Научная статья
УДК636.082.12:631.223.4
doi:10.35694/YARCX.2025.70.2.015

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЫЗЫВАЮЩИЕ ПОЯВЛЕНИЕ СЕДИНЫ В ЗОНАХ ДЕПИГМЕНТАЦИИ У ЧЁРНЫХ НЕМЕЦКИХ ОВЧАРОК

Екатерина Олеговна Графова
Ярославский государственный аграрный университет, Ярославль, Россия
GrafDorf@yandex.ru

Реферат. Представлен анализ наследования окраса шерсти у длинношёрстных немецких овчарок, разводимых в условиях племенного кинологического питомника «Граф Дорф». Цель исследования – изучить генетические детерминанты, обуславливающие появление седых волос в зонах депигментации у немецких овчарок с чёрным окрасом шерсти. Для достижения поставленной цели определили возможные фенотипы окраса шерсти у чёрных немецких овчарок питомника «Граф Дорф» при помощи гибридологического анализа. Экспериментальные данные показывают, что аллель K^B в гомозиготном или гетерозиготном состоянии не связан с появлением или отсутствием седины у чёрных немецких овчарок. В потомстве чёрной суки с осветлёнными зонами депигментации (генотип K^B/noK^B) и чёрного кобеля (генотип K^B/K^B) наблюдали щенков с генотипом K^B/K^B, у которых также присутствует седина в тех же зонах, что и у матери. При вязке другой суки с генотипом K^B/noK^B и чепрачного кобеля получены щенки чепрачного и чёрного окрасов, однако все чёрные щенки не имели осветлённых участков. Это дополнительно подкрепляет наше предположение о том, что аллель K^B не влияет на появление или отсутствие седины в зонах депигментации.

Ключевые слова: *аллели, агути сигнальный протеин, тирозиназа-зависимый белок 1, бета-дефензин 103*

GENETIC FACTORS CAUSING GRAYING IN DEPIGMENTATION ZONES IN BLACK GERMAN SHEPHERDS

Ekaterina O. Grafova
Yaroslavl State Agrarian University, Yaroslavl, Russia
GrafDorf@yandex.ru

Abstract. An analysis of the hair color inheritance in long-haired German shepherds bred in the conditions of the breeding cynological kennel "Graf Dorf" is presented. The goal of research is to study the genetic determinants that cause the appearance of gray hair in depigmentation zones in German shepherds with a black coat color. To achieve this goal, possible phenotypes of coat color in black German shepherds of the kennel "Graf Dorf" were determined using hybridological analysis. Experimental data show that the K^B allele in a homozygous or heterozygous state is not associated with the appearance or absence of gray hair in black German shepherds. In the offspring of a black female dog with lightened depigmentation zones (genotype K^B/no K^B) and a black male (genotype K^B/K^B), puppies with genotype K^B/K^B were observed, which also had gray hair in the same zones as in the mother. When mating another female dog with the genotype K^B/noK^B and a saddle male, puppies of black and saddle colors were obtained, however, all black-colored puppies did not have any lightened areas. This further supports our assumption that the K^B allele does not affect the appearance or absence of gray hair in depigmentation zones.

Keywords: *alleles, agouti signaling protein, tyrosinase-related protein1, beta-defensin 103*

Введение. Немецкая овчарка – порода собак, относящаяся к группе 1 по классификации FCI. Представители породы имеют слегка растянутое телосложение, средние размеры, хорошую развитую мускулатуру и сухой костяк. Стандартными окрасами являются чёрно-жёлтый, чёрно-серый, чёрно-рыжий с разной степенью интенсивности, зонарно-серый и зонарно-рыжий [1]. Чёрные немецкие овчарки являются редкими представителями данной породы, которые примечательны сплошным однотонным окрасом. В связи с тем, что в практической деятельности кинологического

питомника «Граф Дорф» при разведении длинношёрстных немецких овчарок обнаруживаются особи чёрного цвета с сединой и без седины в зонах депигментации с генотипами K^B/noK^Bи K^B/K^B, была поставлена цель – изучить и описать наследование чёрного окраса шерсти у собак питомника.

Для достижения цели были выполнены следующие задачи:

– изучить аллели, формирующие чёрный окрас шерсти у немецких овчарок;

– рассмотреть аллели, которые влияют на распределение пигмента и интенсивность пигментации;

– охарактеризовать подбор пар и проанализировать особенности окраса полученного потомства.

