

Г. Я. Брызгалов, Л. С. Игнатович

Ассоциации микросателлитных локусов ДНК и аминокислот белка мышечной ткани у северных оленей чукотской породы (*Rangifer Tarandus* L.)

Аннотация.

Цель: исследование корреляций STR-маркеров ДНК и аминокислот белка мяса северных оленей.

Материалы и методы. Анализ аминокислот выполнен по ГОСТ 34132-2017 «Мясо и мясные продукты. Метод определения аминокислотного состава животного белка». При постановке мультиплексной ПЦР STR взяты праймеры и микросателлитные локусы ДНК, применяемые для оленевых (*Cervidae*). Номенклатура локусов соответствует мировому стандарту.

Результаты. Приводятся сведения о количественном содержании аминокислот в белке *M. Longissimus dorsi*, о размерах ампликонов, ассоциации STR-локусов и аминокислот в выборке оленей чукотской породы. Коэффициент изменчивости незаменимых аминокислот варьировал от 7,9 до 11,8 %, что может обеспечить приемлемый уровень селекционного отбора по данному признаку. Аминокислоты ассоциированы между собой преимущественно статистически значимо, степень тесноты связи варьирует в диапазоне от средней до сильной. Менее тесно коррелировали с другими аминокислотами метионин и пролин. Большинство показателей связи микросателлитных локусов и аминокислот оказалось незначительными по величине, статистически недостоверными и обратными по направлению, что практически указывает на отсутствие зависимости между признаками. В то же время, выявлена значимая корреляция отдельных STR-маркеров с аминокислотами. В частности, локус NVHRT30 ассоциирован с незаменимыми аминокислотами VAL, LEU, ILE, THR с коэффициентом связи, равным: $r_1 = -0,322$; $r_2 = -0,290$; $r_3 = -0,272$ и $r_4 = -0,437$, соответственно.

Заключение. Полученные данные укладываются в рамки известного тезиса о локализации микросателлитов главным образом в некодирующих зонах молекулы ДНК; но они могут находиться и в промоторных областях и иметь сцепление с генами-кандидатами локусов количественных признаков. Необходимо продолжить исследования в избранном направлении на других популяциях ареала с целью накопления более значимых объемов информации.

Ключевые слова: северный олень, чукотская порода, мышечная ткань, аминокислоты, STR-маркеры, корреляции, селекция.

Авторы:

Брызгалов Георгий Яковлевич — ведущий научный сотрудник; e-mail: agrarian@maglan.ru;

Игнатович Лариса Сергеевна — старший научный сотрудник; e-mail: agrarian@maglan.ru.

Магаданский научно-исследовательский институт сельского хозяйства; Россия, 685000, Магадан, ул. Пролетарская, 17.

Введение. В настоящее время население земного шара испытывает дефицит пищевого белка, основным путем увеличения ресурсов которого является интенсификация животноводства и растениеводства [1]. Пищевая ценность белка зависит от состава незаменимых аминокислот, содержание которых в мясе обусловлено генотипом животного и паратипическими факторами [2-6].

Численность оленей в Российской Федерации превышает 2 млн голов, в том числе в Чукотском автономном округе насчитывается 134 тыс. голов [7]. Селекционно-племенная работа с северными оленями проводится с помощью традиционных приемов, основанных на массовом отборе по фенотипу [8, 9]. Вместе с тем, необходимы исследования по внедрению в оленеводство молеку-

лярно-генетических методов, успешно зарекомендовавших себя в селекции сельскохозяйственных животных [10-12].

Геномная селекция подразумевает использование ДНК-маркеров и отбор по генотипу, обладает преимуществом при отборе по признакам, имеющим сложный полигенный контроль. Процесс геномной селекции включает выявление корреляций между фенотипом и генотипом, дальнейший отбор по генотипу среди «кандидатов на селекцию» [13-15].

С появлением более дешевых и удобных в применении ПЦР-маркеров наиболее подходящими и востребованными для картирования генов и геномов оказались микросателлитные маркеры. Использование молекулярных маркеров

позволяет значительно ускорять процесс селекции, выйти на новый уровень понимания организации и эволюции геномов изучаемых объектов. ДНК-микросателлиты равномерно распределены по всему геному, характеризуются высокой степенью полиморфизма, имеют тесное сцепление с определенными локусами. Хотя микросателлиты расположены главным образом в некодирующих зонах, доказано также их нахождение и в промоторных областях. В литературных источниках имеется ряд публикаций, в которых показано сцепление, как предполагают, нейтральных микросателлитов с генами-кандидатами локусов количественных признаков.

Микросателлиты представляют собой варьирующие участки (локусы) ДНК ядер и органелл — митохондрий и пластид, состоят из tandemно повторяющихся мономеров длиной менее 9 пар оснований и образуют поля меньше 1 тысячи пар нуклеотидов. Они широко распространены как молекулярные маркеры в генетических и геномных исследованиях. Отношения сцепления между генетическими маркерами и локусами количественных признаков (QTL) представляют геномную информацию, которую можно использовать при отборе с помощью маркеров по интересующим признакам [16-18].

Цель исследований — исследование корреляций STR-маркеров ДНК и аминокислот белка мышечной ткани у северных оленей, разводимых в Чукотском АО.

