

Detection of the hidden merle colour in Mudi breed with molecular genetic methods

Zs. Pelles
 Á. Maróti-Agóts
 A. Gáspárdy
 L. Zöldág
 P. Zenke*

Állatorvostudományi Egyetem,
 Állattenyésztési, Takarmányozástani
 és Laborállat-tudományi Tanszék
 H-1078 Budapest, István utca 2.

*e-mail: Zenke.Petra@univet.hu

A rejtett cifra szín molekuláris genetikai módszerekkel való kimutatása mudi fajtában

Pelles Zsófia, Maróti-Agóts Ákos, Gáspárdy András, Zöldág László, Zenke Petra*

ÖSSZEFOGLALÁS

A szerzők jelen vizsgálatukban bemutatják, hogy a mudik cifra (*merle*) színét a *SILV* (*silver*) génbe beépülő retrotranszpozon okozza, amelynek eredménye az eumelanint termelő pigmentsejtek elégtelen működése. Homozigóta merle (MM) egyedekben gyakran veleszületett egészségügyi problémák fordulnak elő, ezért a heterozigóta merle (Mm) egyedek egymással történő párosítása tiltott a mudi fajtában. Egyes színeket azonban teljes egészében a feomelanin pigment amelyet a merle gén nem befolyásol határoz meg, így a heterozigóta mudi egyedek fenotípusosan nem ismerhetők fel, ún. rejtett cifrák. Általában a rejtett cifra egyedek a cifra utódok alapján azonosíthatók, de a teszt párosítás nem minden esetben tekinthető megbízható módszernek.

SUMMARY

Background: The merle colour in dogs (merle: blackbird) is caused by a retrotransposon insertion in the *SILV* gene, resulting in malfunction in the eumelanin producing pigment cells. In homozygous (MM) individuals congenital auditory and ophthalmologic disorders are common, therefore the mating of two heterozygous (Mm) dogs should be avoided, and is in fact forbidden in case of breeds having this trait. Some of the colours, however are fully characterised by pheomelanin pigment (e. g. cream, beige, fawn), which are not affected by the merle gene, making it impossible to recognize the heterozygous individuals based on their phenotype (hidden merles).

Objectives: The author's aim was to test a fast, reliable and cost-efficient genetic method in the Mudi breed, because in this breed along with the merle colour, white and fawn colours can also be found- which increases the chance for hidden merle individuals.

Materials and Methods: In their study the authors used 23 hair or buccal swab samples collected from Hungarian and foreign possible hidden merle Mudi dogs, then multiplied the exon 11 of the *SILV* gene with polymerase chain reaction (PCR) method from the purified DNA. Agarose gel electrophoresis was used to detect the PCR products (M and m alleles) and to separate them by size. The authors compared their genotype results with the dogs' phenotypic traits (colour of the eyes and the fur).

Results and Discussion: According to practical observations blue or partial blue eyes are solely caused by the merle gene in the Mudi breed, this observation was confirmed by the authors' DNA test, so in these simple cases hidden merle dogs can be detected by their phenotype. However, eye colour is not always affected by the merle gene: in this research 4 of the 17 brown eyed dogs tested proved to be heterozygous Mm. This indicates that the genetic test is the only reliable way to identify hidden merle individuals, which is important to prevent puppies with decreased viability.

A mudi fajtában előforduló cifra színt gyakorlati tapasztalatok alapján egyéb fajták merle színével tartják azonosnak, átfogó genetikai vizsgálatot azonban a fajtában mindeddig nem végeztek. A standardleírás a fajtában cifrának nevezett színt a következőképpen határozza meg: „sötétebb, vagy világosabb kékesszürke alapon feketével spriccelt, csíkozott, sávozott, vagy foltozott” (4). Ez a fenotípus azonban csak az ún. “fekete-cifra” kutyák esetében helytálló, pedig cifra mintázat nem csak fekete alapszínen jelenhet meg; hamvas, barna és hamvasbarna alapszínen is létezik (1. ábra). Fehér és fakó alapszínen azonban a pigmentképzés sajátosságai miatt a cifra mintázat fenotípusosan nem jelenik meg. Azokat a genotípusosan cifra egyedeket, amelyek fenotípusosan fehér vagy fakó színűek, “rejtett cifrának” nevezik. Felismerésük fontos, mivel a homozigóta cifra mudik csökkent életképességük lehetnek, ezért a heterozigótákkal való tenyésztés fokozott körültekintést igényel. Minden olyan egyed lehetséges rejtett cifrának tekinthető, amely fehér vagy fakó színű és legalább az egyik szülője cifra.

