

*Emma Eyþórsdóttir, Teitur Sævarsson, Sigurborg
Hanna Sigurðardóttir og Jón Hallsteinn Hallsson*

Litafjölbreytni og erfðir lita hjá íslensku sauðfé



1. mynd. Þrjú haustlömb sem sýna aðallitina svart, mórautt og hvítt. – Three autumn lambs showing the main base colours black, moorit and white. Ljósm./Photo: Harpa Dagbjört Bjarnadóttir.

LITAFJÖLBREYTNÍ hjá íslensku sauðfé er vel þekkt og hefur viðhaldist í stofninum um aldir ólíkt mörgum erlendum fjárkynjum. Hér er lýst þeim breytileika í litum og litamynstrum sem finnst í íslensku fé og einnig gerð grein fyrir líffræði litamyndunar. Grunnlitir eru hvítt, svart og mórault, og litamynstur eru grátt, grámórault, golsótt og botnótt ásamt tvílutum þar sem hvít svæði á dökkum grunni skapa mikla fjölbreytni. Hvítt er algengasti liturinn. Árið 2020 voru 78,4% fjár skráð hvít. Svart var algengast af dökkum litum eða 12,7% árið 2020 en mórault aðeins 4,2%. Gráar kindur voru 4,4% en grámórâuðar einungis 0,3%. Litamynstur koma fyrir á grunni dökkra lita og var tvílit algengast af litamynstrum eða 5,8% af heildarfjölda 2020.

Stefán Aðalsteinsson (1928–2009) skýrði helstu erfðareglur sauðfjárlita á grunni rannsókna sinna á íslensku fé. Niðurstöður hans eru þær að litaerfðir í íslensku sauðfé ráðist fyrst og fremst af breytileika í genasætunum *agouti* (*a*-genasætið), *brown* (*b*-genasætið) og *piebald spotting* (*s*-genasætið). Ríkjandi samsæta í *a*-sæti veldur hvítum lit og eru aðrir litir víkjandi. Arfgerð í *b*-sæti ræður svörtum eða mórâuðum lit og er svart ríkjandi. Víkjandi arfgerð í *s*-sæti veldur tvílit á kindum með dökkann grunnlit en alhvítu í hvítu fé.

Sameindaerfðafræði litamyndunar í sauðfé er þó flóknari en ætla mætti út frá erfðareglum Stefáns. Rannsóknir á því sviði hafa varpað skýrara ljósi á þau gen sem standa að baki sauðalitunum, en jafnframt reynist ekki fullt samræmi á milli sameindaerfðafræðilegra niðurstaða og þeirra erfðareglna sem stuðst er við í íslenskri sauðfjárrækt. Frekari rannsóknar er því þörf til að upplýsa málið.

INNGANGUR

Vísir að íslenska sauðfjárkyninu er talinn hafa borist hingað til lands með landnámsmönnum frá Noregi og Bretlandseyjum fyrir um 1100 árum.¹⁻³ Hvaðan eða hvernig sauðfé barst hingað er ekki nákvæmlega vitað, en jafnan er gengið út frá því að íslenskt sauðfé sé upprunnið í Noregi. Þó er ekkert sem útilokar að uppruninn geti verið flóknari og vert að hafa í huga að landnámsmenn komu bæði frá Norðurlöndum og Bretlandseyjum.^{4 6}

Lítið er vitað um erfðafræðilega samsetningu og þróun íslenska sauðfjárstofnsins frá landnámi og fram að þeim tíma þegar markvissar kynbætur hófust á 20. öld. Þó er vitað að stofninn sveifladið mikið í stærð, meðal annars vegna náttúruhamfara, frá tæplega 50 þúsund gripum árið 1784 í nær 900 þúsund gripum árið 1977. Síðan hefur stofninn minnkað jafnt og þétt og voru aðeins rétt um 400 þúsund gripir á vetrarfóðrum árið 2020, þegar fé hafði ekki verið færra síðan 1888. Vitað er að hingað var flutt sauðfé til kynbóta nokkrum sinnum, oft með þeim afleiðingum að til landsins bárust nýir búfjárjúkdomar.⁷ Almennt er ekki talið að þessi innflutningur hafi haft áhrif á erfðasamsetningu íslenska stofnsins en það hefur þó ekki verið

staðfest með rannsóknum. Aðlögun að sérstökum umhverfisaðstæðum á Íslandi kann að hafa sett mark sitt á erfðasamsetninguna en slík áhrif hafa sést í erlendum búfjárkynjum.⁸

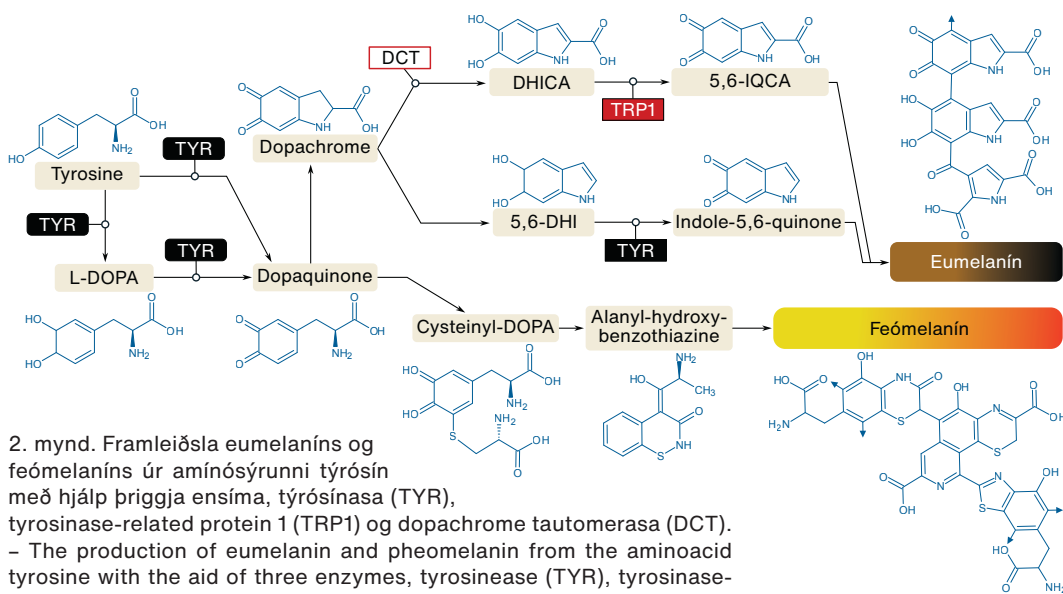
Íslenski sauðfjárstofninn er um margt einstakur. Eitt af helstu sérkennum hans er mikill fjölbreytileiki, bæði í litum og hornafari. Svo mikill breytileiki innan búfjárkyns sést óvída erlendis sökum hreinræktunar ákveðinna svipgerðareiginleika sem ruddi sér víða til rúms samhliða skipulögðum kynbótum (1. mynd).⁹ Stefán Aðalsteinsson rannsakaði erfðir sauðfjárlita í íslensku fé og setti fram reglur um erfðir þeirra, sem ræktendur hafa nýtt sér með góðum árangri. Enn er þó ekki fyllilega ljóst hvaða breytileikar í erfðamenginu standa að baki hinum mikla breytileika í svipgerð íslenska sauðfjárstofnsins.

Halldór Pálsson (1911–1984) lýsti í fyrsta skipti með skipulegum hætti helstu litum hjá íslensku sauðfé. Í grein í Náttúrufræðingnum árið 1944 nefndi hann yfir fimmtíu liti og litaafbrigði en hafði þó á orði að það væri „fjarri því að öll afbrigði af ofantöldum litum [væru] talin ...“.¹⁰ Þann þráð tók Stefán Aðalsteinsson upp, lýsti öllum þekktum

litum í grein árið 1970¹¹ og setti þá í samhengi við niðurstöður rannsókna sinna á erfðum lita. Voru í greininni nefndir 17 meginflokkar lita en þar bættust við 34 mynstur. Þessar lýsingar eru enn í fullu gildi og er stuðst við þær hér á eftir. Stefán setti þá jafnframt fram ýtarlegt litanúmerakerfi til að lýsa litum sem nákvæmast í rannsóknum sínum þar sem bæði eru skilgreindir aðallitir og blæbrigði hvers litar.

Fyrri tíma rannsóknir á erfðamynstri hafa leitt í ljós ákveðnar reglur sem um litabreytileikann gilda. Má draga þá ályktun að litaerfðir í íslensku sauðfé ráðist fyrst og fremst af breytileika í þremur genasætum, sem kölluð hafa verið *agouti* (*a*-genasætið), *brown* (*b*-genasætið) og *piebald spotting* (*s*-genasætið).^{11,12}

Yfirlit á íslensku um litafjölbreytni og litaerfðir hjá íslensku sauðfé hefur ekki birst um árabíl og því löngu tímaþætt að taka þetta efni saman og gera aðgengilegt. Efninu er hér kaflaskipt þannig að annars vegar er fjallað um fjölbreytni lita og edli þeirra ásamt yfirliti um tíðni litanna, en hins vegar er fjallað um erfðir sauðalita, erfðareglur og nýjustu rannsóknir á sviði sameindaerfðafræði litamyndunar.



3. mynd. Hvít lömb og ær. (A) Alhvít lamb. (B) Lamb með gult á fótum og gulflekkótt á belg. (C) Gulflekkótt lamb. (D) Algult lamb. (E) Alhvít ær. (F) Hvít/gul ær. (G) Mókolótt gimbur. – White lambs and ewes. (A) White lamb without tan. (B) Lamb with tan legs and spots on body. (C) Spotted tan lamb. (D) Lamb with tan on the whole body. (E) White ewe without tan. (F) White ewe with tan colour. (G) White ewe lamb with dark face and feet. Ljós./Photos: A-D: Sigurborg Hanna Sigurðardóttir; E, F: Birgitta Lúdvíksdóttir; G: Páll Imsland.

LITAFJÖLBREYTNÍ

Grunnlitir í sauðfé byggjast annars vegar á því hvaða litarefni myndast í húð og hins vegar á því hvar og hvernig þessi litarefni koma fram. Spendýr framleiða tvenns konar litarefni, feómelanín og eumelanín.¹³ Bæði eru framleidd úr sama hvarfefninu, þ.e. aminosýrunni týrósin. Feómelanín gefur rauðgulan eða rauðan lit og eumelanín gefur svartan eða brúnan lit (2. mynd). Samspil og mismunandi dreifing litarefnanna mynda síðan grunnliti og mynstur. Vert er að hafa í huga að ull af íslensku sauðfé

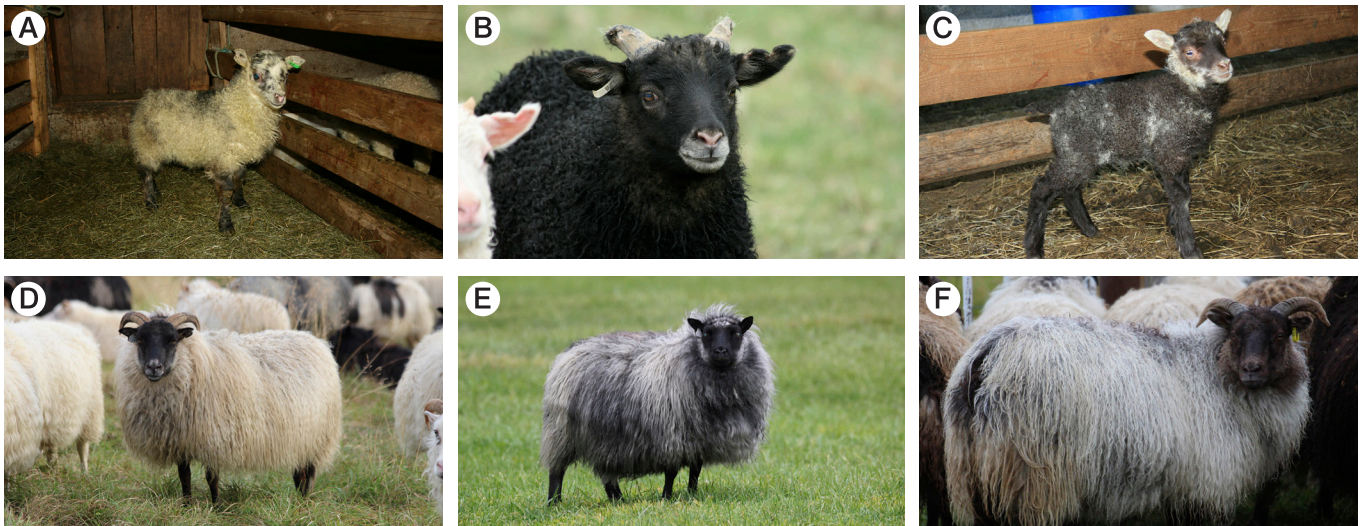
skiptist í tvær gerðir, tog og þel, sem haft getur áhrif á lit gripsins þar sem liturinn á þessum tveimur gerðum ulla er ekki sá sami í öllum tilvikum. Í togi eru almennt lengri hár og grófari og mynda ytra lag reyfisins, en þelið liggur nær líkama skepnunnar og myndar þar undirlag. Þessi ullareiginleiki hefur mest áhrif á mismunandi blæbrigði gráa litarins.