Материалы и методы. Оценка взаимосвязи полиморфизмов STR-локусов и количественного содержания аминокислот в мясе выполнена на модели оленей чукотской породы. В эксперименте использованы клинически здоровые животные старше 2 лет (52 особи), выбракованные для реализации на мясо. Убой проводили в местах выпаса оленей в марте 2020 г. Пробы брали с соблюдением Федерального закона от 02.01.2000 №29-ФЗ «О качестве и безопасности пищевых продуктов», закона Российской Федерации от 14.05.1993 № 4979-1 «О ветеринарии».

С учетом специфики северного оленеводства после разделки туши замораживались и хранились при температуре не выше -20°C . Биологические пробы *M. Longissimus dorsi* брали на уровне 9-12 ребра, всего взято 52 пробы.

В процессе взятия материала пробам присваивали индивидуальный номер, информация о животном вносилась в электронную базу данных лаборатории. Каждую биологическую пробу делили на 2 образца, один образец исследовали на содержание аминокислот, другой генотипировали по

Таблица 1. Статистические показатели содержания аминокислот в белке мяса оленей, г/100 г мяса

Аминокислота	Статистический показатель (n = 52)				
	Lim	M $\pm$ m	σ	CV%	M $\pm$ tm
Незаменимые аминокислоты					
Валин (VAL)	0,71-1,15	0,920 $\pm$ 0,010	0,072	7,87	0,900-0,940
Лейцин (LEU)	1,30-2,11	1,647 $\pm$ 0,018	0,130	7,88	1,611-1,683
Изолейцин (ILE)	0,72-1,21	0,893 $\pm$ 0,010	0,072	8,39	0,873-0,913
Лизин (LYS)	1,12-2,07	1,427 $\pm$ 0,023	0,166	11,48	1,381-1,473
Метионин (MET)	0,50-0,74	0,596 $\pm$ 0,007	0,050	8,61	0,582-0,610
Фенилаланин (PHE)	0,69-1,11	0,864 $\pm$ 0,012	0,086	10,37	0,840-0,888
Треонин (THR)	0,58-0,83	0,680 $\pm$ 0,008	0,057	8,13	0,664-0,696
Гистидин (HIS)	0,52-1,12	0,697 $\pm$ 0,011	0,079	11,80	0,675-0,719
Аргинин (ARG)	0,85-1,81	1,253 $\pm$ 0,023	0,166	13,42	1,207-1,299
Заменимые аминокислоты					
Аспарагин (ASP)	1,07-1,65	1,426 $\pm$ 0,016	0,115	8,12	1,394-1,458
Серин (SER)	0,46-0,69	0,545 $\pm$ 0,008	0,057	11,00	0,529-0,561
Глутамин (GLU)	1,82-3,10	2,475 $\pm$ 0,030	0,216	8,60	2,415-2,535
Глицин (GLY)	0,63-1,01	0,825 $\pm$ 0,010	0,072	8,53	0,805-0,845
Аланин (ALA)	0,82-1,31	1,100 $\pm$ 0,012	0,086	7,84	1,076-1,124
Цистеин (CYS)	0,11-0,18	0,146 $\pm$ 0,002	0,014	10,59	0,142-0,150
Тирозин (TYR)	0,50-0,89	0,656 $\pm$ 0,015	0,108	16,72	0,626-0,686
Пролин (PRO)	0,37-0,77	0,547 $\pm$ 0,011	0,079	15,01	0,525-0,569

Таблица 2. Корреляции аминокислот в белке мышечной ткани северных оленей

АК	Коэффициент корреляции (r)													
	VAL	LEU	ILE	LYS	MET	PHE	THR	HIS	ASP	SER	GLU	GLY	ALA	ARG
LEU	0,948													
ILE	0,879	0,896												
LYS	0,801	0,777	0,849											
MET	0,276	0,379	0,154*	-0,063*										
PHE	0,713	0,673	0,78	0,822	-0,050*									
THR	0,744	0,756	0,555	0,503	0,404	0,36								
HIS	0,753	0,742	0,801	0,8	0,084*	0,722	0,328							
ASP	0,857	0,836	0,647	0,567	0,421	0,483	0,908	0,431						
SER	0,398	0,407	0,315	0,39	0,127*	0,295	0,728	0,130*	0,553					
GLU	0,907	0,881	0,799	0,738	0,285	0,632	0,81	0,593	0,918	0,569				
GLY	0,792	0,772	0,704	0,576	0,121*	0,5	0,67	0,48	0,739	0,397	0,814			
ALA	0,937	0,933	0,821	0,745	0,306	0,637	0,781	0,662	0,842	0,433	0,87	0,824		
CYS	0,511	0,455	0,533	0,544	0,185*	0,585	0,243*	0,456	0,384	0,196*	0,483	0,210*	0,366	
TYR	0,404	0,327	0,582	0,717	-0,356	0,819	0,088*	0,535	0,147*	0,277	0,365	0,244*	0,3	0,467
ARG	0,775	0,831	0,755	0,739	0,422	0,54	0,712	0,676	0,716	0,439	0,752	0,555	0,788	0,307
PRO	0,343	0,349	0,177*	0,043*	0,240*	0,004*	0,452	0,050*	0,49	0,223*	0,44	0,497	0,342	0,279

Примечание. АК – аминокислота. 2. *Статистически недостоверно.

