

**А.С. Мусаева^{1,*}, А.К. Бекитаева¹, Ш. Бахтыбеккызы¹,
 З.С. Оразымбетова¹, Б.С. Арынгазиев¹, О.Х. Хамдиева¹,
 Е.Б. Кузовлева¹, С.В. Беспалов², М.О. Бегманова¹,
 О.В. Вишнякова³**

¹ Институт генетики и физиологии КН МНВО РК, Алматы, Казахстан

² Институт зоологии КН МНВО РК, Алматы, Казахстан

³ Ассоциация «Консонар», Алматы, Казахстан

*e-mail: azadahamdieva@gmail.com

ОЦЕНКА МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ШЕРСТИ СОБАК ПОРОДЫ ТОБЕТ

Современная кинология активно изучает породные характеристики собак для сохранения генетического разнообразия и здоровья пород. Одним из перспективных подходов является использование волос, как малоинвазивного источника информации, который обладает возможностью определения вида или даже породы млекопитающих путем анализа комбинации основных микроструктур волос. Волос является ценным, и в то же время, простейшим модельным объектом фундаментальных и прикладных исследований. Это исследование направлено на выявление уникальных особенностей структуры шерсти собак породы Тобет, которые могут быть использованы для идентификации и селекционной работы с этой породой, а также для разработки научно обоснованных подходов к сохранению генетического разнообразия и здоровья пород. Наше исследование выявило, что шерсть Тобет обладает особенностями: однорядной, фрагментарной структурой сердцевины с зубчатыми краями клеток и промежуточным положением кутикулы, имеющей узор "обычная волна" и близкое расстояние между чешуйками. Результаты демонстрируют потенциал использования морфологических характеристик шерсти в качестве породоспецифического маркера, облегчая этические исследования редких и охраняемых пород, что особенно актуально для селекции и сохранения уникальной национальной породы.

Ключевые слова: Тобет, шерсть, стержень волоса, сердцевина, кутикула.

A.S. Mussayeva ^{1*}, A.K. Bekitayeva ¹, Sh. Bakhtybekkyzy ¹, Z.S. Orazymbetova ¹,
 B.S. Aryngaziiev ¹, O.Kh. Khamdiyeva¹, Y.B. Kuzovleva ¹, S.V. Bespalov ²,
 M.O. Begmanova ¹, O.V. Vishnyakova ³

¹Institute of Genetics and Physiology, CS MES RK, Almaty, Kazakhstan

²Institute of Zoology KN MES RK, Almaty, Kazakhstan

³Association "Kansonar"

*e-mail: azadahamdieva@gmail.com

Evaluation of the morphological characteristics of tobet dog hair

Modern cynology actively studies the breed characteristics of dogs to preserve genetic diversity and maintain breed health. One of the promising approaches involves the use of hair as a minimally invasive source of information, capable of determining the species or even the breed of a mammal through the analysis of primary microstructural features of hair. Hair serves as a valuable yet simple model object for both fundamental and applied research. This study focuses on identifying unique structural features of the hair in the Tobet dog breed, which can be applied for breed identification and breeding works, as well as for developing scientifically grounded approaches to preserving genetic diversity and ensuring breed health. Our research revealed that Tobet hair is characterized by a single-layered, fragmented medulla with serrated cell edges, an intermediate cuticle position featuring a "regular wave" pattern, and closely spaced scales. The findings highlight the potential of utilizing the morphological characteristics of hair as a breed-specific marker, facilitating ethical research on rare and protected breeds, which is particularly significant for the breeding and conservation of this unique national breed.

Key words: Tobet, hair, medulla, cuticle.

А.С. Мусаева^{1*}, А.К. Бекитаева¹, Ш. Бахтыбеккызы¹, З.С. Оразымбетова¹,
Б.С. Арынгазиев¹, О.Х. Хамдиева¹, Е.Б. Кузовлева¹, С.В. Беспалов²,
М.О. Бегманова¹, О.В. Вишнякова³

¹КР БФМ FK Генетика және физиология институты, Алматы, Қазақстан

²КР БФМ FK Зоология институты, Алматы, Қазақстан

³«Кансонар», Алматы, Қазақстан

*e-mail: aimus_@mail.ru

Тәбет түкімды іттердің жүнінің морфологиялық сипаттамаларын бағалау

Қазіргі заман кинологиясы иттердің генетикалық әртүрлілігі мен денсаулығын сақтау үшін түкімдік ерекшеліктеріне зор қөніл бөліп, белсенді түрде зерттейді. Перспективалық тәсілдердің бірі болып табылатын, жұн талшығының (шаштың) негізгі микроструктураларының комбинациясын талдау – сұтқоректілердің түрін анықтауға немесе тіпті түкімін сипаттауға мүмкіндік беретін инвазивті емес әдіс ретінде қарастырылады. Шаш – іргелі және қолданбалы зерттеулер үшін құнды әрі қарапайым модельдік объект. Бұл зерттеу Тобеттің жұн талшығы құрылымының бірегей ерекшеліктерін анықтауда, бұл түкіммен сәйкестендіру және селекциялық жұмыс үшін пайдаланылуы мүмкін, сондай-ақ, түкімдардың генетикалық әртүрлілігі мен денсаулығын сақтаудың ғылыми негізделген тәсілдерін өзірлеу үшін қолдануға болады. Зерттеу нәтижесінде тәбет жүнінің келесі ерекшеліктері анықталды: бірқатарлы, фрагменттелген құрылымдағы өзегі, жасуша жиектері иректелген және кутикуланың аралық орналасуы, “қалыпты толқын” өрнегі және қабыршақтарының жақын орналасуы. Нәтижелер тәбет жүнінің морфологиялық сипаттамаларын түкімдік маркер ретінде қолданудың әлеуетін көрсетіп отыр, сирек және қорғауға алынған түкімдардың этикалық зерттеулерін женілдетеді, бұл үлттық түкімның ерекше генетикасын сақтау және селекция үшін аса маңызды.