A szerzők célja a fajtában előforduló cifra szín genetikai vizsgálata volt

A cifra szín öröklésmentes, gyakorlati tapasztalatok alapján egygénese, autoszomális, nem teljesen domináns

A homozigóta merle, azaz két mutáns allélt hordozó cifra kutyáknál a látást vagy a hallást érintő rendellenességek sokkal gyakoribbak

A fent leírtak alapján célkitűzéseink között szerepelt a fajtában előforduló cifra szín genetikai vizsgálata, valamint összevetése az egyéb fajtákban ismert merle színnel. Munkánkkal azon elméletet szerettük volna igazolni, amely szerint a rejtett cifra (*hidden merle*) egyedek ugyanazzal a merle alléllal rendelkeznek, mint a fenotípusosan cifra színt mutató egyedek, egyedül a kültakarójuk pigmentképzési sajátosságai miatt nem jelenik meg rajtuk cifra mintázat (nem pedig egy újabb mutáció miatt). Célunk összességében egy gyors, költséghatékony és rutinszerűen alkalmazható DNS-teszt kipróbálása és gyakorlatba való átültetése volt, amellyel a muditenyésztőknek kívánunk segítséget nyújtani a lehetséges rejtett cifra egyedek felismerésében.

A CIFRA SZÍN GENETIKAI HÁTTERE

A cifra (angolul *merle*: rigó) szín öröklésmentes, gyakorlati tapasztalatok alapján egygénese, autoszomális, nem teljesen domináns (14), azonban a szín mögötti pontos genetikai háttér sokáig ismeretlen volt. Shetlandi juhászkutya fajtájú, nem merle (mm), heterozigóta merle (Mm) és homozigóta merle (MM) egyedek teljesgenom-asszociációs vizsgálatával megállapították, hogy a merle színezéért egy retrotranszpozon beépülése felelős a 10-es számú kromoszómán található *SILV* génbe, amelyet Pmel17 és gp100 néven egyaránt leírtak (3, 9). A génről termelődő fehérje egy premelanoszóma fehérje, amely a kültakaró pigmentsejtjein túl a retina és a belső fül sejtjeiben is kifejeződik, hiányában az eumelanin-pigmentképzés zavara, valamint a melanocyták sejthalála lép fel (10, 12, 21).

A CIFRA GÉN HATÁSA A KÜLTAKARÓ SZÍNÉRE

A fent leírt jelenségre vezethető vissza a M allélt hordozó egyedek kültakarójának színe, amelyet a merle génre heterozigóta (Mm), eumelanin-domináns alapszínű kutyákban a világosabb területeken jellemzően szabálytalanul tarkázott sötétebb árnyalatok, valamint gyakran részben vagy teljesen kék szemek jellemeznek (1. és 2. ábra). A merle génre homozigóta (MM) kutyák hagyományos merle színezete kisebb foltokra korlátozódik, amelyeket kiterjedt fehér területek határolnak, a szemek színe pedig szinte minden esetben teljesen kék. Ezen felül a homozigóta merle, azaz két mutáns allélt hordozó cifra kutyáknál a látást vagy a hallást érintő rendellenességek – pl. sükettség, microphthalmia – jelentősen gyakoribban fordulnak elő a nem-merle egyedekhez viszonyítva (8, 19, 20).

A *SILV* gén nem fajspecifikus, ortológ formái számos fajtában fellelhetők (15). A lovakban az ezüst (*silver*) színt misszensz (aminosav-változást okozó) mutáció okozza szintén a *SILV* gén 11-es exonjában (2), amelynek következtében sárga szőrszínű lovaknak – amelyet a feomelanin pigment határoz meg – születhet ezüst színű utódok nem ezüst színű pároktól (13).