STR-маркерам. Транспортировку проб осуществляли посредством компании-перевозчика с соблюдением сроков и условий хранения. Анализ аминокислот белка мяса оленей выполнен в отделе физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных ВНИИЖ им. Л.К. Эрнста в соответствии с ГОСТ 34132-2017 «Мясо и мясные продукты. Метод определения аминокислотного состава животного белка» [19].

Генетический анализ для выявления полиморфизма STR проводился с использованием метода полимеразной цепной реакции в лаборатории ДНК-технологий Всероссийского НИИ племенного дела согласно методическим указаниям [20].

При постановке мультиплексной ПЦР STR взяты праймеры и микросателлитные локусы ДНК, применяемые для оленевых (*Cervidae*). Номенклатура локусов соответствовала мировому стандарту [20-22].

Статистическая обработка полученного материала проводилась при помощи приложения «Excel» из программного пакета «Office XP» и «Statistica 6.0», включая определение средней арифметической величины ($\bar{M}$), ошибки репрезентативности (m), среднего квадратического отклонения (σ), коэффициента вариации (C_v), доверительного интервала генеральной средней ($M \pm t_{um}$). Критерий надежности (t) принят при $P \geq 0,95$ равный 2,0 [23].

Исследование ассоциаций микросателлитных локусов и концентрации аминокислот белка мышечной ткани оленей проведено путем вычисления показателей связи между признаками. Коэффициент корреляции рассчитывали по формуле: $r = (\sum xy - (\sum x \sum y) / n) / \sqrt{C_x C_y}$,

где x и y – даты по первому и второму признаку,

$$C_x = \frac{\sum x^2 - (\sum x)^2}{n} \text{ и } C_y = \frac{\sum y^2 - (\sum y)^2}{n} \text{ — их дисперсии,}$$

n – численность выборочной совокупности [23].

Результаты и обсуждение. Проведенными исследованиями определены статистические показатели, характеризующие динамику количественного содержания аминокислот белка мяса в выборке северных оленей чукотской породы (табл.1). Коэффициенты вариации незаменимых аминокислот, равные 7,87...11,8 % при средней величине

9,31 %, уступали значениям аналогов заменимых аминокислот, которые в исследованной выборке флуктуировали от 7,84 % до 16,72 %, и в среднем составляли 11,09 %. Наблюдаемая степень изменчивости может обеспечить приемлемый уровень селекционного отбора по данному признаку.

Экстремальные значения концентрации аминокислот (Lim) в белке мышечной ткани оленей во всех случаях выходили за пределы доверительного интервала генеральной средней ($M \pm tm$), что свидетельствует о существенной изменчивости признака. По всей вероятности, значительная динамика аминокислот связана с сильным воздействием паратипических факторов на фенотип северных оленей.

По среднему содержанию незаменимых аминокислот в изученных пробах мяса максимальное количество обнаружено лейцина — 1,647 и лизина — 1,427 г/100г, минимальное — треонина — 0,680 г/100г. Среди заменимых аминокислот самая значимая величина в изученных образцах мяса выявлена глутамина 2,475г/100г, а наименьшая — цистеина — 0,146 г/100г мяса.

Сумма незаменимых аминокислот составила 8,977 г/100г, заменимых — 7,72 г/100г. Общая сумма аминокислот оказалась равной 16,697 г/100г, что подтверждает высокую биологическую полноценность мяса оленей чукотской породы. Популяционная средняя величина признака характеризует не только его фенотипический уровень, но и генотипический уровень в ряде поколений при сохранении факторов среды [24, 25].

Исследование корреляционной зависимости

аминокислот белка мяса в выборке оленей чукотской породы показало следующее: как заменимые, так и незаменимые аминокислоты ассоциированы между собой преимущественно прямолинейно, по степени тесноты связи — от средней до сильной (табл. 2). В частности, VAL, LEU, GLU, ALA и ARG коррелировали со всеми аминокислотами статистически значимо. Менее тесно и недостоверно связаны с другими аминокислотами метионин и пролин.

Выявленный уровень корреляции может указывать, в том числе, и на зависимость концентрации аминокислот в белке мяса оленей от паратипических факторов, которые воздействуют в целом на всех особей популяции. В частности, это касается условий содержания и полноценности питания, оказывающих влияние на метаболизм и процессы биосинтеза протеома в организме животных [26, 27].

Статистические данные по фрагментам молекулярного мультилокусного анализа микросателлитной ДНК (пар нуклеотидов) представлены в таблице 3, из которой следует, что менее других флуктуировал локус RT9, с коэффициентом изменчивости CV=2,5 %.

Более вариабельными оказались локусы NVHRT34 (CV=14,1 %), NVHRT71 (CV=15,6 %). Все остальные локусы варьировали с коэффициентом CV>20%. Максимальное число нуклеотидных оснований, обнаруженных в одном фрагменте ДНК, составило 315 п.н., а средний размер STR-локусов варьировал от 27,4 до 182,5 п.н.