Түйін сөздер: Тәбет, жұн, жұн талшығы, шаш, медулла, кутикула

Введение

Современная кинология уделяет большое внимание изучению породных характеристик собак, что позволяет обеспечивать сохранение генетического разнообразия и поддерживать здоровье пород. Одним из важных аспектов является разработка эффективных и доступных методов оценки специфических породных особенностей. Шерсть животных представляет собой ценный источник информации о состоянии их здоровья, физиологических особенностях и генетической принадлежности [1, 2]. Более того, морфологические и микрометрические характеристики шерсти могут служить информативными маркерами, позволяющими проводить видоспецифическую [3-7] и породоспецифическую идентификацию [8-9].

Волос состоит из двух основных частей: корня волоса, который находится в дерме кожи, и стержня волоса, выступающего над эпидермисом. Стержень волоса включает три морфологически различимые слоя: сердцевину или медуллу (центральный, слой), корковый слой (средний слой) и кутикулу (внешний слой) [7,10]. Слои волосяного стержня отличаются морфологией формирующих их клеток и составом структурных белков (кератины, кератиноподобные и кератинассоциированные белки) [11, 12]. Сердцевина (медулла) иногда может отсутствовать на протяжении всего волоса или в некоторых его участках. Если она

присутствует, состоит из ороговевших клеток на основе кератина. Содержание фибрилл кератина в этих клетках минимальное, что приводит к тому, что основное пространство клетки занимает воздух и остатки цитоплазмы, которые могут содержать меланосомы. Морфология этих клеток и межклеточные заполненные воздухом пространства определяют специфические характеристики сердцевины. Ее структура может различаться в зависимости от вида животного и быть сплошной или прерывистой, фрагментарной [10]. Корковый слой составляет основную часть волокна волоса и состоит из удлиненных кератинизированных, ветеренообразных клеток, перемежающихся с меланосомами. Клетки такой формы, пригнанные по своей форме друг к другу, образуют плотный эластичный слой, прочно соединенный в одно целое. Меланосомы – это пигментные гранулы, которые придают волосу цвет. Вокруг коркового слоя располагается кутикула, которая образует тонкий защитный барьер вокруг волоса [10]. Кутикула состоит из 1 ряда клеток в толщину или из 2 и более рядов, где клетки краями налегают друг на друга. Расположение клеток могут быть поперечными, косыми (с умеренным уклоном, с сильным уклоном) или продольными, по направлению к оси волоса. Выделяют два основных типа узоров чешуек кутикулы: волнистый – клеточные края имеют изгибы или волнообразную форму; коронный простой (в форме короны) – клетки как лепестки, перекрывают одна другую. Также встречаются

узоры мозаичного типа, где кутикулы неправильной многоугольной формы с бессистемным расположением. Строение свободного края апикальной части клеток кутикулы тоже разнообразны, встречаются – ровный, неровный, зазубренный, округло-зубчатый, острозубчатый, неровный с округлыми вершинами и острыми углублениями и др. Расстояние между последовательными краями чешуек может быть близким, промежуточным или широким, в зависимости от вида животного [13]. Характеристики узора чешуек кутикулы, типа и диаметра медуллы, а также пигментация волоса являются важными признаками для идентификации вида животного [14-16].

Использование шерсти для определения вида или породы животных обладает рядом преимуществ по сравнению с инвазивными методами. Этот подход является малоинвазивным, (неинвазивным) безопасным и гуманным, так как не вызывает стресс у животных и не требует сложного оборудования. Шерсть легко собирается, сохраняется в течение длительного времени без специальных условий за счет высокого содержания фибрillлярного белка-кератина, богатого цистеином, и минимально подвержена риску контаминации [7]. Метод также этически приемлем для работы с редкими и охраняемыми видами.

Собаки породы Тобет, являющиеся традиционным наследием Казахстана, обладают уникальными экстерьерными и генетическими характеристиками, что делает их изучение особенно актуальным [17]. Однако до настоящего времени научные данные о морфологических особенностях шерсти этой породы остаются недостаточными. Таким образом, в данной работе мы исследовали морфологические и микроструктурные характеристики волос собак породы Тобет и оценили возможность их использования в качестве малоинвазивного доступного породоспецифического маркера. Результаты исследования могут быть использованы для создания научно обоснованных подходов к идентификации и селекционной работе с данной породой.