Algengasti litur íslensku sauðfjár er hvítt. Það felur reyndar í sér nokkurn breytileika þar sem kindur sem teljast hvítar geta sýnt mismikinn gulan eða rauðgulan lit, sérstaklega á höfði og

fótum. Við skráningu á hvítu eru notaðir fimm flokkar, frá alhvítu yfir í algult. Talað er um hreinhvítt, alhvítt eða mjallhvítt þar sem skepnan er algerlega hvít en gular kindur hafa rauðgulan lit á haus og fótum og jafnvel líka um allan bók, og getur liturinn verið misdökkur. Kolótt fé getur verið blá-, grá- eða mókolótt og hefur dökk hár í andliti og á fótum ásamt gulu en flokkast samt hvítt að grunnlit. Ull á gulu og kolóttu fé er að mestu leyti hvít en útbreiðsla á gulum hárum er misjöfn, ekki síst í togi. Hreinhvítar kindur hafa ljóskar klaufir og horn



4. mynd. Svart og mórautt. (A) Mórautt lamb. (B) Svart lamb. (C) Mórauð ær. (D) Svartur hrútur. – Black and moorit sheep. (A) Moorit lamb. (B) Black lamb. (C) Moorit ewe. (D) Black ram. Ljós./Photos: A: Sigurborg Hanna Sigurðardóttir; B, C, D: Birgitta Lúðvíksdóttir.



5. mynd. Grátt. (A) Ljósgrátt lamb. (B) Dökkgrátt lamb. (C) Grámórautt lamb. (D) Ljósgrá ær. (E) Dökkgrá ær. (F) Grámórauð ær. – (A) Light grey lamb. (B) Dark grey lamb. (C) Grey-moorit lamb. (D) Light grey ewe. (E) Dark grey ewe. (F) Grey-moorit ewe. Ljós./Photos: A-C: Sigurborg Hanna Sigurðardóttir; D-E: Birgitta Lúðvíksdóttir; F: Harpa Dagbjört Bjarnadóttir.

en gular og kolóttar kindur hafa dökkan klaufir og yfirleitt sjást dökkan rákir í hornum (3. mynd).

Dökkan kindur eru ýmist svartar, gráar eða mórauðar að lit. Svart og mórautt teljast grunnlitir en grátt flokkast sem litamynstur. Svartar kindur eru alsvartar við fæðingu en liturinn getur tekið á sig mismunandi blæ með aldrinum og er þá talað um hreinan svartan lit sem tinnusvart eða hrafnsvart, gráleitan sem hélusvart og móleitan sem mós svart. Þessi blæbrigði koma nær eingöngu fram í togi. Mórauð lömb fæðast

yfirleitt mjög dökk en lýsast með aldrinum. Mikill breytileiki er í mórauðu, allt frá mjög ljósu yfir í dökkmórautt, en þessi litur er næmur fyrir ljósi og lýsist oft yfir sumarið (3. mynd).

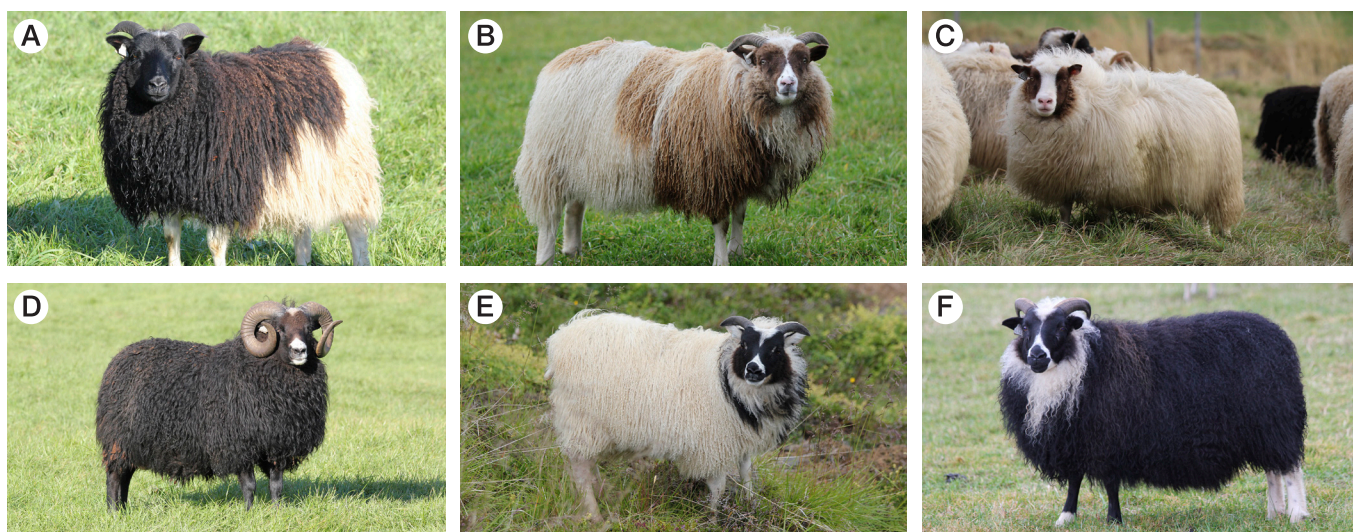
Ull grárra kinda er samsett af svörtum og ljósum hárum þar sem þel-hárin eru alltaf ljósa en toghárin sem eru oftast dökkgrá eða svört (5. mynd). Grái liturinn er þó ákaflega breytilegur, allt frá svo ljósgráum að hann getur í fljótu bragði virst hvítur, yfir í dökkgráan. Lömbin geta verið mjög dökk við fæðingu þar sem einungis örlar

á gráum hárum á snoppu og í eyrum (5. mynd B) en þau sem verða ljósgrá síðar geta verið ljósleit eða gráflikrótt. Grámórautt kemur fram sem blanda af gráum og mórauðum lit, þar sem dökku hárin eru mórauð eða móleit, og getur þessi litur verið mjög breytilegur.

Önnur litamynstur sem koma fram í íslensku fé eru golsótt og botnótt, sem getur komið fram á grunni allra ofantalinna lita. Golsóttar kindur eru dökkan á fótum, kvið og aftanverðum lærum og upp í klop, dökkan á höfði með ein-kennandi ljóst mynstur í andliti og



6. mynd. Botnótt og golsótt. (A) Móbotnótt lamb. (B) Svartgolsótt lamb. (C) Mógolsubotnótt ær með móbotnóttan hrút. (D) Svartbotnótt ær. (E) Svartbotnótt, svartgolsótt og svartgolsubotnótt hlið við hlið. (F) Grábotnótt ær. – Sheep with mouflon and badgerface patterns. (A) Moorit mouflon lamb. (B) Black badgerface lamb. (C) Moorit badgerface-mouflon ewe with moorit mouflon ram lamb. (D) Black mouflon ewe. (E) Black mouflon, black badgerface and black badgerface-mouflon sheep side by side. (F) Grey mouflon ewe. Ljós./Photos: A, B: Sigurborg Hanna Sigurðardóttir; D, F: Birgitta Lúdvíksdóttir; C, E: Páll Imsland.



7. mynd. Tvílit með ýmsu móti. (A) Svartkápótt með krúnu. (B) Móflekkótt, kjömmubíldótt. (C) Móbíldótt. (D) Svartkrúnótt með lauf og hvíta snoppu. (E) Svartbotnótt, krögubíldótt. (F) Svartarnhosótt. – Various piebald patterns on black or moorit background colour. Ljós./Photos: Birgitta Lúdvíksdóttir.

dökka rönd frá hálsi niður að kvið. Efri hluti búksins er ljós, oftast gulur og blandaður dökkum hárum (6. mynd).

Botnótti saudaliturinn er nánast andhverfa golsóttar litarins, þ.e. ljóst á neðri kjálka, bringu, kvið og upp í klop en dökkt á efri hluta búks og haus að undanteknum einkennandi ljósum rákum ofan við augnakróka. Ljósi liturinn er blandaður gulum og dökkum hárum. Bæði golsótt og botnótt litamynstur geta verið misgreinileg. Golsótt og botnótt getur komið fyrir saman og þá verður kindin golsubotnótt. Á

þessum kindum kemur dökkur litur einungis fram á stöðum sem eru dökkir í báðum litamynstrum, þ.e. í andliti og á fótum að hluta, og í röndum á mörkum kviðar og búks (6. mynd C og E).

Tvílitar kindur eru dökkar að grunnlit en hafa mismikið af hvítum svæðum á haus og bol. Breytileikinn er afar mikill og ógerningur að telja upp eða lýsa öllum litamynstrum. Halldór Pálsson¹⁰ gat um helstu tvíliti í lýsingu sinni 1944 og Stefán Aðalsteinsson¹¹ flokkaði tvíliti eftir útbreiðslu hvíta litarins og skilgreindi númer fyrir öll helstu

einkenni, alls 45 mynstur. Hægt er að flokka litamynstrin gróft eftir útbreiðslu og staðsetningu dökka litarins og eru nöfn litanna oft lýsandi fyrir helstu einkennum. Flokkun gerir þó aldrei skil öllum breytileika sem fram getur komið vegna þess að fleiri en eitt litamynstur kemur ídulega fyrir á sömu skepnunni. Í 1. töflu er listi yfir helstu heiti tvílita ásamt stuttri lýsingu og eru þær unnar upp úr litakerfi Stefáns. Tvílitar kindur geta verið skrautlegar, og þykja til dæmis arnhöfðótt og arnhosótt afar glæsilegir litir (7.–9. mynd). Tvílitir geta komið fram

Heiti á helstu einkennum tvílitra kinda með skýringum samkvæmt litaskráningarkerfi Stefáns Aðalsteinssonar¹¹ (einkennum er raðað eftir útbreiðslu hvíts litar, mest efst og minnst neðst). – Names and short descriptions – in Icelandic – of the main piebald patterns that occur in Icelandic sheep according to the colour recording system developed by Stefán Aðalsteinsson (1970) (the patterns are listed in the order of the extent of white areas on the body; most white at the top and most dark at the bottom).

| Tvílitur / Piebald pattern | Skýringar við tvílitu / Short description |
|----------------------------|---|
| Baugótt | Dökkir baugar kringum augun |
| Flekkótt | Dökkan skellur í hvítu, einkum á baki og í síðum |
| Flikrótt | Dökkan skellur eða dílar í hvítu, litaskil óhrein = dílaflekkótt |
| Dropótt | Dökkir blettir eða dílar í þeli á hvítum belg, ekki í togi |
| Kjömmubíldótt | Haus dökkur, hvít krúna og lauf eða blesa. |
| Krögubíldótt | Kjömmubíldótt með dökkan kraga |
| Höttótt | Dökkur litur aftur á eða aftur fyrir bóga |
| Höttukápótt | Höttótt með dökkan spaða aftur eftir hrygg |
| Hreinkápótt | Dökkt að framan og ofan, hvítt að neðan, einkum aftan til |
| Huppukápótt | Hreinkápótt, mikið hvítt upp eftir síðum |
| Hosótt | Allir fætur hvítir, a.m.k. upp að hné, kviður oft allmikið hvítur, en hvítt nær lítið upp á bol |
| Arnhosótt | Hosótt með hvítan kraga og krúnu og laufi eða blesu |
| Arnhöfðótt | Hosótt með baugóttan eða kjömmubíldóttan haus |
| Leistött | Hvítt nær ekki upp fyrir hné eða konungsnef |
| Leggjótt | Hosótt eða leistött með dökkan lit neðan við lágklaufir |
| Krúnótt | Með hvítan blett í hnacka |
| Laufótt | Hvítur blettur á snoppu |
| Blesótt | Hvít rönd úr hnacka fram á snoppu |