Межаллельные корреляции в STR-локусах на

Таблица 3. Статистические данные о полиморфизме STR-локусов ДНК в выборке оленей чукотской породы, п.н.

STR-локус	Статистический показатель				
	Lim	$M \pm m$	σ	$M \pm tm$	CV%
NVHRT 21	0-198	162,44±6,669	48,09	149,1-175,78	29,6
NVHRT 24	0-157	44,81±9,421	67,93	25,96-63,65	151,6
NVHRT 48	0-181	63,38±8,400	60,57	46,58-80,18	95,5
NVHRT 66	0-220	182,58±5,637	40,64	171,3-193,85	22,2
NVHRT 71	0-126	112,23±2,437	17,57	107,35-117,1	15,6
NVHRT 73	0-279	165,44±14,229	102,6	136,98-193,9	62
RT 27	0-160	122,44±8,434	60,82	105,57 -139,31	49,6
NVHRT 16	0-196	27,46±9,056	65,3	9,35-45,57	237,8
NVHRT 30	0-183	165,42±4,736	34,15	155,95-174,89	20,6
NVHRT 34	0-130	125,69±2,468	17,79	120,75-130,62	14,1
RT 1	0-255	40,44±12,391	89,35	15,65-65,22	220,9
RT 10	0-155	123,23±6,836	49,29	109,55-136,9	40
RT13	0-315	29,06±12,480	89,99	4,1-54,02	309,7
RT 5	0-167	150,62±4,354	31,39	141,91-159,32	20,8
RT 9	0-129	113,88±0,398	2,87	113,08-114,67	2,5

Таблица 4. Коэффициенты корреляции аминокислот мышечной ткани и STR-локусов у оленей чукотской породы (n=52)

Локус	Коэффициент корреляции (r)																
	VAL	LEU	ILE	LYS	MET	PHE	THR	HIS	ASP	SER	GLU	GLY	ALA	CYS	TYR	ARG	PRO
NVHRT 21	-0,12	-0,112	-0,03	-0,023	0,016	-0,213	-0,027	-0,04	-0,162	0,069	-0,107	-0,086	-0,077	-0,11	-0,024	0,02	-0,159
NVHRT 24	0,025	0,087	0,062	-0,015	-0,029	-0,03	0,041	-0,044	0,002	-0,136	-0,089	-0,001	0,114	-0,212	-0,108	-0,045	0
NVHRT 48	-0,233	-0,106	-0,218	-0,242	0,08	-0,23	0,001	-0,265	-0,048	-0,034	-0,196	-0,174	-0,19	-0,159	-0,231	-0,105	-0,142
NVHRT 66	-0,172	-0,103	0,013	-0,058	-0,154	-0,159	-0,133	0,003	-0,256	-0,055	-0,197	-0,114	-0,081	-0,17	0,047	-0,067	-0,203
NVHRT 71	-0,074	-0,032	0,001	0,003	-0,053	-0,098	-0,216	0,014	-0,183	-0,341*	-0,14	-0,063	-0,01	0,021	-0,011	-0,059	-0,056
NVHRT 73	0,116	0,128	0,021	0,143	-0,222	-0,056	0,139	-0,015	0,129	0,08	0,107	0,156	0,119	-0,067	-0,134	0,046	0,252
RT 27	-0,275*	-0,233	-0,186	-0,222	-0,166	-0,263	-0,004	-0,304*	-0,123	0,004	-0,208	-0,121	-0,232	-0,087	-0,117	-0,177	0,02
NVHRT 16	0,066	0,089	-0,013	-0,082	0,17	-0,093	0,169	-0,213	0,177	0,111	0,135	0,146	0,093	-0,105	-0,187	0,033	0,292
NVHRT 30	-0,322*	-0,29*	-0,272*	-0,238	-0,158	-0,148	-0,437*	-0,141	-0,309*	-0,398*	-0,262	-0,28*	-0,285*	-0,189	-0,078	-0,235	-0,238
NVHRT 34	-0,211	-0,142	-0,194	-0,262	0,128	-0,187	-0,331*	-0,049	-0,162	-0,428*	-0,177	-0,268	-0,176	-0,12	-0,292*	-0,16	-0,045
RT 1	0,149	0,166	0,186	0,131	-0,006	0,04	0,021	0,218	0,048	-0,032	0,097	0,011	0,093	0,077	-0,012	0,227	0,236
RT 10	-0,116	-0,136	-0,061	-0,028	-0,227	-0,079	-0,144	0,03	-0,182	-0,216	-0,108	-0,026	-0,082	-0,156	0,043	-0,012	0,058
RT 13	0,235	0,188	0,211	0,187	0,042	0,088	-0,014	0,252	0,086	-0,066	0,159	0,114	0,109	0,086	0,054	0,218	0,119
RT 24	-0,154	-0,085	-0,12	-0,154	0,072	-0,068	-0,222	-0,071	-0,127	-0,17	-0,103	-0,119	-0,074	-0,123	-0,095	-0,171	0,077
RT 5	-0,029	-0,108	0,02	-0,039	-0,089	0,096	-0,214	0,123	-0,158	-0,245	-0,114	-0,026	-0,061	0,076	0,124	-0,137	0,058
RT 9	-0,124	-0,068	-0,095	-0,111	-0,037	-0,214	-0,031	-0,127	-0,058	-0,206	-0,121	-0,137	-0,089	-0,187	-0,189	0,034	-0,05

Примечание. *Статистически достоверно.