Материалы и методы

Объекты исследования

В работе использованы образцы шерсти от представителей породы Тобет и других пород, проживающих в различных регионах Казахстана: Тобет – 133 образца и 39 образцов от собак других пород со схожим или не похожим типом шерстного покрова, а именно Тазы – 13 образцов, Немецкая овчарка – 7 образцов, Тибетский

мастиф – 3 образца, Хаски -1 образец, Южноафриканский бурбуль – 1 образец, Голден ретривер -1 образец, Аляскинский маламут -3 образца, Лабrador – 1 образец, Кавказская овчарка – 2 образца, Кавказский волкодав – 7 образцов. Оценка соответствия стандартам пород собак была проведена экспертами-кинологами Республиканской ассоциации общественных объединений охотников и охотничьих хозяйств «КАНСОНАР». Образцы шерсти собирали в средней дорсальной области тела собак с использованием расчески после получения согласия владельца. Образцы собирались и хранились в прозрачных герметичных пластиковых пакетах с застежкой-молнией до проведения первичной обработки и визуального анализа, далее хранились в бумажных конвертах, помеченных данными о породе, дате сбора и номере материала. Каждый образец содержал не менее 50 волос разного типа, в исследовании использовались дорсальные оственные волосы. Этот выбор был обусловлен тем, что оственные волосы обладают диагностически надежными признаками, что делает их важными для идентификации вида [14, 18-21]. Все собаки, включенные в это исследование, были клинически здоровы и не имели признаков кожных заболеваний. Процесс получения образцов шерсти был безболезненным для животных и не требовал анальгетиков или анестезии. Исследование получило одобрение Биоэтической комиссии РГП на ПХВ «Институт молекулярной биологии и биохимии им. М.А.Айтхожина» КН МНВО РК.

Визуальная оценка волос, определение длины и диаметра волоса

Визуальную оценку проводили сразу после сбора и промывания образцов мыльно-содовым раствором с последующим высушиванием на впитывающей бумаге при комнатной температуре.

После визуальной оценки проводили специальную обработку с целью подготовки препаратов для исследования кутикулы и сердцевины волоса: собранные волосы промывались в спирте с добавлением моющего средства с помощью магнитной мешалки, затем высушивались на впитывающей бумаге.

Получение отпечатка кутикулы волоса

Для получения отпечатка кутикулы использовали волосы, прошедшие соответствующую обработку. Тонкий слой бесцветного лака для ногтей либо синтетического бальзама наносили на чистое предметное стекло. После неполного высыхания при комнатной температуре в течение нескольких минут поверх этого слоя поме-

щали волосы. После полного высыхания лака либо бальзама волосы удаляли. Опыты повторялись до тех пор, пока не были получены отпечатки кутикулы хорошего качества с 2-5-ю остеевыми волосами. Полученные отпечатки оценивали под световым микроскопом при увеличении в 10× и 40× [22].

Получение препаратов для изучения типов сердцевины волоса

Волосы промывали мыльно-содовым раствором, затем в эфире и погружали в раствор 70% перекиси водорода и 30% аммиака для обесцвечивания. Обесцвеченные волосы промывали в дистиллированной воде для удаления раствора и проводили насыщение парафином или глицерином для заполнения воздушного пространства, что делало их прозрачными. Полученные препараты оценивали под световым микроскопом при увеличении в 10× и 40×.

Результаты

В Таблицах 1 и 2 представлены характеристики сердцевины и кутикулы волос, обнару-

женные у собак разных пород в ходе проведенного исследования. Анализ характеристики краев сердцевины проводили до насыщения волос парафином или глицерином, так как края были четко видны до обработки. У просмотренных волос представителей разных пород собак (тазы, золотистый ретривер, аляскинский маламут, немецкая овчарка, тобет) были преимущественно обнаружены клетки с зубчатыми (в тонких сегментах баxромообразные) краями, редко – с ровными краями (Рисунок 1, слева). Было показано, что расположение клеток почти всегда однорядное, структура сердцевины преимущественно одноклеточная неравномерная, узор фрагментарный, редко сплошной. Были рисунки, где между всеми клетками располагались светлые участки одинакового размера, формируя узор, напоминающий лестницу (немецкая овчарка и золотистый ретривер). У некоторых пород также наблюдались светлые участки по шире и разного размера, создающие решетчатый рисунок (Тобет). В некоторых препаратах сердцевины также можно было разглядеть изображения букв, к примеру, N, K, V, X.

Таблица 1 – Особенности сердцевины волос собак различных пород

Порода	Структура	Расположение	Узор	Края клеток	Ширина коры
Тазы	Одноклеточные нерегулярные	Однорядный	Фрагментарный	Зубчатая	Средняя
Золотистый ретривер	Одноклеточные нерегулярные	Однорядный	Фрагментарный	Зубчатая	Средняя
Аляскинский маламут	Одноклеточные нерегулярные	Однорядный	Сплошной	Зубчатая	Больше средней
Немецкая овчарка	Одноклеточные нерегулярные	Однорядный	Фрагментарный	Зубчатая	Меньше средней
Тобет	Одноклеточные нерегулярные	Однорядный	Фрагментарный	Зубчатая	Средняя

Таблица 2 – Особенности кутикулы волос собак различных пород

Порода	Позиция	Края чешуек	Узор чешуек	Расстояние между краями чешуек
Тазы	Промежуточная	Зубчатые	Обычная волна	Среднее
Золотистый ретривер	Поперечная	Гладкие	Обычная волна	Среднее
Аляскинский маламут	Поперечная	Гладкие	Обычная волна	Большое
Немецкая овчарка	Поперечная	Округло-зубчатый	Обычная волна	Большое
Тобет	Промежуточная	Зубчатые	Обычная волна	Близкое

Размер и форма чешуек кутикулы варьировала в зависимости от их расположения на волосе. На кончике волоса первые чешуйки имели небольшие размеры. В самой широкой части стержня чешуйки были значительно крупнее и располагались поперечно (с уклоном, без уклона). При оценке строения чешуйчатого слоя волос была использована ранее описанная классификация [23]. Кутикулу в основном анализировали по ее чешуйчатому узору и расположению на волосах (Рисунок 2). В изученных породах собак встречались несколько основных типов рисунка чешуйчатого слоя волоса: простой (или правильный) регулярный волнистый, неправильный нерегулярный волнистый узор. Края клеток были в виде ровной линии, гладкие, округлозубчатые, неровные с неглубокими впадинами и относительно острыми углами, волнистые, неровные

с глубокими впадинами и закругленными углами, а также чешуйки, расположенные подобно лепесткам цветка разного размера. Расстояние между краями чешуек отмечалось разное.