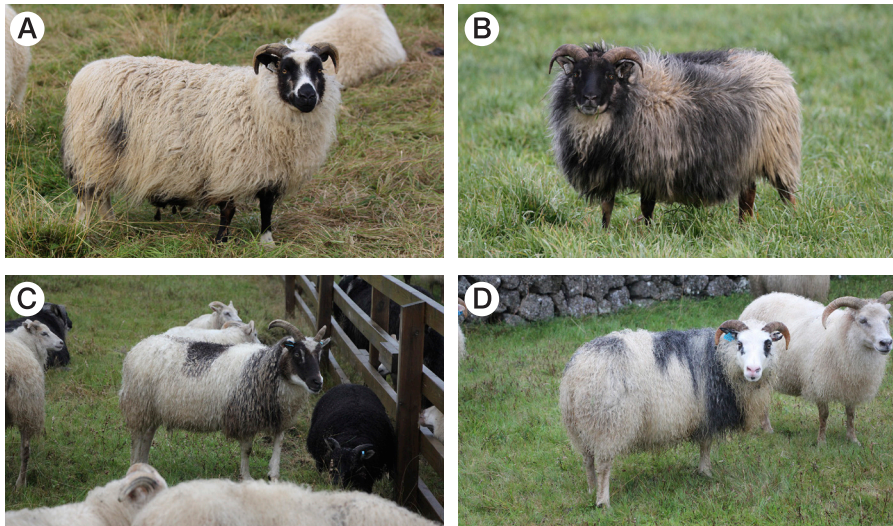
með öðrum litamynstrum, svo sem golsóttu og botnóttu. Forystufé á Íslandi er allajafna mislitt og ber þar ekki síst á fjölbreyttum gerðum af flekkóttu, en hvítar kindur eru sjaldgæfar innan stofnsins.¹⁴ Málvenjur um heiti lita eru ekki alltaf þær sömu eftir landshlutum og á það aðallega við um golsóttu og botnóttu liti. Nefna má að golsótt er einnig kallað golótt eða mögótt. Botnótt er einnig nefnt golótt eða mögótt í sumum sveitum. Gult fé gengur einnig undir ýmsum heitum, svo sem vellótt á Suðausturlandi og írautt víða á Austurlandi.¹⁵

Tíðni lita og litamynstra

Skráning lita hefur verið hluti af skýrsluhaldi sauðfjár frá því um 1970 og var byggð á litaflokkun Stefáns Aðalsteinssonar. Miðað er við að litir lamba séu

skráðir að vori um leið og lömbin eru merkt með númerum og mörkuð. Notaðir eru allt að 39 litaflokkar við skráningu til að ná utan um breytileika litanna. Almenn hafa verið skráðir allir aðallitir og hægt er að skrá litblæ á hvítu (alhvítt, gult, kolótt), svörtu, mórauðu og gráu. Tvílit var lengi vel flokkað saman sem flekkótt án nánari skilgreiningar. Sauðfjárskýrsluhaldskerfi Bændasamtaka Íslands, Fjárvís, hefur síðan 2014 notað þriggja stafa númer til að lýsa litum gripa sem í kerfið eru skráðir. Vísar fyrsta tala til grunnlitar, önnur til litbrigða eða mynsturs og þriðja talan til einkenna á tvílitu (10. mynd). Margir fjáreigendur láta þó nægja að skrá aðalíti án blæbrigða og tvílit án nánari einkenna. Sigurborg Hanna Sigurðardóttir¹⁵ tók saman upplýsingar um lita-

skráningar í skýrsluhaldskerfinu Fjárvís á tímabilinu 2000 til 2015. Hér er stuðst við sömu gögn og bætt við nýjustu upplýsingum frá 2020, sem fengnar voru hjá Bændasamtökunum í apríl 2021. Skráningin á við fullorðnar ær með skráð fang öll árin. Hvítt er langsamlega algengasti liturinn, og var yfir 80% af öllu skráðu sauðfé skráð hvítt fram til 2015 en það hlutfall lækkar í 78,5% árið 2020. Meirihluti skráninga á hvítu er óskilgreindur, en alhvítar kindur voru skráðar 12,7% af heildarfjölda árið 2020 og hefur hlutfeldi þeirra farið heldur lækkandi. Ef miðað er við hlutfall af hvítu fé eingöngu var hlutfeldi alhvíts 16,2% árið 2020. Nokkuð er um að skráðar séu kindur sem eru gular á haus og fótum en hvítar á bók (8–10% af heild) en fátítt að önnur útbreiðsla



8. mynd. Nokkrir sjaldgæfir litir. (A) Svartgolsuarnhosótt. (B) Grábotnótt, upplituð á togi. (C) Móbotnuflekkótt. (D) Gráflekkótt, baugótt. – A few less common piebald colours. (A) Black badgerface piebald. (B) Grey mouflon, faded colour of outer wool. (C) Moorit mouflon piebald. (D) Grey piebald. Ljós./Photos: A, B: Birgitta Lúðvíksdóttir; C, D: Páll Imsland.



9. mynd. Skrautleg vorlömb. (A) Jakobsbíldótt. (B) Móbotnubíldótt. (C) Svartbotnótt, arnhosótt. (D) Móflekkótt lömb, misdökk. (E) Svartbotnótt, bílduflekkótt. (F) Svartbotnótt, krúnótt, leistött. – Spring lambs with various piebald patterns. Ljós./Photos: A, B, C, E: Sigurborg Hanna Sigurðardóttir; D: Páll Imsland; F: Birgitta Lúðvíksdóttir.

á gulu sé skráð. Jón Viðar Jónmundsson¹⁶ tók saman tíðni skráðra lita hjá unglömbum fæddum 1976 og voru þá skráðir litir 134.543 lamba, en það var einungis lítill hluti fæddra lamba það ár. Hvít lömb voru ríflega 84%, svört um 5%, mórauð 1,8% og grá 5,7%. Ríflega þriðjungur hvítra lamba hafði skráðan litblæ og út frá því má áætla að um 14% hvítra lamba hafi verið alhvít. Flekkótt lömb voru einungis 1,5% af hinum skráðu og botnótt, golsótt og grámórauð innan við 1%.

Hlutfall mislitra kinda hefur hækkað frá aldamótum (11. mynd) ekki síst á allra síðustu árum. Mest fjölgar svörtu, og

vex úr 10% 2015 í 12,7% af heildarfjölda 2020. Þessar breytingar stafa hugsanlega af almennri fækkun fjár frá 2015, því að hvítu fé virðist hafa fækkað hlutfallslega meira en mislitu. Litamynstur fjárins hafa einnig breyst hlutfallslega og hefur botnóttu og tvíliti fé ekki síst fjölgað að hlutfalli. Áhrif Grábotna (12. mynd), sem var afar vinsæll kynbótahrútur á sæðingastöð, koma skýrt fram í fjölgun botnóttis fjár (13. mynd A). Tölur um tíðni lita frá árinu 2000 eiga við fullorðnar ær og eru því ekki hæfar til beins samanburðar við lömb fædd 1976, en þó er ljóst að kindum með litamynstur hefur fjölgað töluvert hlutfallslega.

Tiltölulega nýlega var byrjað að skrá einkenni tvílits fjár, og líkt og við aðaliti eru einkenni einungis skráð hjá ríflega 13% kinda með tvíliti árið 2020. Jafnframt er töluvert um að einkenni tvílita séu skráð á kindur sem annars eru skráðar einlitar eða með annað litamynstur (golsótt eða botnótt). Á 13. mynd (B) eru sýnd hlutföll 8 flokka einkenna sem skrá má í Fjárvis og eru þá meðtaldar allar kindur sem hafa skráð einkenni. Baugótt og bíldótt er flokkað saman og er algengasta mynstrið, og flekkótt næstalgengast. Öll mynstur eru algengust á svörtum grunni.

Grunnlitur / Base color

- 1: Hvítt / White
- 2: Grátt (mynstur, ekki litur) / Grey (pattern, not a color)
- 3: Svart / Black
- 4: Mórautt / Moorit (brown)

Litbrigði/mynstur / Variation/pattern

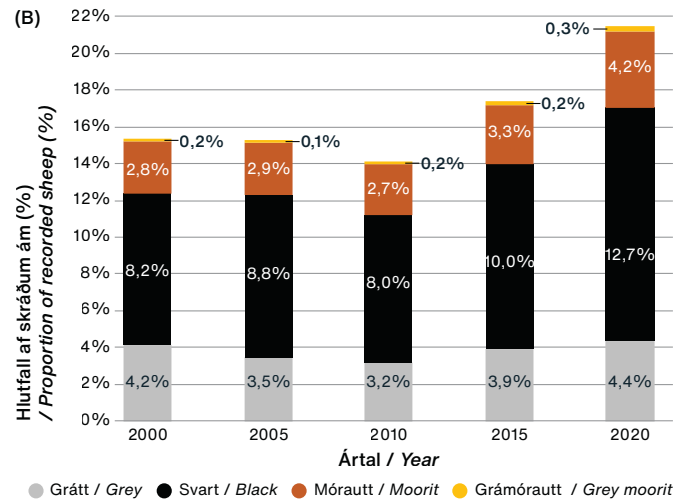
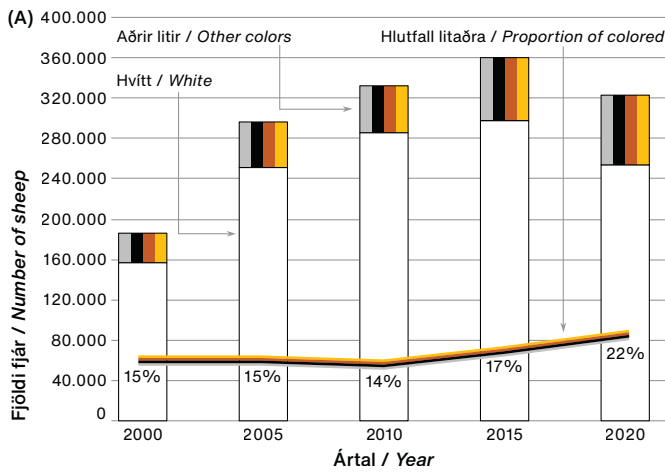
- 0: Ekki nánar tilgreint / Not specified
- 1-5: Litbrigði úr ljósu í dökkt / Color variation from light to dark
- Á hvítu / On white**
- 6: Grá- eða blákolótt / Greyish head/feet
- 7: Mókolótt / Dark tan head/feet
- 8: Dröfnótt / Speckled face
- 9: -
- Á gráu / On grey**
- 6: -
- 7: Botnótt / Mouflon
- 8: Golsótt / Badgerface
- 9: Tvílit / White markings
- Á svörtu/mórauðu / On black/moorit**
- 6: Golsubotnótt / Badgerface mouflon
- 7: Botnótt / Mouflon
- 8: Golsótt / Badgerface
- 9: Tvílit / White markings

Einkenni á tvílitu / White markings

- 0: Ekki nánar tilgreint / Not specified
- 1: Tvílit, baugótt/bíldótt / Dark eyerings/cheeks
- 2: Tvílit, kröggótt/höttótt / Dark hood/collar
- 3: Flekkótt / Patches
- 4: Flikrótt / Spots
- 5: Hrein-, höttu- eða huppukápótt / Coat, hood and cloak, or coat with white flanks
- 6: Arnhosótt, arnhöfðótt, glæsótt / White collar and stockings or eagle head
- 7: Leistótt, leggjótt, hosótt / Socks, dark outer socks, stockings
- 8: Krúnótt, laufótt, blesótt / Head spot, nose spot, blaze

4 8 1 → Mógolsbíldótt

10. mynd. Kerfi litaskráninga sem notað er í Fjárvís - skýrsluhaldi Bændasamtaka Íslands. - Keys to the colour recording system used in the national sheep recording system, Fjárvís.



