

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ НОВІТНІХ ДОСЯГНЕНЬ ГЕНЕТИКИ ОКРАСІВ ШЕРСТІ СОБАК ДЛЯ СЕЛЕКЦІЇ ПОРОДИ ЦВЕРГШНАУЦЕР

Ефендієва В. В., заступник голови ГО "КСПУ" з питань теоретичного та практичного розвитку і популяризації кінології, експерт міжнародної категорії всіх порід, **E-mail:** v.efendieva@gmail.com

Ніколенко І. В., к.с.н., доцент

Одеський державний аграрний університет, м. Одеса, Україна

***Ключові слова:** генетика окрасу, цвергшнауцер, окрасоутворюючі локуси, ДНК-тест*

Вступ. Стрімкий технологічний розвиток, на початку ХХІ століття, стимулював генетику до нових досліджень, зокрема вивчення генома собаки, а впровадження інноваційних методів дало змогу генетиці зробити вагомі відкриття в цьому напрямку. Вже на початку 2000, декілька генетичних лабораторій об'єдналися для проведення спільних робіт для секвенування та картування генома собаки. У 2003 році була опублікована послідовність ДНК пуделя, а ще через 2 роки, прогалини знань у геномі собаки були заповнені першою повною послідовністю ДНК боксера.

У 2005 році було завершено розшифрування генетичного коду собаки, що дозволило перейти до наступного етапу генетичних досліджень, зокрема ідентифікації генів і розуміння генетичних механізмів їх впливу на екстер'єр собаки, зокрема окрасоутворюючих генів. Це дало нові можливості для селекції собак і для такої важливої ознаки селекції, як окрас, враховуючи, що для переважної кількості порід притаманний деякий діапазон окрасів.

Одночасно розробка та впровадження генетичних тестів, що базуються на інноваційних програмах, для визначення конкретних алелей, відповідальних за окрас, надало заводчикам додатковий важливий інструмент для селекції.

Основні досягнення в генетиці окрасу шерстного покриву собак і їх подальший вплив на селекцію породи цвергшнауцер.

За останні два десятиліття було досягнуто величезного прогресу в ідентифікації генів, які беруть участь в механізмі окрасоутворення. Зокрема відкриття восьми генів, які відповідальні за формування особливих окрасів та забарвлень собаки:

1. ASIP (Agouti signal protein), ідентифікований на 24-й хромосомі собаки та охарактеризований у 2004 році [1]. Експресія ASIP сприяє синтезу феомеланіну. Локус Agouti з 4 алелями: $Ay > aw > at(asa) > a$ [2]. Але

вже в 2021 році були виявлені нові мутації, до Ay (agouti yellow) додався Ays (agouti yellow shaded), а чепрачний Asa був остаточно відділений від At – підпалого [3].

2. MC1R (Melanocortin-1-receptor), так званий ген Extension (розповсюдження), ідентифікований на 5-й хромосомі. Він стимулює вироблення еумеланіну в пігментних клітинах та його розподіл по корпусу собаки [4]. Ідентифіковано та описано сім алелів Локусу E: Em> Eg> E> eh> e 1-3 [5]. Em-наявність темної еумеланінової маски, E-«дикий тип», регулює синтез еумеланіну по всьому тілу собаки, e-рецесивний рудий, перешкоджає проникненню еумеланіну шерсть.

3. TYRP 1-(tyrosinase related protein 1), визначає форму гранул, що утворюються після заповнення меланосоми пігментом, від чого залежить чорний або коричневий окрас. Був виявлений на 11 хромосомі. Локус B має основні алелі: B – чорний алель "дикого типу", відповідає за утворення гранул чорного еумеланіну, домінуючий по відношенню до всіх інших алелів локусу, що відповідають за утворення гранул коричневого еумеланіну. B> b [6].

4. MLPH (Melanophilin). Ген D, розташований у хромосомі №22, відповідає за нормальний розподіл меланоцитів та забезпечує розвиток пігментації повної інтенсивності, як результат, інтенсивно забарвлена в чорний або коричневий колір шерсть. Сірий, блакитний, ізабелловий, лілак - це дильютні, розбавлені окраси, є результатом мутації білка меланофіліну, рецесивного гену d, який діє тільки в гомозиготному стані d/d. D > d [7].