Для немецкой овчарки знание закономерностей наследования чёрного окраса играет ключевую роль в селекции и в племенной работе с породой, так как:

– разведение чистопородных немецких овчарок должно сопровождаться соблюдением стандартов породы;

– заводчики заинтересованы в получении качественного потомства с желаемыми признаками;

– исследование генетической основы окрасов шерсти способствует развитию фундаментальных знаний о механизмах наследственности и экспрессии генов;

– определённые окрасы являются более востребованными, что обуславливает высокую рыночную стоимость собак.

Таким образом, актуальность исследования заключается в том, что существует потребность в повышении эффективности племенной работы с немецкими овчарками для получения особей со сплошным чёрным окрасом. Также эти исследования могут значительно расширить знания о наследовании окрасов шерсти у немецких овчарок и собак в целом.

Материалы и методы. Исследование выполнено на базе племенного кинологического питомника «Граф Дорф», расположенного по адресу: д. Бойтово, Ивняковское сельское поселение, Ярославский район, Ярославская область. В качестве объекта исследований были использованы племенные собаки породы длинношёрстная немецкая овчарка, характеристика которых представлена в таблице 1.

Для установления возможных фенотипов окраса шерсти у немецких овчарок применили метод гибридологического анализа, основанный на изучении наследственных качеств организма путём спаривания его с родственной формой и по-

Таблица 1 – Характеристика производителей, используемых для получения потомства

№ животного	Генотип	Фенотип
Суки (n = 4)		
1	K^B/noK^B	Чёрный окрас с сединой в зонах депигментации
2	K^B/noK^B	Чёрный окрас с сединой в зонах депигментации
3	K^B/K^B	Чёрный окрас с сединой в зонах депигментации
4	K^B/noK^B	Чёрный окрас без седины в зонах депигментации
Кобели (n = 5)		
1	K^B/K^B	Чёрный окрас без седины в зонах депигментации
2	A^t/A^t	Чепрачный окрас
3	A^t/A^t	Чепрачный окрас
4	A^t/A^t	Чепрачный окрас с зачернением
5	A^t/A^t	Чепрачный окрас

Таблица 2 – Генетика чёрного окраса собак

Локус	Ген	Аллель	Генотип	Фенотипическое проявление
A (aguti)	ASIP (агути сигнальный протеин)	a	aa	Рецессивный чёрный окрас
B (brown)	TYRP1 (тирозиназа-зависимый белок 1)	B	BB	Чёрный окрас шерсти и носа
			Bв	Чёрный окрас шерсти и носа
K (black)	CBD103 (бета-дефензин 103)	K^B	K^B/K^B	Сплошной чёрный окрас в зонах пигментации
			K^B/K^{br}	Сплошной чёрный окрас в зонах пигментации
			K^B/K^y	Сплошной чёрный окрас в зонах пигментации

следующим анализом признаков у полученного потомства. Аллели, определяющие формирование чёрного окраса шерсти, а также аллели, оказывающие влияние на распределение и интенсивность пигментации, были выявлены методом контент-анализа научной литературы.

Результаты и обсуждение. Изучение наследования чёрного окраса у немецких овчарок представляет собой интересный вопрос, так как он является редким вариантом фенотипического проявления в породе. Это связано с тем, что в послевоенные годы на территории нашей страны его сохранение не отслеживалось.

Тарасенкова Н. А. и Коптев В. В. указывают на несколько функций генов, которые могут формировать тот или иной окрас. В первую очередь,

Таблица 3 – Анализ результатов подбора пар в племенном кинологическом питомнике «Граф Дорф»