ходились практически на уровне прямой и тесной связи ($r \approx 1,0$). Значение межлокусных корреляций состоит в том, что они обуславливают взаимодействие между генами [18]. В изученной выборке оленей чукотской породы большинство STR-локусов отрицательно и статистически недостоверно коррелировало между собой, что свидетельствует об отсутствии связи между ними. Статистически значимыми оказались только следующие межлокусные взаимодействия: locus NVHRT21 коррелировал с локусами NVHRT66 ($r=0,648-0,706$), NVHRT71 ($r=0,393-0,442$) и RT9 ($r=0,326-0,347$); locus NVHRT48 – с RT27 ($r=0,309-0,411$); locus NVHRT66 – с NVHRT71 ($r=0,585-0,643$) и RT27 ($r=0,396-0,429$); locus NVHRT71 – с RT10 ($r=0,401-0,442$) и RT9 ($r=0,320$); locus NVHRT30 – с NVHRT34 ($r=0,684-0,695$) и RT24 ($r=0,376-0,412$); locus NVHRT34 – с RT24 ($r=0,562-0,578$); locus RT1 – с RT13 ($r=0,386-0,409$); locus RT10 с RT9 ($r=0,327-0,433$). Ген RT13 отрицательно, но статистически значимо коррелировал с NVHRT66 ($r=-0,309...-0,397$), с NVHRT71 ($r=-0,409...-0,414$) и RT27 ($r=-0,333...-0,359$).

В результате исследования ассоциаций полиморфизмов микросателлитных локусов и количественного содержания аминокислот установлено, что большинство коэффициентов корреляции аминокислот с STR-маркерами оказалось со знаком минус (обратная зависимость), незначительными по величине и статистически недостоверными, что практически указывает на отсутствие связи между признаками (табл. 4).

Вместе с тем обнаружено, что некоторые аминокислоты статистически значимо коррелировали с отдельными микросателлитными локусами. В частности, незаменимые аминокислоты VAL, LEU, ILE, THR взаимодействовали с NVHRT 30 с коэффициентом корреляции равным: $r_1 = -0,322$ ($P>0,95$); $r_2 = -0,290$ ($P>0,95$); $r_3 = -0,272$ ($P>0,95$) и $r_4 = -0,437$ ($P>0,99$), соответственно.

На таком же уровне коррелировали и заменимые аминокислоты: ASP ($r = -0,309$; $P>0,95$), SER ($r = -0,398$; $P>0,99$), GLY ($r = -0,280$; $P>0,95$). Лocus RT27 ассоциирован с VAL ($r = -0,275$; $P>0,95$) и HIS ($r = -0,304$; $P>0,95$); NVHRT 34 - с THR ($r = -0,331$; $P>0,95$). Аминокислота SER связана с тремя локусами: с NVHRT71 ($r = -0,341$; $P>0,95$), NVHRT30 ($r = -0,398$; $P>0,99$) и NVHRT34 ($r = -0,428$; $P>0,99$).

Известно, что для эукариот типична групповая регуляция работы нескольких генов, принадлежащих разным оперонам. Большая часть аминокислот кодируется несколькими кодонами. Для структурных генов характерно мозаичное строение: участки молекулы ДНК, кодирующие аминокислоты в полипептидной цепи, — экзоны (кДНК) чередуются с интронами — участками, не обладающими такой способностью.

Отношения сцепления между генетическими маркерами и локусами количественных признаков (QTL) представляют геномную информацию, которую можно использовать при отборе с помощью маркеров по интересующим признакам [16-18].

Процесс перевода триплетной последовательности нуклеотидов молекулы ДНК в последовательность аминокислот белковой молекулы осуществляется с помощью генетического кода. Порядок чередования аминокислот определяет специфичность первичной молекулы белка. Каждая из 20 аминокислот может встречаться многократно, но местонахождение контролируется ДНК. В результате биосинтеза происходит реализация и конвер-

сия наследственной информации молекулы ДНК в свойства и признаки организма [28, 29].

Молекулярная генетика позволяет идентифицировать гены, контролирующие продуктивные признаки сельскохозяйственных животных. Выявление перспективных генотипов в раннем возрасте дает возможность проводить ранний направленный отбор в процессе селекционной работы.

Заключение. Полученные данные о корреляциях STR-локусов и аминокислот в мясе северных оленей чукотской породы укладываются в рамки известного тезиса о том, что микросателлиты расположены, главным образом, в не кодирующих зонах молекулы ДНК, но могут находиться и в промоторных областях и иметь сцепление с генами-кандидатами локусов количественных признаков.

Знаний, полученных в результате проведенной научно-исследовательской работы, недостаточно для однозначных выводов. Необходимо продолжить исследования в избранном направлении на других популяциях ареала с целью накопления более значимых объемов информации.