Анализ полученных препаратов кутикулы показал необходимость дальнейшего преобразования микрофотографий в схематические изображения для устранения цветовых артефактов, что будет способствовать стандартизации визуального восприятия и повышению качества анализа. Данный процесс включает упрощение изображений, устранение цветовых вариаций и акцентирование на формах и контурах чешуек кутикулы волос. Полученные изображения позволяют проводить более точный сравнительный анализ и эффективно выявлять морфологические различия и сходства между образцами, что важно для наших дальнейших исследований.

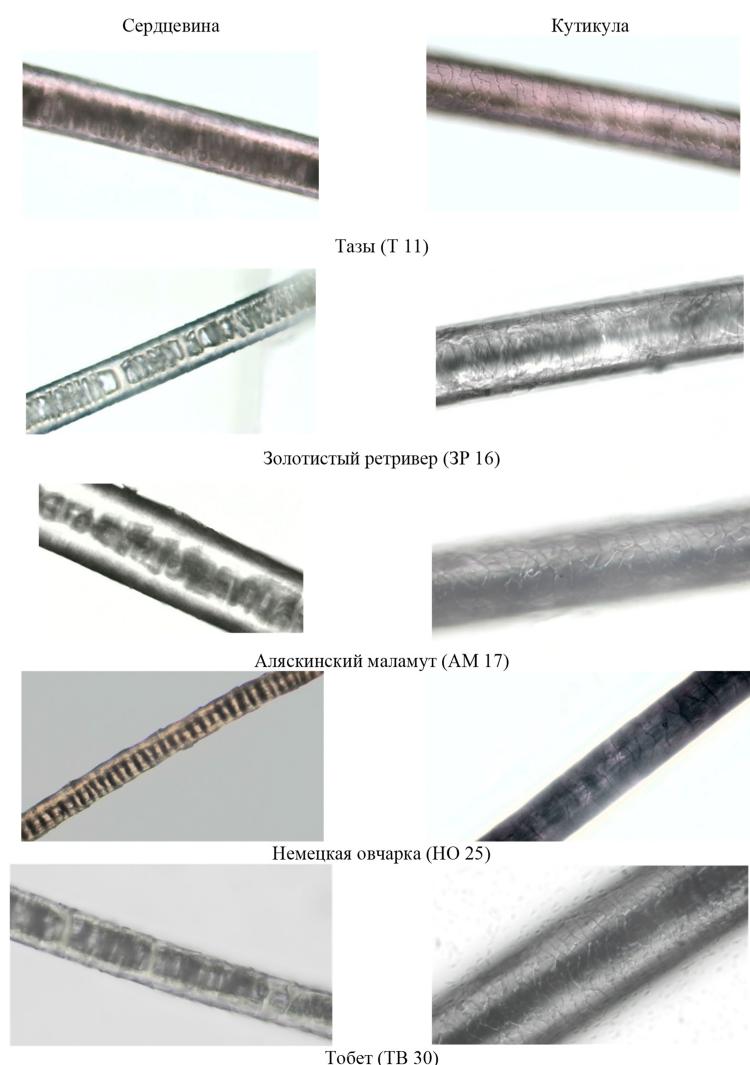
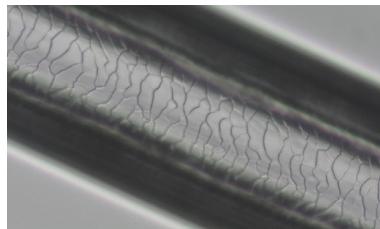
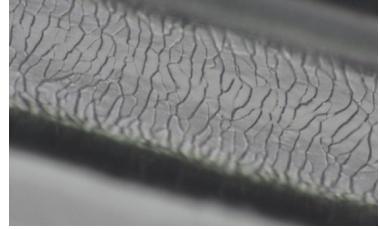


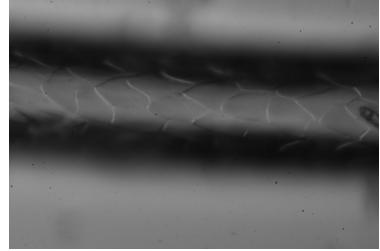
Рисунок 1 – Препараты образцов волос собак разных пород, демонстрирующие узоры сердцевины и кутикулы (световой микроскоп, объектив 20x)



Тибетский мастиф (ТМ 12) (2)_1
неправильная волнистая с неполными краями
чешуек, края гладкие, расстояние среднее



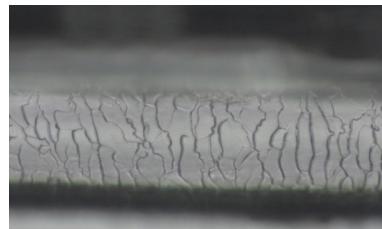
Кавказская овчарка (КО 7) (2)_3
поперечная волнистая, с гладкими краями,
расстояние близкое