A homozigóta cifra mudik csökkent életképességük lehetnek, ezért a heterozigótákkal való tenyésztés fokozott körültekintést igényel

1. ÁBRA. Különböző alapszínű cifra mudik:

a, fekete-cifra

Fotó: PELLEs ZSÓFIA

b, hamvas-cifra

Fotó: DR. KASZÁS EMESE

c, barna-cifra

Fotó: VASNÉ GÁL ESZTER

d, hamvasbarna-cifra

Fotó: LÉVAI RAMÓNA



FIGURE 1. Merle Mudis with different base colours:

a, black-merle

Photo: ZSÓFIA PELLEs

b, ash-merle

Photo: DR. EMESE KASZÁS

c, brown-merle

Photo: ESZTER VASNÉ GÁL

d, ashbrown-merle

Photo: RAMÓNA LÉVAI



2. ÁBRA. Heterozigóta cifra mudi szőr- és szemszíne (fotó: PELLEs ZSÓFIA)

FIGURE 2. Coat- and eyecolour of a heterozygous merle Mudi (photo: ZSÓFIA PELLEs)

A mudi fajta 1936-os leírásában is említést tesznek a cifra színről, így az bizonyítottan már a kezdetektől jelen volt a fajtában

A mudipopuláció viszonylag kicsi, színek tekintetében pedig a fekete szín a legelterjedtebb

A CIFRA SZÍN TÖRTÉNETE A MUDI FAJTÁBAN

A Nemzetközi Kinológiai Szövetség (FCI – Fédération Cynologique Internationale) által bejegyzett magyar kutyafajták közül a mudi standardleírásában hat színt jelölnek meg elfogadott színként: fakó, fekete, cifra, hamvas, barna és fehér (4). A fajta 1936-os leírásában is említést tesznek a cifra színről, így az bizonyítottan már a kezdetektől jelen volt a fajtában: „Vagy csupa-fekete, vagy pedig "cifra" világosabb vagy sötétebb szürke alapon szabálytalan fekete foltokkal és pettyekkel tarkázott.” (5) A második világháború után az ország mudiállománya jelentősen megfogyatkozott, tenyésztésük újraindításakor egyetlen cifra egyedet sem találtak, így ezt a színváltozatot kihaltnak tekintették. A cifra szín 1994-ben tért vissza a fajtába, amikor egy ismeretlen származású cifra szukát B-törzskönyvezés után tenyésztésbe vontak. A mai törzskönyvezett mudiállományban előforduló cifra színű kutyák legnagyobb hányada visszavezethető erre az egyedre, leszármazottai a mai napig a legtöbb vonalban jelen vannak (22).

A REJTETT CIFRASÁG ELŐFORDULÁSA MUDI FAJTÁBAN

A mudipopuláció viszonylag kicsi, színek tekintetében pedig a fekete szín a legelterjedtebb (22). A fajta modern tenyésztési történetében először 2002-ben, a Szürkevillám kennelben találkozhattunk a rejtett cifraság jelenségével. Az alom Szürkevillám Harmat fekete szukától, és egy ismeretlen származású (B-törzskönyves), „Tibi” nevű kantól származott. A kan szőrzete fehér színű volt, szemei sötétbarnák, fenotípusosan a cifra szín semmi jelét nem mutatta (3. ábra). Nem kizárható, hogy korábban más tenyésztőknél is születtek rejtett cifra kölykök, azonban akkoriban az esetlegesen kék szemű rejtett cifra egyedek (3. ábra) többsége vélhetően nem lett törzskönyvezve, mivel a fakó és fehér mudiknál a csókaszemet pigmenthibának, így kerülendőnek tartották.

3. ÁBRA. Rejtett cifra mudik: Tibi és kölyke, Szürkevillám Jártas Pásztor
Fotó: BABICS EGON és BOGNÁR ILDIKÓ

FIGURE 3. Hidden merle Mudis: Tibi and his son, Szürkevillám Jártas Pásztor
Photo: EGON BABICS and ILDIKÓ BOGNÁR



A 2014-ben hazánkban regisztrált mudik között csak egyetlen rejtett cifra egyed volt ismert

Mivel a törzskönyvezett kutyák adatairól Magyarországon átfogó, hivatalos és nyilvános adatbázis nem érhető el, a fehér és fakó egyedek előfordulási aránya a populációban pontosan nem ismert. 2014-ben a rendelkezésre álló részinformációk alapján 229 mudi közül hármat fehér, tizenegyet fakó színnel regisztráltak (6). Még ennél is kevesebbet tudunk azonban azon fehér és fakó kutyák előfordulási gyakoriságáról, amelyek cifra szülőkkel rendelkeznek, így lehetséges rejtett cifrának tekinthetők. A 2014-ben hazánkban regisztrált mudik között csak egyetlen ilyen egyed volt ismert.