Литература

1. Protein and amino acid requirements in human nutrition: Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation WHO technical report series Geneva, Switzerland World Health Organization. — 2007. — № 935. — 265 p.
2. Молчанова Е. Н. Физиология питания. / Сборник: Троицкий Мост. — 2013. — 240 с.
3. Picard B. Skeletal muscle proteomics in livestock production / B. Picard, C. Berri, L. Lefaucheur, C. Molette, T. Sayd, C. Terlouw // Briefings in Functional Genomics. — 2010. — № 9(3). — P.259-278.
4. Rodrigues R. T. Differences in beef quality between angus (Bos taurus taurus) and nellore (Bos taurus indicus) cattle through a proteomic and phosphoproteomic approach / R. T. Rodrigues, M. L. Chizzotti, C. E. Vital, et al. PLoS ONE. — 2017. — №12(1).
5. Dimov K., Kalev R., Penchev P. Effect of finishing diet with excluded silage on amino-acid, fatty-acid, and mineral composition of meat (m. longissimus dorsi) in calves / K. Dimov, R. Kalev, P. Penchev // Bulg. J. Agric. Sci. 2012. — №18(2). — P. 288-295.
6. Hoffman L. C. The effects of region and gender on the fatty acid, amino acid, mineral, myoglobin and collagen contents of impala (Aepyceros melampus) meat / L. C. Hoffman, B. Kritzing, A. Ferreira V Meat Science. — 2005. — № 69(3). — P. 551-558.
7. Абрамов А. Ф., Неустроев М. П., Степанов К. М., Роббек Н. С. Мясная продуктивность и пищевая ценность мяса домашних северных оленей Якутии. — М. — 2011. — 117 с.
8. Инструкция по бонитировке северных оленей. — Новосибирск. — 1988. — 20 с.
9. Мухачев А. Д. Племенная работа в северном оленеводстве: метод. рекомендации / под. ред. А. И. Соломаха [и др.] // ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. НИИСХ Крайнего Севера. — Новосибирск. — 1988. — С. 3-5.
10. Зиновьева Н. А. и др. Введение в молекулярную генную диагностику сельскохозяйственных животных. — Дубровицы. — 2002. — 112 с.
11. Шейко И. П., Ганджа А. И., Журина Н. В., Ковальчук М. А., Курак О. П. Методические рекомендации по применению технологии генотипирования свиней по микросателлитным локусам ДНК. — Жодино. — 2015. — С. 1-17.
12. Банникова А. А. Молекулярные маркеры и современная филогенетика млекопитающих / А. А. Банникова // Журнал общей биологии. — 2004. — Т. 65. — С. 278-305.

13. Wang, W. Polymorphism of growth hormone gene in 12 pig breeds and its relationship with pig growth and carcass traits / W. Wang, L. Huang, J. Gao et. al. Asian-Australasian J, Anim. Sci. — 2003. — Vol. 16 (2). — P. 161-164.
14. Ibeagha-Awemu E.M. Critical analysis of production-associated DNA polymorphisms in the genes of cattle, goat, sheep, and pig / E. M. Ibeagha-Awemu, P. Kgwatalala, X. A. Zhao // Mammalian Genome. — 2008. — Vol. 19. — P. 591-617.
15. Li C. The identification of common haplotypes on bovine chromosome 5 within commercial lines of Bos Taurus and their associations with growth traits / C. Li, J. Basarab, W. M. Snelling et. al. // Journals of Animal Science. — 2002. — Vol. 80. — P. 1187-1194.
16. Глазко В. И. ISSR-PCR маркеры и мобильные генетические элементы в геномах сельскохозяйственных видов млекопитающих / В. И. Глазко, Е. А. Гладырь, А. В. Феофилов. // Сельскохозяйственная биология. — 2013. — №2. — С. 71-76.
17. Хемлебен В. Сателлитные ДНК / В. Хемлебен, Т. Беридзе, Л. Бахман, Я. Коварик, Р. Торрес // Успехи биологической химии. — 2003. — Т. 43. — С. 267-306.
18. Хлесткина Е. К. Молекулярные маркеры в генетических исследованиях и в селекции / Е. К. Хлесткина // Вавиловский журнал генетики и селекции. — 2013. — Том 17. — № 4/2. — С. 1044-1054.
19. ГОСТ 34132-2017. Межгосударственный стандарт Мясо и мясные продукты. Методы определения аминокислотного состава животного белка. Meat and meat products. Determination of amino acids composition of animal protein. МКС 67.120.10 / Дата введения 2019-01-01.
20. Методические указания по идентификации племенных животных. (Составители Дунин И. М., Калашников А. Е., Калашникова Л. А., Павлова И. Ю. и др.). — ВНИИплем. — Лесные Поляны. — 2020. — 95 с.
21. Wilson G. A. Characterization of microsatellite loci in caribou Rangifer tarandus, and their use in other artiodactyls / G. A. Wilson, C. Strobeck, L. Wu, J. W. Coffin // Mol Ecology. — 1997. — Vol.6. — P. 697-699.
22. Roed K. H. Microsatellites in reindeer, Rangifer tarandus and their use in other cervids / K. H. Roed, L. Midthjell // Mol Ecology. — 1998. — Vol.7 (12). — P. 1773-1776.
23. Меркурьева Е. К. Биометрия в селекции и генетике сельскохозяйственных животных. — М.: Колос. — 1970. — 422 с.
24. Фальконер Д. С. Введение в генетику количественных признаков. — М.: Агропромиздат. — 1985. — 486 с.
25. Алтухов Ю. П. Генетические процессы в популяциях. — М. — 1983. — 279 с.
26. Дейчман А. М. Генетический код: взаимодействие аминокислот белков (фрагментов, пептидов) в соответствии с различными правилами, принципами, кодами. Правило исключений // М.: Рукопись деп. в ВИНТИ. — 1996. — №2080-В96. — 53с. URL: www.amdeich-var-reverse-translation.ru. (дата обращения: 12.09.2021).
27. Сурундаева Л. Г. Ранняя диагностика аминокислотного состава мяса крупного рогатого скота по носительству мутации гена CAPN1 / Л. Г. Сурундаева, Д. Б. Косян, Е. А. Русакова, О. В. Кван, Е. В. Шейда // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 2.
28. Go M. Correlation of DNA exonic regions with protein structural units in hemoglobin / M. Go // Nature. — 1981. — Vol.291. — P. 90-92.
29. Zuckerkandl E., Pauling L. Evolutionary divergence and convergence in proteins // In: Evolving Genes and Proteins. Eds. V. Bryson, H.J. Vogel. N. Y.: Academic Press. — 1965. — P. 97-166.