1 ВАРИАНТ			
P	♀ № 1 K^B/noK^B (чёрный окрас с сединой в зонах депигментации)	♂ № 1 K^B/K^B (чёрный окрас без седины в зонах депигментации)	
F1:	K^B/K^B (чёрный окрас)	K^B/noK^B (чёрный окрас с сединой в зонах депигментации)	**K^B/K^B (чёрный окрас с сединой в зонах депигментации)**
%	50,0	33,3	16,7
2 ВАРИАНТ			
P	♀ № 1 K^B/noK^B (чёрный окрас с сединой в зонах депигментации)	♂ № 1 K^B/K^B (чёрный окрас без седины в зонах депигментации)	
F1:	K^B/K^B (чёрный окрас)	K^B/noK^B (чёрный окрас с сединой в зонах депигментации)	
%	80,0	20,0	
3 ВАРИАНТ			
P	♀ № 1 K^B/noK^B (чёрный окрас с сединой в зонах депигментации)	♂ № 2 A^t/A^t (чепрачный окрас)	
F1:	K^B/noK^B (чёрный окрас с сединой в зонах депигментации)	A^t/A^t (чепрачный окрас)	
%	63,6	36,4	
4 ВАРИАНТ			
P	♀ № 2 K^B/noK^B (чёрный окрас с сединой в зонах депигментации)	♂ № 3 A^t/A^t (чепрачный окрас)	
F1:	A^t/A^t (чепрачный окрас)	K^B/noK^B (чёрный окрас с сединой в зонах депигментации)	
%	50,0	50,0	
5 ВАРИАНТ			
P	♀ № 2 K^B/noK^B (чёрный окрас с сединой в зонах депигментации)	♂ № 4 A^t/A^t (чепрачный окрас с зачернением)	
F1:	A^t/A^t (чепрачный окрас)	**K^B/noK^B (чёрный окрас)**	K^B/noK^B (чёрный окрас с сединой в зонах депигментации)
%	57,1	28,6	14,3
6 ВАРИАНТ			
P	♀ № 3 K^B/K^B (чёрный окрас с сединой в зонах депигментации)	♂ № 2 A^t/A^t (чепрачный окрас)	
F1:	K^B/noK^B (чёрный окрас с сединой в зонах депигментации)		
%	100		
7 ВАРИАНТ			
P	♀ № 4 K^B/noK^B (чёрный окрас без седины в зонах депигментации)	♂ № 5 A^t/A^t (чепрачный окрас)	
F1:	**K^B/noK^B (чёрный окрас)**	A^t/A^t (чепрачный окрас)	
%	60,0	40,0	

обращают внимание на гены, инициирующие синтез пигмента, отвечающего за тот или иной цвет. Уже во вторую очередь принимают во внимание те гены, которые распределяют пигменты по волосу или корпусу собаки, влияют на интенсивность окраса или отвечают за возникновение пятнистости [2].

Известны три основных локуса, которые могут формировать чёрный окрас у собак (табл. 2).

Аллель a (рецессивный чёрный) локуса A встречается чаще всего у пастушьих пород собак и считается единственной причиной появления чёрного цвета у немецких овчарок [3]. Локус B (brown) отвечает за проявление коричневого окраса шерсти. В TYRP1 обнаружены аллели b^s, b^d, b^c, комбинация любых двух из которых вызовет формирование коричневого цвета шерсти, но каждый из них рецессивен по отношению к аллелю B, который отвечает за появление чёрного окраса [4]. Локус K является регулятором проявления действия аллелей гена ASIP. Известны три аллеля данного локуса:

– K^B – аллель доминантного чёрного окраса;

– K^{br} – аллель тигрового окраса;

– K^y – аллель, позволяющий в полной мере проявиться аллелям локуса A [5].

Аллель K^B доминирует над двумя другими аллелями. В гетеро- и гомозиготном состоянии и при наличии одного аллеля E или E^m в MCR1 он должен приводить к проявлению сплошного чёрного окраса в зонах пигментации у собак. Однако при разведении немецких овчарок в питомнике «Граф Дорф» возникли сомнения в данном утверждении (табл. 3).

В трёх случаях из семи при подборе пар по фенотипу мы получили то, что предполагали ранее. При вязке кобеля № 1 и суки № 1 (вариант 2) получено 80% щенков с генотипом K^B/K^B чёрного окраса и 20% – с генотипом K^B/noK^B чёрного окраса с сединой в области бёдер и лопаток. При вязке этой же суки с чепрачным кобелём (№ 2) получено одиннадцать щенков – четыре чепрачных и семь чёрных, которые имели осветление чёрного окраса различной интенсивности в области лопаток и бёдер (генотип K^B/noK^B). При вязке суки № 2 (чёрный окрас с сединой, генотип K^B/noK^B) с чепрачным кобелем № 3 получили 3 чепрачных и 3 чёрных щенка с осветлёнными участками шерсти в области тазобедренных суставов при таком же генотипе, как у матери.

Наиболее интересная ситуация наблюдалась в следующих вариантах подбора пар:

– при первом варианте, кобель № 1 (K^B/K^B, чёрный сплошной окрас) и сука № 1 (K^B/noK^B, чёрный окрас с сединой) – получено шесть щенков, из которых один щенок имел чёрный окрас с сединой, как и у матери, при установленном генотипе K^B/K^B;

– от суки № 2 и кобеля № 4 было получено 28,6% щенков чёрного окраса без осветления в зонах депигментации, генотип K^B/noK^B;

– при осуществлении вязки суки № 3 чёрного окраса с сединой в зонах депигментации с генотипом K^B/K^B с чепрачным кобелем № 2 было получено 8 щенков чёрного окраса, у которых в 100% случаев визуально отмечено осветление чёрного окраса;

– при проведении вязки суки № 4 чёрного окраса (K^B/noK^B) и чепрачного кобеля № 5 получено 60% щенков чёрного окраса без седины при генотипе K^B/noK^B.