SAJÁT VIZSGÁLAT

ANYAG ÉS MÓDSZER

Egy cifra és egy fekete fenotípusú kutya mellett 23 lehetségesen rejtett cifra egyed vizsgáltak PCR, ill. szekvencia-meghatározásos módszerekkel

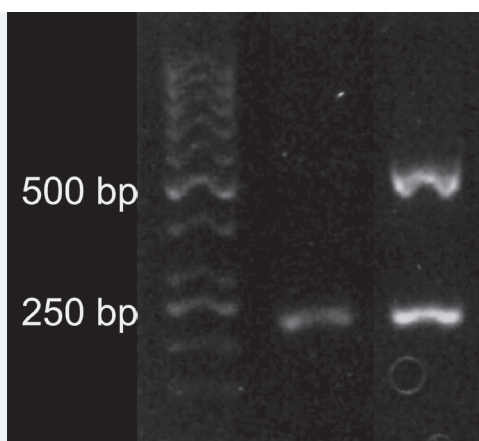
A származás ellenőrizhetősége végett csak az FCI által regisztrált mudik mintáit vizsgáltuk. Egy cifra és egy fekete (pozitív és negatív kontrol) fenotípusú kutya mellett 23 lehetségesen rejtett cifra – fakó vagy fehér színű, barna vagy részben kék szemű – egyedtől gyűjtöttünk, ill. kértünk szőr és szájnyalakahártya-törlet mintát (Magyarország: 10, Finnország: 8, Svédország: 2, Csehország: 2, Franciaország: 1, Lengyelország: 1, Norvégia: 1). A minták DNS-tartalmának kinyerése után a merle allélok PCR-technikával felszorzottuk (3). A kapott amplikonok (m és M allélok) azonosítását agarózgél-elektroforézissel végeztük, valamint ellenőrzés céljából nuleotidszekvencia-vizsgálattal meghatároztuk mindkét alléltípus bázissorrendjét.

EREDMÉNYEK

Az elvégzett szekvenciavizsgálatok igazolták, hogy a PCR-reakcióval a várt génszakaszokat sikerült specifikusan felszorzósítanunk, amelyek bázissorrendjét a génbankba feltöltöttük (GenBank Accession No.: MG733981 és MG739568).

Az általunk vizsgált 23 fakó, ill. fehér színű mudiból a vizsgálatok alapján 10 egyed merle gén (M) hordozó. Minden esetben a kb. 470 bázispárt számláló domináns M allél volt fellelhető az egyed merle lokuszán (4. ábra). A vizsgált kutyák közül egy esetben sem mutattunk ki homozigóta merle (MM) genotípust, így kijelenthető, hogy a fehér vagy fakó szőrszín eredményező extrém színhígulást esetükben nem a merle gén okozta.

A vizsgálatba bevont hat, részben kék szemű (barna alapon kék folt) egyed genotípuseredménye minden esetben heterozigóta (Mm) volt, míg a 17 barna szemszínű kutyából négy esetben (kb. 24%) mutattunk ki heterozigóta genotípust a merle lokuszon – esetükben fenotípusosan semmilyen jel nem utalt a valódi genotípusukra.



4. ÁBRA. Merle allélok (és genotípusok) kimutatása agarózgél-elektroforézissel

FIGURE 4. Detection of merle alleles on agarose gel

MEGVITATÁS

A cifra mintázatot a mudi fajtában is a korábbi kutatásokban leírt genetikai háttér okozza

A mudi fajtában normál pigmentáció mellett csak a merle gén okoz kék, vagy részben kék szivárványhártyát

Eredményeink alapján kijelenthetjük, hogy a cifra mintázatot a mudi fajtában is a korábbi kutatásokban leírt genetikai háttér okozza (3, 9). Mivel mindegyik, részben kék szemű egyed genotípus eredménye heterozigóta (Mm) volt, igazoltnak látszik az a hipotézis, amely szerint a mudi fajtában normál pigmentáció mellett – azaz nem albínó egyedek esetén – csak a merle gén okoz kék, vagy részben kék szivárványhártyát. Más esetekben a fehér és fakó kutyáknál fenotípusosan semmi jel nem utal a merle allél (M) meglétére. Szerencsés, ha a kérdéses kutya nem cifra pártól született cifra utódokkal is rendelkezik, hiszen a rejtett cifraság feltételezése fehér vagy fakó szülők esetében kézenfekvő. Azonban a célzott tesztelés sem tekinthető megbízhatónak ha az egyed hordozza a domináns merle allélt, akkor is csak 50% eséllyel adja azt tovább az utódainak. Ha az utódok rendelkeznek a domináns merle alléllal, de fakó vagy fehér színűek, akkor a cifra mintázatuk ismét rejtve marad.