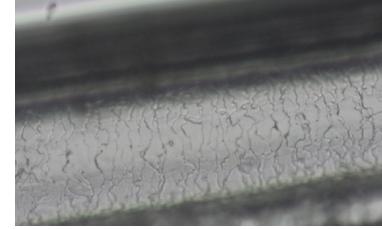
Хаски (Х 13) (2)_1
широкий ромбовидный лепесток, края гладкие,
расстояние большое



Тобет (ТБ1) (2)_1 (x40)
Правильная наклонная волнистая



Аляскинский маламут (АМ 18) (1)_4
Поперечно в неправильная волнистая с неполными
краями чешуек, края гладкие, расстояние большое



Тазы (Т 7)_1
промежуточный тип рисунка, поперечно-
волнистая, края зубчатые, расстояние среднее



Кавказский волкодав (КВ-2) (2)
неправильная волнистая с зубчатыми краями
чешуек



Тобет (ТБ 42) (1)_2
Регулярная волна, с зубчатыми краями, расстояние
ближкое

**Рисунок 2 – Микроскопические характеристики кутикулы волос собак различных пород,
(световой микроскоп, объектив 40х)**

Обсуждение

В данной работе мы исследовали морфологические особенности остеевых волос собак породы Тобет и другие породы собак с похожим и непохожим типами шерстяного покрова. Характерной особенностью шерсти всех пород собак было присутствие сердцевины волоса. Данные результаты согласуются с ранее описанными работами, показавшими наличие сердцевины у представителей семейства *Canidae* [1]. Однако

наблюдаемые особенности структуры сердцевины были более разнообразными, чем в предыдущих публикациях, которые рассматривали *Canidae* как однородную без каких-либо изменений этих показателей [1]. Так, в то время как Ahmed и соавторы показали, что особенностью сердцевины шерсти собак является сплошной узор, мы наблюдали как фрагментарный, так и сплошной узоры медуллы [1]. Тем не менее, следует отметить, что медулла шерсти представителей породы Тобет по морфологическим

признакам мало отличалась от других пород собак, изученных в данной работе (одноклеточная нерегулярная структура, однорядное расположение, фрагментарный узор, зубчатые края клеток и разная ширина коры). У исследованных собак не наблюдается очевидная корреляция между диаметром остеового волоса и наличием, и степенью развитости в нем сердцевины. Наибольшая толщина сердцевины относительно толщины всего стержня волоса обнаружена у Немецкой овчарки (диаметр самого волоса небольшой, но сердцевина занимает почти всю толщину), минимальный показатель нами выявлен у собаки породы Аляскинский маламут (диаметр самого волоса большой, но сердцевина тонкая) (Рисунок.1, слева).

Породоспецифические особенности были выявлены при анализе кутикулы шерсти собак Тобет. Мы показали, что кутикула шерсти собак породы Тобет характеризовалась промежуточной позицией, зубчатыми краями чешуек с узором «обычная волна» и близким расстоянием между краями чешуек. Интересно, что наиболее схожие особенности строения кутикулы были также выявлены у другой казахской национальной породы собак – тазы. Возможным объяснением такого сходства между двумя породами собак могут быть адаптивные изменения, обусловленные схожими климатическими условиями развития данных пород собак. Кутикула волоса, являясь внешней частью волоса, наиболее подвержена воздействию окружающей среды [24, 25]. Большинство представителей собак в нашем исследовании характеризовались широко- или среднеотстоящими чешуйками кутикулы, в то время как у Тобет расстояние между чешуйками было близкое.

Выявленные нами закономерности строения волос собак необходимо подтвердить в более де-

тальном исследовании с участием большего количества животных, включая разные категории волос. Тем не менее, результаты, полученные на данном этапе указывают на наличие породоспецифических особенностей строения волос у собак Тобет и, следовательно, на большую перспективность использования шерсти собак породы Тобет в качестве породоспецифического маркера.

Заключение

Полученные в рамках выполнения исследования результаты впервые описывают морфологические особенности шерсти собак породы Тобет в сравнении с другими породами и указывают на перспективность использования совокупности морфологических особенностей шерсти Тобет в качестве малоинвазивного породоспецифического маркера. А также представляют более широкий интерес в плане механизмов морфогенеза волос.

Финансирование

Работа выполнена в рамках программы BR21881977 «Изучение генофонда национальной казахской породы собак Тобет и методов его криоконсервации для разработки рекомендаций по эффективному восстановлению и сохранению породы», финансируемой Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Конфликт интересов

Авторы статьи подтверждают отсутствие финансовой или какой-либо иной поддержки исследования, или конфликта интересов.

Литература

1. Ahmed Y.A., Ali S. and Ghallab A. «Hair histology as a tool for forensic identification of some domestic animal species» *EXCLI J.*, (2018) Vol.6, No. 17, pp. 663-670. DOI: <https://doi.org/10.17179/excli2018-1478>.
2. Tridico S. «Examination, analysis, and application of hair in forensic science – animal hair» *Forensic Sci Rev.*, (2005) Vol.17(1), pp. 17–28.
3. Sato H., Matsuda H., Kubota S. and Kawano K. «Statistical comparison of dog and cat guard hairs using numerical morphology» *Forensic Sci Int.*, (2006) Vol.10. № 158(2-3). pp. 94-103. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2005.04.041>.
4. Sahajpal V., Goyal S.P., Jayapal R., Yoganand K. and Thakar M.K. «Hair characteristics of four Indian bear species» *Sci Justice.*, (2008) Vol.48(1), pp. 8-15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2007.05.001>.
5. Sahajpal V., Goyal S., Singh K. and Thakur V. «Dealing wildlife offences in India: role of the hair as physical evidence» *Int J Trichology.*, (2009) Vol. 1(1), pp. 18-26. DOI: <https://doi.org/10.4103/0974-7753.51928>.
6. European Network of Forensic Sciences Institutes. «Best practice manual for the microscopic examination and comparison of human and animal hair». *ENFSI-BPM-THG-03*. (2015). No 3, p.64.