5. SILV(silver locus protein homolog), раніше PMEL17, локалізований на 10-й хромосомі собак. У 2006 році була ідентифікована вставка короткого вкрапленого елемента (SINE) гена SILV, яка призводить до появи мармурового візерунка шерсті [8]. Ідентифікація цього гена була вирішальною для розуміння механізму Мерля та дозволила тестувати у собак.

6. MITF (Microphthalmia-associated transcription factor). Ген розташований на 20-й хромосомі. Цей ген був ідентифікований трьома лабораторіями незалежно друг від друга у 2006-2007 роках. Подальші дослідження показали наявність в цьому локусі ряду складних алелей, остаточно ідентифікація ще у майбутньому. Локус S відповідальний за наявність або відсутність білої плямистості [9].

7. cBD103 (Canine β -defensin 103), ген собачого β -дефензину 103, розташований на 16 хромосомі. Його було особливо вивчено та охарактеризовано в контексті його впливу на колір шерсті та його ролі як антимікробного пептиду. Визначений у 2012 рік, після дослідження його активності, експресії та генетичних варіації у домашніх собак [10]. Робота Локуса K тісно пов'язана з локусами E і A. Його алелі проявлятимуться, тільки якщо можливий синтез еумеланіну, тобто у Локусі E буде робочий ген, але при генотип e/e у собак, окрас буде рудим незалежно від алелів

локусів К. Алель K^b - доміантний чорний. Алель k^{br}-тигровий, еумеланінові полоси на феомеланіновому тлі. Алель k^u дозволяє працювати алелям Локуса А. K^b > k^{br} > k^e.

8. І нарешті, у 2019 році, вчені – генетики Інституту генетики та розвитку Ренна ідентифікували на хромосомі №20 і міссенс-мутацію, пов'язану з дільютом (розбавленням) феомеланіну у собак, без впливу на еумеланін [11]. Доміантний І – інтенсивний рудий окрас, і/і – бліді відтінки до фенотипово білого. В даному Локусі І простежується кодоміантність генів.

У теперішній час продовжуються дослідження Локусів R (Roaning) - чалість, T (Ticked) - крапчастість, G (progressive greying) - вікове посивіння.

Відкриття практично всіх базових окрасоутворюючих генів собак і включення більшістю лабораторій основних колірних алелей у свої скринінгові панелі, відкриває нові можливості заводчикам-селекціонерам, і впершу чергу для порід, у яких заборонені схрещування між різновидами за окрасом.

Однією з таких порід є цвергшнауцер. Німеччина, як оригінатор породи фактично заборонила схрещування цвергшнауцерів різних окрасів в системі FCI. Основна причина заборони – побоювання, що встановлений породний тип, який так довго доводили до досконалості німецькі собаководники може бути порушений при міжкольорових в'язках, тому що носії прихованих рецесивних генів можуть давати різноманітні комбінації.

Першим окрасом, після чорного, який було стандартизовано у породі цвергшнауцер був перець із сіллю. У 1976 року було визнано чорно-сріблястий окрас і лише в 1992 року в стандарт був доданий суцільний білий окрас. Окраси цвергшнауцера різноманітніше, ніж у його великих родичів - ризеншнауцерів та шнауцерів, що свідчить про участь інших порід у формуванні цвергів. Щоб отримати цвергшнауцера, шнауцера схрещували з іншими породами і кожного разу якась частина характеристик цієї породи успадковується через структуру ДНК, будь то колір, структура шерсті, хвороба чи будь-яка інша спадкова риса. І це також вагомий аргумент про заборону на користь німецьких заводчиків.

Але кожна медаль має свою зворотню сторону. Багато міжнародних експертів неодноразово робили спроби переконати німецьких колег послабити заборону і пару років тому вдалося досягти деякого прогресу. З того часу, в формулювання по цвергшнауцерам було додано, що можливі винятки, якщо це потрібно для вирішення конкретних завдань екстер'єру конкретної популяції.

У гонитві за збереженням породного типу, його можна раптово втратити. Згодом поголів'я популяції, в якій селекція ведеться суворо за окрасами, стає обмеженим і інбредним, незважаючи на обмін крові між розплідниками за одним і тим самим окрасом, що може призвести не тільки до змін породного типу, але і до інбредної депресії.