A fajtában előforduló cifra szín vizsgálata további egyedek bevonásával a későbbiekben kibővíthető lenne, ugyanis a cifra szín megjelenési formáit tekintve nagyfokú változékonyság jellemző. Egyes egyedekben a világos, merle gén által hígított területek egyértelműen elkülönülnek a kutya alapszínét jelentő, sötétebb területektől, de előfordul, hogy a két színárnyalat szinte el sem különíthető egymástól. Jellemző, hogy a merle gén által okozott hígulás mértéke az egyed élete során is változik, az érintett kutyák színe általában idővel sötétedik. Azokat a rejtett cifra egyedeket, amelyekben a merle allél befolyásolta a szem színét, korábban pigmenthibásnak, tenyésztésből kizárandónak tartották, mivel a standardleírás a fakó és fehér kutyák esetében a minél sötétebb szemszínt részesíti előnyben (4). A genetikai háttér tisztázása után azonban egyértelművé válhat, hogy ezek a kutyák nem jelentenek semmiféle negatív hatást a születendő utódaik pigmentációjára, így a tenyésztésből való kizárásuk sem indokolt.

Jelenleg a standard egyedül a cifra szín esetében engedélyezi a csókaszemet

Fehér és fakó színű egyedek cifrával csak genetikai vizsgálat után lehet párosítani, ha a vizsgálat nem mutatott ki merle gént

A jelenleg érvényben lévő standardleírás a cifra színjelölést csak a fekete alapszínű, cifra mintázattal rendelkező fenotípusra, mint egységes színre használja. A fenotípust alakító genotípus háttér azonban azt mutatja, hogy az egyed alapszíne a cifra mintázattól külön kezelendő. Az, hogy a feketétől eltérő alapszínen megjelenő cifra mintázat (hamvas-cifra, barna-cifra, hamvasbarna-cifra) mennyire elfogadható tenyésztési szempontból, jelenleg is vita tárgyát képezi, mivel a standardleírás nem említi ezeket a színeket. A standard egyedül a cifra szín esetében engedélyezi a csókaszemet, ez azonban nem áll összhangban a színek genetikájával, így indokolt lehet egy ilyen irányú standardmódosítás kezdeményezése.

A 2016. június 21-től 2017. december 10-ig hatályban lévő, NÉBIH által elfogadott és közzétett mudi tenyésztési szabályzat álláspontja a rejtett cifra kutyákról a következő: „Tenyésztési tilalom a színekben: Cifra színű (merle) egyeddel cifra színű (merle) egyeddel tilos párosítani! Fehér és fakó színű egyeddel cifrával csak genetikai vizsgálat után lehet párosítani, ha a vizsgálat nem mutatott ki merle gént az állatnál. Származási igazoláson a következő színek szerepelhetnek: fekete, fehér, barna, cifra (*bluemerle*), hamvas, fakó.” (16). Öröndetes, hogy a szabályzat készítői felismerték a genetikai vizsgálat nélkülözhetetlenségét az egyed valódi színének megállapításához, azonban a szabályozás egyfelől szükségtelenül, másfelől nem kellően szigorú volt. Azon esetekben, amelyekben a fakó vagy fehér egyed szülei nem cifrák vagy rejtett cifrák, az adott egyednél is kizárható a rejtett cifraság, így cifrával való párosítása nem rejt veszélyeket. A szabályzat viszont nem tiltotta fakó és fehér kutyák egymással való párosítását, és ilyen esetre nem is írt elő kötelező genetikai vizsgálatot. Ez a helyzet azonban magában rejti két rejtett cifra egymással való párosításá-