7. Knecht, L. «The Use of Hair Morphology in the Identification of Mammals» *In Wildlife Forensics* (eds J.E. Huffman and J.R. Wallace). (2011). DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119953142.ch8>
8. Tumiłowicz P., Goliszewska A., Arct J., Pytkowska K. and Szczepanik M. «Preliminary study of guard hair morphology in four dog breeds» *Vet Dermatol.* (2018). DOI: <https://doi.org/10.1111/vde.12656>
9. Van den Broeck W., Mortier P., Simoens P. «Scanning electron microscopic study of different hair types in various breeds of rabbits» *Folia Morphol (Warsz)*. (2001) Vol. 60(1). pp.33-40. DOI: <https://doi.org/10.1111/vde.12656>
10. Deedrick D.W., Koch S.L. «Microscopy of Hair Part II: A practical guide and manual for animal hairs» *Forensic Sci Commun.* (2004) Vol.6. № 3. pp. 1–32.
11. Zhang, L.M.Q. and Cho Y.I. «Deep-Learning-Based Hair Damage Diagnosis Method Applying Scanning Electron Microscopy Images» *Diagnostics* (2021) Vol. 11, p. 1831. DOI: <https://doi.org/10.3390/diagnostics11101831>
12. Velamoor S., Mitchell A., Bostina M. and Harland D. «Processing hair follicles for transmission electron Microscopy» *Exp Dermatol.* (2022) Vol. 31, pp.110–121. DOI: <https://doi.org/10.1111/exd.14439>
13. Debelica A. and M.L. Thies. «Atlas and Key to the hair of terrestrial Texas mammals. Special Publications (No. 55). Museum of Texas Tech University» Natural Science Research Laboratory. Texas Tech University. (2009) No 55, pp. 102. DOI: <https://doi.org/10.5962/bhl.title.142652>
14. Lee E., Choi T.Y., Woo D., Min M.S., Sugita S., Lee H. «Species identification key of Korean mammal hair» *J Vet Med Sci.* (2014) Vol. 76. № 5. pp. 667-675. DOI: <https://doi.org/10.1292/jvms.13-0569>.
15. De Marinis A. M., Asprea A. «Hair identification key of wild and domestic ungulates from southern Europe» *Wildl. Biol.* (2006) Vol.12. № 3. pp. 305–320. DOI: [https://doi.org/10.2981/0909-6396\(2006\)12\[305:HIKOWA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2981/0909-6396(2006)12[305:HIKOWA]2.0.CO;2)
16. Hausman L.A. «Structural characteristics of the hair of mammals» *Am. Nat.* (1920) Vol. 54. No. 635. pp. 496–523.
17. Perfil'eva A.V., Bespalova K.B., Begmanova M.O., Kuzovleva E.B. Ocenna geneticheskogo raznoobraziya sobak kazahskoj nacional'noj porody tobet yuzhnogo regiona Kazahstana// 3i: intellect, idea, innovation – intellekt, ideya, innovacyayu – 2024. – №1. – S.58-67
18. Deejay S.Y.M. and Wendy K.W.L. “Preliminary Forensic Study of Hair Morphology and Micrometry of Small-Sized Dog Breeds”, *International Journal of Scientific Research in Science and Technology* (2022) Vol. 9, No 2, pp. 170-178. DOI: <https://doi.org/10.32628/IJSRST229226>
19. Vaishnav L., Parashar S., Kumar A. and Sachdeva M.P. «A study on hair analysis of different Canidae breeds» *Forensic Science International: Reports* (2021) Vol. 3, 100169. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fsir.2020.100169>
20. Derunov D., Chasovskih O., Sukhikh O., Buldakova K. and Kokorina A. «Comparative analysis of wild and domestic animals hair species» *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 677 (2021). DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/4/042007>
21. Chernova O.F. «Comparative analysis of hair microstructure in the cave lion (*Panthera spelaea*): A review» *Earth History and Biodiversity* (2024) Vol. 2, 100014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hisbio.2024.100014>
22. Teerink B.J. «Hair of West European mammals: atlas and identification key» *Cambridge University Press.* (2003). p. 224. ISBN: 9780521545778
23. Cornally A. and Lawton C. «Guide to the Identification of Irish Mammal Hair» *Irish Wildlife Manuals*, (2016) No. 92. – 40 p.
24. Richena M. and Rezende C.A. «Morphological degradation of human hair cuticle due to simulated sunlight irradiation and washing» *J Photochem Photobiol B.* (2016) Vol.161, pp. 430-40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.06.002>.
25. Rogers G.E. «Known and Unknown Features of Hair Cuticle Structure: A Brief Review» *Cosmetics* (2019), No 6, 32. DOI: <https://doi.org/10.3390/cosmetics6020032>