Деякі проблеми в породі цвергшнауцер за окрасами. У представників чорно-сріблястого окрасу стало багато частіше ніж в інших кольорових варіаціях, зустрічатися форма лінії верху, коли від холки до спини ще є «благородний» нахил, а далі лінія верху горизонтальна, хоча за стандартом лінія верху повинна бути злегка нахилена назад (злегка спадаюча).

У відносно нового, білого різновиду цвергшнауцерів, великим недоліком був надмірно великий розмір, що часто виходив за допустимі межі росту, серед недоліків також були м'якувата шерсть і відсутність форбруста. Для поліпшення цих якостей використовували цвергшнауцерів з окрасом перець із сіллю (носіями рецесивного гену *e*). Але при забороні в'язок, між представниками різних окрасів, всі ці недоліки стали повертатися, оскільки для селекції було обмежене поголів'я. У білих цвергшнауцерів з'явилася нова проблема: відбір по жорсткості шерсті призвів до появи жорстких собак з вираженим жовтим ременем по корпусу, а при спробах позбутися небажаної жовтизни шерсть знов стала м'якшою.

Собаки окрасу перець з сіллю вважаються еталоном якості шерсті в цій породі, крім того, вони дуже часто є зразками екстер'єру в цілому. Але і у перцових також є проблеми, такі як чорний ремінь шерсті вздовж корпусу, що є пороком, іноді з'являються собаки у яких волосся не зонарне, а чале- тобто замість чергування світліших і темніших смуг зонарного волосся, можна побачити чалість, тобто через волосицю (суцільно чорний волос чергується з білим) – а це вже не окрас перець із сіллю.

Іноді у посліді двох чорних плідників з'являються цуценята зі сторонніми плямами, проявами бурості або інших пороків окрасу.

Заборона на змішані за окрасом в'язки багато в чому гальмує розвиток породи. Тому, поєднання генетичного фонду різних типів тварин, які мають різні окраси становиться бажаним та необхідним. Але навіть досвідчені заводчики, які робили спроби поліпшення екстер'єру за рахунок межкольорових схрещувань, ще до відкриття в генетиці генів відповідальних за окрас, не могли бути впевнені в тому, що результат селекції відповідатиме їх очікуванням. Тому що їх знання генетичних особливостей батьків та їх предків, базувалися лише на припущеннях за візуальною оцінкою екстер'єра що насправді є суб'єктивним судженням, та родоходом, який не завжди відображає всієї картини успадкування.

Зовсім інші можливості відкривають останні досягнення генетики окраса собак, зокрема для селекціонерів цвергшнауцера. Базовими для стандартних окрасів цвергшнауцеров є наступні гени:

За Локусом А, алель *aw/-*, що дає окрас перець з сіллю (обумовлює зонарний розподіл пігментів волоссям), *at* –чорно-сріблястий (чорно-підпалий, у якого ген *i/i* пригнічують синтез феомеланіну). За Локусом В повинен бути домінантний ген В, що дає чорний окрас (відповідно до стандарту цвергшнауцера, поява «коричневого окраса шерсті, або мочки,

носа, шкіри –є дефектами») [12]. За Локусом E можуть бути наступні гени: Em відповідає за розподіл еумеланінового забарвлення по морді собаки, обумовлюючи наявність темної маски. Алель Em- доміантний, тому, однієї копії Em у генотипі достатньо для прояву маски у фенотипі. У собак, які мають повністю еумеланіновий окрас, тобто чорний окрас, фенотипово, маска буде невизначною на тлі суцільного окраса. Однак при цьому такі собаки будуть носіями алелю маски і передавати його нащадкам. Але цвергшнауцери окрасів перець з сіллю, та чорно-сріблястий, які є носіями Em будуть з вираженою маскою. Рецесивний алель e, в гомозиготному стані e/e - блокує прояв еумеланінової пігментації в шерсті по всьому корпусу собаки і як наслідок, собака буде рецесивно рудим. Цвергшнауцер при генотипі e/e буде мати (за стандартом) чорний колір шкіри і носа, тому що для них, як і раніше працює еумеланін, а феомеланін є тільки в шерсті. Для того, щоб цвергшнауцер став білим за окрасом шерсті, для його генотипу необхідно ще один рецесив i, в гомозиготному стані, а саме i/i.