11. mynd. Dreifing lita í íslenska sauðfjárstofninum. (A) Skipting í hvítt fé og annað. Á y-ás sést heildarfjöldi fjár og er súlum skipt í litað fé og hvítt. Mislit lína á grafinu sýnir hlutfall litaðra af heildarfjölda. (B) Hlutföll af gráum, svörtum, mórauðum og grámórauðum ám af heildarfjölda með skráðan lit. Öll litamynstur og tvílitir meðtalin í hverjum bakgrunnslit. - Distribution of colours in the Icelandic sheep population from 2000 to 2020. (A) White vs. non-white sheep. The y-axis shows the total number of sheep, and the columns are divided between white and non-white sheep. A coloured line shows the percentage of non-white sheep of the total numbers. (B) Proportions of grey, black, moorit and grey-moorit sheep as percentages of total numbers. All colour patterns and piebald patterns are included with each dark colour.



12. mynd. Kynbótahrúturinn Grábotni 06-833 í blóma lífsins, 28. ágúst 2009. - The popular breeding ram Grábotni 06-833 in his prime age in August 2009. Ljós./Photo: Anton Torfi Bergsson.

ORÐSKÝRINGAR

arfgengi – tala á bilinu 0 til 1 sem gefur til kynna hlutfallsleg áhrif erfða á tiltekinn eiginleika. Ef arfgengi er núll eru engin erfðaáhrif og ef arfgengi er einn er eiginleikanum alfarið stýrt af erfðum.

gen – Afmarkaður hluti erfðaefnis sem geymir upplýsingar um myndun tiltekinnar RNA-sameindar. Samsvavar eldra hugtakinu „sæti“ sem notað var um staðsetningu í erfðamengi sem tengdist ákveðinni svipgerð.

samsæta – Notað um mismunandi útgáfur af geni og vísar til þess að mismunandi útgáfur gensins sitja í sama sæti (sjá „gen“).

arfgerð, svipgerð – Arfgerð á við um erfðafræðilega samsetningu einstaklings, þ.e. þær genasamsætur sem viðkomandi ber, en svipgerð á við um lífeðlisfræðilega framsetningu ákveðinna eiginleika. Til dæmis má segja að litur sauðfjár sé eiginleiki, og litasvipgerð sé þá hvítt eða mórault (eða annað). Arfgerð litar segir þá til um hvaða samsætur litagenanna kindurnar bera.

ríkjandi, víkjandi, jafnríkjandi – Erfðamynstur þar sem svipgerð kemur fram með mismunandi hætti eftir því hvaða samsætur lífvera ber. Komi sama svipgerð fram í arfhreinum og arfblendnum einstaklingum,

t.d. A^{wh}/A^{wh} og A^{wh}/A^a , er A^{wh} -samsætan sögð ríkjandi en A^a -samsætan víkjandi. Hvað telst ríkjandi og víkjandi er afstætt og ræðst af viðmiðum á hverjum tíma. Komi báðar svipgerðir fram í arfblendnum einstaklingi, t.d. A^b/A^g , eru samsæturnar sagðar jafnríkjandi.

mRNA – Einþátta kjarnsýra sem verður til við umritun gena og hægt er að þýða yfir í amínósýrukeðju.

opinn lesrammi – Sá hluti mRNA-sameindar sem þýddur er af ríbósómi yfir í amínósýrukeðju. Afmarkast af upphafstákna nærri 5'-enda mRNA-sameindar og af stöðvunartákna nærri 3'-enda mRNA-sameindar.

innröð – Genahluti sem brýtur opinn lesramma upp í útraðir og er ekki nýttur við þýðingu erfðaupplýsinga yfir í amínósýruröð.

útröð – Genasvæði sem myndar hluta af endanlegri mRNA-sameind sem flutt er úr kjarna til þýðingar.

stýriröð – Röð erfðaefnis sem er fremst í geni og stýrir umritun þess.

klónun – Aðferð (það að klóna) í sameindalíf-fræði notuð til að fjölfalda erfðaefnisbút.

KLASSÍSK ERFÐAFRÆÐI SAUÐFJÁRLITA

Rannsóknir Stefáns Aðalsteinssonar gerðu ráð fyrir að grunnliti innan íslenska sauðfjárkynsins mætti skýra með breytileika í þremur megin-genasætum, sem höfðu þá fengið nöfnin *agouti* (*a*-genasætið), *brown* (*b*-genasætið) og *spotted* (*s*-genasætið),¹⁷ en svipgerð í íslensku sauðfé þótti mega skýra með tilvist fimm samsæta í *agouti*-genasætinu og tveimur samsætum í hvoru fyrir sig, *brown*- og *spotted*-genasætunum (14. mynd).

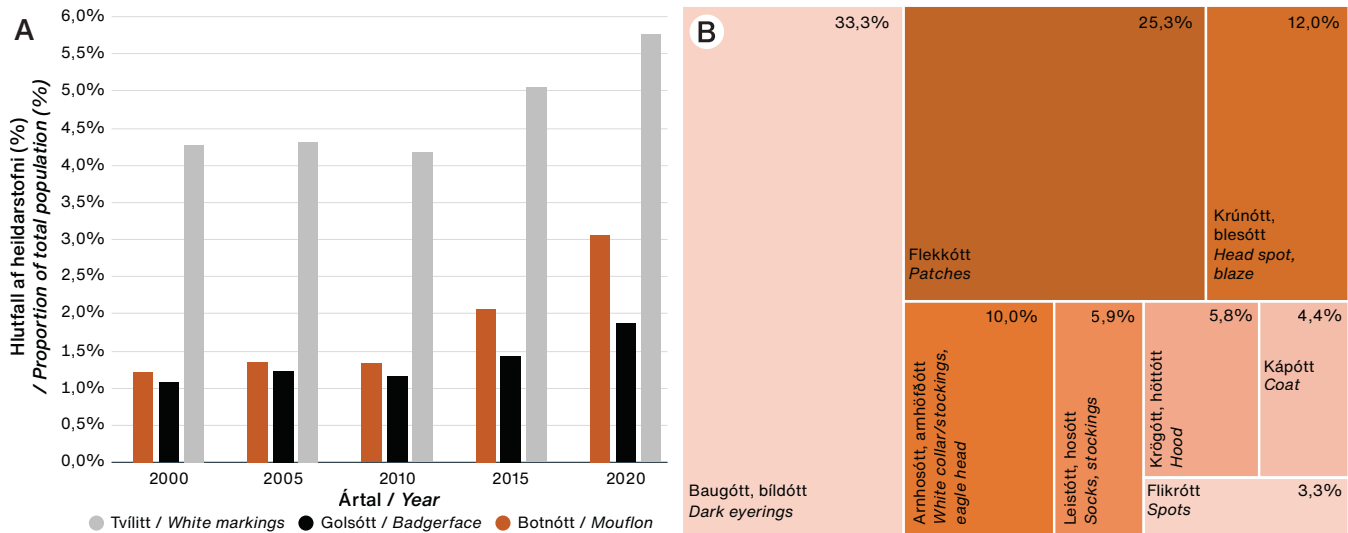
Samsætur í *agouti*-genasætinu sem taldar eru finnast hérlendis hafa fengið nöfnin A^{wh} , A^g , A^b , A^w og A^a . Samsætan A^{wh} er ríkjandi yfir öllum hinum samsætum í þessu genasæti og skilar alltaf hvítu óháð því hvort um er að ræða arfhreinan eða arfblendinn grip (15. og 16. mynd). A^a -samsætan, sem gefið getur hreinan svartan eða mórault lit, er

svo víkjandi fyrir öllum hinum samsætunum fjórum og því kemur hreinn litur aðeins fram í gripum sem eru arfhreindir A^a/A^a . Samsæturnar A^g , A^w og A^b eru jafnríkjandi, þar sem tvær mismunandi samsætur gefa af sér aðra svipgerð en kemur þegar gripir eru arfblendnir með A^a (15. mynd). Að auki fann Stefán Aðalsteinsson¹¹ sjöttu samsætuna, A^{gw} , sem veldur grábotnóttu, hjá einni kind en ekki hefur tekist að greina hana aftur hérlendis. Raðgreining þessara samsætna hefur varpað ljósi á hlutverk þeirra og veitt skýringar á því hvernig þær valda umræddri svipgerð.^{18 20}

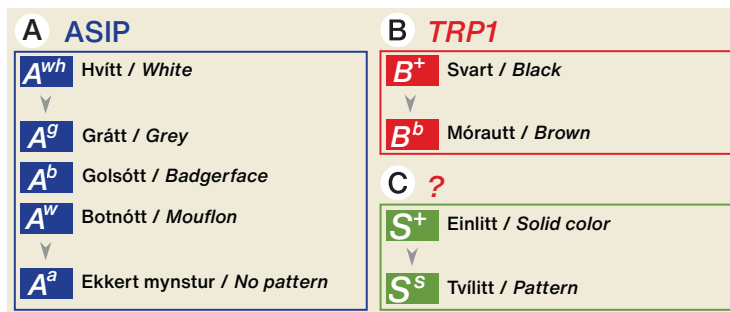
Tvær samsætur eru taldar finnast í *b*-genasætinu. Þær stýra lit og ráða því hvort grunnlitur verður svartur (B^+) eða mórault (B^b), þar sem svart ríkir yfir móraultu. Þriðja genasætið sem stýrir litum í íslensku fé er *s*-sætið. Þar eru þekktar tvær samsætur, S^+ og S^s . Gripir sem eru arfhreindir S^s/S^s verða alhvítir

ef aðallitur þeirra er hvítur en tvílitir ef aðallitur er dökkur. Þannig geta tvílit litamynstur komið fram á grunni allra dökkra litamynstra. Grátt og grá-mórault skýrist svo af því að dreifing litar getur verið mismunandi í togi og þeli en A^g -samsætan veldur því að lit vantar í þelið (15. mynd). Arfhreinar A^g/A^g -kindur eru ljósgráar, bæði á þeli og togi og geta vírst hvítar tilskýndar. Þar sem A^g er jafnríkjandi með A^b og A^w geta orðið til sex mismunandi gráar svipgerðir eftir því hvaða samsætur eru í *b*-sætinu.

Á síðustu öld voru gerðar nokkrar tilraunir með ræktun sérstakra lita út frá niðurstöðum Stefáns Aðalsteinssonar í þeim tilgangi að auka verðmæti ullar og gærna. Stefán ræktaði upp alhvíta fjárstofna á tilraunabúum Rannsóknastofnunar landbúnaðarins og á skólabúinu á Hólum. Þessi ræktun heppnaðist vel og flokkuðust nær



13. mynd. Tíðni tvílitá. (A) Hlutfall af heildarfjölda áa með skráðan lit með botnótt, golsótt og tvílit litamyndur. Golsubotnótt er undanskilið vegna lágrar tíðni (< 0,3%). (B) Hlutföll skráðra litamyndra á tvílitum ám í skýrsluhaldi árið 2020. Heildarfjöldi skráninga er 4.259. – Frequency of piebald patterns. (A) The proportion of colour recorded ewes with mouflon, badgerface and piebald patterns. Badgerface-mouflon pattern is omitted due to low frequency (<0.3%). (B) Relative proportions of the piebald patterns recorded in 2020. The total number of records was 4,259.



14. mynd. Samsæturaðir genanna þriggja sem stýra lit í íslensku sauðfé. (A) Fimm samsætur finnast í a-sætinu, A^{wh} ríkir yfir öllum hinum fjórum, en A^g , A^b og A^w eru jafnríkjandi. Þessar ríkja svo allar yfir A^a -samsætunni. (B) B^+ ríkir yfir B^b í b-sætinu. (C) S^+ ríkir yfir S^s í s-sætinu. – The alleles of three loci control the colours in Icelandic sheep. (A) Five alleles are known at the a-locus, A^{wh} is dominant over the other four, but A^g , A^b and A^w are codominant. The A^a allele is recessive to all other alleles. (B) The B^+ allele is dominant over B^b . (C) The S^+ allele is dominant over S^s .