References

1. Ahmed Y.A., Ali S. and Ghallab A. Hair histology as a tool for forensic identification of some domestic animal species // *EXCLI J.* – 2018. Vol.6. – №17. – P. 663-670. DOI: <https://doi.org/10.17179/excli2018-1478>.
2. Tridico S. Examination, analysis, and application of hair in forensic science – animal hair // *Forensic Sci Rev.* – 2005. – Vol.17. – № 1. – P.17–28.
3. Sato H., Matsuda H., Kubota S. and Kawano K. Statistical comparison of dog and cat guard hairs using numerical morphology // *Forensic Sci Int.* – 2006. – Vol.10. № 158(2-3). – P. 94-103. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2005.04.041>.
4. Sahajpal V., Goyal S.P., Jayapal R., Yoganand K. and Thakar M.K. Hair characteristics of four Indian bear species // *Sci Justice.* – 2008. – Vol.48. – №1. P. 8-15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2007.05.001>.
5. Sahajpal V., Goyal S., Singh K. and Thakur V. Dealing wildlife offenses in India: role of the hair as physical evidence // *Int J Trichology.* – 2009. – Vol. 1. – № 1. – P.18-26. DOI: <https://doi.org/10.4103/0974-7753.51928>.
6. European Network of Forensic Sciences Institutes. Best practice manual for the microscopic examination and comparison of human and animal hair // *ENFSI-BPM-THG-03* – 2015. – № 3. p.64.
7. Knecht, L. The Use of Hair Morphology in the Identification of Mammals // *In Wildlife Forensics* (eds J.E. Huffman and J.R. Wallace. – 2011. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119953142.ch8>
8. Tumiłowicz P., Goliszewska A., Arct J., Pytkowska K. and Szczepanik M. Preliminary study of guard hair morphology in four dog breeds // *Vet Dermatol.* – 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/vde.12656>
9. Van den Broeck W., Mortier P., Simoens P. Scanning electron microscopic study of different hair types in various breeds of rabbits // *Folia Morphol (Warsz).* – 2001. – Vol. 60. – № 1. – P.33-40. DOI: <https://doi.org/10.1111/vde.12656>

10. Deedrick D.W., Koch S.L. Microscopy of Hair Part II: A practical guide and manual for animal hairs // *Forensic Sci Commun.* – 2004. – Vol. 6. – № 3. – P. 1–32.
11. Zhang, L.M.Q. and Cho Y.I. Deep-Learning-Based Hair Damage Diagnosis Method Applying Scanning Electron Microscopy Images // *Diagnostics.* – 2021. – Vol. 11. – P.1831. DOI: <https://doi.org/10.3390/diagnostics11101831>
12. Velamoor S., Mitchell A., Bostina M. and Harland D. Processing hair follicles for transmission electron Microscopy // *Exp Dermatol.* – 2022. – Vol. 31. P.110–121. DOI: <https://doi.org/10.1111/exd.14439>
13. Debelic A. and M.L. Thies. *Atlas and Key to the hair of terrestrial Texas mammals. Special Publications (No. 55).* Museum of Texas Tech University // Natural Science Research Laboratory. Texas Tech University. – 2009. -№ 55, P.102. DOI: <https://doi.org/10.5962/bhl.title.142652>
14. Lee E., Choi T.Y., Woo D., Min M.S., Sugita S., Lee H. Species identification key of Korean mammal hair // *J Vet Med Sci.* – 2014. – Vol. 76. – № 5. P.667-675. DOI: <https://doi.org/10.1292/jvms.13-0569>.
15. De Marinis A. M., Asprea A. Hair identification key of wild and domestic ungulates from southern Europe // *Wildl. Biol.* – 2006. – Vol.12. – № 3. P.305–320. DOI: [https://doi.org/10.2981/0909-6396\(2006\)12\[305:HIKOWA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2981/0909-6396(2006)12[305:HIKOWA]2.0.CO;2)
16. Hausman L.A. Structural characteristics of the hair of mammals // *Am. Nat.* – 1920. – Vol. 54. – № 635. – P. 496–523.
17. Perfil'eva A.V., Bespalova K.B., Begmanova M.O., Kuzovleva E.B. Ocenna geneticheskogo raznoobraziya sobak kazahskoj nacional'noj porody tobet yuzhnogo regiona Kazahstana// 3i: intellect, idea, innovation – intellekt, ideya, innovacyayu – 2024. – №1. – S.58-67 (In Russian)
18. Deejay S.Y.M. and Wendy K.W.L. Preliminary Forensic Study of Hair Morphology and Micrometry of Small-Sized Dog Breeds // *International Journal of Scientific Research in Science and Technology* – 2022. – Vol. 9. – № 2. – P.170-178. DOI: <https://doi.org/10.32628/IJSRST229226>
19. Vaishnav L., Parashar S., Kumar A. and Sachdeva M.P. A study on hair analysis of different Canidae breeds // *Forensic Science International: Reports* – 2021. – Vol. 3. 100169. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fsr.2020.100169>
20. Derunov D., Chasovskih O., Sukhiih O., Buldakova K. and Kokorina A. Comparative analysis of wild and domestic animals hair species // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 677 – 2021. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/4/042007>
21. Chernova O.F. Comparative analysis of hair microstructure in the cave lion (*Panthera spelaea*): A review // *Earth History and Biodiversity.* – 2024. – Vol. 2. 100014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hisbio.2024.100014>
22. Teerink B.J. Hair of West European mammals: atlas and identification key // *Cambridge University Press.* – 2003. – P.224. ISBN: 9780521545778
23. Cornally A. and Lawton C. Guide to the Identification of Irish Mammal Hair // *Irish Wildlife Manuals.* – 2016. №. 92. – 40 p.
24. Richena M. and Rezende C.A. Morphological degradation of human hair cuticle due to simulated sunlight irradiation and washing // *J Photochem Photobiol B.* – 2016. – Vol.161. – P.430-40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.06.002>.
25. Rogers G.E. Known and Unknown Features of Hair Cuticle Structure: A Brief Review // *Cosmetics.* – 2019. – № 6. P.32. DOI: <https://doi.org/10.3390/cosmetics6020032>