Brizgalov G., Ignatovich L.

Associations of DNA microsatellite locus and muscle protein amino acids in *Rangifer Tarandus* reindeer

Abstract.

Purpose: study the correlations of STR-markers of DNA and amino acids of reindeer meat protein.

Materials and methods: Amino acid analysis was performed according to GOST 34132-2017 «Meat and meat products. Method for determining the amino acid composition of animal protein». When setting up multiplex

PCR STR, primers and microsatellite DNA loci used for deer (Cervidae) were taken. The nomenclature of loci corresponds to the world standard.

Results. Information is provided on the quantitative content of amino acids in the protein of *M. longissimus dorsi*, on the size of amplicons, the association of amino acids and STR loci in a sample of Chukchi deer. The coefficient of variability of essential amino acids ranged from 7.9 to 11.8 %, which can provide an acceptable level of selection for this trait. Amino acids are associated with each other mainly statistically significantly, the degree of closeness of the relationship varies from medium to strong. Less closely correlated with other amino acids were methionine and proline. Most indicators of the relationship between microsatellite loci and amino acids turned out to be insignificant in magnitude, statistically unreliable and reverse in direction, which practically indicates the absence of a relationship between the traits. At the same time, a significant correlation of individual STR markers with amino acids was revealed. In particular, the NVHRT30 locus is associated with the essential amino acids VAL, LEU, ILE, THR with a coupling coefficient equal to: $r_1 = -0.322$; $r_2 = -0.290$; $r_3 = -0.272$ and $r_4 = -0.437$, respectively.

Conclusion. The data obtained fit into the framework of the well-known thesis about the localization of microsatellites mainly in the non-coding regions of the DNA molecule. However, they can also be located in promoter regions and have linkage with candidate genes of quantitative trait loci. It is necessary to continue research in the chosen direction on other populations of the range in order to accumulate more significant amounts of information.

Key words: reindeer, Chukchi breed, muscle tissue, amino acids, STR-markers, correlations, selection.

Authors:

Brizgalov G. - Leading Researcher; e-mail: agrarian@maglan.ru;

Ignatovich L. - Senior Researcher; e-mail: agrarian@maglan.ru.

Magadan Agricultural Research Institute, Russia 68500, Magadan, Proletarskaya street,17.

References

1. Protein and amino acid requirements in human nutrition: Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation WHO technical report series Geneva, Switzerland World Health Organization. – 2007. – № 935. – 265 p.
2. Molchanova E. N. Physiology of nutrition. / Collection: Trinity bridge. – 2013. – 240 p.
3. Picard B. Skeletal muscle proteomics in livestock production / B. Picard, C. Berri, L. Lefaucheur, C. Molette, T. Sayd, C. Terlouw // Briefings in Functional Genomics. – 2010. – № 9(3). – P.259-278.
4. Rodrigues R. T. Differences in beef quality between angus (*Bos taurus taurus*) and nellore (*Bos taurus indicus*) cattle through a proteomic and phosphoproteomic approach / R. T. Rodrigues, M. L. Chizzotti, C. E. Vital, et al. PLoS ONE. – 2017. – №12(1).
5. Dimov K., Kalev R., Penchev P. Effect of finishing diet with excluded silage on amino-acid, fatty-acid, and mineral composition of meat (*m. longissimus dorsi*) in calves / K. Dimov, R. Kalev, P. Penchev // Bulg. J. Agric. Sci. 2012. – №18(2). – P. 288-295.
6. Hoffman L. C. The effects of region and gender on the fatty acid, amino acid, mineral, myoglobin and collagen contents of impala (*Aepyceros melampus*) meat / L. C. Hoffman, B. Kritzing, A. Ferreira V Meat Science. – 2005. – № 69(3). – P. 551-558.
7. Abramov A.F., Neustroev M.P., Stepanov K.M., Robbek N. S. Meat productivity and nutritional value of the meat of the home northern deer of Yakutia // M. – 2011. – 117 p.
8. The instructions for the northern deer are bonitic // Novosibirsk. – 1988. – 20 p.
9. Mukhachev A. D. Tribal work in the northern reindeer husbandry: Method. Recommendations / under. Ed. A.I. Solomakh [et al.] // Vaskhnil. Sib. Department. NIIISH of the Far North. – Novosibirsk. – 1988. – P. 3-5.
10. Zinovieva N. A. et al. Introduction to molecular genetic diagnosis of agricultural animals // Dubrovitsa. – 2002. – 112 p.
11. Sheiko I. P., Ganja A. I., Zhurina N. V., Kovalchuk M. A., Kurak O. P. Methodological recommendations on the use of pigs genotyping using microsatellite locums of DNA // Zhodino. – 2015. – P. 1-17.
12. Bannikova A. A. Molecular markers and modern phylogenetics of mammals / A. A. Bannikova // Journal of General Biology. – 2004. – Vol. 65. – P. 278-305.
13. Wang, W. Polymorphism of growth hormone gene in 12 pig breeds and its relationship with pig growth and carcass traits / W. Wang, L. Huang, J. Gao et. al. Asian-Australasian J, Anim. Sci. – 2003. – Vol. 16 (2). – P. 161-164.