В связи с полученными результатами было решено найти локусы, которые могут повлиять на

Таблица 4 – Локусы, влияющие на распределение цвета и интенсивность пигментации [4; 6–9]

Локус	Ген	Аллель	Генотип	Фенотипическое проявление
D (diluteseumelanin)	MLPH (меланофилин)	D	DD	Интенсивный окрас
			Dd	Интенсивный окрас у пробанда, но может быть ослабленный у потомков
E (extension)	MC1R (рецептор меланокортина 1)	E	EE	Тёмный чёрный
			Ee	Тёмный чёрный
			E^mE	Тёмный чёрный
S (spotting)	MITF (фактор транскрипции, ассоциированный с микрофтальмией)	S	SS	Сплошной окрас
			Ss	Сплошной окрас или псевдоирландская пятнистость
G (progressivegrey)	–	g	gg	Чёрный цвет без посерения окраски с возрастом
Int (intensive)	–	Int	–	Светлый подпал
		Int^m		Средняя интенсивность подпала
		int		Наиболее яркий подпал

наличие или отсутствие седины в зонах депигментации у чёрных немецких овчарок с генотипами K^B/K^B и K^B/noK^B (табл. 4).

Таким образом, формирование различных вариантов чёрного окраса у немецких овчарок обусловлено сложными взаимодействиями между разными локусами и соответствующими аллелями. Наличие гена доминантного чёрного окраса (аллель K^B) играет ключевую роль, но конечный фенотип определяется комбинацией множества других генов, каждый из которых оказывает своё влияние на внешний вид особи.

Выводы. В ходе проведённых нами исследований установлено, что чёрный окрас у собак формируется тремя аллелями: a – рецессивный чёрный, K^B – доминантный чёрный и B – аллель локуса B (brown), доминирующий над аллелем коричневого окраса (b). Кроме того, аллели D, E, S, G и Int могут влиять на интенсивность чёрного окраса, распределение пигмента и появление пятнистости.

При проведении серии спариваний чёрных сук гомозиготных или гетерозиготных по аллелю K^B с кобелями чёрного или чепрачного окрасов обнаружено, что аллель доминантного чёрного окраса не влияет на отсутствие или наличие седины в зонах депигментации. От разных пар были получены щенки с генотипами K^B/K^B и K^B/noK^B, у которых был установлен чёрный окрас, как с отсутствием седины, так и с её наличием. Следовательно, планируется отобрать пробы крови у двух пар сук и кобелей, имеющих гомозиготное и гетерозиготное состояние гена K^B, с целью проведения сравнительного анализа результатов полимеразной цепной реакции на наличие генов, которые могут влиять на проявление осветления окраса в области бедра и лопаток. Результаты данного исследования будут иметь практическое значение для селекционной работы в питомнике «Граф Дорф», позволяя избегать нежелательного проявления седины, а также полученные данные могут быть использованы в дальнейших исследованиях генетики окраса шерсти у собак различных пород.

Список источников

1. Стандарт FCI № 166 / 23.12.2010. DE. 8 с. URL: https://www.fci.be/en/nomenclature/GERMAN-SHEPHERD-DOG-166.html (дата обращения: 13.03.2025).

2. Тарасенкова Н. А., Коптев В. В. Значение ДНК-маркеров для современного собаководства // Вестник АПК Верхневолжья. 2015. № 1 (29). С. 44–52. EDN UHSYLJ.

3. Gladkikh M. Yu., Kuznetsova O. V., Markov A. V., Maximenko M. A. A Case of Dominant Black Coat Color in Russian Populations of German Shepherd Dogs // XV International Scientific Conference «INTERAGROMASH 2022». 2023. № 575. P. 2394–2400. DOI 10.1007/978-3-031-21219-2_268.

4. Schmutz S. M., Berryere T. G. Genes affecting coat colour and pattern in domestic dogs: a review // Animal Genetics. 2007. Vol. 38, Is. 6. P. 539–549. DOI 10.1111/j.1365-2052.2007.01664.x.

5. Turnova E. H., Bielikova M., Kostal V. [et al.] Occurrence of the dominant black K allele of CBD103 in German Shepherd Dogs // Animal Genetics. 2022. Vol. 53, Is. 2. P. 230–231. DOI 10.1111/age.13171.

6. Philipp U., Hamann H., Mecklenburg L. [et al.] Polymorphisms within the canine *MLPH* gene are associated with dilute coat color in dogs // BMC Genetics. 2005. № 6:34. DOI 10.1186/1471-2156-6-34.

