V., Kulikova A. Ya., Kolosova M.A., Slozhenkina M.I., Vorontsova E.S. and Kolosova N.N.* Determination of CAST gene polymorphism in sheep of the Volgograd breed // *IV international conference on agribusiness, environmental engineering and biotechnologies – Agritech-iv – 2020 IOP conference series: earth and environmental science, Krasnoyarsk*. 2021: 1–7.

Халина Ольга Леонидовна, научный сотрудник лаборатории биотехнологии, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук (630501 Россия, Новосибирская область, Новосибирский район, р.п. Краснообск; e-mail: halinaolga@mail.ru; тел.: (913) 951–28–82).

Магер Сергей Николаевич, руководитель Сибирского научно-исследовательского и проектно-технологического института животноводства, доктор биологических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук (630501 Россия, Новосибирская область, Новосибирский район, р.п. Краснообск; e-mail: mager_s.n.@mail.ru; тел.: (383) 348–49–36).

Гончаренко Галина Моисеевна, главный научный сотрудник лаборатории биотехнологии, доктор биологических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук (630501 Россия, Новосибирская область, Новосибирский район, р.п. Краснообск; e-mail: gal.goncharenko@mail.ru; тел.: (913) 378–55–43).

Хорошилова Татьяна Сергеевна, старший научный сотрудник лаборатории биотехнологии, кандидат биологических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук (630501 Россия, Новосибирская область, Новосибирский район, р.п. Краснообск; e-mail: tatagoryacheva@mail.ru; тел.: (913) 455–98–62).

Гришина Наталья Борисовна, старший научный сотрудник лаборатории биотехнологии, кандидат биологических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук (630501 Россия, Новосибирская область, Новосибирский район, р.п. Краснообск; e-mail: natalja.grishina@gmail.com; тел.: (953) 894–75–77).

Olga L. Khalina, Researcher, Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences (SFSCA RAS) (630501, Russia, Novosibirsk Region, Krasnoobsk. E-mail: halinaolga@mail.ru; phone: (913) 951–28–82).

Sergey N. Mager, Head of Siberian Research and Design Institute of Animal Husbandry, Doctor of Science in Biology. Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences (SFSCA RAS) (630501, Russia, Novosibirsk Region, Krasnoobsk. E-mail: mager_s.n.@mail.ru; phone: (383) 348–49–36).

Galina M. Goncharenko, Chief research Scientist, Doctor of Science in Biology, Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences (SFSCA RAS) (630501, Russia, Novosibirsk region, Krasnoobsk. E-mail: gal.goncharenko@mail.ru; phone:(913) 378–55–43).

Tatyana S. Khoroshilova, Senior research Scientist, Candidate of Science in Biology, Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences (SFSCA RAS) (630501, Russia, Novosibirsk Region, Krasnoobsk. E-mail: tatagoryacheva@mail.ru; phone: (913) 455–98–62).

Natalya B. Grishina, Senior research Scientist, Candidate of Science in Biology, Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences (SFSCA RAS) (630501, Russia, Novosibirsk Region, Krasnoobsk. E-mail: natalja.grishina@gmail.com; phone: (953) 894–75–77).