Локусу I, який прибере феомеланін. За Локусом K можуть працювати або алель Kb/- , що при доміанті за Локусом E, дає суцільний чорний окрас, або ku –для окрасів перець з сіллю та чорно-сріблястий. Іноді зустрічається ген R, який відповідає за чалість. Доміантний ген R визначає наявність чалості, рецесивний r – її відсутність. Чалість у цвергшнауцера є пороком.

Висновок. Генетика окраса шерстного покриву собаки– дуже цікава галузь, в якій тривають дослідження. На сьогодні генетики виявили більшість окрасоутворюючих генів, але ще багато порід недосліджені, не всі алелі ідентифіковані, існують ще гени- модифікатори, про механізм роботи яких ще належить дізнатися. Але розроблені тестові програми дозволяють усім охочим протестувати свого собаку, чи є він носієм тих чи інших алелів. Використовуючи генетичне тестування, заводчики можуть передбачити колір шерсті в послідах своїх собак і приймати стратегічні рішення щодо розведення, для досягнення своїх селекційних цілей. Тести ДНК допомагають уточнити окрас собаки та прогнозувати окрас шерсті його нащадків.

Цвергшнауцера, в генетичних дослідженнях, нажаль, приділяється дуже мало уваги, тому як тільки генетики виявлять певний інтерес до цієї породи, у селекціонерів з'явиться ще більш можливостей. Але генетична база для селекції цієї породи вже закладена, а найголовніше що досягнення генетики дозволяють зняти обмеження на в'язки між представниками різних окрасів.

Сьогодні, у генетиків є пропозиція вписувати в родовід собаки не тільки назву окрасу, а його генетичну формулу. Ця ідея має своє підґрунтя, враховуючи, що один той самий колір шерсті може відрізнятися візуально і що незважаючи на те, що в стандартах надані назви всім окрасам,

але вони все одно відрізняються, наприклад, окрас коричневий, він же liver, або кавовий тощо. Іноді, точно визначити окрас дуже складно, при такому широкому розмаїтті кольорів, візерунків і текстур шерсті собак, та ще при взаємному впливі генів.

Список використаних джерел

1. Kerns, J.A.; Newton, J.; Berryere, al. Characterization of the dog Agouti gene and a nonagouti mutation in German Shepherd Dogs. Mamm. Genome, 2004
2. Dayna L. Dreger , H. Anderson, J. Donner al. Atypical Genotypes for Canine Agouti Signaling Protein Suggest Novel Chromosomal Rearrangemen, 2020
3. [Danika L. Bannasch](#), [C. B. Kaelin](#), [Anna Letko](#) al., Dog colour patterns explained by modular promoters of ancient canid origin, 2021
4. [Inga Kowalewska](#), Characteristics Of The Mc1r Gene As A Locus E Affecting Coat Color In Dogs, [West Pomeranian University of Technology, Szczecin](#), 2023
5. Schmutz, S.M., Berryere, T.G., Goldfinch, A. D. "MC1R studies in dogs with melanistic mask or brindle patterns." The Journal of Heredity, 2002
6. Schmutz, S.M., Berryere, T.G. Genes affecting coat colour and pattern in domestic dogs: a review, Published: 30 November 2007
7. [A. Bauer](#), [A. Kehl](#), [V. Jagannathan](#), [T. Leeb](#), A novel MLPH variant in dogs with coat colour dilution, <https://doi.org/10.1111/age.12632>, 2018
8. [Sarah C. Murphy](#), [Jacquelyn M. Evans](#), [Kate L. Tsai](#), and [Leigh Anne Clark](#), Length variations within the Merle retrotransposon of canine PMEL: correlating genotype with phenotype, 2018
9. [Elinor K Karlsson](#), [Izabella Baranowska](#), [Claire M Wade](#), Efficient mapping of mendelian traits in dogs through genome-wide association, [Nature Genetics](#), 2007
10. Candille SI, Kaelin CB, Cattanauch BM, Yu B, Thompson DA, Nix MA, Kerns JA, Schmutz SM, Millhauser GL, Barsh GS. A β -defensin mutation causes black coat color in domestic dogs, Science, 2007 Nov 30
11. Benoit Hédan, Edouard Cadieu al. Identification of a Missense Variant in MFSD12 Involved in Dilution of Pheomelanin Leading to White or Cream Coat Color in Dogs, Institut de Génétique et Développement de Rennes, 2019
12. <https://www.fci.be/Nomenclature/Standards/183g02-en.pdf>