Genetikai vizsgálatokon alapuló, új tenyésztési szabályzatra lenne szükség

nak lehetőségét, így nem kívánatos, csökkent életképességű, homozigóta cifra utódok is születhetnek. A jelenleg érvényben lévő tenyésztési program ezzel szemben nem tér ki a rejtett cifra színe, csak két cifra egyed egymással való párosítását tiltja (7). Célszerű lenne egy olyan szabályzat megalkotása, amely a genetikai vizsgálatokból fakadó pontosításokkal tiltaná azokat a párosításokat, amelyekre a nagy kockázat miatt valóban szükség van, de nem korlátozná azokat, amelyeknél a kockázat nem áll fent. A mudipopuláció más fajtákhoz viszonyítva kis létszámú, és mivel a jelenlegi állomány is nagyrészt néhány alapító egyedre vezethető vissza, a fajta effektív genetikai változékonysága is szerény. Amennyiben bizonyos színek párosítása indokolatlanul tiltott, nem csak a tenyésztők lehetőségei szűkülnek be még jobban, de hosszútávon a fajta beltenyésztettsége és genetikai leromlása is növekszik, amely a fajta korábbi, populáció genetikai adatainak tükrében is mérlegelendő (24).

A 2016. szeptember 19-én hatályba lépett 62/2016. (IX. 16.) FM rendelet 6.§ (2) bekezdése alapján – amely bekezdés 2017. július 1-jén lépett hatályba – „A magyar ebfajták törzskönyvezendő egyedeinek származását DNS-alapú származásellenőrzéssel kell igazolni, amelynek elvégzését a fajta fenntartásáért felelős tenyésztő szervezet tenyésztési programjával összhangban koordinálja” (1). A kutyák tenyésztési (leszármazási) célú, DNS-alapú polimorfizmus-vizsgálata Magyarországon – nemzetközi mércével mérve is – hosszú időre tekint vissza (17). Habár az egyedazonosság megállapításához szükséges markerek viszonylag széles köre és populációs eloszlása is ismert (23, 25), egységes, tenyésztői adatbázisokhoz kapcsolt, nyomon követhető és hiteles alkalmazásuk néhány próbálkozástól eltekintve (18) hiányos, és még várat magára. A rendelet a 2.§-ban kijelölt kilenc magyar kuyafajta esetében, így a mudi fajtánál is minden regisztrálandó kölyöknél előírja a DNS-minta levételét és származásellenőrzési céllal való felhasználását ez év júliusától. A mintavétel és feldolgozás részletei egyelőre nem ismertek, ha azonban a DNS-alapú származásellenőrzési rendszer megvalósításra kerül, mudi fajtában célszerű volna a rejtett cifraság szűrését egyidejűleg elvégezni.

Fontos hangsúlyozni, hogy a rejtett cifraság egy tulajdonság, nem pedig rendellenesség. A rejtett cifra kutyák sem jobban kitéttek genetikai rendellenességeknek, mint a hagyományos cifra fenotípussal rendelkező társaik. Az egyedek valódi színének megismerése viszont tenyésztési szempontból is fontos, hogy a nagy kockázattal és csökkent életképességű utódokkal járó párosítások elkerülhetőek legyenek.

A mudi fajtában további színgenetikával kapcsolatos kutatások lehetősége is megfontolandó, a hamvas egyedek között kopaszfülű vagy a test nagyobb területein szőrtelen kutyák is előfordulnak. Bár a mudiban más színnél nem figyeltek meg hasonló jelenséget, jelenleg nem zárható ki a más fajtájú kék – a mudik hamvas színével megegyező – genetikai hátterű kutyáknál leírt színhígulásos alopecia analógiája (11).

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők szeretnének köszönetet mondani azoknak a kutyatulajdonosoknak, akik a mintagyűjtésben nyújtott segítségükkel hozzájárultak a vizsgálatok elvégzéséhez. Jelen kutatás az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-2 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.

A genetikai vizsgálatok célja, hogy a nagy kockázattal és csökkent életképességű utódokkal járó párosítások elkerülhetőek legyenek