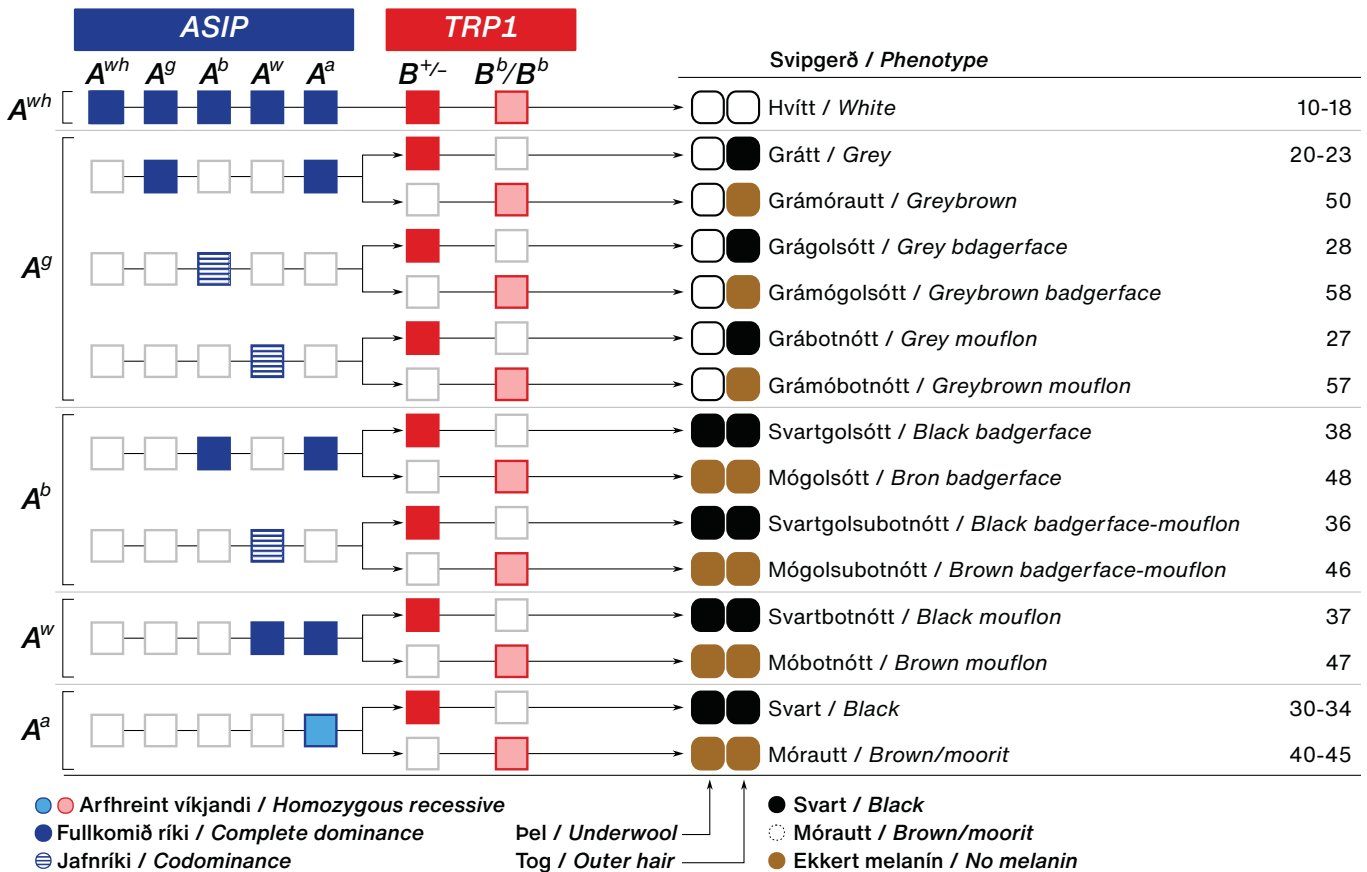
öll lömb alhvít árið 1985.²¹ Jafnframt gerði Stefán úrvalstilaunir á Hólum á tímabilinu frá 1961 til um 1990. Önnur tilraunin snerist um úrval fyrir dropóttu á svartfleckóttum kindum og miðaði að því að minnka samfellda svarta flekki á bók og ná jafnframt fram jöfnum svörtum doppum um allan bók. Sterk erfðaáhrif komu fram í báðum eiginleikum og var arfgengi á einkunn fyrir dropótt metin 0,55 út frá samamburði mæðra og dætra.²² Hin tilraunin miðaði að því að rækta upp arfhreinan gráan stofn með nógu dökkan lit til að gæru af lömbum væru tækar á markað fyrir gráar feldgæru sem mikil eftirspurn var þá eftir. Grái stofninn var lítill. Voru haustið 1980 dæmd 27 lömb og voru 12 þeirra talin með milligráan eða dökkgráan lit.²³ Segja má að úrvalsárangur beggja þessara verkefna hafi verið góður miðað við fjölda fjár en markaðsárangur var lítill sem enginn.

Sveinn Hallgrímsson var hvatamaður að ræktun á gráu fé með Gotlandsfé í Svíþjóð að fyrirmynd og var hugmyndin að rækta upp sérstakan feldfjárstofn.²⁴ Þessi ræktun hefur haldist við á fáeinum bæjum í Meðallandi allt til þessa dags og hefur áhugi aukist á allra síðustu árum. Ræktunin hefur byggst aðallega á arfblandnu gráu fé en svart fé hefur einnig verið notað (Árni B. Bragason, óbirtar upplýsingar 2021).

SAMEINDAERFÐAFRÆÐI SAUÐFJÁRLITA

Greiningar á litaerfðum húsdýra hafa leitt í ljós að erfðafræði litabreytileikans sem þar sést virðist flóknari en áður var talið. Í fyrsta lagi geta mismunandi samsætur sama gensins valdið ólíkum litaafbrigðum, eins og sést vel í íslensku sauðfé, en í öðru lagi geta samsætur mismunandi gena valdið mjög svipuðum litaafbrigðum.²⁵ Fyrir vikið er brýnt að

kanna eðli viðkomandi arfgerða þegar litasvipgerðir eru skilgreindar. Rannsóknir á hinum ýmsu spendýrum, ekki síst músum, hafa gert kleift að klóna nokkurn fjölda gena sem tengjast litaerfðum og kemur í ljós að undirliggjandi sameindaferlar eru í flestum tilfellum mjög vel varðveittir milli tegunda spendýra.¹⁷ Þannig hefur tekist að bera kennsl á yfir hundrað gen sem tengjast þroskun litfrumna og framleiðslu litar.¹⁷ Flest litatengd gen virðast skrá fyrir próteinum sem staðsett eru í litfrumunum sjálfum, en flokka má litagenin eftir því hvar þau hafa hlutverki að gegna í lífsferli litfrumunnar, sem er nokkuð flóknir þar sem litfruman og forverar hennar eiga langa leið að baki innan fóstursins frá hnoðakambi út í húðina. Oft er miðað við eftirfarandi fjögur ferilstig: (a) þroska litfrumna, (b) nýmyndun litarefna, (c) flutning litarrefna, og (d) lifun litstofnfrumna.²⁵ Eins



15. mynd. Tengsl arfgerða og svipgerða. Samspil samsætna í A- og B-sætum í íslensku sauðfé og áhrif þeirra á svipgerð sauðfjár. Litanúmer í skráningarkerfi Fjársvís í aftasta dálki. – The connections between genotypes and phenotypes. Interactions of alleles at the A-locus and the B-locus in Icelandic sheep and the effects on phenotypes. The last column shows colour codes in the sheep recording system, Fjársvís.

og sakir standa eru helstu genin sem talin eru hafa áhrif á litafar í spendýrum þessi: *MC1R*, *ASIP*, *MITF*, *TYRP1*, *KIT*²⁶ og *EDNRB*²⁷ (16. mynd).

MC1R og ASIP

Genin *MC1R* (e-sætið) og *ASIP* (a-sætið) eru meðal best skilgreindu litagenanna til þessa (2. mynd). Í sameiningu fara próteinafurðir þeirra með stjórn á framleiðsluhlutföllum litarefnanna tveggja, eumelaníns og feómelaníns, og ráða því einna mestu um hvort fé er hvítt eða svart/mórátt í grunninn.²⁶ *MC1R*-genið skráir fyrir G-prótein-tengda frumhímnúviðtakanum sem á ensku nefnist *melanocortin 1 receptor* og er aðallega tjáð í litfrumum.²⁸ Einn af bindlum *MC1R*-viðtakans er hormónið α -MSH (*α -melanocyte stimulating hormone*), en

tenging þess við *MC1R* kemur af stað fjölda boðleiða innan litfrumunnar, sem meðal annars auka litarefnaframleiðslu (16. mynd). Fundist hafa bæði ríkjandi og víkjandi samsætur í *MC1R*-geninu. Víkjandi samsætur ýta undir myndun feómelaníns á kostnað eumelaníns,²⁹ en ríkjandi samsætur gensins valda aftur á móti því að myndun eumelaníns eykst.²⁶ Rannsóknir á *MC1R*-geninu í sauðfé hafa leitt í ljós að þar megi að öllum líkindum finna þrjár samsætur, út frá jafnmörgum stökkbreytingum í útröð gensins. Þar af er ríkjandi samsætan E^p talin samanstanda af tveimur stökkbreytingum (p.Met73Lys/p.Asp121Asn; þýðir að aminósýrur 73 og 121 hafa báðar breyst í aminósýruröð próteinsins) í sameiningu og valda svörtum/móráttum grunnlit.³⁰ Ekki er útilokað

að önnur hvor breytingin dugi til að valda *MC1R*-samsætu sem sé ýmist alveg ríkjandi eða ríkjandi að hluta. Enn sem komið er hafa þær þó ekki greinst sín í hvoru lagi í neinu fjárkyni, ef þær hafa verið til staðar á annað borð. Víkjandi samsætan, E^e , er af völdum stakrar stökkbreytingar (p.Arg67Cys) og hefur til þessa aðeins verið greind í Valle del Belice-sauðfjarkyninu frá Sikiley, en hliðstæðar stökkbreytingar hafa áður greinst meðal annarra dýrategunda og þar verið tengdar við ljóst litafar.²³ Loks ber svo að nefna villigerðina (e. wild type) E^+ , sem leyfir tjáningu annarra litagena, en lítið er á hana sem hina upprunalegu mynd *MC1R*-gensins.³¹

ASIP (*agouti signaling protein*) er skammdrægt frumuboðefni og virkar sem hindri (e. inhibitor) á virkni *MC1R*-

við nýmyndun litarefna, en þar annast TRP1 umbreytingu hins brúnleita 5,6-díhýdroxyíndóls í eumelanín (2. og 16. mynd). Þess má geta að í músum hefur hvergi fundist eins mikill litatengdur breytileiki í einu geni og í *TRP1*.¹⁷ Einnig hafa litatengdar stökkbreytingar fundist í *TRP1*-geni nautgripa tengdar brúnu litafari.³⁶ Þrjú tilvik litatengds breytileika hafa greinst í *TRP1*-geni sauðfjár, öll í erlendum fjárkynjum. Í fyrsta lagi er um að ræða einbasabreytileika í opnum lesamma gensins, nánar tiltekið í útröð 4 (c.869G>T), í hinu frumstæða Soay-kyni. Allt Soay-fé er dökkt í grunninn, en téð stökkbreyting í *TRP1* virðist lýsa litinn upp að ákveðnu leyti.³⁷ Sami breytileiki hefur einnig fundist í svissneska Valai Red-fjárkyninu, en þar hafa jafnframt greinst tvær virknitengdar stökkbreytingar til viðbótar, tveggja basapara úrfelling (c.86_87delGA), sem riðlar opnum lesamma gensins, og einbasabreytileiki (c.1066C>T), sem myndar stopptákna aftarlega í útröð 4.³⁸ Í Valai Red-fénu valda þessar stökkbreytingar allar vikjandi mórâuðum lit.³⁸ *TRP1*-genið hefur löngum verið álitit eitt líklegasta áhrifagenið á bak við b-sætið og kann þetta að renna stöðum undir þá tilgátu.