Информация об авторах:

Мусаева Айжан Сейлькановна – кандидат биологических наук, ассоциированный профессор, ведущий научный сотрудник Институт генетики и физиологии КН МНВО РК, пр. аль-Фараби, 93, Алматы, Казахстан. эл.почта: aimus_@mail.ru;

Бекитаева Айдана Куандыковна – магистр, младший научный сотрудник, Институт генетики и физиологии КН МНВО РК, пр. Аль-Фараби 93, Алматы, Казахстан. эл.почта: aidana.bekitayeva@gmail.com

Бахтыбеккызы Шолпан – магистр, научный сотрудник, Институт генетики и физиологии КН МНВО РК, пр. Аль-Фараби 93, Алматы, Казахстан. эл.почта: sholpan_bsb@mail.ru

Оразымбетова Зарина Сейсеновна – старший научный сотрудник, Институт генетики и физиологии КН МНВО РК, пр. Аль-Фараби 93, Алматы, Казахстан. эл.почта: orazymbetova.z@gmail.com

Арынгазиев Берик Серикович – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Институт генетики и физиологии КН МНВО РК, пр. Аль-Фараби 93, Алматы, Казахстан. эл.почта: berik Aryngaziev@mail.ru

Хамдиева Озада Хакимовна – магистр, старший научный сотрудник лаборатории экспериментального мутагенеза, Институт генетики и физиологии КН МНВО РК, пр. аль-Фараби, 93, Алматы, Казахстан. эл.почта: azadahamdieva@gmail.com

Кузовлевая Елена Борисовна – старший научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики, Институт генетики и физиологии КН МНВО РК, пр. аль-Фараби, 93, Алматы, Казахстан. эл.почта: vkeb1@mail.ru

Беспалов Сергей Владиславович – магистр, младший научный сотрудник лаборатории териологии, Институт зоологии КН МНВО РК, пр. аль-Фараби, 93, Алматы, Казахстан. эл.почта: bespalov_sergey@mail.ru

Бегманова Мамура Оракбаевна – магистр, старший научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики, Институт генетики и физиологии КН МНВО РК, пр. аль-Фараби, 93, Алматы, Казахстан. эл.почта: btmatura@mail.ru

Вишнякова Ольга Васильевна – эксперт-кинолог, Ассоциация «Консонар», Манаса, 22Б, Алматы, Казахстан. эл.почта: olgavich@mail.ru

Information about authors:

Mussayeva Aizhan Seilkanovna – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Institute of Genetics and Physiology CS MSHE of the RK, Al-Farabi Ave. 93, Almaty, Kazakhstan. E-mail: aimus_@mail.ru

Bekitayeva Aidana Kuandykovna – Master's degree holder, Junior Researcher, Institute of Genetics and Physiology CS MSHE of the RK, Al-Farabi Ave. 93, Almaty, Kazakhstan. E-mail: aidana.bekitayeva@gmail.com

Bakhtybekkyzy Sholpan – Master's degree holder, Researcher, Institute of Genetics and Physiology CS MSHE of the RK, Al-Farabi Ave. 93, Almaty, Kazakhstan. E-mail: sholpan_bsb@mail.ru

Orazymbetova Zarina Seysenovna – Senior Researcher, Institute of Genetics and Physiology CS MSHE of the RK, Al-Farabi Ave. 93, Almaty, Kazakhstan. E-mail: orazymbetova.z@gmail.com

Aryngaziyev Berik Serikovich – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Institute of Genetics and Physiology CS MSHE of the RK, Al-Farabi Ave. 93, Almaty, Kazakhstan. E-mail: berik Aryngaziev@mail.ru

Khamdiyeva Ozada Khakimovna – senior researcher, Laboratory of Experimental Mutagenesis, Institute of Genetics and Physiology, al-Farabi Ave., 93, Almaty, Kazakhstan. E-mail: azadahamdieva@gmail.com

Kuzovleva Yelena Borisovna – senior researcher, Laboratory of Molecular Genetics, Institute of Genetics and Physiology, al-Farabi Ave., 93, Almaty, Kazakhstan. E-mail: vkeb1@mail.ru

Bespakov Sergey Vladislavovich – Master, Junior Researcher, Laboratory of Theriology, Institute of Zoology, al-Farabi Ave., 93, Almaty, Kazakhstan. E-mail: bespalov_sergey@mail.ru

Begmanova Mamura Orakbaevna – Researcher, Laboratory of Molecular Genetics, Institute of Genetics and Physiology, al-Farabi Ave., 93, Almaty, Kazakhstan. E-mail: bmamura@mail.ru

Vishnyakova Ol'ga Vasil'evna – expert cynologist, Association "Kansonar", Manasa, 22B, Almaty, Kazakhstan. E-mail: olgavich@mail.ru

Поступила 9 января 2025 года

Принята 10 марта 2025 года