IRODALOM

1. A földművelésügyi miniszter 62/2016. (IX. 16.) FM rendelete a magyar ebajták körének megállapításáról és genetikai fenntartásuk rendjéről. *Magyar Közlöny*, 2016. 139. 69721– 69724.
2. BRUNBERG, E. – ANDERSSON, L. et al.: A missense mutation in PMEL17 is associated with the Silver coat color in the horse. *BMC Genet.*, 2006. 7. 46.
3. CLARK, L. A. – WAHL, J. M. et al.: Retrotransposon insertion in SILV is responsible for merle patterning of the domestic dog. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2006. 103. 1376–81.
4. Fédération Cynologique Internationale, 2004: FCI-Standard N° 238. URL: <http://www.fci.be/Nomenclature/Standards/238g01-en.pdf>
5. FÉNYES D.: A hajtókutya. A Rendőrkutya, 1936. 1936/2.
6. Fényes Mudi Klub, Regisztrált mudik 2014. URL: http://mudiklub.fw.hu/regmudik/2014_muditkv.pdf
7. FMK tenyésztési program (kivonat). URL: <http://www.fenyesmudiklub.hu/fmk-tenyesztesei-program/>
8. GELATT, K. N. – MCGILL, L. D.: Clinical characteristics of microphthalmia with colobomas of the Australian Shepherd Dog. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 1973. 162. 393–396.
9. HÉDAN, B. – CORRE, S. et al.: Coat colour in dogs: identification of the Merle locus in the Australian shepherd breed. *BMC Vet. Res.*, 2006. 2. 9.
10. KAELIN, C. B. – BARSH, G. S.: Genetics of pigmentation in dogs and cats. *Annu. Rev. Anim. Biosci.*, 2013. 1. 125–156.
11. KIM, J. H. – KANG, K. I. et al.: Color-dilution alopecia in dogs. *J. Vet. Sci.*, 2005. 6. 259–61.
12. KOBAYASHI, T. – URABE, K. et al.: The Pmel 17/Silver Locus Protein – Characterisation and investigation of its melanogenic function. *J. Biol. Chem.*, 1994. 269. 29198–29205.
13. MARKLUND, L. – MOLLER, M. J. et al.: A missense mutation in the gene for melanocyte-stimulating hormone receptor (MC1R) is associated with the chestnut coat color in horses. *Mamm. Genome*, 1996. 7. 895–899.
14. MITCHELL, A. L.: Dominant dilution and other color factors in Collie dogs. *J. Hered.*, 1935. 26. 425–430.
15. National Center for Biotechnology Information, URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/?term=silv>
16. Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal, 2016: Mudi tenyésztési szabályzat NÉBIH Meoesz v6. URL: <http://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/398672/Mudi+teny%C3%A9sz-t%C3%A9si+szab%C3%A1lyzat+N%C3%89BIH+Meoesz+v6.doc/970eb56f-0d55-45cc-9e3a-fab3adf671d1>
17. PÁDÁR, Z. – EGYED, B. – KONTADAKIS, K. – ZÖLDÁG, L. – FEKETE, S.: Resolution of parentage in dogs by examination of microsatellites after death of putative sire: Case report. *Acta Vet. Hung.*, 2001. 49. 269–73.
18. RZEPIEL A. – HORVAI-SZABÓ M. – MONOKI SZ. – ÓZSVÁRI L. – LEHOTZKY P. – NAGY Zs.: A hazai komondorállomány DNS biobankjának létrehozása és felhasználási területei. *Magy. Állatorvosok Lapja*, 2012. 134. 620–627.
19. STRAIN, G. M.: Congenital deafness and its recognition. *Vet. Clin. North. Am. Small. Anim. Pract.*, 1999. 29. 895–907.
20. STRAIN, G. M.: The genetics of deafness in domestic animals. *Front. Vet. Sci.*, 2015. 2. 29.
21. THEOS, A. C. – TRUSCHEL, S. T. et al.: The Silver locus product Pmel17/gp100/Silv/ME20: Controversial in name and in function. *Pigment Cell Res.*, 2005. 18. 322–336.
22. WENZEL K.: Pár szó a cifra mudikről! *Mudi Krónika I. évfolyam*, 2000. 2.
23. ZENKE P. – PÁDÁR Zs. – ZÖLDÁG L.: Molekuláris genetika és kutyatenyésztés. *Magy. Állatorvosok Lapja*, 2006. 128. 544–550.
24. ZENKE P. – MARÓTI-AGÓTS Á. – PÁDÁR Zs. – GÁSPÁRDY A. – KOMLÓS I. – ZÖLDÁG L.: Adatok a kutyaállományok beltenyésztettségének értékeléséhez. *Magy. Állatorvosok Lapja*, 2007. 129. 484–489.
25. ZENKE, P. – EGYED, B. – ZÖLDÁG, L. – PÁDÁR, Zs.: Population genetic study in Hungarian canine populations using forensically informative STR loci. *Forensic Sci. Int. Genet.*, 2011. 5. 31–36.

Közlésre érke.: 2017. jan. 20.