EDNRB, KIT og MITF

Genin *EDNRB* og *KIT* gegna lykilhlutverki við að tryggja annars vegar lifun og hins vegar flutning sortukímfrumna út í húðina frá baklægum hluta hnoðakambsins (e. neural crest) á fósturstigi.^{39,40} Prótein beggja gena eru frumuhimnuviðtakar og hafa áhrif á mikilvægar boðleiðir sem tengjast frumuþroska og -sérhæfingu (16. mynd).^{40,41} Röskun á þessum flutningi veldur flekkóttu litafari (e. piebaldism), þ.e. hvítum svæðum á dökkum bakgrunni.²⁵ Genið *MITF* (*microphthalmia-associated transcription factor*) skráir aftur á móti fyrir mikilvirkum umritunarþætti sem er talinn vera meginstjórnandi litfrumunnar.⁴²

Samkvæmt klassískum erfðareglum er flekkótt litafar undir stjórn s-sætisins. Farið hefur verið eftir þessum reglum í ræktunarstarfi bæði sauðfjár og nautgripa um áratugaskeið án alvarlegra frávik og því hafa menn talið að um stakan erfðavísi sé að ræða. Aftur á móti benda

2. tafla. Litasamsetning kinda sem lögðu til sýni í erfðagreiningar. – The colours of sheep that provided samples for genetic analysis.

| Litur / Colour | Mynstur / Pattern | Fjöldi / Number |
|-----------------|-------------------|-----------------|
| Hvítur | Einlitt | 7 |
| Svartur | Einlitt | 8 |
| | Golsótt | 3 |
| | Tvílitt | 3 |
| Mórâuður | Einlitt | 4 |
| | Golsótt | 1 |
| | Tvílitt | 4 |
| Grámórâuður | Tvílitt | 1 |
| Grár | Einlitt | 1 |
| | Tvílitt | 5 |
| Samtals / Total | | 37 |

sameindaerfðafræðilegar rannsóknir til þess að eiginleikinn sé í raun undir áhrifum margra gena, bæði í sauðfé og nautgripum.^{43,44} Genin *MITF*, *KIT* og *PAX3* eru til dæmis talin hafa talsverð áhrif á skjöldóttan lit nautgripa en samantlagt ná áhrif þeirra þó ekki að útskýra allan breytileika eiginleikans.⁴⁴ Rannsóknir á sameindaerfðafræði tvílita í sauðfé hafa til þessa leitt fátt annað í ljós en að stjórn eiginleikans virðist afar flókin með adkomu margra gena.^{43,45} Til þessa hefur því ekki heldur tekist að greina eitt stakt megináhrifagen í s-sæti sauðfjár. Ekki er víst að *EDNRB*-genið standi þar að baki þar sem aðeins eitt tilfelli um litatengdan breytileika hefur greinst í *EDNRB*-geni sauðfjár. Sú samsæta er jafnframt banagen, en um er að ræða 110 kílóbasa úrfellingu sem nær yfir gervallt *EDNRB*-genið. Arfhrein lömb með þessa úrfellingu verða hvít og bláeyg en drepast skömmu eftir burð.²⁷ Vert er að taka fram að *EDNRB*-gen sauðfjár hefur ekki verið kirfilega rannsakað með tilliti til tvílita fram að þessu. Hvað *MITF* varðar hefur greinst munur á bæði mRNA- og prótein-tjáningu þess í svartri og hvítri húð flekkótttra kinda, og þykir það undirstrika áður þekkt mikilvægi *MITF*-próteinsins fyrir eðlilega starfsemi litfrumna.⁴⁵ Hliðstæður samanburður með tilliti til *KIT*-gensins reyndist ekki marktækur.⁴⁵ Til að útskýra þennan flókna eiginleika í sauðfé hafa vísindamenn einnig

fléttað saman sambandsgreiningum yfir allt erfðamengið (GWAS; *genome wide association study*), greiningum á genatjáningu og stýringu tjánningar, og þannig borið kennsl á 13 hugsanleg áhrifagen.⁴³ Sökum takmarka þeirrar tilraunar er þó erfitt að fullyrða um bein tengsl þeirra gena við tvíliti í sauðfé, en þó tengjast þau flest starfsemi litfrumna á einn eða annan hátt.

Aðrar greiningar á litaerfðum sauðfjár

Yfirgripsmiklar greiningar á genatjáningu með tilliti til lita hafa sýnt fram á að fjöldi mistjáðra gena í húð mislitra og hvíttra kinda getur skipt þúsundum, og að sum gen eru jafnvel eingöngu tjáð í ákveðnum litum.⁴⁶ Slíkar greiningar hafa þó einnig leitt í ljós að talsverður munur getur verið á sambandi genatjánningar og litafars eftir fjárkynjum og er því ef til vill varasamt að yfirfæra slíkar niðurstöður milli kynja.^{46,47} Við fyrrnefndar sambandsgreiningar hafa fundist frekari vísbendingar um nán tengsl *ASIP*-gensins við hvítan lit í finnsku fé þar sem hvítar kindur reynast arfhreinar fyrir ákveðnum einbasabreytileika í *ASIP*-geninu í 96% tilfella.⁴⁸ Að lokum hefur einu sinni verið rannsakað hvað standi að baki áunnum svörtum blettum í hvítu fé. Þar eru það helst gen sem miðla viðbrögðum gegn ljósáreiti sem eiga hlut að máli, frekar en klassísku litagenin sem nefnd hafa verið.⁴⁹

REGLUBRJÓTAR

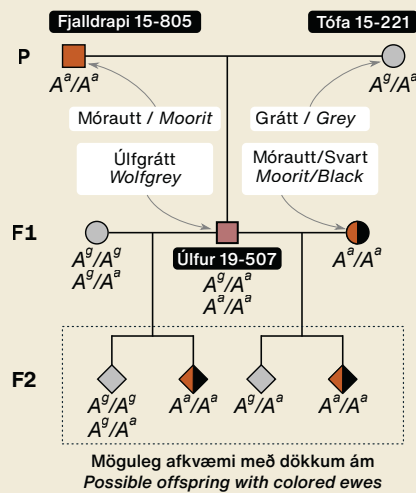
Reglur um litaerfðir sem lýst er í greininni virðast í flestum tilvikum traustar en þó eru dæmi um undantekningar. Algengast virðist að finna kindur sem sýna bæði svartan og mórauðan lit, sem á ekki að vera hægt. Stefán Aðalsteinsson⁵⁶ lýsti hrútnum Skrauta, sem var flekkóttur, þrílitur, og prófaði hann til undaneldis. Niðurstaðan var sú að arfgerð Skrauta væri mórauð, flekkótt, og að svarti liturinn væri vegna stökkbreytingar í líkamsfrumum, svokölluð tígla (e. mosaic). Fleiri dæmi eru um flekkótt lömb með bæði svart og mórautt⁵⁷ (sjá mynd) og ætla má að um sama fyrirbrigði sé að ræða.



Hrúturinn Nói 17-586 frá Möðruvöllum, greinilega þrílitur. – The ram Nói 17-586 from Möðruvellir was clearly three-coloured. Ljósmynd./Photo: Birgitta Lúðvíksdóttir.



Úlfur frá Hlíð í Lóni er sérkennilega grámórauður og gefur hvít afkvæmi með dökkum ám. – The ram Úlfur from Hlíð has a special grey-moorit colour and has sired white progeny with dark coloured ewes. Ljósmynd./Photo: Harpa Dagbjört Bjarnadóttir.



Hrúturinn Úlfur 19-507 frá Hlíð í Lóni er „úlfgjár“ að lit eða sérkennilega grámórauður og er undan gráu (arfgerð A^g/A^a) og mórauðu (arfgerð A^a/A^a). Hann hefur verið notaður í heimahjörð á ær af ýmsum litum og hefur gefið alls 20 hvít lömb með dökkum ám, svörtum, mórauðum og gráum, sem er þvert á reglur um erfðir þar sem dökkar kindur bera jafnan ekki A^{wh} -samsætuna. Grá lömb undan Úlfi erfa úlfgjára litinn frá föður sínum (Harpa Dagbjört Bjarnadóttir, óbirtar upplýsingar, 2021). Úlfur hefur ekki verið rannsakaður nánar en það væri afar forvitnilegt að kanna arfgerð litagena hans.



Helmingur frá Njarðvík er hvítur á annarri hliðinni og svartur/grár á hinn með skýr litaskipti eftir miðju. – The ram “Helmingur” is white on one side and black/grey on the other with a clear middle line. Ljósmynd./Photo: Guðfinna Harpa Árnadóttir.

Nýlegt dæmi um sérkennilega svipgerð er hrúturinn Helmingur frá Njarðvík. Hann hefur skýr litaskipti á kvið og upp á malir en heldur óskýrari á haus, herðum og baki (sjá mynd). Auk þess er hann einungis hyrndur öðrum megin, sem er einstakt. Mögulega er þarna um að ræða kímeru (e. chimera) sem stafar af samruna tveggja okfruma í einni fósturvísi. Svo virðist sem frumur með ólíka litaerfgerð hafi myndað sín hvorn helming fóstursins.

Rannsóknir á íslensku fé

Þegar þetta er ritað er unnið að greiningu erfðabreytileika í íslensku sauðfé og er það eina rannsóknin til þessa þar sem litagen sauðfjár eru raðgreind. Þar hafa litaerfðirnar verið rannsakaðar með raðgreiningum á geninu *MC1R* í heild sinni, opnum lesamma genanna *ASIP*, *TRP1* og *EDNRB* og loks völdum útröðum og innröðum í *KIT*-geninu.^{50,51}

Rannsóknin nær sem stendur til 37 einstaklinga úr DNA-sýnasafni Landbúnaðarháskóla Íslands. Litasamsetningu gripanna má sjá í 2. töflu. Niðurstöður sem fyrir liggja benda til þess að ríkjandi samsætan *MC1R* (*E^D*) finnist ekki í íslensku fé, né heldur víkjandi samsætan *E^c*. Það kemur ekki á óvart, enda virðist svart og mórætt alfarið víkjandi gagnvart hvítu og gulu í íslensku fé og ljósir litir nátengdir *a*-sætinu.

Hvað *ASIP*-genið varðar samræmast niðurstöður þessarar rannsóknar erlendum rannsóknum að því leyti að sömu stökkbreytingar og til dæmis þeir Norris & Whan¹⁸ lýstu virðast mynda *A^c*-samsætuna á sama tíma og ekki reynist fullt samræmi á milli stökkbreytinganna og dökkra lita. Það bendir til þess að frekari breytileiki hljóti að standa þar að baki líkt og nefnt hefur verið. Eintakafjöldi og tjáning *ASIP*-gensins hefur ekki verið rannsökuð í íslensku sauðfé og því er ekki hægt að fullyrða nánar um þetta að svo stöddu.

Alls greindust 15 breytileikar innan *TRP1*-gensins, þar af þrjár einbasabreytileikar sem hafa hugsanlega áhrif á virkni próteinsins. Allir þrjár hafa áður greinst í erlendum fjárkynjum, en þar af voru tveir tengdir við litabreytileika^{37,38} en sá þriðji er talinn geta haft erfðafylgni við gæði mjólkurfítu í sauðamjólk.⁵² Ekki hefur komið fram skýrt mynstur á milli þessara stökkbreytinga og litafars í íslenska fénu og geta höfundar því ekki fullyrt að genið *TRP1* standi að baki *b*-sætinu. Kanna þyrfti frekari breytileika utan hins opna lesamma gensins, svo sem í stýriröðum og/eða innröðum, til að varpa skýrara ljósi á áhrif þess og hlutverk með tilliti til lita í íslensku sauðfé.

Ekki hefur fundist virknitengdur breytileiki innan hins opna lesamma *EDNRB*-gensins, en út frá tveimur einbasabreytileikum reyndist unnt að greina tvær mismunandi setraðir.

Þær virðast þó báðar erfast óháð lit, líkt og útlit er fyrir með samsætur *TRP1* samkvæmt þessum takmörkuðu niðurstöðum.