14. Ibeagha-Awemu E.M. Critical analysis of production-associated DNA polymorphisms in the genes of cattle, goat, sheep, and pig / E. M. Ibeagha-Awemu, P. Kgwatalala, X. A. Zhao // *Mammalian Genome*. — 2008. — Vol. 19. — P. 591-617.
15. Li C. The identification of common haplotypes on bovine chromosome 5 within commercial lines of *Bos Taurus* and their associations with growth traits / C. Li, J. Basarab, W. M. Snelling et. al. // *Journals of Animal Science*. — 2002. — Vol. 80. — P. 1187-1194.
16. Glazko V. I. Issr-PCR Markers and mobile genetic elements in the genomes of agricultural species of mammals / V.I. Glazko, E. A. Gladir, A. V. Feofilov. // *Agricultural Biology*. — 2013. — №2. — P. 71-76.
17. Hemleben V. satellite DNA / V. Hemleben, T. Beridze, L. Bakhman, J. Kovarik, R. Torres // *Successes of biological chemistry*. — 2003. — Vol. 43. — P. 267-306.
18. Khleskina E.K. Molecular markers in genetic research and selection / E.K. Khleskina // *Vavilovsky Journal of Genetics and Selection*. — 2013. — Vol. 17. — № 4/2. — P. 1044-1054.
19. 34132-2017. Interstate standard meat and meat products. Methods for determining the amino acid composition of animal protein. Meat and Meat Products. Determination of Amino Acids Composition of Animal Protein. MKC 67.120.10 / Date of introduction 2019-0101.
20. Methodological instructions for identifying tribal animals. (Compilers Dunin I. M., Kalashnikov A. E., Kalashnikova L. A., Pavlova I. Yu. Et.). — VNIIOLOV. — Forest glades. — 2020. — 95 p.
21. Wilson G. A. Characterization of microsatellite loci in caribou *Rangifer tarandus*, and their use in other artiodactyls / G. A. Wilson, C. Strobeck, L. Wu, J. W. Coffin // *Mol Ecology*. — 1997. — Vol.6. — P. 697-699.
22. Roed K. H. Microsatellites in reindeer, *Rangifer tarandus* and their use in other cervids / K. H. Roed, L. Midthjell // *Mol Ecology*. — 1998. — Vol.7 (12). — P. 1773-1776.
23. Merkuryeva E. K. Biometry in the selection and genetics of agricultural animals. — M.: Kolos. — 1970. — 422 p.
24. Falconer D.S. The introduction of quantitative features into the genetics. — M.: Agropromizdat. — 1985. — 486.
25. Altukhov Yu. P. Genetic processes in populations. — M. — 1983. — 279 p.
26. Deichman A. M. Genetic code: the interaction of amino acids of proteins (fragments, peptides) in accordance with various rules, principles, codes. Rule of exceptions // M.: Manuscript Dep. In Viniti. — 1996. — №2080-V96. — 53 p. URL: www.amdeich-var-reverse-translation.ru. (Date of circulation: 12.09.2021).
27. Surundaeva L. G. Early diagnosis of amino acid composition of cattle meat on the carriage of the mutation of the *Capn1* / L. G. Surundaeva, D. B. Kosyan, E. A. Rusakov, O. V. Kvan, EV Sheida // *Modern problems of science and education*. — 2014. — № 2.
28. Go M. Correlation of DNA exonic regions with protein structural units in hemoglobin / M. Go // *Nature*. — 1981. — Vol.291. — P. 90-92.
29. Zuckerkandl E., Pauling L. Evolutionary divergence and convergence in proteins // In: *Evolving Genes and Proteins*. Eds. V. Bryson, H.J. Vogel. N.Y.: Academic Press. — 1965. — P. 97-166.