7. Kowalewska I. Characteristics of the *MC1R* gene as a locus e affecting coat color in dogs // Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis Agricultura Alimentaria Piscaria et Zootechnica. 2023. № 369 (68). P. 23–29. DOI 10.21005/AAPZ2023.68.4.3.

8. Schmutz S. M., Berryere T. G., Dreger D. L. MITF and White Spotting in Dogs: A Population Study // Journal of Heredity. 2009. Vol. 100, Is. suppl_1. P. S66–S74. DOI 10.1093/jhered/esp029.

9. Робинсон Р. Генетика окрасов собак / перевод Н. Ю. Адо. М., 1995. 88 с.

References

1. Standart FCI № 166 / 23.12.2010. DE. 8 s. URL: https://www.fci.be/en/nomenclature/GERMAN-SHEPHERD-DOG-166.html (data obrashcheniya: 13.03.2025).

2. Tarasenkova N. A., Koptev V. V. Znachenie DNK-markerov dlya sovremennogo sobakovodstva // Vestnik APK Verhnevolzh'ya. 2015. № 1 (29). S. 44–52. EDN UHSYLJ.

3. Gladkikh M. Yu., Kuznetsova O. V., Markov A. V., Maximenko M. A. A Case of Dominant Black Coat Color in Russian Populations of German Shepherd Dogs // XV International Scientific Conference «INTERAGROMASH 2022». 2023. № 575. P. 2394–2400. DOI 10.1007/978-3-031-21219-2_268.

4. Schmutz S. M., Berryere T. G. Genes affecting coat colour and pattern in domestic dogs: a review // Animal Genetics. 2007. Vol. 38, Is. 6. P. 539–549. DOI 10.1111/j.1365-2052.2007.01664.x.

5. Turnova E. H., Bielikova M., Kostal V. [et al.] Occurrence of the dominant black K allele of CBD103 in German Shepherd Dogs // Animal Genetics. 2022. Vol. 53, Is. 2. P. 230–231. DOI 10.1111/age.13171.

6. Philipp U., Hamann H., Mecklenburg L. [et al.] Polymorphisms within the canine *MLPH* gene are associated with dilute coat color in dogs // BMC Genetics. 2005. № 6:34. DOI 10.1186/1471-2156-6-34.

7. Kowalewska I. Characteristics of the *MC1R* gene as a locus e affecting coat color in dogs // Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis Agricultura Alimentaria Piscaria et Zootechnica. 2023. № 369 (68). P. 23–29. DOI 10.21005/AAPZ2023.68.4.3.

8. Schmutz S. M., Berryere T. G., Dreger D. L. MITF and White Spotting in Dogs: A Population Study // Journal of Heredity. 2009. Vol. 100, Is. suppl_1. P. S66–S74. DOI 10.1093/jhered/esp029.

9. Robinson R. Genetika okrasov sobak / perevod N. Yu. Ado. M., 1995. 88 s.

Сведения об авторе

Екатерина Олеговна Графова – аспирант кафедры зоотехнии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет».

Information about the author

Ekaterina O. Grafova – postgraduate student of the Department of Zootechnics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University".

В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ ФГБОУ ВО «ЯРОСЛАВСКИЙ ГАУ» В 2023 ГОДУ ВЫШЛА МОНОГРАФИЯ

Е.А. ГОРНИЧ, И.С. ТКАЧЕВА, М.К. ЧУГРЕЕВ

РЕСУРСЫ СРЕДНЕРУССКИХ ПЧЕЛ НА СЕВЕРЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ

Мониторинг биологических и морфологических признаков *Apis mellifera mellifera* L. на севере ареала – важный аспект в деле сохранения среднерусских пчел на территории РФ. В монографии приведены результаты биоморфологической оценки современных медоносных пчел в северной части Нечернозёмной зоны РФ посредством экспресс-теста. Разработана и реализована схема чистопородного разведения среднерусских пчел с использованием инбридинга на основе критически малого количества исходного племенного материала. Разработан и внедрён метод стабилизации желаемой генетической основы среднерусских пчел. Создана научно-практическая основа для функционирования пчеловодного хозяйства в режиме племрепродуктора.

УДК 638.145.3; ББК 46.91; ISBN 978-5-98914-272-9; 160 СТР.

ПО ВОПРОСАМ ПРИОБРЕТЕНИЯ ОБРАЩАТЬСЯ ПО АДРЕСУ:

150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, 58, ФГБОУ ВО «Ярославский ГАУ»

e-mail: e.bogoslovskaya@yarcx.ru