Í *KIT*-geninu voru útraðir 10–13 og 17–21 raðgreindar ásamt innröðum 10–12 og 18–19, ásamt hluta af innröðum 16 og 17 (sín hvorum megin við útröð 17). Enginn erfðabreytileiki hefur fundist innan útraðanna en breytileiki fannst aftur á móti í innröðum gensins. Til að skera úr um hugsanleg tengsl þeirra breytileika við litafar þarf hins vegar stærra sýnasafn. Skoða þyrfti einnig opinn lesamma *KIT*-gensins í heild sinni til þess ýmist að staðfesta eða útiloka tilvist virknitengdra breytileika innan gensins sem hafa áhrif á litafar íslensks sauðfjár.⁵⁰ Heildarniðurstöður rannsóknarinnar verða birtar á öðrum vettvangi að henni lokinni.

LOKAORÐ

Íslenska sauðféð er mikilvæg erfðaauðlind sem birtist meðal annars í því fjölbreytta litafari sem hér hefur verið lýst. Flest erlend fjárkyn hafa tapað fjölbreyttum litum vegna ræktunar í átt að einsleitni í útliti, sem talin var eftirsóknarverð á fyrri hluta 20. aldar. Í nálægum löndum má finna fjölbreytta liti í tiltölulega lítt ræktuðum fjárkynjum, svo sem norska „villifénu“ og færeyska sauðfénu þar sem flekkótt er áberandi. Áhugi á handverki og sérvinnslu ullar af mislitu fé hefur að líkindum ýtt undir áhuga á ræktun mislits fjár á undanföllum árum og stuðlar þar með að viðhaldi fjölbreyttra lita.

Íslenski stofninn hentar vel til rannsókna á erfðafræði lita vegna þessarar fjölbreytni og þar felast sennilega betri tækifæri til þekkingaröflunar en í nokkru öðru fjárkyni. Vonast má til að rannsóknir sem þegar eru í gangi stuðli að auknum skilningi á erfðum litafars í sauðfé. Sömuleiðis vantar frekari rannsóknir á tengslum litagena við aðra eiginleika. Sýnt hefur verið fram á að frjósemi íslenskra áa tengist lit þeirra. Mislitar ær eiga fleiri lömb að jafnaði⁵³ og þær festa fang oftar en hvítar utan árstíðabundins fengitíma.^{54,55}

ABSTRACT

Diversity and inheritance of colours in Icelandic sheep

The Icelandic sheep are known for coat colour variation that has been conserved in the population through ages unlike many foreign breeds. Here the many colours and patterns are described in addition to the biology of coat colour formation. The main colours are white, black and moorit and the colour patterns are grey, grey-moorit, badgerface, and mouflon as well as diverse piebald patterns with white spots on a dark base. White, including white with tan fibers, was by far the most frequent colour in the year 2020 or 78.4%. Black was the more frequent of the dark colours or 12.7% in the year 2020 but moorit only 4.2%. Grey sheep were 4.4% but grey-moorit only 0.3%. Piebald spotting is the most frequent pattern or 5.8% in 2020.

Stefán Aðalsteinsson (1928–2009) explained the genetic patterns of coat colour variation in sheep based on his research on Icelandic sheep. His results showed that the inheritance of coat colour in the Icelandic sheep breed is controlled mostly by variation in the genes *agouti* (*a*-locus), *brown* (*b*-locus), and *piebald spotting* (*s*-locus). A dominant allele at the *a*-locus leads to white with all other colours recessive. The genotype at the *b*-locus decides between black or moorit with black being dominant. A recessive allele at the *s*-locus leads to piebald patterns in sheep with dark base colour but to pure white without tan in white sheep.

Molecular research has shed some light on the genes responsible while results are not fully consistent with the rules put forward by Aðalsteinsson. More research is needed to clarify the genetics of all coat colour variation in the Icelandic sheep breed.

ÞAKKIR

Höfundar þakka Ólafi R. Dýrmondssyni, Páli Imsland og Eiríki Steingrímssyni fyrir yfirllestur handritsins, og einnig þeim Birgittu Lúðvíksdóttur, Páli Imsland, Hörpu Dagbjörtu Bjarnadóttur, Guðfinnu Hörpu Árnadóttur og Antoni Torfa Bergssyni sem lögðu til myndir fyrir greinina.

HEIMILDIR

- Stefán Aðalsteinsson 1981. Origin and conservation of farm animal populations in Iceland. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 98. 258–264.
- Árni Daníel Júlíusson & Jónas Jónsson 2013. Landbúnaðarsaga Íslands. I–IV. Skrudda, Reykjavík. 343 + 344 + 311 + 359 bls.
- Gunnar Karlsson 2009. Lífsbjörg Íslendinga frá 10. öld til 16. aldar. Háskólaútgáfan, Reykjavík. 397 bls.
- Sigríður Sunna Ebenesersdóttir, Sandoval-Velasco, M., Ellen D. Gunnarsdóttir, Jagadeesan, A., Valdís B. Guðmundsdóttir, Elísabet L. Þórðardóttir, Margrét S. Einarsdóttir, Moore, K.H.S., Ásgeir Sigurðsson, Droplaug N. Magnúsdóttir, Hákon Jónsson, Steinunn Snorradóttir, Hovig, E., Møller, P., Kockum, I., Olsson, T., Alfredsson, L., Hansen, T.F., Werge, T., Cavalleri, G.L., Gilbert, E., Lalueza-Fox, C., Walser III, J.W., Steinunn Kristjánsdóttir, Gopalakrishnan, S., Lilja Árnadóttir, Ólafur Þ. Magnússon, Gilbert, M.T.P., Kári Stefánsson & Agnar Helgason 2018. Ancient genomes from Iceland reveal the making of a human population. *Science* 360(6392). 1028–1032. <https://doi.org/10.1126/science.aar2625>
- Agnar Helgason, Sigrún Sigurðardóttir, Gulcher, J.R., Ward, R. & Kári Stefánsson 2000. mtDNA and the origin of the Icelanders: Deciphering signals of recent population history. *American Journal of Human Genetics* 66(3). 999–1016.
- Agnar Helgason, Sigrún Sigurðardóttir, Nicholson, J., Sykes, B., Hill, E.W., Bradley, D.G., Bosnes, V., Gulcher, J.R., Ward, R. & Kári Stefánsson 2000. Estimating Scandinavian and Gaelic ancestry in the male settlers of Iceland. *American Journal of Human Genetics* 67(3). 697–717.
- Vala Friðriksdóttir, Eggert Gunnarsson, Sigurður Sigurðarson & Kristín Björg Guðmundsdóttir 2000. Paratuberculosis in Iceland: Epidemiology and control measures, past and present. *Veterinary Microbiology* 77(3). 263–267. [https://doi.org/10.1016/S0378-1135\(00\)00311-4](https://doi.org/10.1016/S0378-1135(00)00311-4)
- Yang, J., Li, W.-R., Lv, F.-H., He, S.-G., Tian, S.-L., Peng, W.-F., Sun, Y.-W., Zhao, Y.-X., Tu, X.-L., Zhang, M., Xie, X.-L., Wang, Y.-T., Li, J.-Q., Liu, Y.-G., Shen, Z.-Q., Wang, F., Liu, G.-J., Lu, H.-F., Kantanen, J., Han, J.-L., Li, M.-H. & Liu, M.-J. 2016. Whole-genome sequencing of native sheep provides insights into rapid adaptations to extreme environments. *Molecular Biology and Evolution* 33(10). 2576–2592. <https://doi.org/10.1093/molbev/msw129>
- Russell, N. 2007. Like engend'ring like: Heredity and animal breeding in early modern England. Cambridge University Press. 284 bls.
- Halldór Pálsson 1944. Fjölbreytni litareinkenna íslenskra sauðfjárins o.fl. Náttúrufræðingurinn 14(2). 74–83.
- Stefán Aðalsteinsson 1970. Colour inheritance in Icelandic sheep and relation between colour, fertility and fertilization. *Íslenskar landbúnaðarrannsóknir* 2(1). 3–135.
- Stefán Aðalsteinsson 1977. Albinism in Icelandic sheep. *Journal of Heredity* 68(6). 347–349. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a108857>
- Thody, A.J., Higgins, E.M., Wakamatsu, K., Ito, S., Burchill, S.A. & Marks, J.M. 1991. Pheomelanin as well as eumelanin is present in human epidermis. *Journal of Investigative Dermatology* 97(2). 340–344. <https://doi.org/10.1111/1523-1747.ep12480680>
- Jón Viðar Jónmundsson, Lárus G. Birgisson, Sigríður Jóhannesdóttir, Emma Eyþórsdóttir, Þorvaldur Kristjánsson & Ólafur R. Dýrmondsson 2015. Forystufé á Íslandi. Náttúrufræðingurinn 85(3–4). 97–114.
- Sigurborg Hanna Sigurðardóttir 2016. Kortlagning litafjölbreytileika í íslenska sauðfjárstofninum. BS-ritgerð við Landbúnaðarháskóla Íslands. <http://hdl.handle.net/1946/25091>
- Jón Viðar Jónmundsson 1977. Sauðfjárlitir. *Freyr* 73(23). 860–861.
- Bennett, D.C. & Lamoreux, M.L. 2003. The color loci of mice—a genetic century. *Pigment Cell Research* 16(4). 333–344.
- Norris, B.J. & Whan, V.A. 2008. A gene duplication affecting expression of the ovine ASIP gene is responsible for white and black sheep. *Genome Research* 18(8). 1282–1293. <https://doi.org/10.1101/gr.072090.107>
- Royo, L.J., Álvarez, I., Arranz, J.J., Fernández, I., Rodríguez, A., Pérez-Pardal, L. & Goyache, F. 2008. Differences in the expression of the ASIP gene are involved in the recessive black coat colour in sheep: Evidence from the rare Xalda sheep breed. *Animal Genetics* 39(3). 290–293. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2008.01712.x>
- Fontanesi, L., Dall'Olio, S., Beretti, F., Portolano, B. & Russo, V. 2011. Coat colours in the Massese sheep breed are associated with mutations in the agouti signalling protein (*ASIP*) and melanocortin 1 receptor (*MC1R*) genes. *Animal* 5(1). 8–17. <https://doi.org/10.1017/S1751731110001382>
- Stefán Aðalsteinsson 1986. Yfirlit um rannsóknir á ull og gærum. Ráðunautafundur 9(1). 56–68.
- Stefán Aðalsteinsson 1978. Ræktun á dropóttu fé. Ráðunautafundur 1(3). 209–214.
- Stefán Aðalsteinsson 1980. Fjárþúð á Hólum og sérrekaðir fjárfstofnar. *Freyr* 76. 780–784.
- Sveinn Hallgrímsson 1979. Ræktun feldfjár á Íslandi. Tillögur, markmið og skipulag framkvæmdar. Árbók landbúnaðarins 1979. 102–107.
- Cieslak, M., Reissmann, M., Hofreiter, M. & Ludwig, A. 2011. Colours of domestication. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* 86(4). 885–899. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2011.00177.x>
- Koseniuk, A., Ropka-Molik, K., Rubi, D. & Smolucha, G. 2018. Genetic background of coat colour in sheep. *Archives Animal Breeding* 61(2). 173–178. <https://doi.org/10.5194/aab-61-173-2018>
- Lühken, G., Fleck, K., Pauciuillo, A., Huisinga, M. & Erhardt, G. 2012. Familial hypopigmentation syndrome in sheep associated with homozygous deletion of the entire endothelin type-B receptor gene. *PLoS One* 7(12). E53020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053020>
- Robbins, L.S., Nadeau, J.H., Johnson, K.R., Kelly, M.A., Roselli-Rehffuss, L., Back, E., Mountjoy, K.G. & Cone, R.D. 1993. Pigmentation phenotypes of variant extension locus alleles result from point mutations that alter MSH receptor function. *Cell* 72(6). 827–834. [https://doi.org/10.1016/0092-8674\(93\)90572-8](https://doi.org/10.1016/0092-8674(93)90572-8)
- Horrell, E.M.W., Boulanger, M.C. & D'Orazio, J.A. 2016. Melanocortin 1 Receptor: Structure, function, and regulation. *Frontiers in Genetics* 7. 95. <https://doi.org/10.3389/fgene.2016.00095>
- Våge, D.I., Klungland, H., Lu, D. & Cone, R.D. 1999. Molecular and pharmacological characterization of dominant black coat color in sheep. *Mammalian genome: Official Journal of the International Mammalian Genome Society* 10(1). 39–43. <https://doi.org/10.1007/s003359900939>
- Fontanesi, L., Beretti, F., Riggio, V., Dall'Olio, S., Calascibetta, D., Russo, V. & Portolano, B. 2010. Sequence characterization of the melanocortin 1 receptor (*MC1R*) gene in sheep with different coat colours and identification of the putative e allele at the ovine Extension locus. *Small Ruminant Research* 91(2). 200–207. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2010.03.015>
- Bultman, S.J., Michaud, E.J. & Woychik, R.P. 1992. Molecular characterization of the mouse agouti locus. *Cell* 71(7). 1195–1204. [https://doi.org/10.1016/S0092-8674\(05\)80067-4](https://doi.org/10.1016/S0092-8674(05)80067-4)
- Hepp, D., Gonçalves, G.L., Moreira, G.R.P. & de Freitas, T.R.O. 2016. Epistatic interaction of the melanocortin 1 receptor and agouti signaling protein genes modulates wool color in the Brazilian Creole sheep. *Journal of Heredity* 107(6). 544–552. <https://doi.org/10.1093/jhered/esw037>
- Renieri, C., Valbonesi, A., La Manna, V., Antonini, M. & Lauvergne, J.J. 2008. Inheritance of coat colour in Merino sheep. *Small Ruminant Research* 74(1). 23–29. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2007.03.001>
- Smit, M.A., Shay, T.L., Beever, J.E., Notter, D.R. & Cockett, N.E. 2002. Identification of an agouti-like locus in sheep. *Animal Genetics*, 33(5). 383–385. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2052.2002.00896.5.x>
- Berryere, T.G., Schmutz, S.M., Schimpf, R.J., Cowan, C.M. & Potter, J. 2003. TYRP1 is associated with dun coat colour in Dexter cattle or how now brown cow? *Animal Genetics* 34(3). 169–175. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2052.2003.00985.x>
- Gratten, J., Beraldi, D., Lowder, B.V., McRae, A.F., Visscher, P.M., Pemberton, J.M. & Slate, J. 2007. Compelling evidence that a single nucleotide substitution in TYRP1 is responsible for coat-colour polymorphism in a free-living population of Soay sheep. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 274(1610). 619–626. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3762>
- Paris, J.M., Letko, A., Häfliger, I.M., Ammann, P., Flury, C. & Drögemüller, C. 2019. Identification of two TYRP1 loss-of-function alleles in Valais Red sheep. *Animal Genetics* 50(6). 778–782. <https://doi.org/10.1111/age.12863>
- Lamoreux, M.L. 1999. Strain-specific white-spotting patterns in laboratory mice. *Pigment Cell Research* 12(6). 383–390. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0749.1999.tb00522.x>
- Sviderskaya, E.V., Easty, D.J. & Bennett, D.C. 1998. Impaired growth and differentiation of diploid but not immortal melanoblasts from endothelin receptor B mutant (piebald) mice. *Developmental Dynamics* 213(4). 452–463. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0177\(199812\)213:4<452::AID-AJA10>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0177(199812)213:4<452::AID-AJA10>3.0.CO;2-6)
- Mackenzie, M.A.F., Jordan, S.A., Budd, P.S. & Jackson, I.J. 1997. Activation of the receptor tyrosine kinase kit is required for the proliferation of melanoblasts in the mouse embryo. *Developmental Biology* 192(1). 99–107. <https://doi.org/10.1006/dbio.1997.8738>
- Eiríkur Steingrímsson, Copeland, N.G. & Jenkins, N.A. 2004. Melanocytes and the Microphthalmia transcription factor network. *Annual Review of Genetics* 38(1). 365–411. <https://doi.org/10.1146/annurev.genet.38.072902.092717>
- García-Gómez, E., Reverter, A., Whan, V., McWilliam, S.M., Arranz, J.J., Consortium, I.S.G. & Kijas, J. 2011. Using regulatory and epistatic networks to extend the findings of a genome scan: Identifying the gene drivers of pigmentation

- tion in Merino sheep. PLOS ONE 6(6). E21158. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0021158>
44. Hayes, B.J., Pryce, J., Chamberlain, A.J., Bowman, P.J. & Goddard, M.E. 2010. Genetic architecture of complex traits and accuracy of genomic prediction: Coat colour, milk-fat percentage, and type in Holstein cattle as contrasting model traits. PLOS Genetics 6(9). E1001139. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1001139>
 45. Han, J., Yang, M., Guo, T., Yue, Y., Liu, J., Niu, C., Wang, C. & Yang, B. 2015. Molecular characterization of two candidate genes associated with coat color in Tibetan sheep (*Ovis aries*). Journal of Integrative Agriculture 14(7). 1390–1397. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60928-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60928-X)
 46. Fan, R., Xie, J., Bai, J., Wang, H., Tian, X., Bai, R., Jia, X., Yang, L., Song, Y., Herrid, M., Gao, W., He, X., Yao, J., Smith, G.W. & Dong, C. 2013. Skin transcriptome profiles associated with coat color in sheep. BMC Genomics 14(1). 389. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-14-389>
 47. Yao, L., Bao, A., Hong, W., Hou, C., Zhang, Z., Liang, X. & Aniwashi, J. 2019. Transcriptome profiling analysis reveals key genes of different coat color in sheep skin. PeerJ. 7. e8077. <https://doi.org/10.7717/peerj.8077>
 48. Li, M.-H., Tiirikka, T. & Kantanen, J. 2014. A genome-wide scan study identifies a single nucleotide substitution in ASIP associated with white versus non-white coat-colour variation in sheep (*Ovis aries*). Heredity 112(2). 122–131. <https://doi.org/10.1038/hdy.2013.83>
 49. Peñagaricano, F., Zorrilla, P., Naya, H., Robello, C. & Urioste, J.I. 2012. Gene expression analysis identifies new candidate genes associated with the development of black skin spots in Corriedale sheep. Journal of Applied Genetics 53(1). 99–106. <https://doi.org/10.1007/s13353-011-0066-9>
 50. Salbjörg Ragna Sævarsdóttir 2021. Erfðabreytileiki KIT-gensins og tengsl við litafar í íslensku sauðfé. BS-ritgerð við Landbúnaðarháskóla Íslands. <https://skemman.is/handle/1946/38817>
 51. Teitur Sævarsson 2020. Erfðabreytileiki í ASIP geninu í íslensku sauðfé. BS-ritgerð við Landbúnaðarháskóla Íslands. <https://skemman.is/handle/1946/36041>
 52. Crisà, A., Marchitelli, C., Pariset, L., Contarini, G., Signorelli, F., Napolitano, F., Catillo, G., Valentini, A. & Moiol, B. 2010. Exploring polymorphisms and effects of candidate genes on milk fat quality in dairy sheep. Journal of Dairy Science 93(8). 3834–3845. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-3014>
 53. Stefán Aðalsteinsson 1975. Depressed fertility in Icelandic sheep caused by a single colour gene. Annales de Génétique et de Sélection Animale 7(4). 445–447. <https://doi.org/10.1186/1297-9686-7-4-445>
 54. Ólafur R. Dýrmondsson & Stefán Aðalsteinsson 1980. Coat-color gene suppresses sexual activity in Icelandic sheep. The Journal of Heredity 71(5). 363–364. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a109389>
 55. Ólafur R. Dýrmondsson 1979. Kynþroski og fengitími íslenska sauðfjárins. Náttúrufræðingurinn 49(4). 278–288.
 56. Stefán Aðalsteinsson 1984. A black-moorit mosaic-colored Icelandic ram. The Journal of Heredity 75(1). 83–84. <https://doi.org/10.1093/oxford-journals.jhered.a109879>
 57. Ólafur R. Dýrmondsson 2015. The colourful sheep of Iceland. Bls. 18–23 í: Timeless Coloured Sheep (ritstj. du Toit, D.). Michael Imhof Verlag, Petersberg.
 58. Serre, C., Busuttill, V. & Botto, J.-M. 2018. Intrinsic and extrinsic regulation of human skin melanogenesis and pigmentation. International Journal of Cosmetic Science 40(4). 328–347. <https://doi.org/10.1111/ics.12466>

PÓST- OG NETFÖNG HÖFUNDA / AUTHORS' ADDRESSES

Emma Eyþórsdóttir
Kársnesbraut 97, 200 Kópavogi
emmaeyth@gmail.com

Teitur Sævarsson
Háskóla Íslands, Sturlugötu 8
101 Reykjavík
tes12@hi.is

Sigurborg Hanna Sigurðardóttir
Landbúnaðarháskóla Íslands
Hvanneyri, 311 Borgarnes
s.hanna@lbhi.is

Jón Hallsteinn Hallsson
Landbúnaðarháskóla Íslands
Keldnaholti, Árleyni 22,
112 Reykjavík
jonhal@lbhi.is

UM HÖFUNDA



Emma Eyþórsdóttir (f. 1953) lauk BSA-prófi í búfjárfræðum frá Manitoba-háskóla í Winnipeg, Kanada, 1977 og stundaði framhaldsnám í erfða- og kynbótafræði búfjár við Landbúnaðarháskólann í Ási í Noregi 1986–1990. Hún starfaði sem aðstoðarsérfræðingur og síðar sérfræðingur við Rannsóknastofnun landbúnaðarins 1983–2004 og dósent við Landbúnaðarháskólann á Hvanneyri síðar Landbúnaðarháskóla Íslands frá 2001 til starfsloka 2020. Viðfangsefni rannsókna hennar hafa einkum verið á sviði sauðfjárræktar og varðveislu erfðaaúðlinda búfjár.



Jón Hallsteinn Hallsson (f. 1976) lauk BS-prófi í sameindalíffræði frá Háskóla Íslands vorið 1999 og doktorsprófi í heilbrigðisvísindum frá sama skóla árið 2006. Leiðbeinendur hans voru þeir Dr. Eiríkur Steingrímsson, prófessor við Læknadeild Háskóla Íslands og Dr. Heinz Arnheiter, vísindamaður við National Institutes of Health í Bandaríkjum Norður-Ameríku. Rannsóknir Jóns í doktorsnáminu miðuðu að því að varpa ljósi á mikilvægi eftirbreytni umritunarþáttarins MITF í þroskun litfrumna. Jón hefur frá árinu 2005 sinnt rannsóknum og kennslu í erfðafræði við Landbúnaðarháskóla Íslands, þar sem hann fékk framgang í stöðu prófessors árið 2019. Jafnframt gegnir Jón stöðu aðjúnkt við Læknadeild Háskóla Íslands þar sem hann kennir lífupplýsingafræði. Jón hefur birt ritryndar greinar um augnþroskun í ávaxtaflugum, litaerfðir músa, stofnerfðafræði íslenskra búfjástofna, sjúkdómsvaldandi sveppi og stjórna blómgunar í byggi.



Teitur Sævarsson (f. 1996) lauk BS-prófi í búvísindum frá Landbúnaðarháskóla Íslands árið 2020. Teitur starfaði sem aðstoðarmaður í rannsóknum við Landbúnaðarháskóla Íslands frá 2020–2021, þar sem hann vann m.a. undir stjórn Jóns Hallsteins Hallssonar að greiningu litaerfðabreytileika innan íslenska sauðfjárfjárins. Í dag er Teitur meistaranemi í líf- og læknávisindum við Háskóla Íslands og vinnur þar að meistaraverkefni sínu undir leiðsögn Berglindar Óskar Einarsdóttur og Eiríks Steingrímssonar, en það snýr að hlutverki umritunarþáttarins MITF í ónæmisfordun sortuæxla.



Sigurborg Hanna Sigurðardóttir f. 1991) lauk BS-prófi í búvísindum frá Landbúnaðarháskóla Íslands árið 2016 að undangengnu búfræðiprófi frá sömu stofnun. Á árunum 2016–2021 starfaði Sigurborg við ýmis landbúnaðarstörf, til að mynda á tilraunabúinu á Hesti. Sigurborg starfar nú við Landbúnaðarháskóla Íslands sem kennari við búfræðideild auk þess að starfa við sauðfjárdóma fyrir Ráðgjafarmiðstöð landbúnaðarins á haustin og stunda sauðfjárbúskap á Oddsstöðum í Lundarreykjadal.